

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

# Contributo para a criação de um sistema de apoio à gestão do risco de incêndio rural: o caso de Arouca

Liliana Raquel Ribeiro de Castro

**M**

2017



**Liliana Raquel Ribeiro de Castro**

**Contributo para a criação de um sistema de apoio à gestão do risco  
de incêndio rural: o caso de Arouca**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Fantina Maria Santos Tedim e coorientada pelo Professor Doutor-António Alberto Gomes

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

24 de Novembro 2017

# Contributo para a criação de um sistema de apoio à gestão do risco de incêndio rural: o caso de Arouca

Liliana Raquel Ribeiro de Castro

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pela Professora Doutora Fantina Maria Santos Tedim e coorientada pelo Professor Doutor-António Alberto Gomes

## Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro de Machado Soares  
Faculdade de Letras – Universidade do Porto

Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira  
Faculdade Letras – Universidade do Porto

Professor Doutor Fantina Maria Santos Teixeira  
Faculdade Letras – Universidade do Porto

Classificação obtida: 10 valores

# Índice

Agradecimentos .....	6
Resumo .....	7
Abstract .....	8
Índice de Figuras .....	9
Índice de tabelas .....	11
Lista de abreviaturas e siglas .....	12
Introdução .....	13
1. Contextualização .....	13
2. Objetivo do trabalho e metodologia .....	14
3. Estrutura da dissertação .....	15
Capítulo 1 – Os Sistemas de Informação Geográfica .....	16
1.1 Modelos de Representação Geográfica .....	18
1.2. Modelo Digital do Terreno .....	20
1.2.1. Mapa de Declives .....	20
1.2.2. Mapa de Exposição .....	21
1.2.3. Mapa de Insolação .....	21
1.3 Os Big Data em SIG .....	22
1.4. A aplicação dos SIG .....	24
Capítulo 2 – Os SIG nos incêndios florestais: exemplos de aplicações .....	26
2.1 Cartografia de Perigo de Incêndio Rural e Modelação do Risco .....	29
2.1.1 Índices de Perigo de Incêndio .....	31
2.2 Produção de Mapas de Risco .....	32
2.3 Simulação Espaço-temporal de Incêndios .....	34
2.4 Plataformas de apoio a Incêndios Rurais .....	35
2.4.1 EFFIS-European Forest Fire Information System .....	35
2.4.2. AEGIS: a wildfire prevention and management information system .....	37
Capítulo 3 - Os incêndios rurais no município de Arouca .....	39
3.1 Enquadramento geográfico .....	39
3.2Evolução dos Incêndios entre 1980 e 2015 .....	43

Capítulo 4 – As características do município favoráveis ao risco de incêndio.....	47
4.1 Ocupação do solo .....	47
4.2. Densidade populacional .....	49
4.3 Características das aldeias da Serra da Freita.....	51
Conclusão.....	54
Referências Bibliográficas .....	55
Anexos .....	62
Tabela 1 evolução do número de incêndios na área de estudo .....	62

## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grata.

À minha orientadora Professora Doutora Fantina Maria Santos Tedim que aceitou ser minha orientadora, quero expressar toda a gratidão pela sua amizade, dedicação e disponibilidade que sempre teve para com a minha investigação. A sua orientação foi fundamental para o alcançar dos objetivos propostos.

Agradeço ao meu coorientador Professor Doutor António Alberto Gomes por toda a compreensão e estímulo constantes, pela amizade e contínuos ensinamentos.

Aos meus amigos e familiares que estiveram ao meu lado nesta fase difícil, sempre com muita paciência, disponibilidade, encorajamento, companheirismo e força incondicionais nos momentos de dúvida, desespero e revolta.

Em especial aos meus pais pela oportunidade de poder tirar um mestrado, sem nunca me faltar nada, compreensão e o incentivo, que tiveram para comigo durante estes anos de estudo, e a ajuda que me deram no ultrapassar de algumas dificuldades, pelos valores transmitidos e a experiência de vida que me propiciaram.

## Resumo

O Património Natural de Arouca constitui um dos pontos mais fortes do concelho, que evidenciam as suas riquezas naturais. Neste concelho, no período analisado, constatou-se um aumento médio da área ardida, tal a par do número de ocorrências, o que afirma ainda mais o facto de ser dito, este conselho de facto é bastante fustigado pelos incêndios rurais.

Este trabalho teve como finalidade perceber a utilidade da ferramenta SIG e a análise de dados recolhidos respeitantes ao concelho e, sobretudo detetar o nível de risco de incêndio a que a área de estudo esta exposta.

Foram usadas como base algumas metodologias portuguesas e estrangeiras para chegar ao conceito de incendio rural, à distinção entre entender as circunstâncias e consequências dos incêndios rurais em Arouca. Também foi objetivo, o desenvolvimento fogo e incêndio e, sobretudo de uma base extremamente simples de estruturação de um Sistema de Informação Geográfica de apoio à gestão do risco de incêndio rural.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) favorecem claramente os estudos com carácter multidisciplinar. São um sistema que nos permite a utilização de vários tipos de ficheiros, dando-nos diversa informação sobre uma determinada área em estudo, usando-os de forma a representar a informação dos dados em mapas temáticos. Através deles podemos analisar o terreno e os perigos ou riscos em que ele se encontra.

O concelho de Arouca constituiu o território de aplicação da metodologia pelo seu elevado histórico de fustigação pelos incêndios rurais.

Os resultados apresentados, mostram que este concelho é bastante fustigado e sobretudo está muito lesado com a ação dos incêndios rurais.

A todos aqueles que de uma forma direta ou indireta me ajudaram na elaboração deste trabalho, os meus agradecimentos.

**Palavras-chave:** SIG, riscos, território incêndios rurais.

## **Abstract**

The Natural Heritage of Arouca is one of the strongest points of the county, which shows its natural riches. In this municipality, during the analyzed period, an average increase of the area burned, as well as the number of occurrences was verified, which further affirms the fact that, in fact, this fact-finding council is very much attacked by the rural fires.

The objective of this work was to understand the usefulness of the GIS tool and the analysis of collected data regarding the county and, especially, to detect the level of fire risk to which the study area is exposed.

Some Portuguