

Relatório de Estágio apresentado para cumprimento dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território sob a orientação
científica do Professor Doutor Jorge Ricardo Ferreira e Dra. Cláudia Pinto

Declaro que este Relatório é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

Lisboa, 27 de Setembro de 2016

Declaro que este Relatório se encontra em condições de ser apreciado pelo júri a designar.

O orientador,

Lisboa, 27 de Setembro de 2016

AGRADECIMENTOS

No decorrer deste percurso tenho de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais que sempre me apoiaram e levantaram em todos os momentos da minha vida. Sem eles, não teria conseguido concluir mais um projeto da minha vida.

Venho agradecer aos meus orientadores de estágio. À Dr.^a Cláudia Pinto pelo acompanhamento e paciência ao longo dos cinco meses de estágio e também por todas as opiniões demonstradas acerca ao longo da redação do relatório de estágio. Ao professor Jorge Ferreira pela sua rigidez, correções e opiniões deste o primeiro momento desta aventura.

Às minhas irmãs agradeço, especialmente à Carina, por sempre ter partilhado este interesse comigo, e à Ana pelas gargalhadas geradas, como só uma irmã mais nova consegue fazer.

A todos os meus amigos, pelos momentos de companheirismo, onde destaco especialmente o Renato pela honra de estudar estes últimos anos com ele.

À minha colega, amiga e namorada Sara, por toda a paciência, conforto, apoio e encorajamento demonstrada ao longo destes últimos anos.

A todos muito obrigado.

Obrigado Pai.

RESUMO

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES COM BASE EM CARTOGRAFIA VETORIAL E ORTOFOTOGRAFIA

Eduardo Rafael Fernandes Gomes

A cidade de Lisboa é fortemente afetada pelo fenómeno de inundações urbanas, isto devido ao efeito de diversos fatores naturais, nos quais se destaca o clima, a morfologia e as características do território. A constante impermeabilização dos solos, quer superficial, quer do subsolo, só tem agravado as consequências sofridas na ocorrência do fenómeno de inundação. A suscetibilidade refere-se à probabilidade de ocorrência de uma inundação através das características naturais e antrópicas do território, no entanto, a vulnerabilidade é o risco que o fenómeno de inundação tem no território através de dados populacionais, económicos, ambientais e culturais. Estas têm implicações no território, como danos económicos e sociais, patentes no património edificado e nas condições de vida da população. Devido a estes problemas o município de Lisboa tem, ao longo dos últimos anos, desenvolvido estudos para a identificação das áreas com maior suscetibilidade e vulnerabilidade a inundação, com o intuito de salvaguardar o tipo de uso do solo nos seus instrumentos de planeamento. Com este relatório é pretende-se criar e aplicar em prática a intenção da Autarquia que consiste, na melhoria e atualização das suas cartas de vulnerabilidade e suscetibilidade a inundação para a cidade, com o recurso à cartografia numérica vetorial e à ortofotografia adquirida recentemente à escala 1:1000. Neste trabalho é evidenciado o desenvolvimento dos modelos geográficos para a produção da cartografia temática de vulnerabilidade e suscetibilidade a inundação, assente na análise do território com os elementos da cartografia base homologada. Porém a cidade não é totalmente abrangida por cartografia com homologação, posto isto foi criado um modelo para a extração automática de elementos cartográficos base a partir de ortofotomapas, sendo que foi necessário a realização de testes para garantir a fiabilidade do processamento digital de imagem para a criação de cartografia temática. Para a realização do projeto foi utilizado várias temáticas, que são o resultado de vários indicadores, que através do seu cruzamento resultou as cartas de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundação, ou seja, a partir de informação geográfica pré-existente é criada nova informação geográfica para o uso no planeamento e ordenamento do território. Este estudo não pretende apenas criar algoritmos para a criação de cartografia temática, mas também colocar em prática os modelos geográficos gerados, onde foram realizados testes nas zonas de Alcântara e Beirolas, sendo possível identificar e analisar a suscetibilidade e a vulnerabilidade destes territórios.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia, Suscetibilidade, Vulnerabilidade, Inundação, Modelação Geográfica, Processamento Digital de Imagem, SIG.

ABSTRACT

DETERMINATION OF VULNERABILITY TO FLOODING BASED ON VECTOR CARTOGRAPHY AND ORTHOPHOTO

Eduardo Rafael Fernandes Gomes

The city of Lisbon is strongly affected by the phenomenon of urban floods, this due to the effect of various natural factors, in which stands out the climate, the morphology and the characteristics of the territory. The constant waterproofing of soils, whether surface or subsurface, has aggravated the consequences in the occurrence of the flooding phenomenon. The susceptibility refers to the probability of occurrence of a flood through natural and anthropic characteristics of the territory, however, the vulnerability is the risk that the flood phenomenon has in the territory through population, economic, environmental and cultural data. This one have implications for the territory, such as economic and social damage, patents in the built heritage and the living conditions of the population. Due to these problems the municipality of Lisbon has, over the past few years, studies developed for the identification of areas with higher susceptibility and vulnerability to floods, in order to safeguard the type of land use in their planning instruments. This report intended to create and apply the intention of the municipality which consists in the improvement and updating of their vulnerability flood risk maps using the numerical vector cartography and orthophoto acquired recently the scale of 1:1000. In this paper is highlighted the development of spatial models for the production of thematic cartography of vulnerability and susceptibility to floods, based on the analysis of the territory within the elements of the certified base cartography. Although, the city is not fully covered by certified cartography, therefore was created a model for the automatic extraction of cartographic elements base from orthophotomaps, was required testing to ensure the reliability of digital image processing for creation of thematic cartography. For the accomplishment of the project several themes were used, which resulted of several indicators, that through his intersection resulted the susceptibility and vulnerability flood risk maps, this means that from pre-existing geographic information new geographical information has created new geographic information for the planning and order of the territory. This study doesn't pretend only to create algorithms for the creation of thematic cartography, but also put into practice the geographic models created, tests were carried out for the areas of Alcântara and Beirolos, being able to identify and analyze the susceptibility and vulnerability of these territories.

KEYWORDS: Cartography, Susceptibility, Vulnerability, Flood, Digital Image Processing and GIS.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS.....	2
ENQUADRAMENTO DA ENTIDADE DE ACOLHIMENTO	3
I. AS INUNDAÇÕES EM MEIO URBANO	4
1.1 A expansão urbana e a rede de drenagem	4
1.2 As inundações urbanas na cidade de Lisboa.....	9
II. OS SIG E NOÇÕES CARTOGRÁFICAS.....	14
2.1 Espacialização do fenómeno de inundação	14
2.2 A homologação cartográfica - A informação geográfica na Câmara Municipal	16
2.3 Processamento Digital de Imagem – PDI	19
III. MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS – OPERACIONALIZAÇÃO DOS MODELOS SIG	24
3.1 Processamento Digital de Imagem – Extração de elementos cartográficos....	24
3.2 Modelo de Suscetibilidade a Inundação	29
3.2.1 Metainformação dos indicadores de suscetibilidade.....	29
3.2.2 Reclassificação e criação do Grau de Suscetibilidade a Inundação ..	30
3.2.3 Operacionalização do modelo de suscetibilidade	31
3.3 Modelo de Vulnerabilidade a Inundação	34
3.3.1 Indicadores de vulnerabilidade	34
3.3.2 Reclassificação da temática populacional.....	36
3.3.3 Reclassificação da temática infraestruturas	38
3.3.4 Reclassificação da temática cultural-patrimonial	41
3.3.5 Operacionalização do modelo de vulnerabilidade	42
IV. APLICAÇÃO DOS MODELOS EM ALCÂNTARA – ANÁLISE DOS RESULTADOS ENTRE CARTOGRAFIA HOMOLOGADA E EXTRAÍDA	45
4.1 Suscetibilidade a inundação em Alcântara.....	46
4.1.1 Carta de suscetibilidade a inundação.....	46
4.1.2 Caracterização das áreas suscetíveis a inundação	50
4.2 Vulnerabilidade a inundação em Alcântara	54
4.2.1 Carta de vulnerabilidade a inundação	54
4.2.2 Caracterização das áreas vulneráveis a inundação	59

V. EXTRAPOLAÇÃO DOS MODELOS PARA BEIROLAS – CARTOGRAFIA DE INUNDAÇÃO EM TERRITÓRIO SEM INFORMAÇÃO HOMOLOGADA	61
5.1 A suscetibilidade a inundações em Beirolos	62
5.2 A vulnerabilidade a inundações em Beirolos	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
BIBLIOGRAFIA.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modificação dos componentes do ciclo hidrológico.....	5
Figura 2 - Alteração da componente do escoamento superficial	6
Figura 3 - Perfil das <i>Ilhas de Calor</i>	7
Figura 4 - Modificação da dinâmica de drenagem da bacia hidrográfica	8
Figura 5 - Evolução da rede drenagem urbana	9
Figura 6 - Evolução do crescimento urbano na cidade de Lisboa	10
Figura 7 - Unidades de Relevo, Cidade de Lisboa.....	11
Figura 8 - 1ª Página do Diário Popular, cheias de 1967	12
Figura 9 - Cheias rápidas de 1967.....	13
Figura 10 - Informação de suscetibilidade e de vulnerabilidade geral	16
Figura 11 - Secções das Bases de dados de informação geográfica.....	18
Figura 12 - Composição de uma imagem monocromática.....	20
Figura 13 - Ortofotomapa da área de estudo Alcântara	25
Figura 14 - Ortofotomapa da área de estudo Beirilas.....	25
Figura 15 - Classificador máxima verossimilhança, aplicativo <i>Image Classification</i> (ArcGis)	26
Figura 16 - Exemplo de Amostra da Classe Rede Viária	27
Figura 17 - Erro espectral na classificação da rede viária	28
Figura 18 - Omissão de arruamento devido à existência das copas de árvores	28
Figura 19 - Criação de um modelo de geoprocessamento automatizado	31
Figura 20 - Fluxograma do modelo de suscetibilidade a inundação	33
Figura 21 - Fluxograma do modelo de vulnerabilidade a inundação	44
Figura 22 - Área de estudo - Alcântara	45
Figura 23 - Carta de Suscetibilidade para Alcântara - Informação Homologada	47
Figura 24 - Carta de Suscetibilidade para Alcântara - Informação Extraída.....	48
Figura 25 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade	49
Figura 26 - Zonas com suscetibilidade a inundação em Alcântara	51
Figura 27 - Percentagem de população afetada por classes de suscetibilidade.....	52
Figura 28 - Percentagem de população idosa afetada por classes de suscetibilidade ..	53
Figura 29 - Carta de Vulnerabilidade para Alcântara - Informação Homologada.....	55
Figura 30 - Carta de Vulnerabilidade para Alcântara - Informação extraída	56

Figura 31 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade	57
Figura 32 - Percentagem de população afetada por classes de vulnerabilidade.....	59
Figura 33 - Percentagem de população idosa afetada por classes de vulnerabilidade .	60
Figura 34 - Área de estudo – Beirolas.....	61
Figura 35 - Carta de Suscetibilidade para Beirolas	63
Figura 36 - Percentagem de população afetada por classes de suscetibilidade.....	64
Figura 37 - Percentagem de população idosa afetada por classes de suscetibilidade ..	65
Figura 38 - Carta de Vulnerabilidade para Beirolas.....	67
Figura 39 - Percentagem de população afetada por classes de vulnerabilidade.....	68
Figura 40 - Percentagem de população idosa afetada por classes de vulnerabilidade .	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Origem das várias tipologias de inundações	4
Tabela 2 - Secções da base de dados cartográficos da CML	18
Tabela 3 - Metainformação do ortofotomapa	24
Tabela 4 - Descrição das classes a classificar.....	26
Tabela 5 - Número de pixéis e percentagem das amostras por classe	27
Tabela 6 - Metainformação das variáveis do modelo de suscetibilidade a inundações .	30
Tabela 7 - Ponderação de importância por variáveis temática	32
Tabela 8 - Metainformação das variáveis da temática social	35
Tabela 9 - Metainformação das variáveis da temática infraestruturas	35
Tabela 10 - Metainformação das variáveis da temática cultural-patrimonial	36
Tabela 11 - Reclassificação da variável densidade populacional	37
Tabela 12 - Reclassificação da variável dependência de idosos	37
Tabela 13 - Reclassificação da variável dependência de jovens	38
Tabela 14 - Reclassificação da variável dependência total	38
Tabela 15 - Reclassificação da variável densidade de edificado	39
Tabela 16 - Reclassificação da variável edifícios sensíveis	39
Tabela 17 - Reclassificação da variável tráfego rodoviário	40
Tabela 18 - Reclassificação da variável edifícios de emergência	41

Tabela 19 - Reclassificação da variável densidade cultural-científico.....	41
Tabela 20 - Reclassificação da variável densidade de locais culturais e lazer.....	42
Tabela 21 - Reclassificação da variável densidade patrimonial	42
Tabela 22 - Ponderação de importância por variável e temática	43
Tabela 23 - Ocupação das classes de suscetibilidade a inundação	49
Tabela 24 - Taxa de variação dos resultados	50
Tabela 25 - Valor de exatidão entre dados homologados e extraídos.....	50
Tabela 26 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade em Alcântara ...	51
Tabela 27 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação	53
Tabela 28 - Ocupação das classes de vulnerabilidade a inundação	57
Tabela 29 - Taxa de variação dos resultados.....	58
Tabela 30 - Valor de exatidão entre dados homologados e extraídos.....	58
Tabela 31 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade em Alcântara ..	59
Tabela 32 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação	60
Tabela 33 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade em Beirolas.....	64
Tabela 34 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação	65
Tabela 35 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade em Beirolas.....	68
Tabela 36 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação	69

INTRODUÇÃO

O presente relatório de estágio intitula-se “Determinação da vulnerabilidade a inundações com base em cartografia vetorial e ortofotografia” e descreve o trabalho realizado na Câmara Municipal de Lisboa (CML), na Direção Municipal de Gestão Patrimonial (DMGP), no âmbito da componente não letiva do Mestrado em Gestão do Território com especialização em Deteção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa (FCSH-UNL).

O trabalho decorreu entre os meses de outubro de 2015 e março de 2016, com duração de 800 horas e teve a orientação do Professor Doutor Jorge Ricardo Ferreira, pela parte da faculdade, e da Dra. Cláudia Pinto pela entidade acolhedora.

No capítulo I e II do relatório apresenta-se o enquadramento da temática das inundações em meio urbano, evidenciando as suas origens, evolução e efeitos causados pela mesma assim como, as noções cartográficas inerentes à espacialização do fenómeno de inundação.

No capítulo III é discutida a execução prática dos modelos de dados geográficos, onde se aclaram as metodologias adotadas para a sua modelação espacial e a sua operacionalização.

Nos capítulos IV e V são apresentados os modelos criados para a área de estudo – Alcântara – e a extrapolação dos modelos geográficos para Beirolas.

Os procedimentos realizados no presente trabalho foram efetuados através do software ArcGis 10.3.1 por ser o sistema implementado na Autarquia. O tratamento de dados foi efetuado com base no software Excel 2013.

OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho consistem no desenvolvimento de modelos geográficos visando a produção de cartografia de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundações. Estes assentam numa análise do território a partir dos elementos da cartografia base e da extração de informação da ortofotocartografia, com recurso a processamento digital de imagem. Estes elementos encontram-se à escala 1:1000 e foram homologados pela Direção Geral do Território (DGT).

Os produtos obtidos a partir dos modelos irão incluir os Estudos de Caracterização inerentes ao processo de Revisão do Plano Diretor Municipal de Lisboa.

Neste contexto é importante salientar que para a execução do projeto é necessário seguir uma abordagem lógica e cronológica com objetivos específicos. Em primeiro lugar, para a construção do modelo automatizado da carta de suscetibilidade, é necessário a criação de variáveis de suscetibilidade, como indicadores geomorfológicos (topografia, declives, pontos de acumulação de água) e de ocupação do solo (edificado e rede viária), sendo assim possível diferenciar os locais com potencial de inundação, provendo a elaboração da carta de suscetibilidade a inundação.

Esta abordagem cronológica de objetivos, realça a importância do término de uma fase para o dar início à próxima. Através da conclusão do modelo de suscetibilidade é possível iniciar a construção do modelo geográfico de vulnerabilidade, que consiste na criação de uma base de dados de indicadores, que, por sua vez, é cruzada com o resultado da carta de suscetibilidade, originando o modelo automático resultante da análise espacial para a cartografia de vulnerabilidade a inundação. Por último, com o estágio na Divisão de Gestão Patrimonial da CML pretendo alargar os meus conhecimentos na área da gestão territorial, com a conquista de novos conhecimentos técnicos e científicos na temática da administração local e da área dos SIG.

ENQUADRAMENTO DA ENTIDADE DE ACOLHIMENTO

Como em todas as câmaras municipais do país, a CML, é um órgão executivo com responsabilidades nas áreas da organização, funcionamento, gestão financeira, planeamento e ordenamento do território, relação com outras entidades e entre outros deveres.

A autarquia organiza-se em vereações/pelouros divididos em direções municipais, sendo a Direção Municipal de Gestão Patrimonial, local onde se desenvolveu o estágio, responsável por:

- i) prestação de apoios para a construção de um modelo urbano assente na otimização da gestão;
- ii) definir linhas de orientação para a valorização patrimonial, com um modelo urbano equilibrado;
- iii) elaboração de estudos e projetos com o intuito de valorizar o património municipal;
- iv) introdução de processos de cedência de propriedades para o desenvolvimento municipal;
- v) assegurar a atualização da informação sobre a gestão patrimonial.

A orgânica da DMGP inclui cinco divisões: i) Divisão de Operações Patrimoniais (DOP); ii) Divisão de Gestão de Contratos (DGC); iii) Divisão de Valorização e Promoção (DVP); iv) Divisão de Notariado (DN) e v) Divisão de Cadastro (DC).

O planeamento e execução do presente projeto são desenvolvidos na Divisão de Cadastro, que tem como principais linhas orientadoras: i) suporte à consolidação do cadastro municipal; ii) recolha e processamento da informação alfanumérica e geográfica; iii) atualização da cartografia temática; iv) promover a evolução e atualização do cadastro municipal; v) assegurar os planos e projetos nas diferentes áreas sectoriais e territoriais e vi) promover o desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica, assegurando a disponibilização da informação.

I. AS INUNDAÇÕES EM MEIO URBANO

1.1 A expansão urbana e a rede de drenagem

No quotidiano é comum utilizar os conceitos de cheia e inundação como sinónimos, mas estes possuem significados diferentes. As cheias são fenómenos naturais extremos e temporais, resultantes de precipitações que, segundo Oliveira e Ramos (2002) e Ventura e Pereira (2004), conduz à subida do nível de um curso de água e ao seu trasbordo, originando inundações, que é caracterizado como a enchente de uma determinada área, devido à forte impermeabilização dos solos e à fraca capacidade de escoamento do sistema de drenagem. Em síntese, as inundações podem ser divididas em várias tipologias, originárias de distintas causas (Tabela 1).

Tabela 1 - Origem das várias tipologias de inundações

Tipologia de Inundação	Causas
Cheias	Cheias lentas dos grandes rios;
	Cheias rápidas dos rios e ribeiras de pequenas e médias bacias hidrográficas
Depressões Topográficas	Subida das águas subterrâneas em áreas topograficamente deprimidas
Costeira	Galgamentos oceânicos
Urbana	Sobrecarga dos sistemas de drenagem artificial nos meios urbanos

As inundações afetam várias áreas do planeta sendo as suas causas facilmente decifráveis. Estas podem dividir-se em dois grupos: i) fatores naturais, onde domina a precipitação, a configuração física do território, a desflorestação intensiva das florestas e o abandono das culturas agrícolas; ii) fatores antrópicos, como o ordenamento urbano caótico ocorrido nos últimos 50 anos, a colocação deficitária dos sistemas de drenagem e a rutura das barragens e caneiros (Pereira e Ventura, 2004 e Silva, 2006).

Na segunda metade do século XX, em todos os países desenvolvidos, assistiu-se à rápida expansão dos eixos urbanos, conduzindo ao aumento das áreas edificadas e transformação da paisagem, com a conseqüente alteração das condições de drenagem natural, devido à forte modificação dos solos através da sua impermeabilização

sistemática (Pereira e Ventura, 2004 e Marques, Delgado e Silva, 2012). Este fenómeno, em Portugal, concentrou-se na faixa litoral (Vila Real – Setúbal e faixa Algarvia), com destaque no eixo de Lisboa e Porto. Esta concentração resultou do desenvolvimento da economia, uma vez que, as cidades eram sinónimos de emprego e estabilidade financeira, potenciando “o desenvolvimento de extensos contínuos urbanos que contribuiram para a consolidação das áreas metropolitanas” (Marques, Delgado e Silva, 2012: 161).

O registo da forte pressão urbanística nos últimos 60 anos, segundo Tucci (1997), Pais e Moreira (2005), Bichança (2006), Vargas *et al.* (2008) e Sousa (2014), permitiu mudanças paisagísticas, mas, ainda mais importante, alterou significativamente o ciclo hidrológico natural, criando um ciclo hidrológico urbano, com uma nova dinâmica, função das alterações do uso do solo e a sua crescente impermeabilização (Sousa, 2014) (Figura 1).

A relação entre a infiltração e o escoamento superficial foi modificada com a diminuição da percentagem de infiltração o que promoveu um maior fluxo de escoamento das águas pluviais superficiais. Numa bacia hidrográfica urbana, segundo Bichança (2006), as áreas artificializadas podem variar entre os 10 e os 100%, onde: i) 10 a 30%, locais de baixa densidade residencial; ii) 30 e 60%, áreas com índice de densidade elevado e iii) 80 a 100%, correspondentes a locais com forte densidade residencial e comercial.

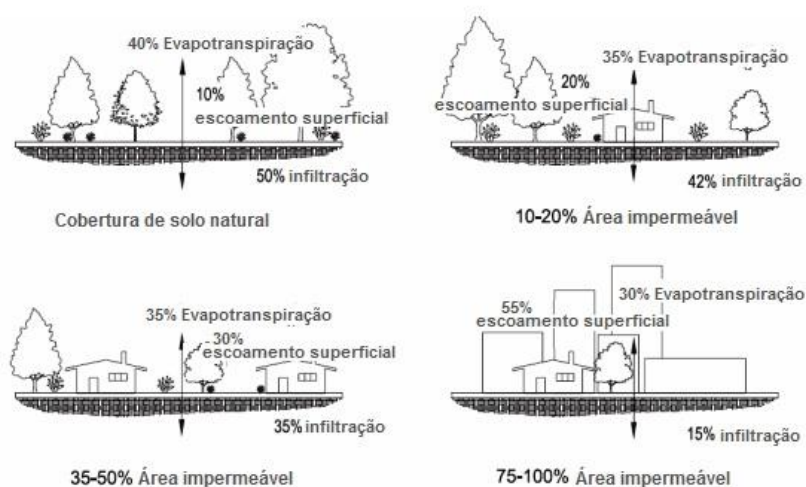


Figura 1 - Modificação dos componentes do ciclo hidrológico (Sousa, 2014)

A nova dinâmica dos fluxos à superfície aumenta a produção de resíduos e de transporte (erosão), resultante da escorrência superficial. Com a consequente impermeabilização dos solos e remoção dos cobertos naturais, a infiltração e a retenção são menores, logo alteram-se os fatores de resistência, concretizando maiores volumes de escoamento e conduzindo ao aumento da velocidade do fluxo (Figura 2), diminuindo, assim, o tempo de concentração, isto é, o período temporal para concluir a trajetória entre qualquer ponto e a foz da bacia hidrográfica.

Estas mudanças dos fluxos à superfície induzem inundações e fortes impactos nos meios urbanos, visíveis através de dois processos que podem ocorrer isoladamente ou combinados: i) inundações em áreas ribeirinhas e ii) inundações devido à impermeabilização dos solos.

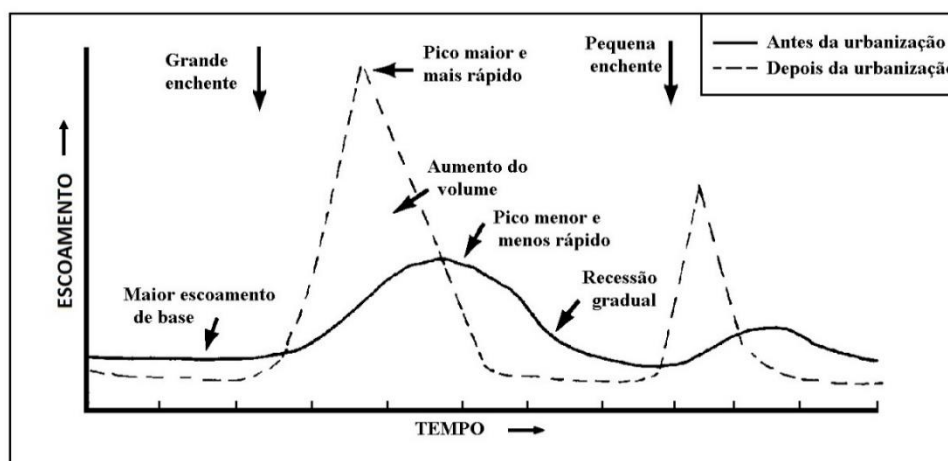


Figura 2 - Alteração da componente do escoamento superficial (Adaptado de Tucci, 1997)

As enchentes, como já referido anteriormente, devem-se essencialmente a fatores como a crescente impermeabilização devido à forte transformação dos solos e à constituição física do território, porém Tucci (1997) acrescenta que as próprias cidades podem influenciar diretamente a precipitação sentida. Nestas áreas impermeáveis grande parte da energia solar é absorvida, produzindo *ilhas de calor* no eixo central (Figura 3) dos centros urbanos. Este aumento de temperatura “cria condições de movimento de ar ascendente que pode criar aumento de precipitação” (Tucci, 1997: 8), sendo as chuvas intensas e de curta duração as mais críticas para estes meios. Estas

alterações na estrutura da precipitação podem possuir uma forte contribuição para o agravamento das inundações em meios urbanos.

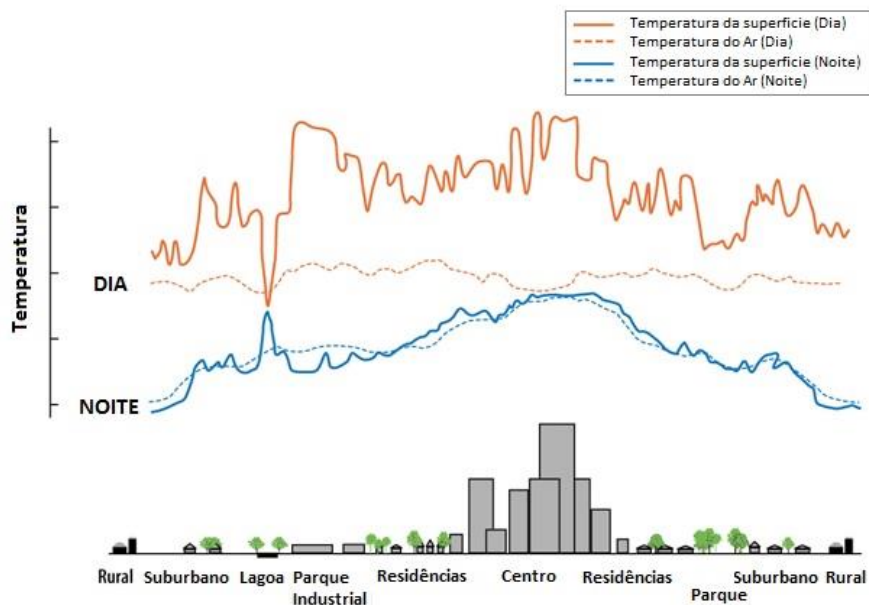


Figura 3 - Perfil das *Ilhas de Calor* (Adaptado)
 Fonte: Heat Island Reduction Program - EPA-US

Ao precipitar a água pode seguir dois caminhos: i) infiltração, abastecendo o lençol freático e ii) escoamento superficial. A delimitação dos percursos, quer por infiltração ou por escoamento ao longo da bacia hidrográfica, é diversificada com grande interação de fenômenos naturais e antrópicos (Bichanço, 2006). Para calcular a quantidade de água que segue o caminho da escoamento superficial é necessário estabelecer a diferença entre a quantidade precipitada e as perdas da mesma por intercepção, retenção e infiltração.

$$ES = QP - \sum (Int + Re + Inf)$$

ES (escoamento superficial); QP (quantidade água precipitada); Int (Intercepção); Re (Retenção);
 Inf (infiltração)

A quantidade de água precipitada perdida por intercepção é aquela que não chega ao solo, uma vez que, é interceptada pela vegetação e construções. A retenção refere-se à quantidade de água que atinge o solo, porém fica bloqueada em várias áreas

do território, que vai desde pequenas poças a lagos, sendo considerada perdida, uma vez que, fica confinada aos efeitos da evaporação. As perdas por infiltração reforçam as linhas de água subterrânea, sendo a que maior representa as perdas entre a quantidade de água precipitada e a quantidade escoada ao longo da superfície.

A escorrência superficial das águas pluviais surge quando a capacidade de interceção, infiltração e retenção é ultrapassada, originando fluxos de água ao longo das encostas das bacias hidrográficas, sendo esta a principal razão para o surgimento das inundações em meio urbano. As fortes impermeabilizações dos solos transformaram as dinâmicas de drenagem originais (Figura 4) (Bichança, 2006).

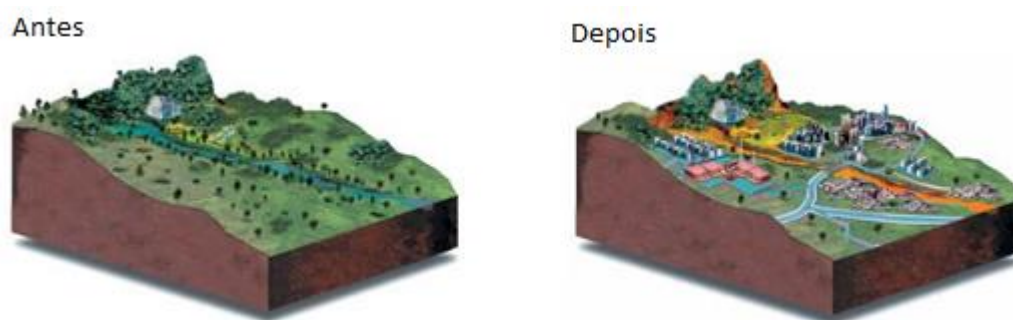


Figura 4 - Modificação da dinâmica de drenagem da bacia hidrográfica (Adaptado de Bichança, 2006)

O rápido crescimento das cidades registado a partir da revolução industrial, modificou a estrutura natural de drenagem das bacias hidrográficas. Nos meados do século XIX são concebidos mecanismos com o intuito de drenar as águas em espaço urbano para fora desta, sendo nesta altura desenvolvido o sistema de drenagem urbano através do uso de um coletor (Sousa, 2014).

Os sistemas de drenagem urbana têm como objetivo a proteção dos cidadãos em três aspetos essenciais: i) proteção contra inundações; ii) proteção contra doenças e iii) proteção do ambiente e ecossistemas (este último caso tem a sua origem bastante recente).

A ocorrência de cheias em espaço urbano, “prende-se com a expansão urbana para a periferia de zonas mais antigas” (Sousa, 2014: 9). Os coletores construídos nestas zonas estavam feitos para caudais não urbanizados a montante (Figura 5), onde havia

maior capacidade de infiltração, retenção e intercepção, e não previram esse aumento de caudal, criando o antagonismo da rede de drenagem, uma vez que, potenciou o efeito que inicialmente pretendia minimizar.

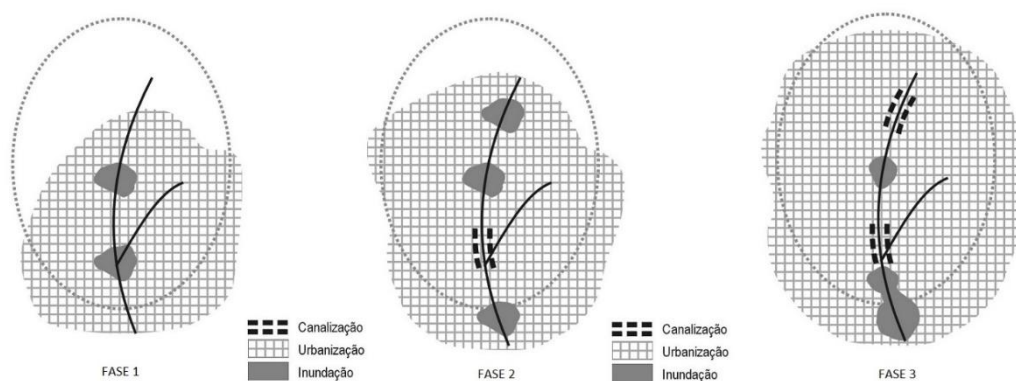


Figura 5 - Evolução da rede drenagem urbana (Adaptado de Vargas *et al.*, 2008)

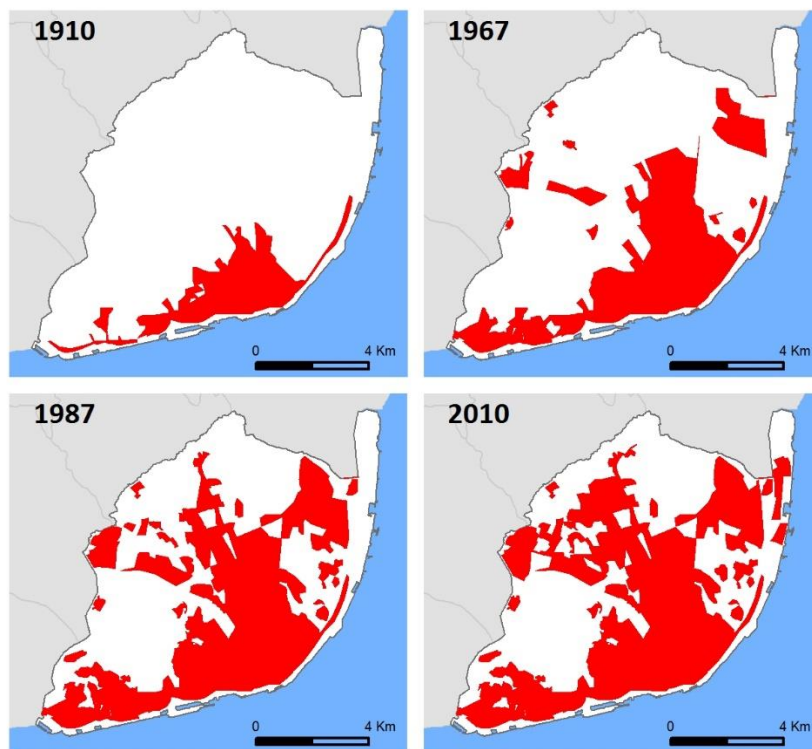
Pela análise do esquema verifica-se que quando a urbanização é iniciada num dado local, este já evidencia pontos de inundação. A crescente urbanização a montante, identificada na fase 2, acrescenta a probabilidade de cheias a jusante da bacia. Este avanço do processo de impermeabilização e conseqüente aumento das canalizações comprometem as mesmas, uma vez que, amplia os fluxos pluviais. Na última fase, continua a verificar-se uma crescente artificialização dos solos, implicando maiores percentagens de escorrência superficial, originando mais inundações e agravando as que já, anteriormente, persistiam (Vargas *et al.*, 2008). O cenário apresentado pouco se alterou na realidade, apesar do desenvolvimento dos coletores separativos (coletores doméstico e pluvial). Estes visavam a diminuição de escorrência superficial, mas possuem a particularidade de “ser ligados aos sistemas pré-existentes, que por vezes não têm alternativas a não ser a ligação aos coletores unitários a jusante, tornando inviável a instalação do sistema separativo” (Sousa, 2014: 8).

1.2 As inundações urbanas na cidade de Lisboa

Ao longo dos últimos 60 anos, por toda a região, ocorreu uma grande expansão urbana que devido a um ordenamento do território ineficaz agravou o potencial a

inundações. A cidade é frágil, não apenas pelas suas características geográficas – aumento da escorrência superficial – mas também pela conjugação urbana que a cidade apresenta (Pais e Moreira, 2005).

A cidade, desde os anos 60 e 70 (Figura 6), apresenta-se como um território artificializado, resultante de inúmeras alterações morfológicas que conduziram à impermeabilização dos solos e canalização das linhas de água: “os dois buracos abertos (caneiro de Alcântara) lado-a-lado num mar de terra lamacenta, bem podiam ser as narinas por onde respira agora a ribeira de Alcântara. Ou melhor, o caneiro de Alcântara. Porque afinal, as suas águas turvas e o cheiro nauseabundo são apenas a amostra de uma ribeira que no século XVI era tão larga que permitia a navegação” (Costa 2000, in Pais e Moreira, 2005: 2).



Cartografia: GOMES, Eduardo - Nov/2015

Figura 6 - Evolução do crescimento urbano na cidade de Lisboa

Segundo Oliveira e Ramos (2002), a cidade pode ser caracterizada pela existência de três unidades de relevo (Figura 7): i) área planáltica; ii) área acidentada e iii) frente ribeirinha.

A primeira, abrangendo todo o centro, noroeste e nordeste de Lisboa, varia entre os 80 metros e os 100 metros de altitude.

A área acidentada pode-se agrupar em três divisões: i) vertente oriental da Serra de Monsanto; ii) Costa da Luz – Bairro da Cortegaça e iii) frente ribeirinha (que realiza a ligação entre a área planáltica e a frente ribeirinha).

A terceira unidade de relevo, frente ribeirinha, é uma faixa plana, resultantes dos inúmeros aterros realizados para conquista de território ao Rio, localizado entre o Tejo e a curva de nível dos 5 metros, podendo em alguns locais ir até aos 10 metros.

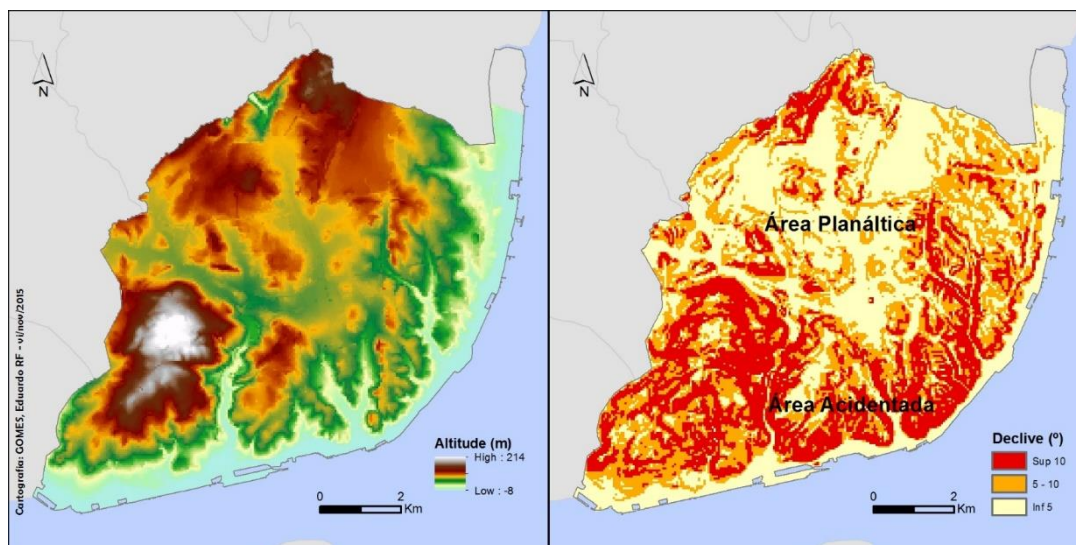


Figura 7 - Unidades de Relevo, Cidade de Lisboa (Adaptação Oliveira e Ramos 2002)

Embora não existam cursos de água à superfície em Lisboa, a antiga rede de drenagem natural é importante, uma vez que, os talvegues ainda estão preservados o que define as áreas deprimidas onde o escoamento será concentrado. As bacias hidrográficas que escoam na cidade contabilizam um tempo de concentração diminuta, ou seja, quando o território lisboeta é atingido por chuvas intensas origina cheias rápidas provocando danos materiais e económicos e, nos casos mais graves, pode revelar-se mortífero como nos anos de 1967 e 1983.

Com as inundações do dia 25 de novembro de 1967, foi considerada fundamental a necessidade da limpeza dos leitos de cheia, mas foi apenas com as cheias de 19 de novembro de 1983 que se comprovou as vulnerabilidades que a cidade e toda a região de Lisboa possuem. É, por esta via, formalizado o grupo de trabalho, na extinta Direcção-Geral do Ordenamento do Território, com o objetivo de demonstrar quais as causas e efeitos das cheias. Neste projeto foram apontadas como principais causas a ocupação

dos leitos de cheia e aumento da edificação – impermeabilização. Como medidas o grupo de trabalho indigitou a realização de obras estruturais para a defesa e regularização das bacias hidrográficas e o aconselhamento para impedir construções nas áreas contíguas aos leitos (Pereira e Ventura, 2004).

Nas inundações de 1983 a contagem do número de mortos rondou a ordem das dezenas, em comparação com os valores aproximados de 400 mortos no fenómeno de 1967 (Figura 8), cuja diferença, segundo Costa (1986), reside na remoção dos bairros clandestinos, exclusão de barreiras ao escoamento e à própria memória dos habitantes (cheias de 1967) o que permitiu maior capacidade de sobrevivência.



Figura 8 - 1ª Página do Diário Popular, cheias de 1967
Fonte: Diário Popular, 26 de novembro de 1967, ano 26, nº9021

Segundo o jornal *A Capital*¹ as principais causas dos fenómenos das inundações que a cidade auffer resultam da construção de aterros, habitação e fábricas em leitos de cheia, promovida pela política de desenvolvimento económico da cidade. A Resolução do Conselho de Ministros 21/84 reitera que as constantes alterações realizadas na rede de drenagem de Lisboa modificaram o normal funcionamento que as bacias hidrográficas deveriam usufruir. É neste âmbito, que em Lisboa, com o intuito e

¹ Artigo de Gonçalo Ribeiro Teles a 28-2-1984 (in Costa, 1986: 602)

necessidade de melhorar as condições em que a água escoava pela cidade, são efetuadas defesas contra inundações, com forte implementação na limpeza e desobstrução das linhas de água, na correção dos estrangulamentos em áreas críticas e na construção de proteções nas marginais (Ventura e Pereira: 2004).

Os acontecimentos verificados em 1967 e 1983 formaram-se em poucas horas, com uma rápida subida do nível das águas que apanhou as populações de Lisboa e da sua periferia desprotegidas.

Ao fim de algumas horas de chuva intensa, o terreno permeável e capaz de infiltração, que em Lisboa é diminuto, ficou alagado originando o colapsar do equilíbrio natural (Costa, 1986). Em 1967, ao fim de sete horas de chuva intensa e ininterrupta, os terrenos estavam fortemente fustigados e ensopados, o que originou uma escorrência superficial com grande velocidade, formando uma ponta de cheia (Figura 9).



Figura 9 - Cheias rápidas de 1967, Lisboa
Fonte: Revista Flama, 1 de dezembro de 1967, ano 27, nº1031

Segundo Costa (1986), as graves inundações verificadas em Lisboa no decorrer de 1967 e 1983 poderão repetir-se, mas com um período de retorno, ou seja, duração que um determinado fenómeno poderá novamente acontecer, entre os 100 e os 500 anos, visto que as precipitações geradas nestes anos foram excepcionais. Porém é necessário, refletir acerca do avanço da urbanização, que está a contribuir para o aumento dos fenómenos de inundações em meios urbanos.

II. OS SIG E NOÇÕES CARTOGRÁFICAS

2.1 Espacialização do fenómeno de inundação

A evolução sistemática dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), ocorrida ao longo dos últimos anos, permitiu revelar que as ferramentas de geoprocessamento e de modelação espacial são eficazes na identificação de diversas temáticas, essenciais à gestão e planeamento do território.

Os SIG efetuam o tratamento de informação geográfica a partir de sistemas computacionais que, segundo Câmara *et al.* (2004), se repartem em cinco componentes: i) interface; ii) entrada dos dados; iii) processamento gráfico; iv) visualização e v) armazenamento em banco de dados geográficos.

A compreensão e a distribuição espacial dos dados geográficos provenientes de qualquer acontecimento no território são atualmente vistas como um dos grandes desafios em diversos âmbitos do conhecimento (Câmara *et al.*, 2004). Segundo Silveira *et al.* (2013), as operações matemáticas realizadas em cartografia são o conjunto de procedimentos de análise espacial que produz novas informações a partir da conjugação de dois ou mais níveis de informação geográfica.

A análise espacial permite a visualização territorial de diversas variáveis, tais como, população, economia, infraestruturas, fenómenos naturais, entre outros, sendo apenas necessário a construção de uma base de dados a partir da qual os SIG extraem e apresentam informação que não era visível em primeira instância. O objetivo da análise espacial é avaliar o relacionamento existente entre variáveis, onde o fator território é essencial ao estudo desenvolvido (Câmara *et al.*, 2004).

Um dos primeiros estudos visando o cruzamento de variáveis e o espaço geográfico, foi desenvolvido por John Snow no Séc. XIX. Datava o ano de 1854 e em Londres manifestava-se uma epidemia de cólera. O autor, através de análise espacial, conseguiu relacionar a localização dos óbitos com os pontos de abastecimento de água.

Através da análise espacial, é possível caracterizar o território segundo a ocorrência de determinado fenómeno, e a partir do cruzamento de informação geográfica pré-existente produz-se nova informação e, posteriormente, tratamento e visualização dessa mesma informação.

No caso do fenómeno de inundação, a cartografia dinâmica constitui um instrumento fulcral na prevenção, controle e gestão (Hora e Gomes, 2009), uma vez que, dispõe de informação eficaz para estabelecer prioridades técnicas, financeiras e políticas (Diretiva 2007/60/CE). O fornecimento de informação ao poder político deve fomentar a procura de medidas de mitigação e prevenir as situações de risco encontradas na cartografia de inundação. Este fenómeno pode materializar-se em duas cartas: i) Carta de Suscetibilidade a Inundação e ii) Carta de Vulnerabilidade a Inundação.

Suscetibilidade a inundação, segundo Merz *et al.* (2007), Hora e Gomes (2009) e Andrade *et al.* (2012),   entendido como a probabilidade de ocorrência do fenómeno. As áreas suscetíveis a inundação são territórios, que através das suas características físicas, possuem capacidade para gerar e favorecer o aparecimento do fenómeno de inundação. Esta análise probabilística   realizada através de “questões como a topografia, a posição dos cursos de água e as suas características hidrológicas e geomorfológicas” (Diretiva 2007/60/CE). O mapeamento do espaço geográfico com suscetibilidade a inundação resulta do cruzamento de informação geográfica assente em dois componentes:

- i) Fatores naturais – topografia, declive, orientação das linhas de água, geomorfologia;
- ii) Fatores Antrópicos – ocupação do solo (Hora e Gomes, 2009).

A cartografia de suscetibilidade procura “expressar a probabilidade de ocorrência dos fen menos de inundação” (Andrade *et al.*, 2012:31) no território, com foco na intera o e conjugação, a partir de análise espacial, de variáveis naturais e de ocupação do solo.

A vulnerabilidade, segundo Hora e Gomes (2009), Andrade *et al.* (2012) e Lee (2014), baseia-se na análise do território que   afetado caso ocorra uma inundação, tendo em conta a população afetada, atividades econ micas, ambiente e patrim nio cultural. Esta vulnerabilidade social ou geral   a capacidade de resposta, por parte do território, aos acontecimentos de mudança e de desastre, sendo um conhecimento essencial para a mitigação dos mesmos, promovendo igualmente o aumento da capacidade de resiliência do território (Kienberger, 2012).

A análise da vulnerabilidade geral exhibe carácter multidisciplinar, com interação entre as ciências naturais, sociais e engenharias, onde para conhecer o potencial ao perigo são utilizadas ferramentas e tecnologias geoespaciais (Cutter, 2011). Segundo Cutter (2011) e Lee (2014), a conjugação entre a cartografia de suscetibilidade e de vulnerabilidade geral (Figura 10), recorrendo à análise espacial, confeciona a paisagem cartográfica dos espaços geográficos que contemplam a vulnerabilidade ao fenómeno, neste caso, de inundação, uma vez que, “o mesmo acontecimento pode produzir impactos muito diferentes nas zonas envolventes” (Cutter, 2011:61).

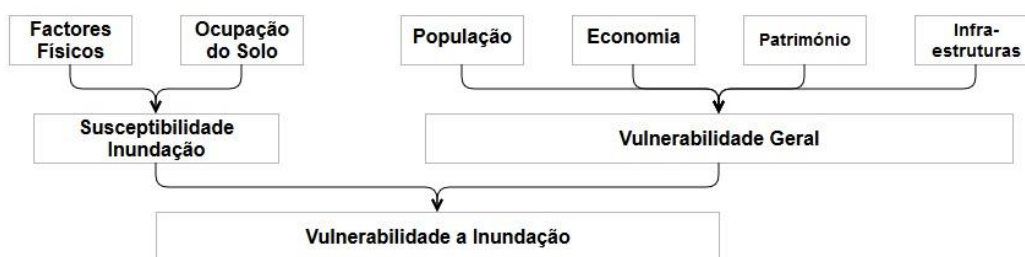


Figura 10 - Conjugação de informação de suscetibilidade e de vulnerabilidade geral

2.2 A homologação cartográfica - A informação geográfica na Câmara Municipal

Atualmente a aquisição, armazenamento, processamento, distribuição e divulgação da informação possuem um papel fundamental na atividade económica e na qualidade de vida. A informação geográfica oferece maior conhecimento do território, sendo indispensável para a sua resiliência, valorização e desenvolvimento, sendo um suporte incontornável no apoio à tomada de decisão.

Neste contexto, a homologação cartográfica é um processo que verifica, por amostragem, o respeito pelas normas e especificações técnicas. Este processo é requerido à Direcção-Geral do Território (DGT) que “responderá à solicitação com indicação dos custos e prazos estimados, bem como a relação dos elementos que deverão ser entregues para o efeito do processo de homologação” (Pinto, 2012:26).

O processo de homologação da informação geográfica foi publicado em 1995 através do Decreto-lei 193/95 de 28 julho, que teve posteriores alterações com o Decreto-lei 202/2007 de 25 maio e, por último, o Decreto-lei 84/2011 de 20 junho.

No DL 193/95, a cartografia é intitulada como um instrumento indispensável, onde se deve respeitar as normas atribuídas. Para essa verificação foi criado o Conselho Coordenador de Cartografia, já extinto, órgão responsável pela coordenação dos organismos e serviços públicos legalmente competentes para a produção cartográfica. Para validar e homologar a cartografia, a mesma deve ser verificada e obedecer aos “padrões técnicos considerados adequados para o tipo de cartografia em causa” (DL 193/95, Art.15º, ponto 4).

Com o DL 202/2007 é reconhecida a necessidade de promover a simplificação e desburocratização dos procedimentos, como forma de promover a competitividade das empresas – Programa SIMPLEX. Este programa visava a simplificação administrativa e legislativa com o intuito de tornar mais fácil a coordenação dos cidadãos e empresas com a administração pública. Com este diploma é eliminado o sistema de controlo administrativo prévio para o licenciamento das empresas, tendo sido substituído por um sistema onde é necessário apenas uma declaração do exercício da atividade de produção cartográfica.

No DL 84/2011 são introduzidas reformas com o intuito de aumentar a desburocratização e tornar os procedimentos mais acelerados e com um acesso mais rápido ao exercício da atividade. Neste diploma um dos principais objetivos é o aumento da transparência e da informação para os cidadãos, com o objetivo de proporcionar maior oferta, diversificação e melhor qualidade.

Na validação da cartografia, a comparação entre os dados e a realidade do território deve cumprir dois parâmetros: i) Completude, onde os erros de omissão e excesso devem ser inferiores a 5%; e ii) Classificação, onde os erros da classificação devem ser inferiores a 5%. Esta homologação dos dados geográficos, garante a qualidade dos produtos cartográficos para a utilização dos mesmos em serviços públicos (Pinto, 2012).

A Câmara Municipal de Lisboa (CML), no âmbito do Concurso Público Internacional para a Aquisição de Cartografia Numérica Vetorial e Ortofotocartografia à escala 1:1000 para o Concelho de Lisboa, lançado em 2010, dividiu a cidade em quatro lotes (Figura 11): a) Alcântara e Prazeres; b) Belém e Ajuda; c) Monsanto, Avenidas Novas, Benfica e Aeroporto; d) Parque das Nações e Baixa Pombalina (Tabela 2).

Tabela 2 - Secções da Base de dados cartográficos da CML

Secção	Área (ha)	%
A	1145	12.83
B	774	8.67
C	4161	46.61
D	2847	31.89

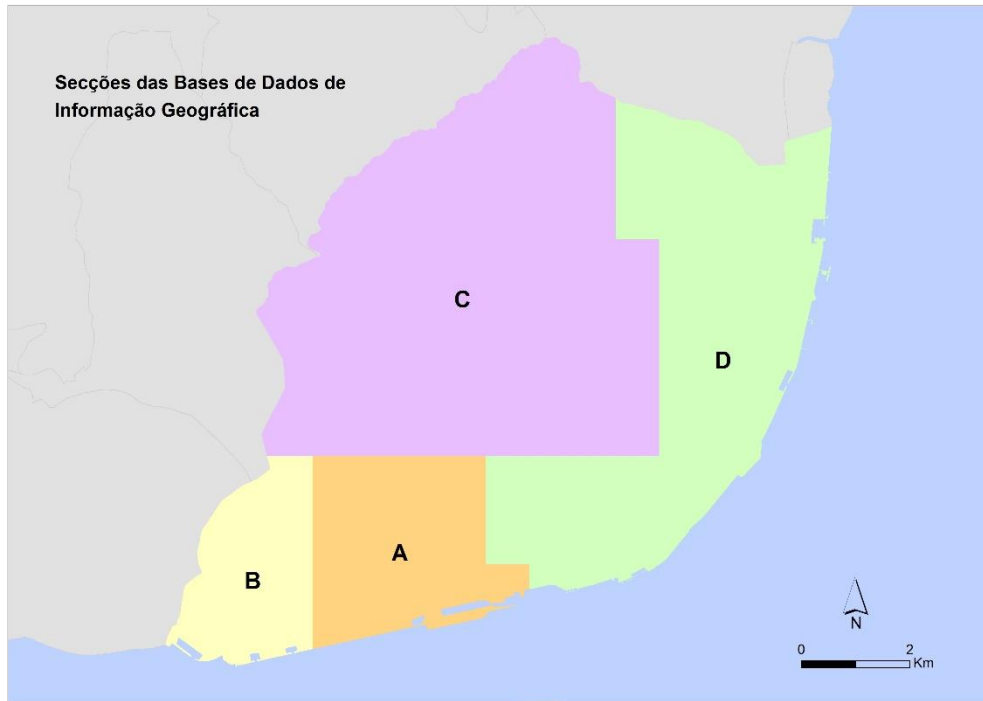


Figura 11 - Secções das Bases de dados de informação geográfica

Porém a cartografia atualizada, adquirida pela CML em 2013 e homologada pela DGT em 2014, apenas abrange o território entre Algés e Cais do Sodré (Secção A e B) o que corresponde a cerca de 21,5% do território municipal, sendo necessário a criação de mecanismos com o intuito de proceder à elaboração de cartografia do fenómeno de inundação para o restante território, que presentemente não possui cartografia homologada. O desenvolvimento destes mecanismos pressupõe a criação de um modelo de extração automática de elementos cartográficos base, a partir de ortofotomapas com processamento digital e imagem (PDI), com a respetiva análise de erro entre cartografia automática e homologada. A finalidade é perceber a fiabilidade do uso da técnica de deteção remota para a construção de cartografia do fenómeno de inundação.

2.3 Processamento Digital de Imagem – PDI

O processamento digital de imagem possui uma grande importância no ordenamento do território, uma vez que, é um suporte essencial nas tomadas de decisão. O PDI “tem como principal objetivo a extração das informações contidas nas imagens” (Meneses e Almeida, 2012:191), permitindo a constante atualização da ocupação do solo com o intuito de fomentar a melhoria dos sistemas de informação.

A evolução tecnológica permite-nos “um melhor visionamento da informação da superfície terrestre” (Gabriel, 2013:2) melhorando o uso das imagens de satélite para a gestão do território. O resultado final da classificação de uma imagem de satélite, a partir de processamento digital de imagem, é um mapa constituído por polígonos, resultante da união de píxeis classificados, sendo vista como “um processo estatístico e probabilístico que tenta ao máximo aproximar o mapa digital à realidade” (Meneses e Almeida, 2012:193).

O processamento digital de imagem deve ser entendido “como a análise e a manipulação de imagens por computador” (Alvarenga et al., 2005:3961) com o objetivo de identificar e extrair elementos a partir das informações da imagem, removendo as barreiras do sistema visual humano e facilitando a leitura das mesmas. Extrair informação de uma imagem é complexo, sendo necessário seguir várias etapas:

- i) Aquisição da imagem – Escolher tipo de sensor, condições de iluminação, a resolução da imagem.
- ii) Pré-tratamento – Melhoramento da imagem, com a avaliação da possível presença de píxeis com contraste e/ou brilho inadequado.
- iii) Regiões de Interesse ou Segmentação – Divisão da imagem em unidades homogêneas, ou seja, criação de classes.
- iv) Classificação – Extração das características da imagem, resultante da criação das regiões de interesse.
- v) Análise dos Resultados – validar ou reiniciar o processo.

A imagem é caracterizada pela série de valores provenientes da resposta de um determinado sensor, sendo necessário interpretar esses mesmos valores com o intuito de a transformar em informação útil. Uma imagem monocromática é uma função bidimensional $f(x,y)$, onde f é o valor do pixel da imagem na coordenada x e y (Figura 12).

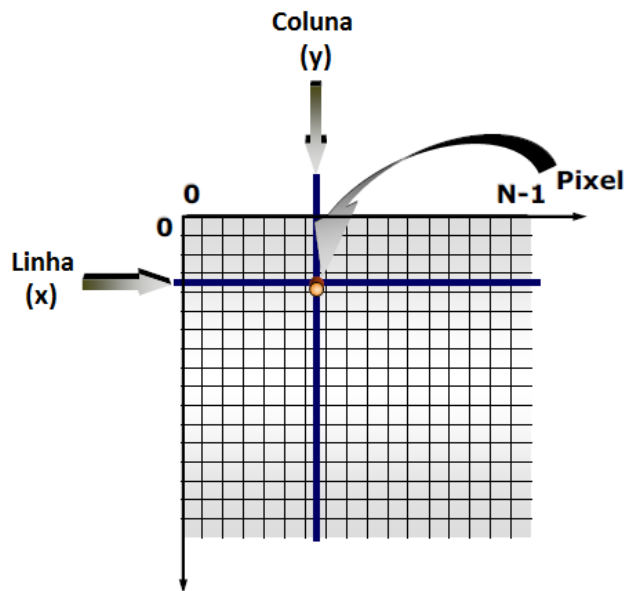


Figura 12 - Composição de uma imagem monocromática
(Adaptado de Queiroz e Gomes, 2001)

Quando abordamos uma imagem com composição colorida, por exemplo no sistema RGB, assume-se que o valor do pixel é representado pela intensidade de vermelho (R = Red), verde (G = Green) e azul (B = Blue). A função do cálculo do valor do pixel é constituída por:

$$f(x,y) = fR(x,y) + fG(x,y) + fB(x,y)$$

Onde o valor do pixel da imagem de composição colorida ($f(x,y)$) é a soma dos valores do pixel, numa determinada coordenada, das três imagens monocromática.

Na análise de uma imagem é importante conseguir extrair informação por meios automatizados, e a constante evolução da informática “tem estimulado o aparecimento de muitas técnicas de processamento de imagens digitais” (Alvarenga et al., 2005:3961) constituindo dúvidas na escolha do algoritmo que melhor classifique a imagem. Este

assenta em dois grandes grupos: i) Classificação Não Supervisionada e ii) Classificação Supervisionada.

A classificação não supervisionada realiza um agrupamento de pixels, de forma automática em grupos espectrais e a partir de dados disponíveis identifica o número de classes com algoritmos estatísticos. Este método não necessita de qualquer envolvimento por parte do analista, onde este apenas atua na parte final da classificação, ou seja, na associação das classes geradas ao seu significado. As classificações não supervisionadas são automatizadas onde “apenas permite ao analista especificar alguns parâmetros que o computador irá usar para descobrir padrões que são inerentes aos dados” (Meneses e Almeida, 2012:195). Este método essencialmente utiliza a conjugação de pixels com similaridade espectral, ou seja, reúne dados considerados espectralmente homogêneos, com a existência de dois algoritmos principais: i) Isodata e ii) K-mean.

O Isodata utiliza a distância espectral para efectuar a classificação da imagem, sendo uma operação realizada em três etapas. Em primeiro lugar é executada uma classificação iterativa aos pixels, em seguida são restabelecidos os critérios para as classes e por último a reclassificação da imagem até que os padrões da distância espectral sejam aceites (Meneses e Almeida, 2012). Os pixels da imagem são associados à classe que contenha “a distância mais curta ao centro de cada classe” (Gabriel, 2013:16). Este método é essencial para descobrir agrupamentos espectrais de uma imagem, porém possui desvantagens como: repetição de processos ocupando tempo; o número pré-definido de classes pelo analista pode não ser suficiente; processos lentos até atingir o melhor agrupamento das classes.

O K-mean utiliza os mesmos processos que o Isodata, porém introduz a avaliação de qualidade das classes, com o intuito de minimizar “a variabilidade interna do agrupamento que é dimensionada pela função soma das distâncias ao quadrado entre cada pixel e o centro ao qual é alocada” (Meneses e Almeida, 2012:197), ou seja, o K-mean classifica as imagens segundo a distância euclidiana entre dois pixels (Gabriel, 2013).

A classificação supervisionada é controlada desde o início do processo até ao fim pelo analista. Neste método o processamento de imagem tem início na atribuição das

regiões de treino, sendo “amostras na imagem, contendo poucas centenas de pixels que sejam bem representativas” (Meneses e Almeida, 2012:198) da classe que o analista pretende classificar. Desta forma a classificação é controlada pelo operador, que supervisiona a criação das classes (Gabriel, 2013), não possuindo limitações no número de classes a produzir. Segundo Gabriel (2013), as classificações por métodos supervisionados seguem uma lógica de três etapas:

- i) Atribuição de áreas de treino (Regiões de treino / Amostras na imagem);
- ii) Classificação, onde cada pixel será alocado à classe com maior semelhança espectral;
- iii) Produção de cartografia temática com os resultados gerados.

Na classificação supervisionada existem diversos métodos, sendo os algoritmos mais utilizados: i) Paralelepípedo; ii) Mínima-Distância e iii) Máxima Verossimilhança.

Na classificação supervisionada, segundo o método do paralelepípedo, os valores amostrais dos pixels são calculados segundo um limite superior e um limite inferior, sendo que na classificação o pixel que possui um valor entre estes limites fica nessa classe. No caso da existência de um pixel que possa ficar associado a duas ou mais classes, este método assume que o pixel fica alocado à primeira classe, porém na existência de pixels sem alocação a nenhuma classe, estes ficam encaixados e rotulados de pixels não-classificados (Meneses e Almeida, 2012). Com este método é aconselhado “o uso de um maior número de bandas porque isso ajuda a aumentar a separabilidade das áreas de treino das classes” (Meneses e Almeida, 2012:200).

O método da mínima-distância agrupa os pixels a partir do cálculo da distância euclidiana, onde cada pixel é colocado na classe com a média mais próxima, ou seja, à classe que apresente menor distância euclidiana. Isto significa que todos os pixels encontram uma classe, não contribuindo para o surgimento de pixels não-classificados, no entanto cria uma desvantagem, sendo que os pixels que não se encontram espectralmente inseridas em qualquer amostra de treino, serão agrupadas em qualquer classe.

O classificador por máxima verossimilhança calcula a distância das médias dos pixels das classes, com o uso de parâmetros estatísticos. Este é o classificador mais

eficiente, visto que as amostras de treino são utilizadas com o intuito de “estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe” (Meneses e Almeida, 2012:202). A utilização deste classificador requer que as regiões de interesse possuam uma amostragem com grande quantidade de pixels e com a recomendação de que cada amostra possua o número de pixels distribuídos de igual forma, uma vez que, é um método estatístico e probabilístico e assim ajuda na classificação final da imagem.

III. MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS – OPERACIONALIZAÇÃO DOS MODELOS SIG

No presente capítulo são expostas todas as metodologias adotadas no decorrer do estágio para a execução da cartografia temática de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundações. Com o intuito de promover uma maior organização do trabalho efetuado e ir de encontro a infraestrutura SIG disponível na CML, todo o projeto foi desenvolvido com o uso do software *ArcGis* com o uso de modelos automatizados sobre a aplicação *Model Builder*.

Com o decorrer do projeto todas as informações geográficas foram organizadas numa estrutura de bases de dados (geodatabase), sendo importante referir que, por limitações de armazenamento nem toda a informação gerada foi armazenada na mesma base de dados.

3.1 Processamento Digital de Imagem – Extração de elementos cartográficos

O processamento digital de imagem, já analisado anteriormente, é a capacidade de manipular as imagens com o objetivo de extrair informação.

Para a execução do projeto foi utilizado a ortofotocartografia disponível na CML (Tabela 3) e foram selecionadas duas áreas de estudo: i) Alcântara (Figura 13) e ii) Beirolas (Figura 14).

Tabela 3 – Metainformação do ortofotomapa

Ano	2013 (imagem) / 2014 (homologação)
Formato Imagem	GeoTiff
Resolução Espacial	8 Cm
Resolução Radiométrica	11 Bits
Número Colunas	33637 (Alcântara) / 58907 (Beirolas)
Número Linhas	40964 (Alcântara) / 41124 (Beirolas)
Número de Pixéis	1377906068 (Alcântara) / 2422491468 (Beirolas)
Fonte	Câmara Municipal de Lisboa



Figura 13 - Ortofotomapa da área de estudo Alcântara

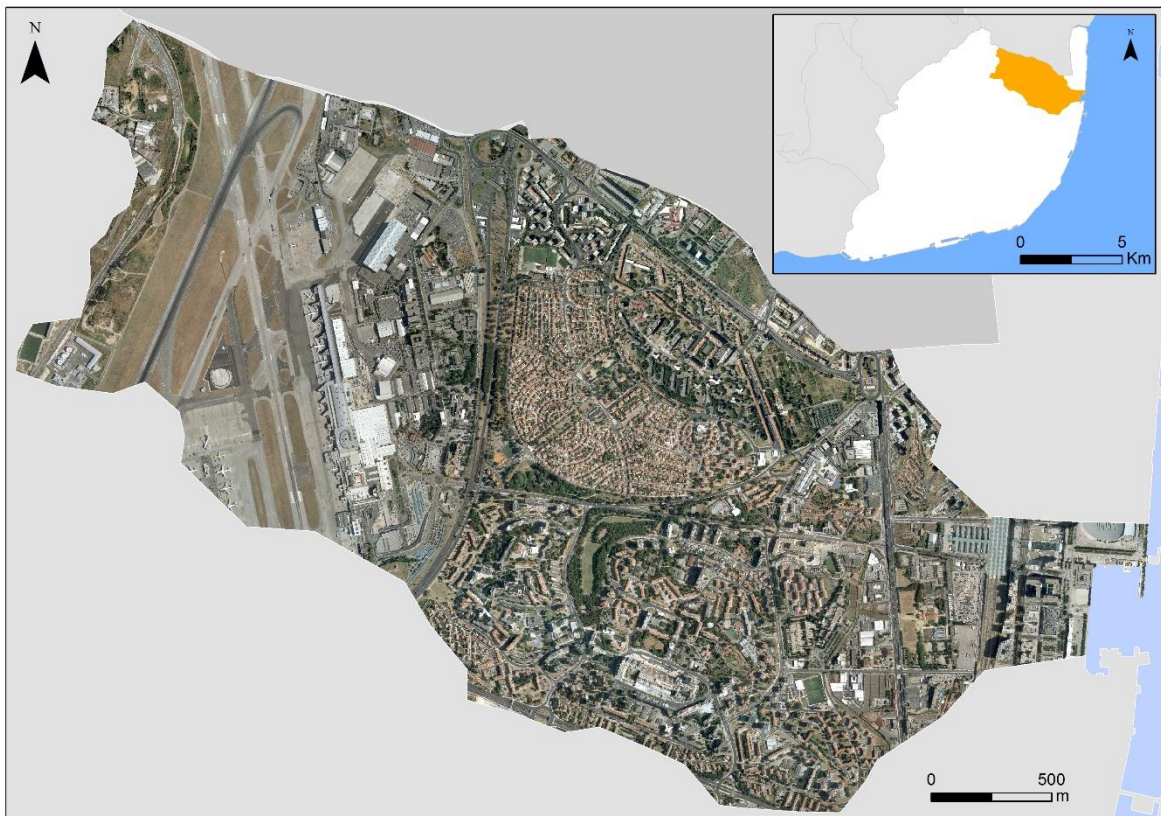


Figura 14 - Ortofotomapa da área de estudo Beirolas

Para a prossecução dos objetivos propostos foi necessário extrair dos ortofotomapas o edificado e a rede viária. Esta extração de elementos cartográficos foi realizada através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança, uma vez que, é o classificador mais eficiente, como anteriormente já foi descrito, calcula a distância das médias dos pixéis com o apoio em parâmetros estatísticos.

A classificação do ortofotomapa foi efetuada a partir do aplicativo *Image Classification* (Figura 15) do *ArcGis*, que necessita da criação de um ficheiro de amostras (*signature file*) das várias classes a classificar (Tabela 4).

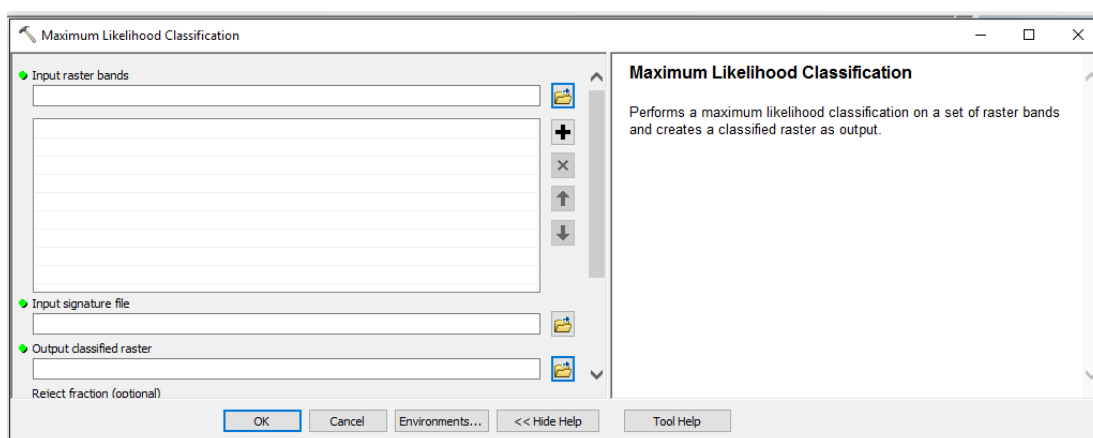


Figura 15 - Classificador máxima verossimilhança, aplicativo *Image Classification* (ArcGis)

Tabela 4 - Descrição das classes a classificar

Classe	Descrição
Edificado	Elementos artificializados que podem variar na sua função, que pode ser de habitação, comércio, serviços e outros.
Rede Viária	Faixa artificializada, desde arruamentos até vias principais.
Sombra	Todo o efeito de sombra presente na imagem, que posteriormente à classificação será agregada à sua respectiva classe (Edificado, Rede Viária ou Outros).
Outros	Todos os elementos representativos na imagem, que não pertençam às classes acima.

Uma amostra é um polígono que delimita uma região representativa de uma determinada classe (Figura 16). Cada amostra deve conter um número aproximado de pixéis (Tabela 5), visto que, o classificador por máxima verosimilhança pondera as distâncias entre as médias com recurso a parâmetros estatísticos, ou seja, examina a função de probabilidade entre um pixel e as classes a classificar.



Figura 16 - Exemplo de Amostra da Classe Rede Viária

Tabela 5 - Número de Pixéis e percentagem das amostras por classe

Classe	Número Pixéis (Alcântara)	%	Número Pixéis (Beirolas)	%
Edificado	19651042	14,29	11207228	12,13
Rede Viária	14703495	10,70	9768790	10,57
Sombra	2703037	1,97	3787753	4,10
Outros	100418710	73,04	67631266	73,20

Após a recolha das amostras e, conseqüente classificação, foram encontradas algumas dificuldades, nomeadamente, a existência de veículos na rede viária o que origina alguma confusão espectral o que não permitiu ao classificador agregar os veículos à classe rede viária, formando deformações na classe correspondente, conforme exemplo patente na Figura 17.



Figura 17 - Erro espectral na classificação da rede viária

A existência de diferentes tipos de telhados confere ao classificador diferentes respostas espectrais. Foi então criado um número elevado de amostras de modo a conter toda a variedade de coberturas de edifícios. Por último, devido à extensão das copas das árvores existentes nas redes viárias (Figura 18), houve uma omissão de arruamentos existentes, sendo classificados como “Outros”.



Figura 18 - Omissão de arruamento devido à existência das copas de árvores

3.2 Modelo de Suscetibilidade a Inundação

A suscetibilidade a inundação é realizada através da análise a várias temáticas que, no caso concreto do projeto da suscetibilidade a inundação em Lisboa, é composta por dois temas: i) Temática Natural e ii) Temática Artificial. Por sua vez a análise individualizada de cada temática é a “seleção e quantificação de vários indicadores” (Leal e Ramos, 2013: 21).

Para a realização do modelo de suscetibilidade a inundação é necessário, em primeiro lugar, proceder à reclassificação de todas as variáveis, visto que, cada uma delas possui uma unidade de medida diferenciada. Este passo contribui para a geração de uma unidade de medida comum a todas as variáveis, com o intuito de posteriormente ser possível realizar a conjugação das mesmas e produzir nova informação geográfica.

3.2.1 Metainformação dos indicadores de suscetibilidade

Para determinar as áreas suscetíveis a inundação em Lisboa, o modelo é composto pela conjugação total de seis variáveis (Tabela 6), onde dentro da temática natural se inserem quatro: i) Declive; ii) Topografia; iii) Acumulação de água e iv) Permeabilidade do solo. As duas variáveis remanescentes pertencem à temática artificial: i) Edificado e ii) Rede viária.

As variáveis possuem um papel determinante no modelo de suscetibilidade, sendo que a variável declive representa a inclinação do terreno, assim sendo, a partir desta é possível saber a direção do fluxo de água superficial, ou seja, as encostas com maior inclinação apresentam predominância à escorrência superficial, contrariamente, às áreas planas que apresentam maior suscetibilidade para a captação de água. A topografia é importante em dois fatores: i) Direção do escoamento da água; ii) Velocidade de escorrência da água. A variável acumulação de água, resultante do aplicativo *Hidrology* do *ArcGis*, possui informação da densidade de água por célula raster, tendo como objetivo a quantificação de água presente em cada célula. A permeabilidade do solo é caracterizada pelo tipo e dureza da rocha, uma vez que, esta caracterização interfere com a possível infiltração que o solo possui e, conseqüentemente a produção do escoamento superficial. As variáveis “edificado” e

“rede viária”, alteram a estrutura natural da rede de drenagem. O edificado constitui um obstáculo para a fluência da água e a rede viária potencia o incremento da velocidade da escorrência superficial.

Tabela 6 – Metainformação das variáveis do modelo de suscetibilidade a inundação

		Unidade de Medida	Formato	Fonte
Temática Natural	Declive	Porcentagem	Vetorial	CML
	Topografia	Metros	Vetorial	CML
	Acumulação de Água	Densidade água/Célula	Raster	CML
	Permeabilidade do solo	Categorias	Vetorial	CML
Temática Artificial	Edificado		Vetorial	CML
	Rede Viária		Vetorial	CML

3.2.2 Reclassificação e criação do Grau de Suscetibilidade a Inundação

A suscetibilidade a inundação é realizada com o contributo da análise multicritério, uma vez que, permite realizar uma investigação combinada em várias camadas de informação, com o intuito de produzir um mapa. Este estudo conjugado com a análise estatística e espacial permite realizar um agrupamento e apresentar um produto final cuja formulação pode auxiliar nas tomadas de decisão de muitos organismos públicos e/ou privados, sendo indispensável na gestão e ordenamento do território.

Para a análise espacial e estatística é fundamental que toda a informação realizada possua uma unidade matemática comum, uma vez que, nos fundamentos básicos da matemática todos os cálculos devem ser realizados na mesma unidade, como por exemplo, não é possível obter o valor da área de uma imagem possuindo a informação de um lado em metros e de um outro lado em centímetros, sendo obrigatório proceder à conversão de um dos lados dessa imagem.

Assim sendo, para a realização do estudo foi necessário proceder à criação de uma unidade matemática comum, denominada de Grau de Suscetibilidade a Inundação (GSI). O GSI representa a reclassificação por onde todas as variáveis foram submetidas, esta unidade varia de 1 a 5, sendo que 1 representa muito baixa suscetibilidade e, por

oposição, 5 representa muito alta suscetibilidade. Com o apoio da ferramenta *Reclassify*, do *software ArcGis*, foram criadas seis novas variáveis a partir das pré-existentes, cuja diferença entre as mesmas, assenta na sua unidade representativa.

3.2.3 Operacionalização do modelo de suscetibilidade

Os modelos de geoprocessamento automatizados documentam todos os processos de análise realizados, ou seja, são um diagrama que reúne as sequências de processos e ferramentas geoespaciais (Figura 19). No presente estudo, os modelos de geoprocessamento foram realizados no aplicativo *Model Builder* do *ArcGis*, que permite criar modelos automatizados a partir de fluxos que interligam e produzem a continuidade entre as ferramentas e processos geográficos. O *Model Builder* é uma linguagem de programação visual de fluxos, onde a partir da base de dados de entrada (variáveis) permite desenrolar, automaticamente, toda a sequência de processos de geoprocessamento com o intuito de no final do mesmo possuir nova informação geográfica.

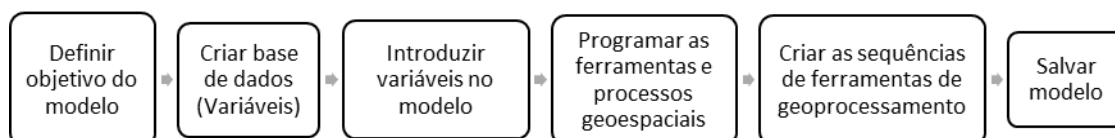


Figura 19 - Criação de um modelo de geoprocessamento automatizado

A carta de suscetibilidade a inundação é o resultado final do modelo de suscetibilidade a inundação, obtido a partir do cruzamento, como já referido anteriormente, de seis variáveis agrupadas em duas temáticas (Natural e Artificial). A sobreposição de informação geográfica, ou seja, os cruzamentos entre as variáveis foram realizados a partir da ferramenta *Weighted Overlay*, que consiste na abordagem mais utilizada para análises multicritério.

Esta ferramenta do *ArcGis*, possibilita realizar uma análise integrada a partir de diversas entradas de informação, onde é importante, numa primeira etapa, definir quais os fatores com maior e menor importância, ou seja, descortinar os pesos de influência de cada variável. Esta definição da ponderação de importância, é o passo mais importante para o desenvolvimento do modelo de suscetibilidade, uma vez que, nem todas as variáveis possuem o mesmo poder para a conclusão do objetivo. O modelo de suscetibilidade a inundação apresenta ponderações de influência diferenciada, que foram decididas e aplicadas pela DMGP da CML (Tabela 7).

$$CSI = TN \times 0.35 + TA \times 0.65$$

CSI (carta suscetibilidade a inundação); TN (temática natural); TA (temática artificial)

Tabela 7- Ponderação de importância por variável e temática

	Ponderação (%)
Temática Natural	35
Declive	65
Topografia	25
Permeabilidade do Solo	5
Acumulação de Água	5
Temática Artificial	65
Rede Viária	20
Edificado	80

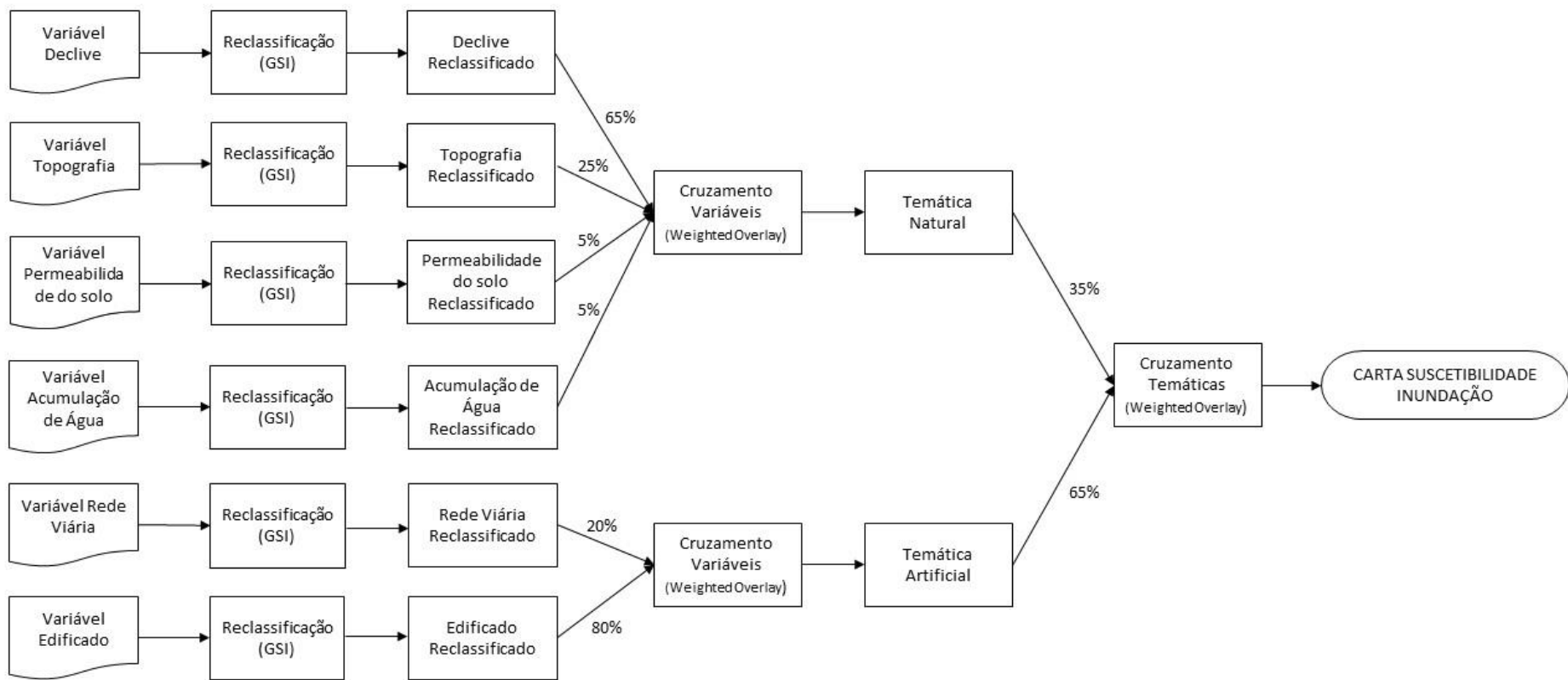


Figura 20 - Fluxograma do modelo de suscetibilidade a inundações

3.3 Modelo de Vulnerabilidade a Inundação

A cartografia de vulnerabilidade a inundação demonstra o estado de fraqueza do território em caso de ocorrência do fenómeno de inundação. Esta carta pretende alertar para os locais de maior risco para o efeito de inundação, recorrendo não apenas a indicadores meramente físicos do território. A vulnerabilidade a inundação é concretizada, por meio da análise multicritério, entre diversos indicadores que se encontram agrupados em diversos grupos: i) Temática Populacional; ii) Temática Infraestruturas e iii) Temática Cultural e Patrimonial.

A construção do modelo de vulnerabilidade a inundação, com o intuito de conjugar as variáveis e criar nova informação geográfica, só é possível quando, primariamente, se procede à análise das variáveis. É necessário efetuar a reclassificação das mesmas, como anteriormente realizado para o modelo de suscetibilidade, com o objetivo de possuir todas as variáveis com uma unidade de medida comum.

3.3.1 Indicadores de vulnerabilidade

A determinação das áreas vulneráveis à ação do fenómeno de inundação, é composta pela conjugação de onze variáveis, agrupadas em três temáticas diferenciadas.

Cada variável, de cada temática, possui um papel determinante para o cálculo final da carta de vulnerabilidade a inundação. A temática social, composta por quatro variáveis (Tabela 8) – i) Densidade Populacional; ii) Dependência de Idosos; iii) Dependência de Jovens e iv) Dependência Total – procura analisar o panorama social do concelho de Lisboa. Esta caracterização, de âmbito populacional, pretende evidenciar os locais da cidade com maior índice de vulnerabilidade, tendo em atenção não apenas à ocupação populacional existente, mas captar uma especial atenção às estruturas mais frágeis da sociedade, a população jovem e os idosos.

Tabela 8 - Metainformação das variáveis da temática social

Variável	Formato	Fonte
Densidade Populacional	Vetorial	INE (BGRI 2011)
Dependência de Jovens	Vetorial	INE (BGRI 2011)
Dependência de Idosos	Vetorial	INE (BGRI 2011)
Dependência Total	Vetorial	INE (BGRI 2011)

A temática das infraestruturas é composta por quatro variáveis: i) Densidade de edificado; ii) Edificado de emergência; iii) Edifícios sensíveis e iv) Tráfego rodoviário (Tabela 9). Esta temática procura desenvolver a análise do sistema territorial com o intuito de demonstrar a vulnerabilidade do território a partir de vários parâmetros. Em primeiro lugar, abordar as necessidades da população em caso de inundação e, com isto, analisar os edifícios de emergência (forças de segurança e de socorro). Em segundo lugar, localizar as infraestruturas, que devido à sua prestação de serviço à população, são designadas de sensíveis, possuem um maior índice de vulnerabilidade (escolas, hospitais, centros de saúde e lares de terceira idade). Por último, observar a rede viária, procurando destacar eixos viários, que pelo seu elevado índice de tráfego rodoviário, evidenciam maior vulnerabilidade em caso de inundação.

Tabela 9 - Metainformação das variáveis da temática infraestruturas

Variável	Formato	Fonte
Densidade edificado	Vetorial	INE (BGRI 2011)
Edifícios de emergência	Vetorial	CML
Edifícios sensíveis	Vetorial	CML
Tráfego rodoviário	Vetorial	INE (BGRI 2011)

No que toca à temática cultural-patrimonial esta é composta por três variáveis, sendo estas: i) Densidade cultural científica; ii) Densidade de locais culturais e lazer e, por fim, iii) Densidade de património (Tabela 10). As mesmas pretendem evidenciar a vulnerabilidade dos espaços culturais face ao fenómeno de inundação, partindo da sua localiza o, da sua tipologia e, de seguida, o grau de vulnerabilidade a que estes espaços estão sujeitos. Os mesmos são marcos históricos importantes onde o seu estrago levaria a uma perda de identidade cultural, para além deste fator estes locais possuem pressão turística o que aumenta a vulnerabilidade destes espaços face a uma possível inunda o.

Tabela 10 - Metainforma o das variáveis da temática Cultural - Patrimonial

Variável	Formato	Fonte
Densidade Cultural Científica	Vetorial	CML
Densidade de Locais culturais e de Lazer	Vetorial	CML
Densidade de Patrim�nio	Vetorial	CML

3.3.2 Reclassifica o da temática populacional

Como já referido anteriormente,   obrigatório que todas as variáveis em estudo possuam uma unidade matemática comum, neste caso, denominado de Grau de Vulnerabilidade a Inunda o (GVI). O mesmo representa a reclassifica o por onde todos os indicadores ter o de passar, este varia entre 1 a 5, onde 1 representa muito baixa vulnerabilidade e 5 muito alta vulnerabilidade.

Metodologicamente a temática populacional   organizada a partir de variáveis com informa o recente dos censos de 2011, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). A partir destes dados alfanuméricos e geográficos, da Base Geográfica de Referência de Informa o (BGRI) do INE, foram efetuados c culos para cada subse o estatística nas quatro variáveis que compõem a temática populacional. Por sua vez, após a realiza o dos c culos, os mesmos foram reclassificados para o GVI.

A composi o da variável "Densidade Populacional"   realizada através da rela o entre a popula o residente, em cada subse o, com a superfície do território, em Km². Como produto final possui-se a informa o estatística que expressa os habitantes por Km². Posteriormente, com esta informa o, a mesma   agrupada em

classes com o intuito de efetuar a reclassificação da variável para a unidade de grau de vulnerabilidade a inundação (Tabela 11).

Tabela 11 - Reclassificação da variável Densidade Populacional

Classes (Hab/Km²)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 8000	5
[1000 – 8000[	4
[500 – 1000[	3
[250 – 500[	2
Inferior a 250	1

A variável “Dependência de Idosos”, corresponde à relação entre a população idosa e a população em idade ativa. Este é realizado através do quociente entre o número de pessoas com 65 ou mais anos com a população com idades compreendidas entre os 15 e os 64 anos. Com este índice, o resultado final tem como significado o número de idosos por cada 100 adultos em idade ativa, evidenciando quais os locais da cidade com maior dependência de idosos e, conseqüentemente, locais com maior vulnerabilidade em casos de ocorrência de inundação (Tabela 12).

Tabela 12 - Reclassificação da variável Dependência de Idosos

Classes (Nº idosos / 100 pop. ativa)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 80	5
[50 – 80[	4
[30 – 50[	3
[15 – 30[	2
Inferior a 15	1

O índice de dependência de jovens é a variável que demonstra o número de pessoas com idade inferior 15 anos por cada 100 pessoas entre os 15 e os 64 anos. Como já explicitado na variável anterior, é uma relação entre a população jovem, até aos 14

anos, e a população em idade ativa, entre os 15 e 64 anos. Com esta variável é possível agregar os locais com menor e maior vulnerabilidade a inundação (Tabela 13).

Tabela 13 - Reclassificação da variável Dependência de Jovens

Classes (Nº jovens / 100 pop. ativa)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 80	5
[50 – 80[	4
[30 – 50[	3
[15 – 30[	2
Inferior a 15	1

A temática populacional é completada com os cálculos da variável dependência total, que consiste na relação entre a população jovem e idosa com a população em idade ativa, ou seja, é o número de menores de 15 anos e idosos com 65 ou mais anos por cada 100 pessoas com idade compreendida entre os 15 e os 64 anos. Com esta análise é possível identificar o grau de vulnerabilidade a inundação, tendo em conta os dois grupos de risco da população (Tabela 14).

Tabela 14 - Reclassificação da variável Dependência Total

Classes (Nº jovens e idosos / 100 pop. ativa)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 80	5
[50 – 80[	4
[30 – 50[	3
[15 – 30[	2
Inferior a 15	1

3.3.3 Reclassificação da temática infraestruturas

A temática das infraestruturas, metodologicamente, consiste na análise de informações prestadas pela CML e na realização de cálculos a partir dos dados alfanuméricos dos censos de 2011.

O indicador “Densidade de Edificado” é o cálculo entre a relação do número de edifícios, em cada subseção, e a superfície do território, em Km². Este expressa o número de edificado construído por Km², o que permitiu a realização de classes, com o intuito de reclassificar o mesmo para a unidade de grau de vulnerabilidade a inundação (Tabela 15).

Tabela 15 - Reclassificação da variável Densidade de Edificado

Classes (Edifícios/Km²)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 75	5
[35 – 75[	4
[15 – 75[	3
[5 – 15[	2
Inferior a 5	1

A variável “Edifícios Sensíveis” consiste na localização de infraestruturas com prestação de serviço à população com divisão em três tipologias: i) Educação; ii) Saúde e iii) Apoio à terceira idade. Por sua vez, cada tipologia é o agrupamento de vários equipamentos que, metodologicamente, possuem um grau de vulnerabilidade diferenciado, atribuído devido à generalização dos utentes que utilizam as mesmas (Tabela 16).

Tabela 16 - Reclassificação da variável Edifícios Sensíveis

Edifícios Sensíveis	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Hospital	4
Centro de Saúde	4
Lar terceira idade	5
Escola Primária	5
Escola Segundo Ciclo	4
Escola Terceiro Ciclo	4
Escola Secundária	3
Universidade	3

A rede viária, devido à mobilidade que oferece na cidade, possui um grande poder de atração de população. Para além deste fator os eixos viários são corredores que aumentam a escorrência superficial, pelo que é fundamental fragmentar a rede

viária conforme o seu grau de vulnerabilidade a inundação. Para este efeito foi usado como informação geográfica de partida, o mapa de ruído das vias rodoviárias realizado, para um estudo antecedente, pela CML. Com esta informação foi possível desmistificar os eixos viários que possuem maior congestionamento rodoviário, aumentando o grau de vulnerabilidade (Tabela 17).

Tabela 17 - Reclassificação da variável Tráfego Rodoviário

Classes (Decibéis)	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 75	5
[65 – 75[	4
[55 – 65[	3
[50 – 55[	2
Inferior a 50	1

A temática das infraestruturas é finalizada com a criação da variável “Edifícios de Emergência” que consiste na análise espacial, a partir da densidade de Kernel, da localização do edificado das forças de segurança (PSP e GNR) e de Socorro (Bombeiros).

A densidade de Kernel é uma técnica de análise espacial, que tem como objetivo calcular o volume por cada célula *raster* a partir de informação geográfica pontual ou linear. O resultado final da função de Kernel impera os valores de densidade, onde os maiores valores estão concentrados ao redor dos pontos ou linhas e os de menor densidade ao longo que nos afastamos da concentração de informação.

A variável “Edifícios de Emergência” consiste numa informação geográfica de localização, neste caso específico, pontual. Este vai refletir os menores valores de Kernel à medida que nos afastamos das localizações dos postos de segurança e de socorro. Os resultados de Kernel mais elevados refletem, possivelmente, num tempo de reação, por parte das forças de segurança e de socorro, mais rápido ao inverso dos valores de menor densidade de Kernel que pode influenciar um tempo de resposta, a um fenómeno de inundação, mais demorada, persuadindo o grau de vulnerabilidade a inundação do território (Tabela 18).

Tabela 18 - Reclassificação da variável Edifícios de Emergência

Densidade de Kernel	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Inferior a 0.45	5
[0.45 – 0.85[	4
[0.85 – 1.30[	3
[1.30 – 1.75[	2
Superior a 1.75	1

3.3.4 Reclassificação da temática cultural-patrimonial

A temática cultural-patrimonial, assenta-se na metodologia da densidade de Kernel, a partir dos dados de localização prestados pela CML.

A variável “Densidade cultural-científica” conjuga a localização dos museus e bibliotecas existentes onde, posteriormente, é realizado a densidade de Kernel e assim perceber os locais com maior grau de vulnerabilidade, devido à forte concentração de edifícios com carácter cultural e científico (Tabela 19).

Tabela 19 - Reclassificação da variável Densidade Cultural-Científico

Densidade de Kernel	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 1.25	5
[0.70 – 1.25[	4
[0.30 – 0.70[	3
[0.15 – 0.30[	2
Inferior a 0.15	1

O indicador “Densidade de Locais Culturais e Lazer” expressa a densidade de concentração de salas de espetáculos localizados na cidade, evidenciando o grau de vulnerabilidade do território, segundo a localização destes espaços emblemáticos e que possuem um forte poder de atração populacional (Tabela 20).

Tabela 20 - Reclassificação da variável Densidade de locais culturais e lazer

Densidade de Kernel	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 1.5	5
[1 – 1.5[	4
[0.60 – 1[	3
[0.30 – 0.60[	2
Inferior a 0.30	1

A variável “Densidade patrimonial” consiste em agregar informação geográfica acerca dos monumentos e estatuarias existentes, e desta forma calcular a densidade de Kernel. Através do cálculo foi possível dar ênfase à concentração destes espaços com uma forte necessidade de proteção devido ao seu enorme valor não só monetário como cultural.

Tabela 21 - Reclassificação da variável Densidade patrimonial

Densidade de Kernel	Grau Vulnerabilidade a Inundação GVI
Superior a 7	5
[5 – 7[	4
[3.5 – 5[	3
[1.5 – 3.5[	2
Inferior a 1.5	1

3.3.5 Operacionalização do modelo de vulnerabilidade

O modelo de vulnerabilidade, metodologicamente, segue a mesma estrutura que o modelo de suscetibilidade a inundação, ou seja, documenta a automatização dos processos e ferramentas geoespaciais, com o intuito de produzir, através da interligação dos fluxos de geoprocessamento, nova informação geográfica.

A carta de vulnerabilidade a inundação é o resultado final dos processos e ferramentas introduzidas no modelo automatizado, sendo o mesmo repartido em duas fases. Em primeiro lugar, a partir do cruzamento das onze variáveis, repartidas em três temáticas, descobrir o grau de vulnerabilidade geral do território. Esta etapa consistiu na necessidade de conferir o peso de influência de cada variável, ou seja, atribuir uma percentagem de ponderação conforme o valor de importância de cada variável e temática (Tabela 22).

Tabela 22 - Ponderação de importância por variável e temática

	Ponderação (%)
Temática Populacional	45
Densidade Populacional	45
Dependência Jovens	10
Dependência Idosos	25
Dependência Total	20
Temática Infraestruturas	30
Densidade Edificado	30
Edifícios Emergência	25
Edifícios Sensíveis	25
Tráfego Rodoviário	20
Temática Cultural-Patrimonial	25
Densidade Cultural-Científico	50
Densidade Locais Culturais e Lazer	40
Densidade Patrimônio	10

Em último lugar, com o resultado do grau de vulnerabilidade geral do território é possível realizar a última etapa do modelo, que consiste no cálculo e produção da carta de vulnerabilidade a inundação (Figura 21). Para tal, foi necessário cruzar a informação da carta de suscetibilidade a inundação, com ponderação de 55%, e o resultado do grau de vulnerabilidade geral, com uma ponderação de 45%.

$$CVI = [(TP \times 0.45 + TI \times 0.30 + TCP \times 0.25) \times 0.45] + CSI \times 0.55$$

CVI (carta vulnerabilidade a inundação); TP (temática populacional); TI (temática infraestruturas); TCP (temática cultural-patrimonial); CSI (carta suscetibilidade a inundação)

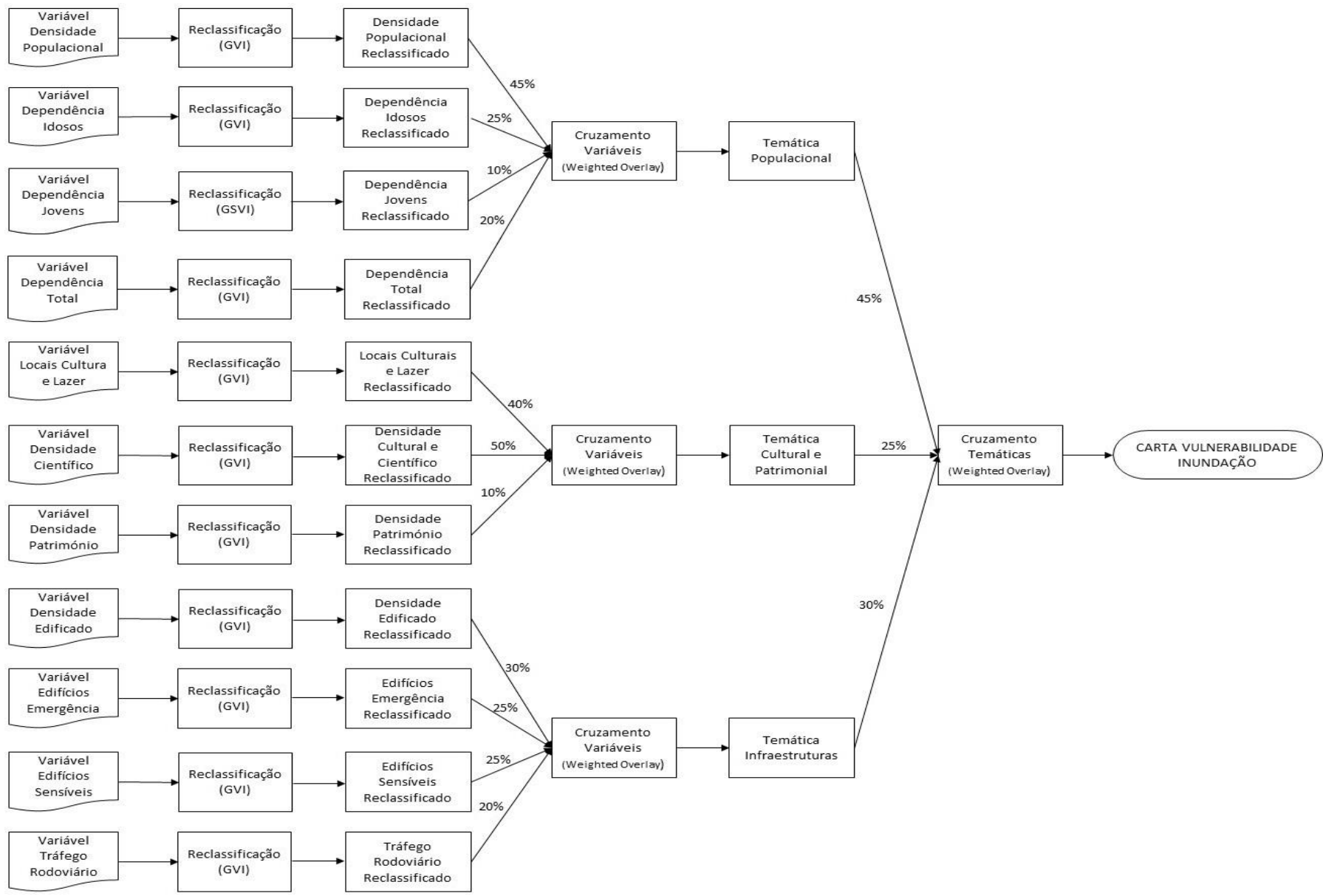


Figura 21 - Fluxograma do modelo de vulnerabilidade a inundações

IV. APLICAÇÃO DOS MODELOS EM ALCÂNTARA – ANÁLISE DOS RESULTADOS ENTRE CARTOGRAFIA HOMOLOGADA E EXTRAÍDA

Neste capítulo será exposta a discussão e a análise dos resultados obtidos, entre a teoria apresentada e a prática executada. Os resultados estão divididos em duas partes, de forma a organizar as duas grandes fases do trabalho de estágio, a primeira designada de carta de suscetibilidade a inundação e a segunda designada de carta de vulnerabilidade a inundação.

As implementações dos modelos criados, numa primeira fase, foram incididas na área envolvente de Alcântara (Figura 22). O local de estudo é composto por uma área total de 6,55 Km², sendo compreendida pelo parque do Monsanto e atravessada pela Avenida de Ceuta e Avenida da Brasília. Esta é uma zona com forte intervenção urbanística, sendo o espaço indicado para compreender os impactos que a ocupação antrópica introduz no espaço.

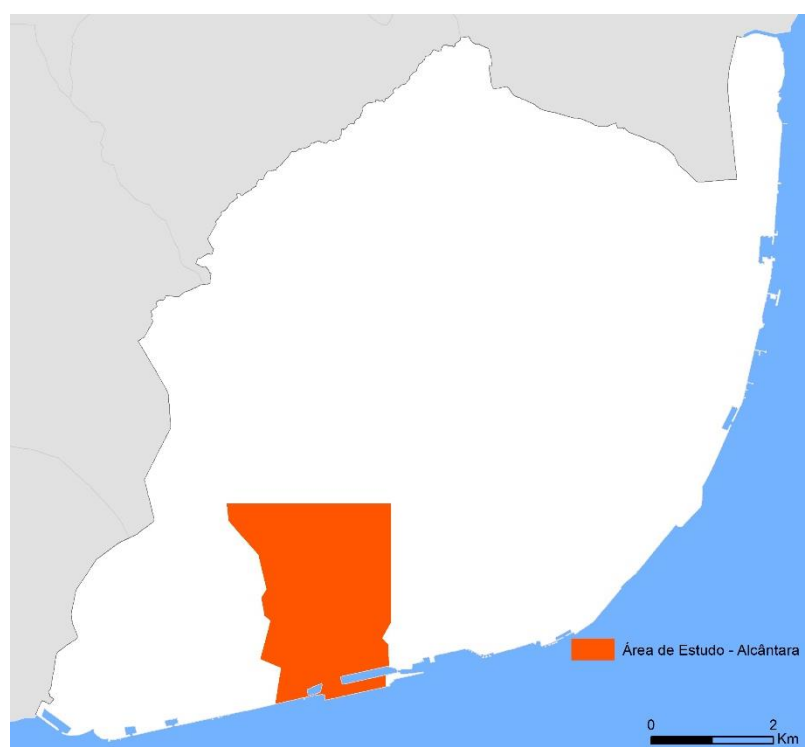


Figura 22 - Área de estudo - Alcântara

4.1 Suscetibilidade a inundação em Alcântara

4.1.1 Carta de suscetibilidade a inundação

A realização da carta de suscetibilidade a inundação em Alcântara seguiu-se em dois trajetos distintos, sendo assim apresentado dois resultados diferenciados. Em primeiro lugar foram considerados, para a carta de suscetibilidade, os dados geográficos homologados, sendo assim criada a cartografia temática a partir de elementos geográficos oficiais (Figura 23). Em segundo lugar, foi definido a partir dos dados geográficos conseguidos com recurso ao processamento digital de imagem, criando uma segunda carta de suscetibilidade com elementos geográficos extraídos do ortofotomapa (Figura 24).

Assim sendo com estes resultados, através de metodologias distintas, é possível visualizar e quantificar a suscetibilidade a inundação em Alcântara e, posteriormente, analisar o erro entre cartografia com fontes homologadas e extraídas, com o intuito de perceber a fiabilidade do uso do processamento digital de imagem para a conceção de cartografia temática.

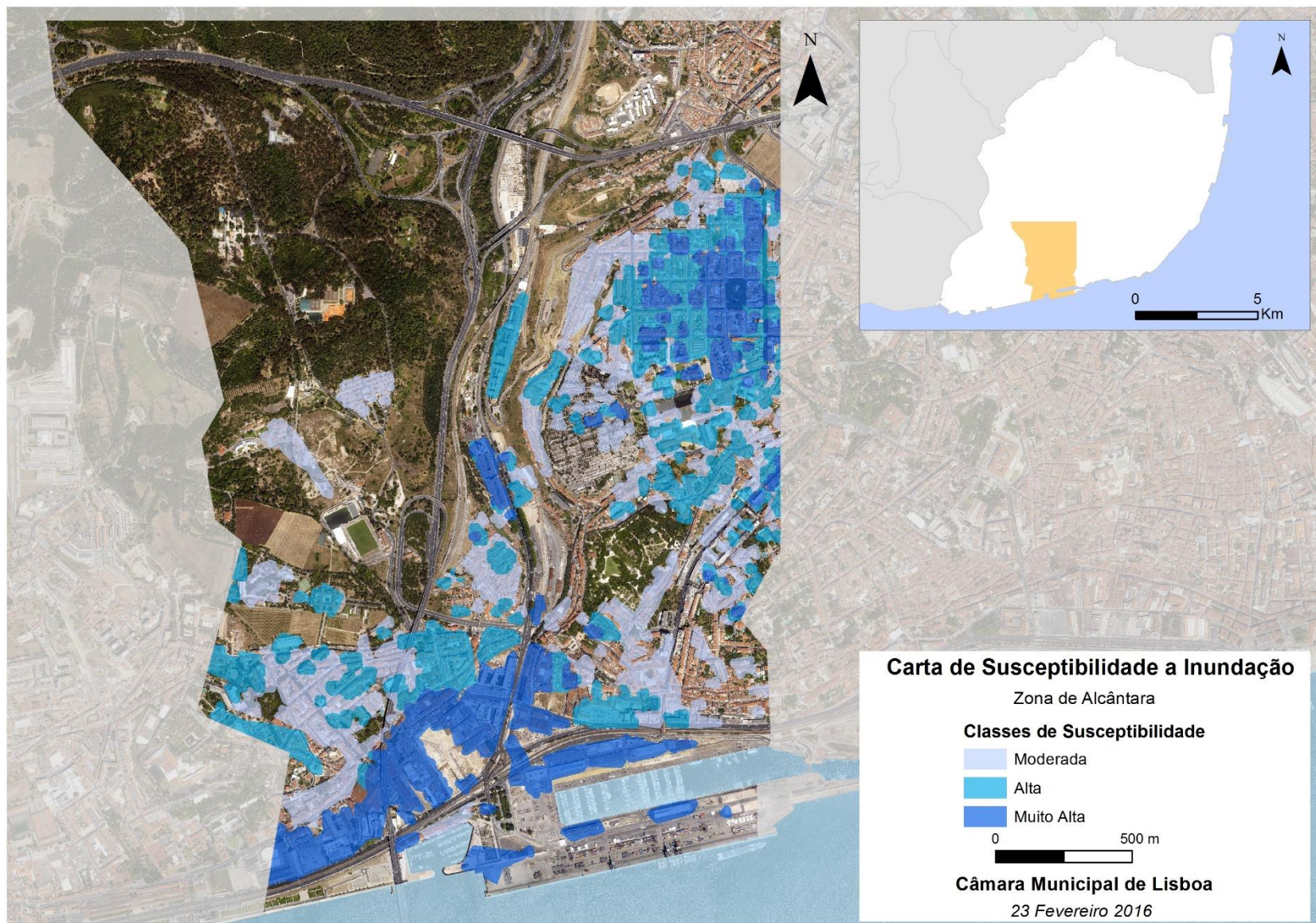


Figura 23 - Carta de Suscetibilidade para Alcântara - Informação Homologada

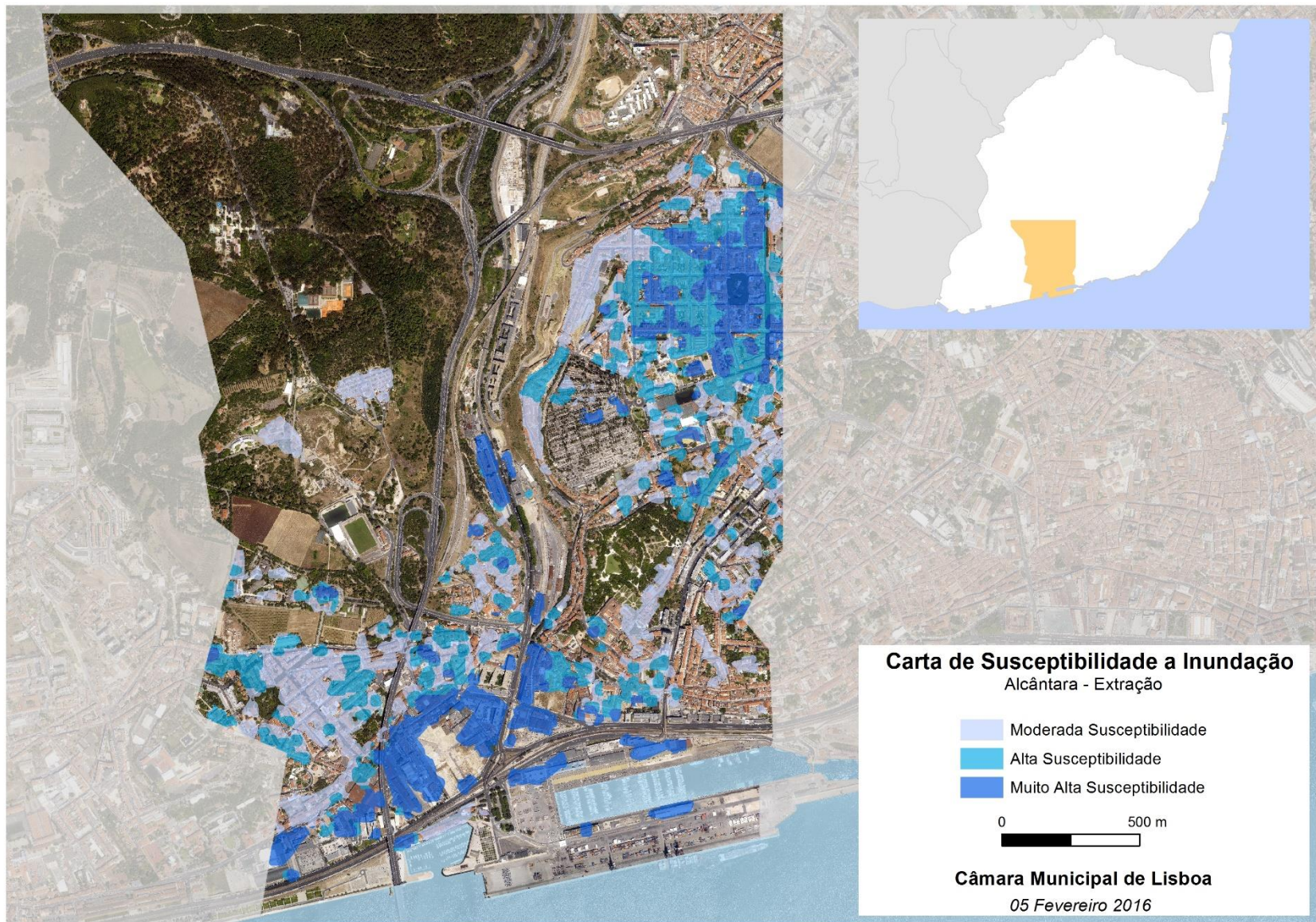


Figura 24 - Carta de Suscetibilidade para Alcântara - Informação Extraída

O primeiro aspecto a evidenciar com os resultados, acima apresentados, é a existência de diferenças nas manchas das classes de suscetibilidade entre cartografia extraída e homologada, porém quando analisado a área (Tabela 23) e a respectiva percentagem de ocupação para cada classe os valores revelam que as diferenças não são significativas (Figura 25).

Tabela 23 - Ocupação das classes de suscetibilidade a inundação

Classe de Suscetibilidade	Área ocupação – Homologado Há	Área ocupação – Extraída Há
Moderada	55	57
Alta	50	48
Muito alta	51	47
Σ	156	152

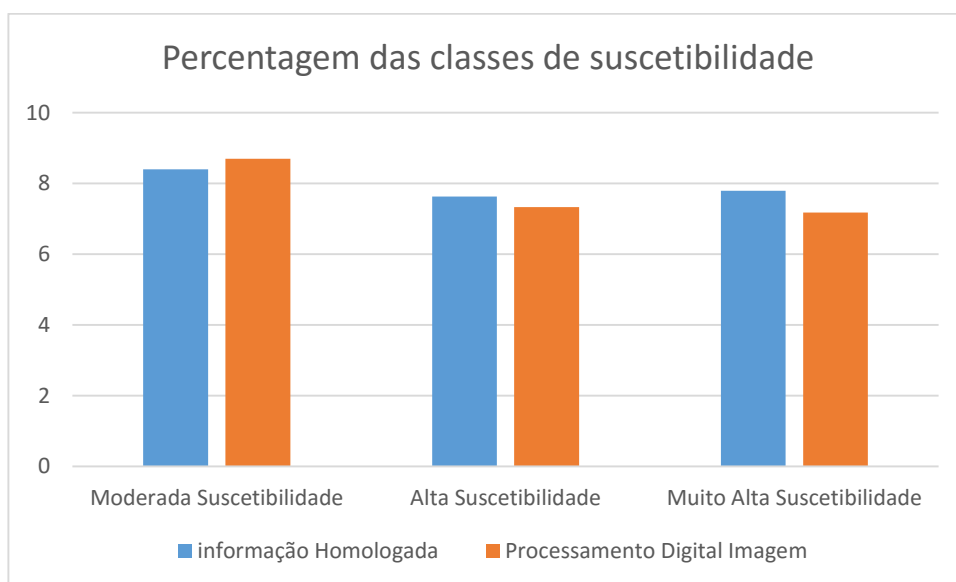


Figura 25 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade

É possível concluir a fiabilidade do uso do PDI para a criação de cartografia temática de suscetibilidade a inundação. Porém é necessário a existência de outros fatores para a sustentação da metodologia adotada. Para tal, foram desenvolvidas duas análises estatísticas, onde em primeiro lugar procedeu-se ao cálculo da taxa de variação, que interpreta a relação entre a variável y com a variável x , ou seja, neste caso específico a variação das áreas entre os resultados a partir de dados homologados e extraídos (Tabela 24).

$$\Delta = [(AH - AE) / AE] \times 100$$

Δ (taxa de variação); AH (área dos dados homologados); AE (área dos dados extraídos)

Tabela 24 - Taxa de variação dos resultados

Classe de Suscetibilidade	Área – Homologado ha	Área – Extraída Há	Δ
Moderada	55	57	-3.50
Alta	50	48	4.17
Muito alta	51	47	8.51
Σ	156	152	2.63

A segunda análise estatística utilizada para comprovar a credibilidade da metodologia do processamento digital de imagem para a criação da carta de suscetibilidade, foi o cálculo do grau de exatidão dos dados, que consiste na relação entre a área menor com a área maior, sendo que o resultado varia entre 0 e 1, onde 0 é nenhuma exatidão e 1 total exatidão dos dados (Tabela 25).

Tabela 25 - Valor de exatidão entre dados homologados e extraídos

Classe de Suscetibilidade	Valor de Exatidão
Moderada	0.96
Alta	0.96
Muito alta	0.92
Σ	0.97

4.1.2 Caracterização das áreas suscetíveis a inundação

A área de estudo de Alcântara possui uma área aproximada de 655 ha, onde 156 ha do território encontra-se suscetível ao fenômeno de inundação, ou seja, cerca de ¼ do território da área envolvente de Alcântara.

Contudo a suscetibilidade está repartida em três classes - Moderada, Alta e Muito Alta – que por curiosidade possuem uma percentagem de afetação semelhante (Tabela 26).

Tabela 26 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade em Alcântara

Classe de Suscetibilidade	Percentagem Ocupação
Moderada	35
Alta	32
Muito alta	33

Em Alcântara, as zonas que se verificam com maior probabilidade de suscetibilidade a inundações localizam-se na área circundante de Campo de Ourique, com especial ênfase no cemitério dos Prazeres, e na faixa ribeirinha, onde se encontra afetada a zona da Ajuda, dando especial atenção ao Hospital de Egas Moniz com atravessamento da Rua da Junqueira (Figura 26).

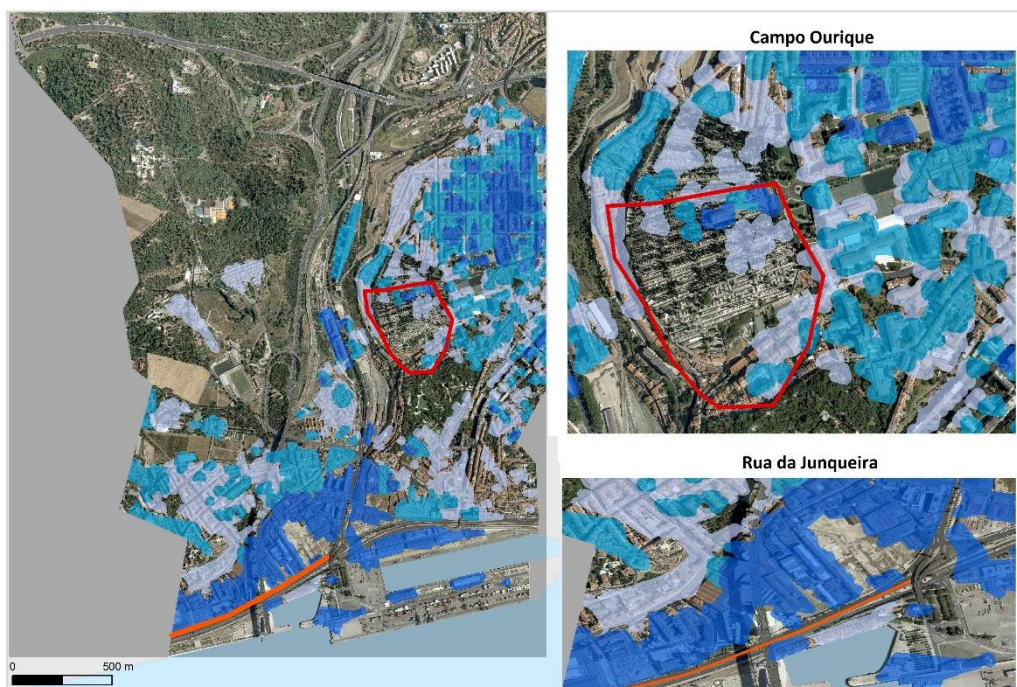


Figura 26 - Zonas com suscetibilidade a inundações em Alcântara

Na área em estudo, a população residente é de 42684, segundo os censos de 2011 realizados pelo INE, onde mais de 70% habita em áreas suscetíveis ao fenómeno de inundação. Contudo, quando é analisada a população afetada por cada classe de suscetibilidade é possível verificar que cerca de 35% reside em territórios com alta suscetibilidade a inundação (Figura 27). É exequível concluir a forte suscetibilidade a inundação da área envolvente a Alcântara.

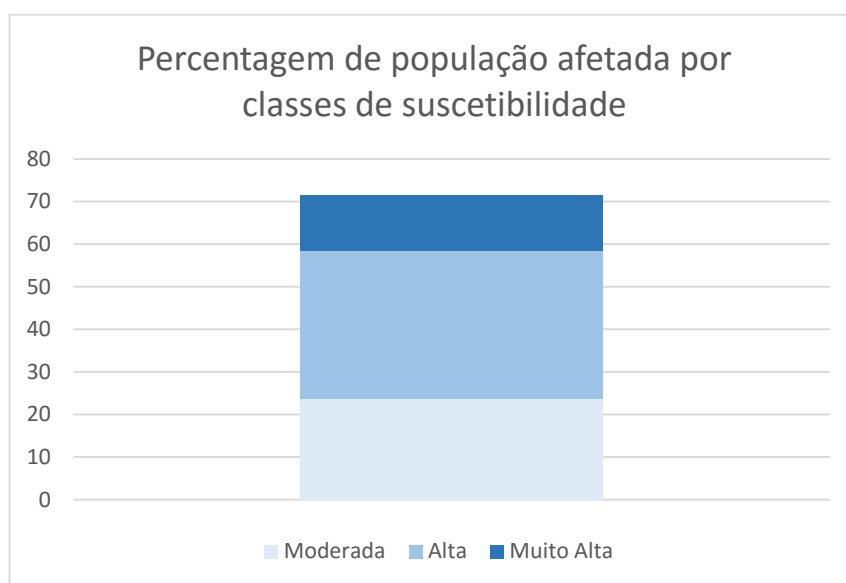


Figura 27 - Percentagem de população afetada por classes de suscetibilidade
Fonte: Censos de 2011 do INE

Todavia é importante analisar o grau de perigo de exposição da classe populacional com maior risco, os idosos, totalizando 11275 pessoas com mais de 64 anos. Destes, mais de 80% residem em locais suscetíveis às inundações, com cerca de 4431, ou seja, 40% em áreas com alta suscetibilidade a inundação (Figura 28). Estes são valores com grande significado, que suportam a ideia inicial de que a área de estudo de Alcântara possui um forte risco associado à probabilidade de ocorrência de inundações, com grande afetação, na existência, de grande parte da população.

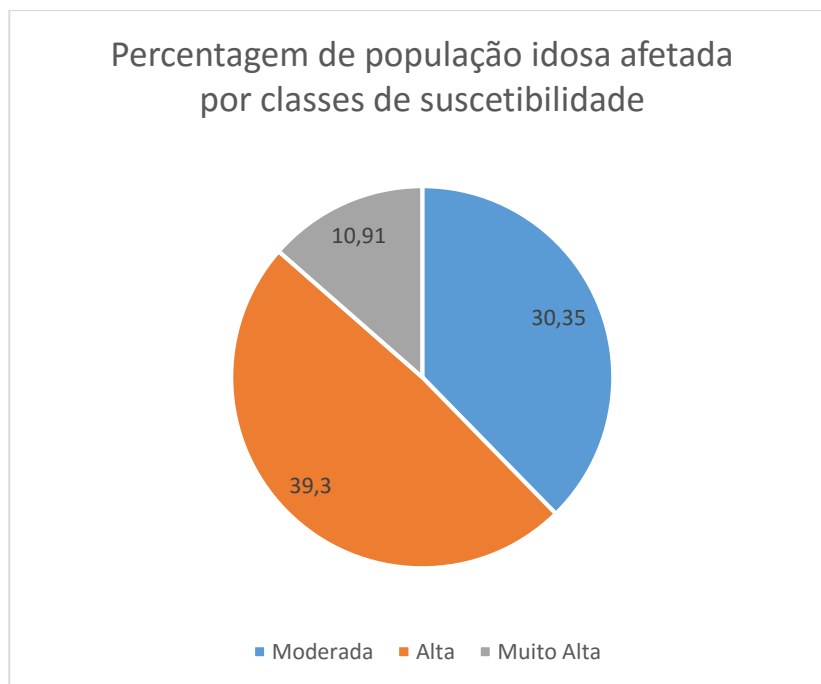


Figura 28 - Percentagem de população idosa afetada por classes de suscetibilidade
Fonte: Censos de 2011 do INE

Quanto à taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação, esta ronda os 75%, ou seja, dos 5504 edifícios existentes em Alcântara, 4111 encontram-se localizados em áreas suscetíveis ao fenómeno de inundação. A maior parte deste estão alocados à classe de alta suscetibilidade, com 40.13% (Tabela 27).

Tabela 27 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundação

Classe de Suscetibilidade	Número de Edifícios	%
Moderada	1189	21.60
Alta	2209	40.13
Muito alta	713	12.95
TOTAL	4111	74.68

4.2 Vulnerabilidade a inundações em Alcântara

4.2.1 Carta de vulnerabilidade a inundações

A concretização da carta de vulnerabilidade a inundações em Alcântara, foi conduzida pelas mesmas metodologias apresentadas anteriormente na realização da carta de suscetibilidade a inundações. Em primeiro com o uso de informação geográfica homologada (Figura 29) e em segundo a partir de dados extraídos automaticamente por PDI (Figura 30). Desta maneira é possível analisar e descortinar o erro entre cartografia temática de vulnerabilidade com fontes homologadas e extraídas e assim, perceber a fiabilidade do uso da técnica de processamento digital de imagem para a construção de cartografia temática.

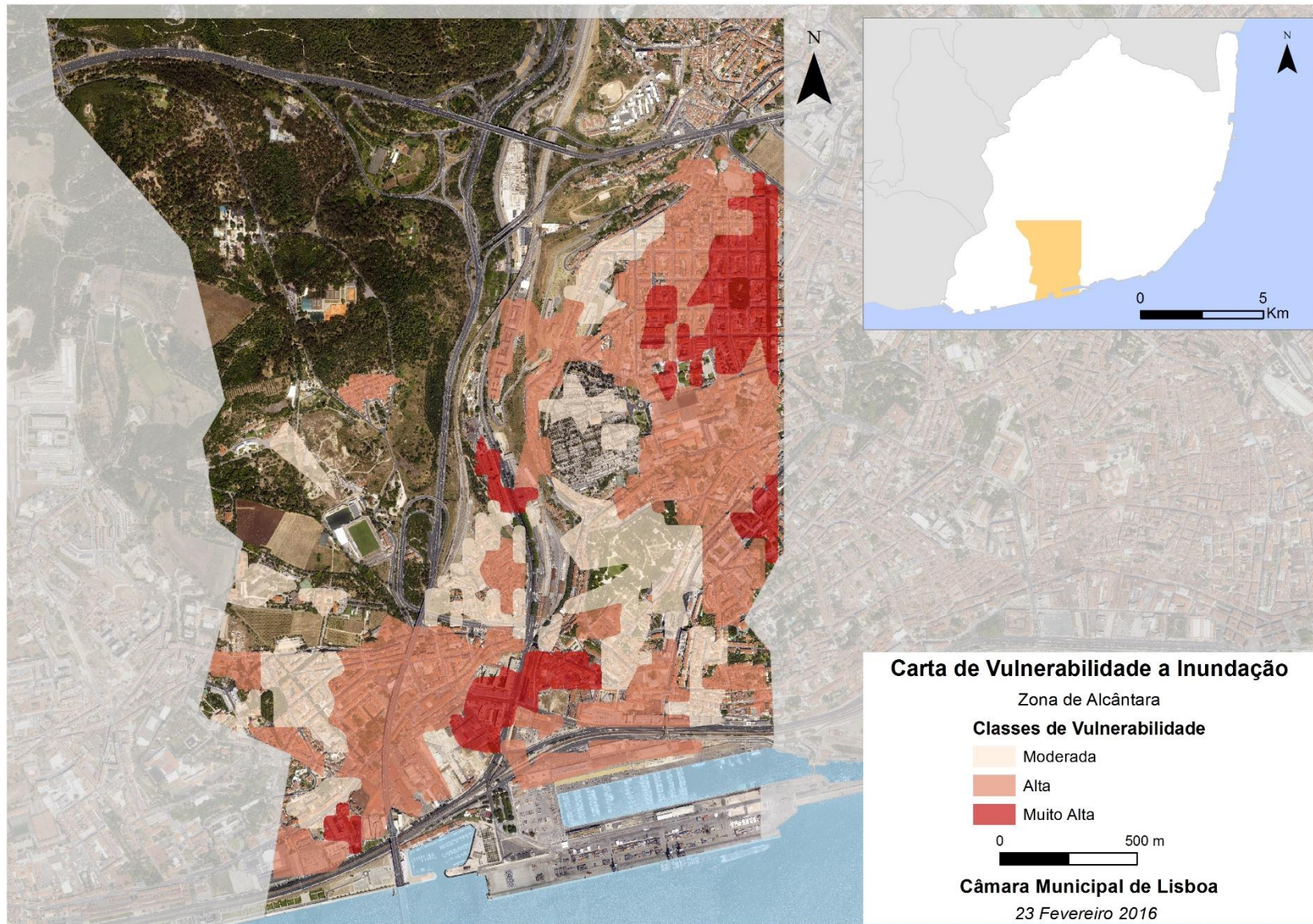


Figura 29 - Carta de Vulnerabilidade para Alcântara - Informação Homologada

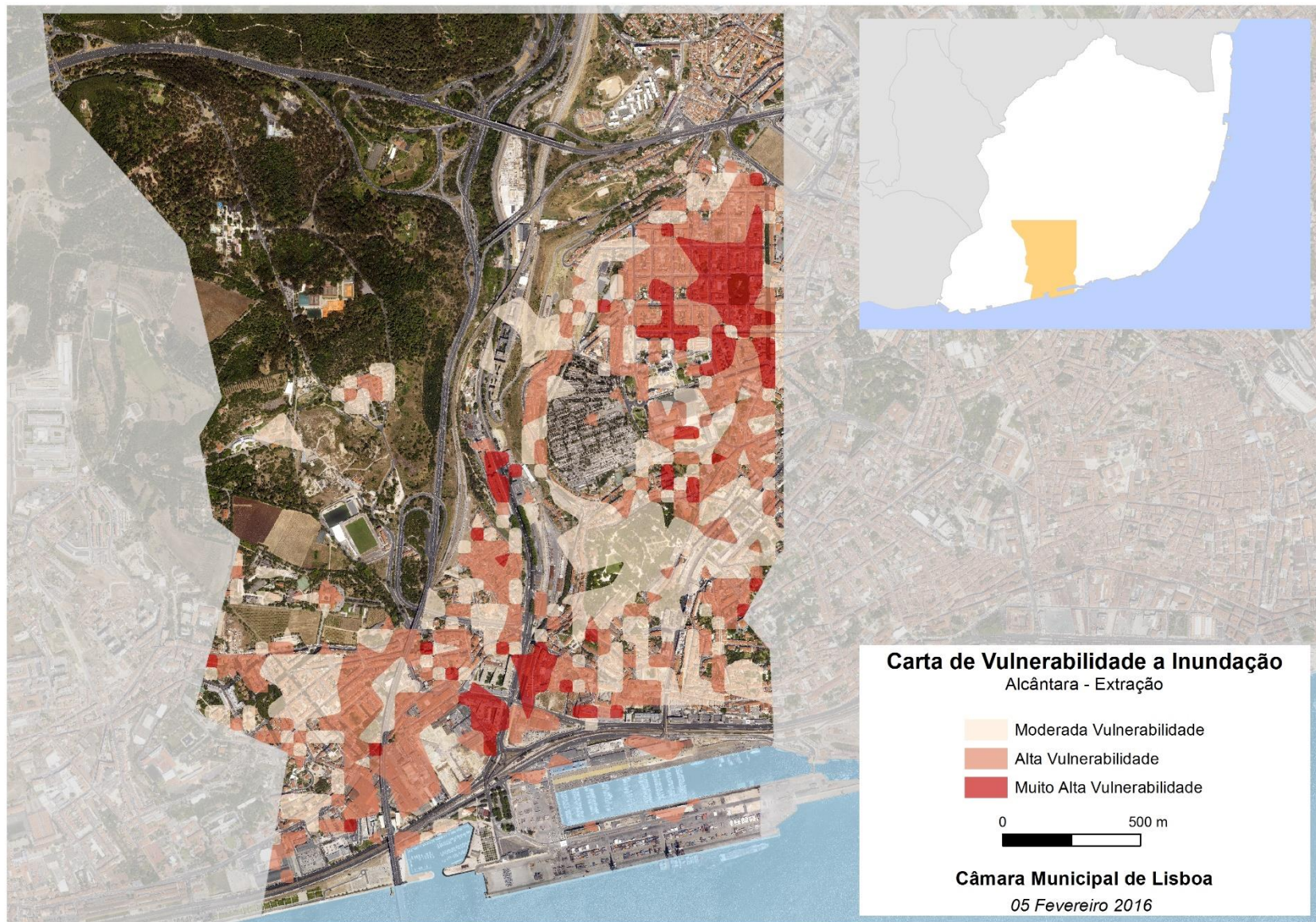


Figura 30 - Carta de Vulnerabilidade para Alcântara - Informação extraída

Com os resultados acima representados é possível visualizar a existência de diferenças na composição das manchas de vulnerabilidade ao longo das cartas. Estas são mais explícitas que a comparação entre os dois resultados da carta de suscetibilidade, podendo ser explicado pelo maior número de variáveis utilizadas para a execução da carta de vulnerabilidade, 11 variáveis ao invés das 6 utilizadas para a carta de suscetibilidade. Mesmo com estas maiores diferenças, na carta de vulnerabilidade, entre cartografia homologada e extraída não será certamente de excluir a fiabilidade do uso do PDI para a realização de cartografia temática, uma vez que, quando analisado mais ao detalhe a comparação entre as duas metodologias, com o cálculo das áreas das classes de vulnerabilidade (Tabela 28) e as respectivas percentagens de ocupação (Figura 31), as mesmas não apresentam valores muito díspares.

Tabela 28 - Ocupação das classes de vulnerabilidade a inundações

Classe de Vulnerabilidade	Área ocupação – Homologado Há	Área ocupação – Extraída Há
Moderada	70	80
Alta	100	85
Muito alta	35	25
Σ	205	190

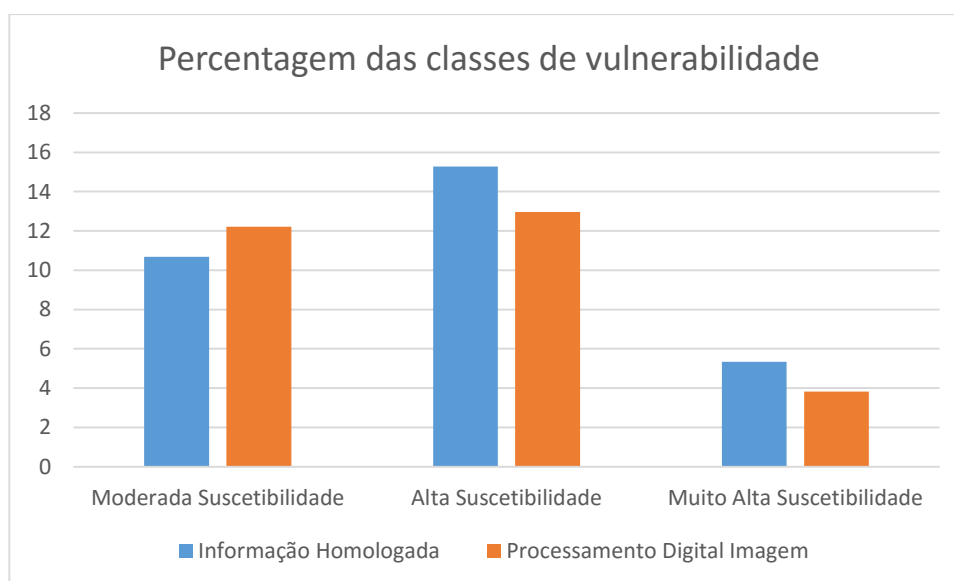


Figura 31 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade

Para a sustentação da metodologia do PDI como fiável para a criação de cartografia temática, é necessário calcular e analisar outros fatores. Estes são a análise da taxa de variação (Tabela 29) e o valor de exatidão entre a área homologada e extraída (Tabela 30).

Tabela 29 - Taxa de variação dos resultados

Classe de Vulnerabilidade	Área – Homologado ha	Área – Extraída Há	Δ
Moderada	70	80	-12.50
Alta	100	85	17.65
Muito alta	35	25	40
Σ	205	190	7.89

Tabela 30 - Valor de exatidão entre dados homologados e extraídos

Classe de Vulnerabilidade	Valor de Exatidão
Moderada	0.88
Alta	0.85
Muito alta	0.71
Σ	0.93

O uso do PDI para a concretização de cartografia temática é fiável, porém, neste caso concreto, a carta de vulnerabilidade apresenta um maior erro em comparação à carta de suscetibilidade. Contudo quando analisado a exatidão dos valores é possível verificar que todos se encontram acima do último terço de exatidão, ou seja, são valores altos que indicam uma forte correspondência entre os dados, onde aquele que apresenta o pior valor é na classe “Muito Alta Vulnerabilidade” com uma taxa de variação a rondar os 40% e com uma exatidão de 0.71. Todavia não é motivo para descartar, metodologicamente, o processamento digital de imagem como ferramenta para o processo de mapear a vulnerabilidade a inundação em locais que não possuam fontes homologadas.

4.2.2 Caracterização das áreas vulneráveis a inundação

A área de estudo Alcântara totaliza uma área aproximada de 655 ha, onde possui 205 ha com vulnerabilidade ao fenómeno de inundação, ou seja, mais de 35% do território estudado. Quanto à repartição por classes, esta é desigual com a classe “Alta Vulnerabilidade” a ocupar quase metade do território vulnerável, aproximadamente 49% (Tabela 31).

Tabela 31 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade em Alcântara

Classe de Vulnerabilidade	Percentagem Ocupação
Moderada	34
Alta	49
Muito alta	17

Na área de estudo a população residente é de 42684, sendo que, mais de 87% estão alocados em áreas de risco ao fenómeno de inundação. Porém, quando analisado a percentagem por classe é conclusivo a forte localização de população em territórios com alta vulnerabilidade a inundação, onde o valor percentual é de 49% (Figura 32). Em suma quase metade da população exposta à perigosidade de inundação está assente no segundo grau de vulnerabilidade.

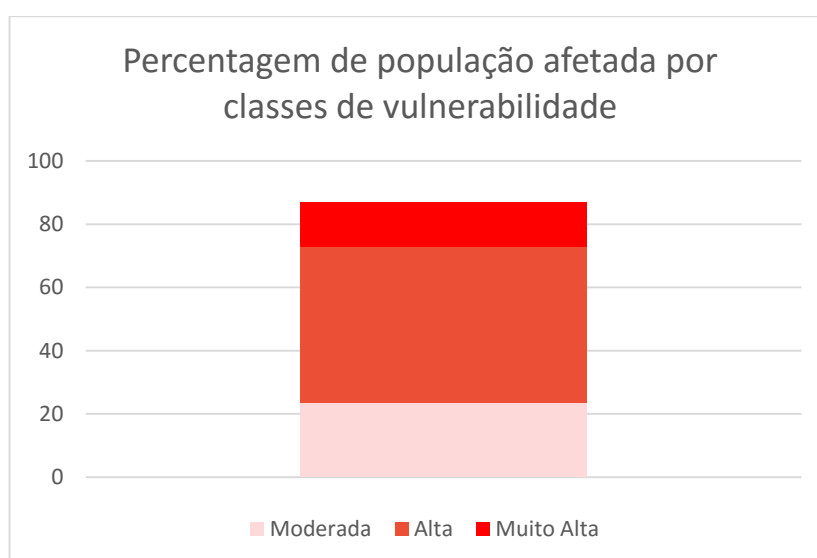


Figura 32 - Percentagem de população afetada por classes de vulnerabilidade
Fonte: Censos de 2011, INE

Ao analisar a vulnerabilidade da população idosa, observa-se que cerca de 91% das 11275 pessoas com idade superior a 64 anos habitam em locais vulneráveis às inundações, onde destes, mais de 50% em áreas com alta vulnerabilidade a inundações (Figura 33). Estes são valores com grande representação, demonstrando o elevado perigo desta zona da cidade de Lisboa na ocorrência de cheias.

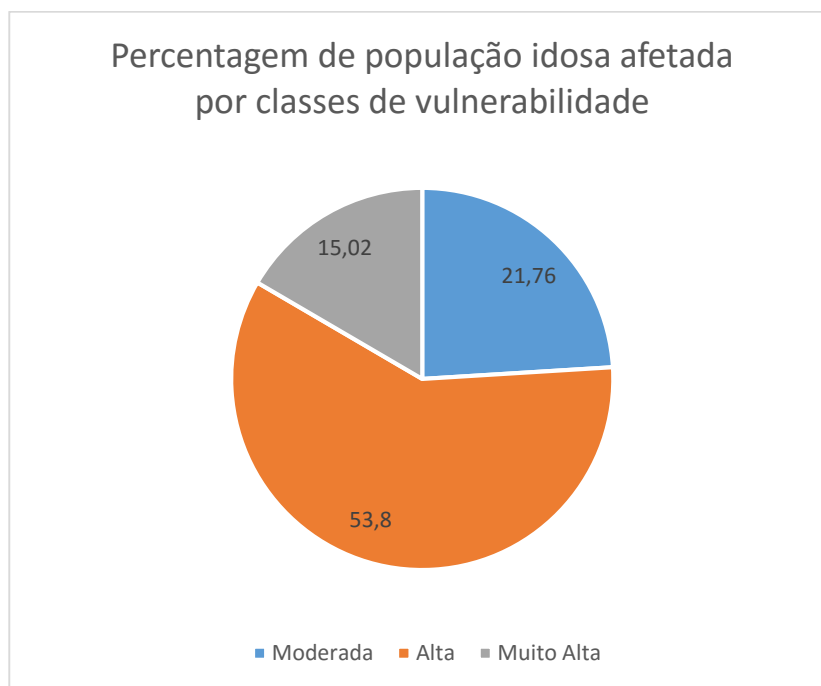


Figura 33 - Percentagem de população idosa afetada por classes de vulnerabilidade
Fonte: Censos de 2011, INE

No que diz respeito ao edificado exposto ao perigo de inundações, este ronda os 77%, ou seja, dos 5504 edifícios 4236 estão assentes em locais com perigo ao processo de cheias. Destes edifícios vulneráveis, mais de 40% estão localizados em territórios com uma perigosidade de alta vulnerabilidade (Tabela 32).

Tabela 32 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundações

Classe de Vulnerabilidade	Número de Edifícios	%
Moderada	1125	20.44
Alta	2278	41.39
Muito alta	833	15.13
TOTAL	4236	76.96

V. EXTRAPOLAÇÃO DOS MODELOS PARA BEIROLAS – CARTOGRAFIA DE INUNDAÇÃO EM TERRITÓRIO SEM INFORMAÇÃO HOMOLOGADA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, através dos modelos automáticos de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundação, para Beirolas. A implementação, dos referidos modelos, foi realizada apenas com recurso à informação geográfica a partir de processamento digital de imagem, uma vez que, nesta área de estudo não existe informação homologada.

A automatização dos modelos, sem recurso a informação homologada, foi incidida na área envolvente de Beirolas (Figura 34). Este local de estudo é composto por uma área total de 7.53 Km², incluindo grande parte da Encarnação e Olivais, como ainda, uma pequena porção do Parque das Nações.

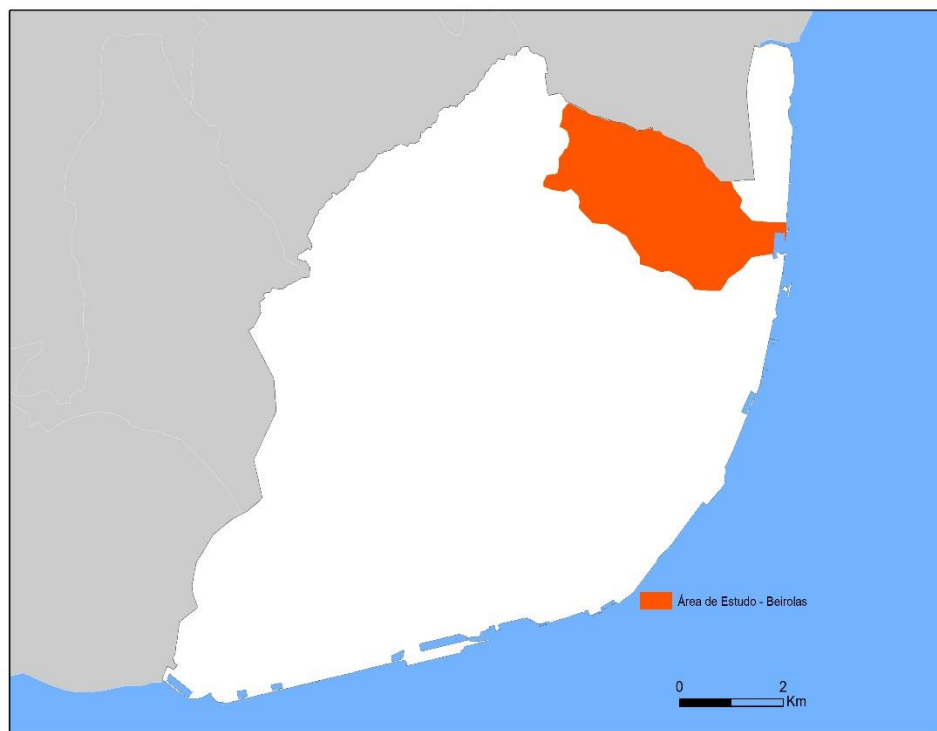


Figura 34 - Área de estudo – Beirolas

5.1 A suscetibilidade a inundação em Beirolas

A realiza o da carta de suscetibilidade a inunda o em Beirolas (Figura 35) seguiu a metodologia dos dados conseguidos a partir da extra o de dados cartográficos em ortofotomapa com o uso do PDI. Nesta rea de estudo é desenvolvida cartografia temática sem o recurso às fontes homologadas, uma vez que, no estudo anterior em Alcântara foi entendido, através de diversas análises de compara o, a fiabilidade do uso desta metodologia para a concretiza o de cartografia temática de inunda o em Lisboa.

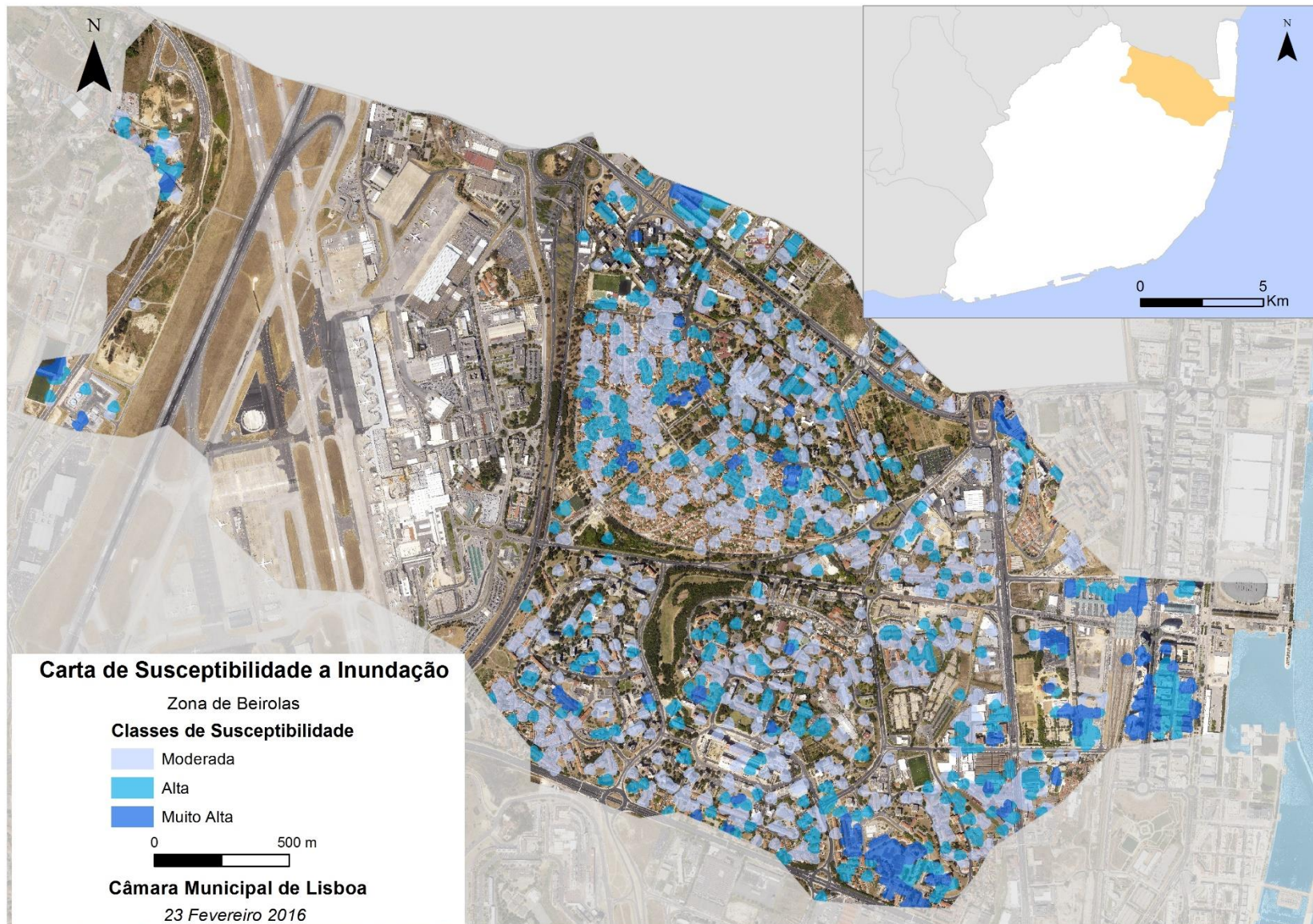


Figura 35 - Carta de Suscetibilidade para Beirilão

Na área de estudo Beirolas, que possui uma área de 753 ha, encontram-se cerca de 153 ha de locais suscetíveis a inundações, ou seja, mais de 20% está sob territórios com probabilidade de ocorrência de inundações, sendo que, a maior parte encontra-se no Parque das Nações, Olivais Sul e Encarnação. Porém a suscetibilidade está repartida em três classes, que possuem uma percentagem de ocupação diferenciada (Tabela 33).

Tabela 33 - Percentagem de ocupação das classes de suscetibilidade em Beirolas

Classe de Suscetibilidade	Percentagem Ocupação
Moderada	50
Alta	37
Muito alta	13

A população residente em Beirolas é de 40917, segundo os censos de 2011, onde mais de 65% da população reside em locais suscetíveis à ocorrência do fenómeno de inundações. Quando analisada a população afetada, por classes de suscetibilidade, é possível verificar a grande taxa de ocupação nas classes de moderada e alta suscetibilidade, onde ambas apresentam cerca de 28% da população (Figura 36). É possível aferir o grau de suscetibilidade a inundações em Beirolas, porém é um valor menos elevado quando comparado com Alcântara.

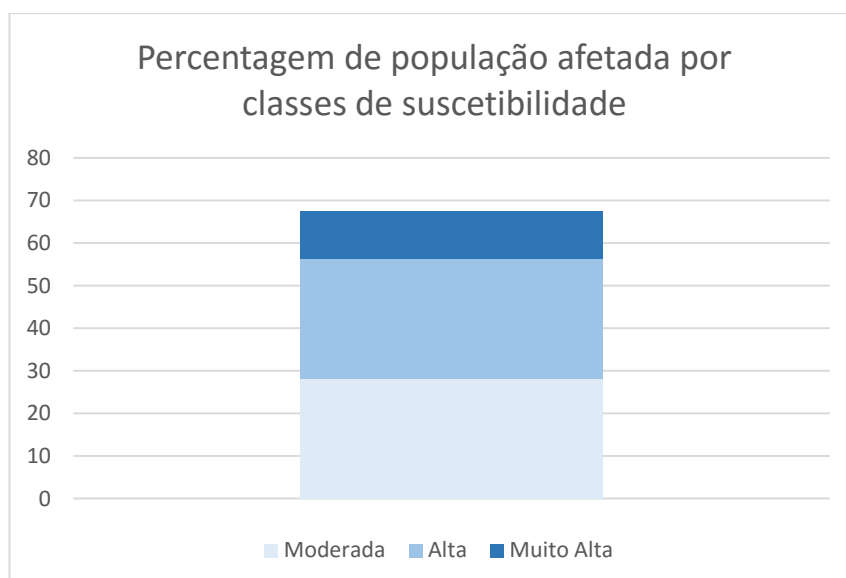


Figura 36 - Percentagem de população afetada por classes de suscetibilidade

No que diz respeito à análise do grau de exposição da classe populacional com mais de 64 anos, nesta área de Beirolas é totalizado 11033, onde 7308, ou seja 66% residem em locais com suscetibilidade a inundações. A análise das classes de suscetibilidade (Figura 37) indica que cerca de 33% da população idosa está alocado em locais com moderada suscetibilidade a inundações.

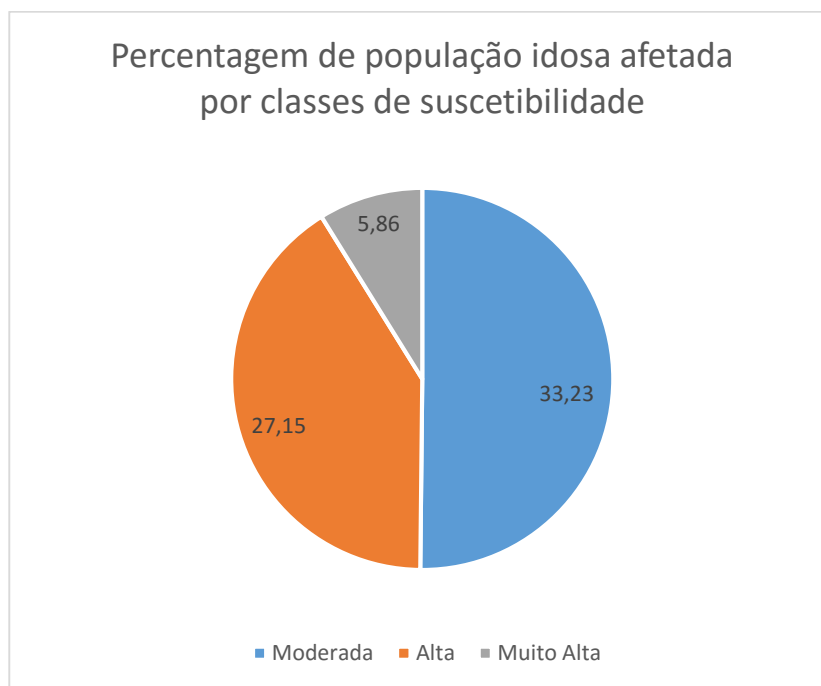


Figura 37 - Percentagem de população idosa afetada por classes de suscetibilidade

Quanto à análise do edificado exposto ao fenómeno de inundações, este ronda os 83%, ou seja, 2566 edifícios dos 3081 existentes estão localizados em áreas suscetíveis à existência de inundações, sendo que, a maior parte destes estão associados à classe moderada de suscetibilidade com 38% (Tabela 34).

Tabela 34 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundações

Classe de Suscetibilidade	Número de Edifícios	%
Moderada	1186	38.49
Alta	1026	33.30
Muito alta	354	11.49
TOTAL	2566	83.28

5.2 A vulnerabilidade a inundação em Beirolas

A concretiza o da carta de vulnerabilidade a inunda o em Beirolas (Figura 38) foi originada a partir do modelo automatizado com o uso de informa o geográfica extraída por processamento digital de imagem. Com esta carta   possível identificar e quantificar a exposi o da perigosidade que o território apresenta em caso de inunda o.

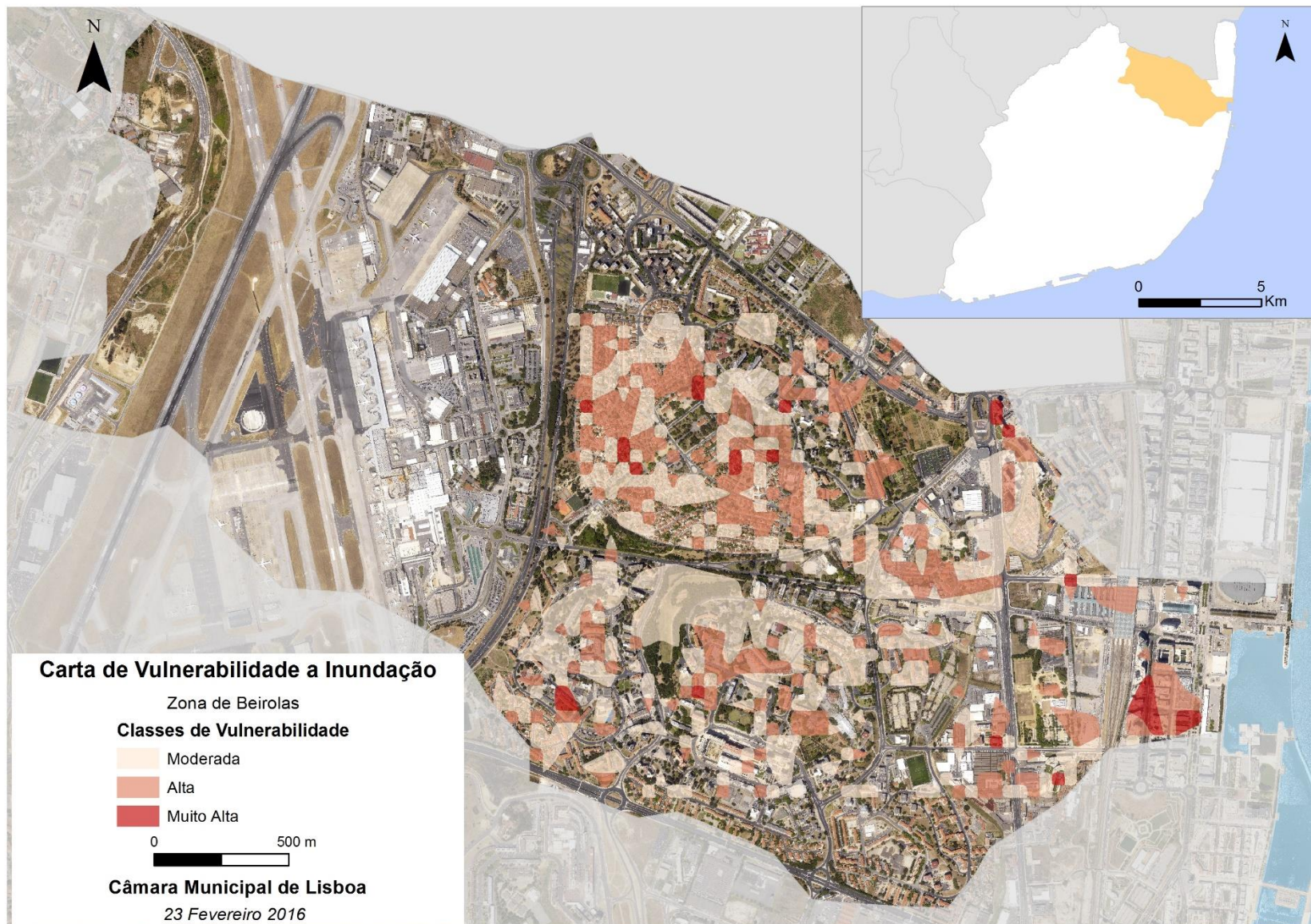


Figura 38 - Carta de Vulnerabilidade para Beirilas

Beirolas é constituída por 753 ha, sendo que, cerca de 21%, ou seja, 159 há são locais com vulnerabilidade a inundação, onde a maior parte   encontrada, como na suscetibilidade, na zona do Parque das Nações, Olivais Sul e Encarnação. A repartição da ocupação da vulnerabilidade por classe   diferenciada, com a maior a pertencer   classe moderada vulnerabilidade com 59% (Tabela 35).

Tabela 35 - Percentagem de ocupação das classes de vulnerabilidade em Beirolas

Classe de Vulnerabilidade	Percentagem Ocupa�o
Moderada	59
Alta	37
Muito alta	3

Segundo os últimos censos de 2011, a população residente em Beirolas atinge os 40917, onde mais de 69% encontram-se a residir em áreas vulneráveis ao fenómeno de inundação. Ao analisar a distribuição da população por classes de vulnerabilidade   positivo descobrir que apenas 3% da população está alocada em locais com muito alta vulnerabilidade a inundação (Figura 39).

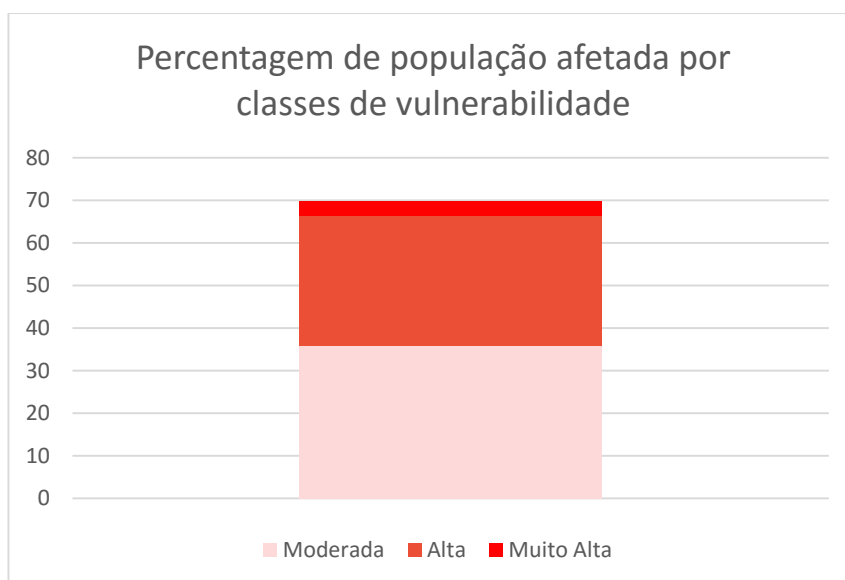


Figura 39 - Percentagem de população afetada por classes de vulnerabilidade

Na análise da população idosa, que possui 11033 habitantes, cerca de 68% está a residir em territórios com vulnerabilidade a inundações. Porém a maior parte destes encontram-se em locais com moderada vulnerabilidade a inundações, com quase 38% (Figura 40). É também importante destacar que apenas 327 idosos, ou seja, 3% estão a residir em locais com muito alta vulnerabilidade a inundações.

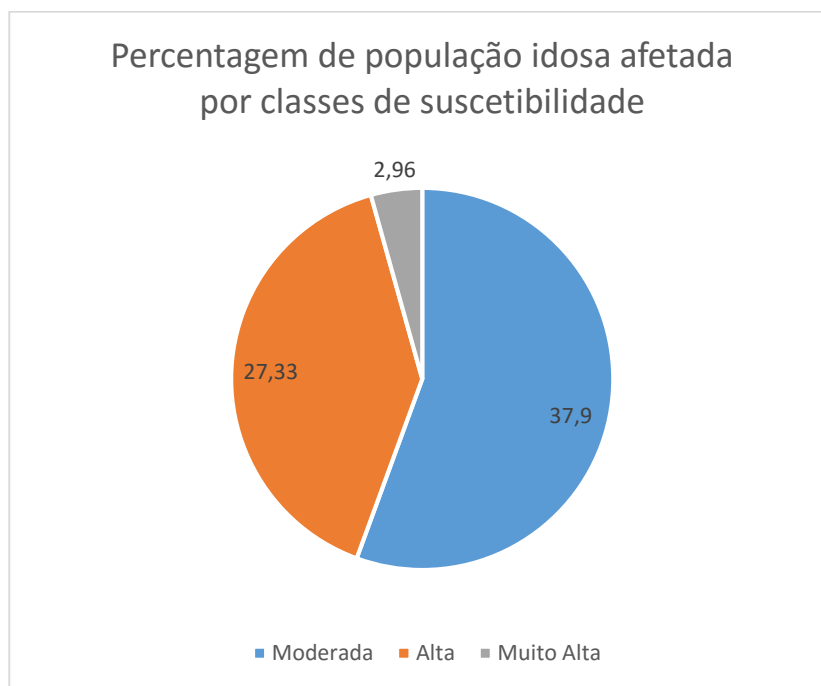


Figura 40 - Percentagem de população idosa afetada por classes de vulnerabilidade

Na taxa de urbanização que está exposto ao perigo na ocorrência de uma inundações ronda os 2653 dos 3081 edifícios existentes, ou seja, 86% do edificado estão construídos em áreas com vulnerabilidade a inundações. Nesta análise por classes de vulnerabilidade a maior ocupação encontra-se na classe moderada vulnerabilidade com 41% (Tabela 36).

Tabela 36 - Taxa de urbanização exposta ao fenómeno de inundações

Classe de Vulnerabilidade	Número de Edifícios	%
Moderada	1288	41.80
Alta	1135	36.84
Muito alta	230	7.47
TOTAL	2653	86.11

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inundações em espaços urbanos são fenómenos naturais, porém têm sido intensificadas devido a fatores antrópicos e falta de ordenamento do território. Este fenómeno tem vindo a aumentar nos últimos 100 anos devido à rápida expansão dos eixos urbanos com a transformação do território, com a sistemática impermeabilização dos solos. A expansão urbana alterou o ciclo hidrológico alterando as dinâmicas, onde a relação entre a infiltração e o escoamento superficial foi modificado.

A cidade de Lisboa, ao longo dos últimos 60 anos, procedeu à expansão do seu eixo urbano, que devido às suas características geográficas e ao ordenamento do território ineficaz potenciou o registo de inundações. Desde os anos 70 que o território lisboeta é altamente artificializado, com grandes alterações morfológicas, devido à impermeabilização dos solos e canalização das linhas de água, como é o caso do caniço de Alcântara, diminuindo assim o tempo de concentração das bacias hidrográficas originando cheias rápidas com graves danos económicos e sociais, como os registados nas inundações de 1967 e 1983.

Por esta razão é necessário compreender o território e procurar mecanismos de apoio à resolução das problemáticas assentes na existência de inundações. Para tal torna-se essencial uma maior aposta na análise espacial, uma vez que, através do cruzamento de informação geográfica é possível caracterizar o território sendo que posteriormente é exequível a visualização da informação criada. No caso concreto das inundações em espaços urbanos, a cartografia deve ser vista como um instrumento de prevenção, controle e gestão, visto que potencia o estabelecimento de prioridades técnicas, financeiras e políticas. Por estas razões foi realizado a aposta na criação, através de análise espacial, de cartografia temática de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundações na cidade de Lisboa.

No que toca à análise do fenómeno de inundações foi considerado a cartografia dinâmica através de duas grandes temáticas, a suscetibilidade e vulnerabilidade que o território apresenta. Por um lado, a suscetibilidade resulta do cruzamento de informação geográfica assente nos fatores naturais e antrópicos com o intuito de apresentar os locais com probabilidade de ocorrência do fenómeno de inundações, ou seja, as áreas do território que possuem capacidade de gerar o aparecimento de cheias

urbanas. Por outro lado, a vulnerabilidade é a análise do território, com especial ênfase na população afetada, atividades económicas, meio ambiente e a cultura. A vulnerabilidade torna-se assim a capacidade de resiliência do território para responder aos acontecimentos de desastre, onde recorrendo à análise espacial origina a paisagem cartográfica dos espaços que contemplam a vulnerabilidade ao fenómeno de inundação.

A execução da cartografia temática de suscetibilidade e vulnerabilidade a inundação para a cidade de Lisboa baseia-se na construção de modelos geográficos automatizados, a partir do *software* ArcGis, que realiza o cruzamento da informação geográfica. Esta é proveniente de duas fontes diferenciadas, sendo a primeira referente a dados homologados, estes adquiridos no âmbito do concurso público internacional para aquisição de cartografia numérica vetorial e ortofotocartografia à escala 1:1000 lançado em 2010. Porém esta informação homologada não está disponível para todo o território da cidade de Lisboa, sendo que foi necessário criar mecanismos e ferramentas para a extração de cartografia base a partir de ortofotomapas, sendo esta a segunda fonte de informação geográfica.

Para a realização deste projeto foi definido como primeira área de estudo a zona envolvente de Alcântara, seguindo duas metodologias diferenciadas, a primeira referente ao uso dos dados oficiais da informação geográfica homologada e a segunda a partir dos dados extraídos com o processamento digital de imagem. Com o objetivo de realizar a correlação entre as duas e concluir se o PDI é um método viável para a conceção de cartografia temática. Neste caso prático, foi possível verificar que as diferenças entre os valores obtidos não são significativas, como pode ser comprovado pelos valores de exatidão na ordem dos 0,97 para a carta de suscetibilidade, e na ordem dos 0,93 para a carta de vulnerabilidade, cujo varia entre 0 e 1, quando mais perto de 1 maior exatidão dos dados. Podendo assim concluir a fiabilidade do PDI para a criação de cartografia temática de inundação. Uma vez que a fiabilidade do processamento digital de imagem para a realização de cartografia temática foi comprovada, a mesma metodologia foi utilizada para uma nova área de estudo que não possui dados homologados, sendo esta a zona envolvente de Beirolas.

Com as metodologias descritas acima, obtiveram-se três classes, sendo estas, moderada, alta e muito alta. Por um lado, para a carta de suscetibilidade de Alcântara

as mesmas possuem uma percentagem de ocupação semelhantes entre elas, é de realçar que 70% da população reside dentro destas três classes, onde 80% são população idosa, possuindo assim um grande grau de perigosidade. Por outro lado, na carta de vulnerabilidade de Alcântara, destaca-se a classe alta entre as demais, ocupando quase 50% do território, comparando a percentagem de população residente e idosa com a carta de suscetibilidade esta aumenta razoavelmente, sendo que 87% da população residente e 91% da população idosa se insere na área vulnerável. No entanto, os valores variam quando vemos o mesmo processo aplicado para a área envolvente a Beirolas, no que toca à população que se encontra sob território suscetível é relativamente inferior às duas cartas referidas anteriormente, sendo que 65% reside nas três classes, onde 66% da população idosa reside nestes locais. No que se refere à carta de vulnerabilidade destaca-se que 69% da população reside em áreas vulneráveis, onde 68% são população idosa.

Com este estágio e consequente relatório, foi possível aprofundar e aprender novas técnicas de sistemas de informação geográfica, com o manuseamento no software ArcGis. Este é um tema exaustivo, que poderá ser ainda mais alargado, como a tentativa de criar ferramentas de processamento digital de imagem para a extração de elementos cartográficos base, que possibilite um erro menor na comparação entre cartografia homologada e extraída. Um estágio mais prolongado poderia permitir a extração de elementos em ortofotomapa com o uso de outro software e assim comparar resultados, porém esta também não foi uma prioridade efetiva, uma vez que, foi pretendido desde o início estabelecer mecanismos com o uso dos meios disponibilizados pela CML. Com este projeto foi possível desenvolver competências e melhorar conhecimentos, quer teóricos, quer aplicacionais, sendo importante salientar o meio académico que possibilitou a realização do trabalho em contexto real, proposto pela instituição de acolhimento. Este projeto só foi possível, devido aos vários ensinamentos transmitidos por todos aqueles que participaram no presente projeto.

BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE, Márcio; ALBUQUERQUE, Marcelo - *Processamento de Imagens: Métodos e Análise*. Rio de Janeiro, 2001.

ALVARENGA, Brummer; [et al.] – “Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens para a estimativa de áreas de arroz irrigado: um estudo de caso no município de Santa Vitória do Palmar/RS”. *XII Simpósio Brasileiro do sensoriamento remoto*, Goiânia, 2005, pp. 3961-3966.

ANDRADE, Eduardo; DANNA; Lana; SILVA, Paulo - “Mapeamento de perigos e riscos de inundação no município de Aparecida (São Paulo)”. *Anuário do Instituto de Geociências*, Vol. 35, nº2, 2012, pp.28-42.

BICHANÇA, Maria de Fátima - *Bacias de retenção em zonas urbanas como contributo para a resolução de situações extremas: Cheias e Secas*. Porto: Universidade do Porto, 2006.

CÂMARA, Gilberto; [et al.] - “Análise espacial e geoprocessamento”. Capítulo I, *Análise espacial de dados geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 2004.

COSTA, P. C. – “As cheias rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa”, Livro Estudos em Homenagem a Mariano Feio, Lisboa: 1986, pp. 601-616.

CUTTER, Susan - “A Ciência da vulnerabilidade: Modelos, métodos e indicadores”, *Revista Crítica de Ciências Sociais*, nº 93, 2011, pp.59-69.

Decreto de Lei nº115/2010 de 22 de outubro - Aprovação do quadro para a avaliação e gestão do risco de inundações. Acedida a 20 de fevereiro de 2016.

Decreto Lei nº180/2009 de 7 de agosto - Revisão do Sistema de Informação Geográfica. Acedido em 15 de março de 2016.

Decreto Lei nº193/1995 de 28 de julho - Os princípios e as normas para a produção cartográfica no território nacional. Acedido em 15 de março de 2016.

Decreto Lei nº202/2007 de 25 de maio - Alteração do decreto lei nº193/1995 de 28 de julho. Acedido em 15 de março de 2016.

Decreto Lei nº84/2011 de 20 de junho - Simplificação dos regimes jurídicos para a produção cartográfica. Acedido em 15 de março de 2016.

Diretiva 2007/60/CE do parlamento europeu e do conselho de 23 de outubro - Avaliação e gestão do risco de inundações. Acedida a 20 de fevereiro de 2016.

DUARTE, Andreia; [et al.] - *Cheias rápidas em áreas urbanas e a sua percepção: O caso da bacia da ribeira de Odivelas*. Évora: XX colóquio ibérico de Geografia, 2005.

FARIA, Rita; PEDROSA, António - *Aplicação SIG na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrografia do Rio Uíma - Santa Maria da Feira*. São Paulo: XI Simpósio Brasileiro de Geografia física aplicada, 2005.

FILHO, Ogê; NETO, Hugo - *Processamento Digital de Imagem*. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

GABRIEL, Cristina - *Análise comparada de segmentação e classificação orientada por objetos de uma imagem worldview-2*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2013.

HORA, Silmara; GOMES, Ronaldo – “Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna”. *Soc & Nat*, Uberlândia, nº21, 2009, pp. 57-75.

KIENBERGUER, Stefan - “Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in Búzi, Mozambique”. *Nat Hazard*, nº64, 2012, pp. 2001-2019.

LEAL, Miguel; RAMOS, Catarina - “Susceptibilidade às cheias na área metropolitana norte: factores de predisposição e impactes das mudanças de uso do solo”, *Finisterra*, nº95, 2013, pp. 17-40.

LEE, Yung-Jaan - “Social Vulnerability indicators as a sustainable planning tool”, *Environmental Impact Assessment Review*, nº 4, 2014, pp. 31-42.

MARQUES, Teresa; DELGADO, Carlos; SILVA, Filipe - “Processo de expansão urbana e mudanças na paisagem: ensaio metodológico (1950-2000)”, *Revista da faculdade de letras - geografia - Universidade do Porto*, III série, vol. I, 2012, pp. 161-183.

MENEZES, Paulo; ALMEIDA, Tati (Editores) - Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UnB & CNPq, 2012.

MERZ, B; THIEKEN, A. H.; GOCHT, M. - "Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges". *Flood Risk management in europe*, 2007, pp. 231-251.

OLIVEIRA, Pedro; RAMOS, Catarina - "Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e os seus factores agravantes", *Finisterra*, nº74, 2002, pp.33-54.

PAIS, Filipa; MOREIRA, Maria Madalena - *Avaliação da incidência ao risco de inundação: Aplicação a um caso particular no concelho de Lisboa*. Évora: 7º Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos países de língua oficial portuguesa, 2005.

PEREIRA, Margarida; VENTURA, José Eduardo - *As áreas inundáveis em meio urbano: a abordagem dos instrumentos de planeamento territorial*. Lisboa: 7º Congresso da Água, 2004.

PINTO, Cláudia - *Cartografia 1:10000: proposta de modelo de actualização cartográfica - o caso do município do Seixal*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2012.

QUEIROZ, José, GOMES, Herman - "Introdução ao Processamento Digital de Imagem". *Revista RITA*, nº13, 2006, pp. 11-42.

RAMOS, Catarina; REIS, Eusébio - "As cheias no sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas", *Finisterra*, nº71, 2001, pp. 61-82.

SILVA, Ana Paula - *Elaboração de manchas de inundação para o município de Itajubá utilizando SIG*. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2006.

SILVEIRA, Claudinei; [et al.] - "Emprego de atributos topográficos no mapeamento da suscetibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacareí, Parana". *Soc & Nat, Uberlândia*, nº25, 2013, pp. 623-639.

SOUSA, Pedro - *Drenagem urbana sustentável e o regime de precipitação em Portugal*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2014.

TUCCI, Carlos - *Água no meio urbano - Capítulo 14 no livro Água Doce*. Rio Grande do Sul: Instituto de pesquisas Hidráulicas, 1997.

VARGAS, Alan; [et al.] – “Controle de cheias urbanas”, *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, vol.2, 2008, pp. 107-131.

ZHONG, Guihui; [et al.] - “Urban Flood Mapping for Jiaying City based on hydrodynamic modeling and GIS analysis” *Journal of coastal research*, nº68, 2014, pp. 168-175.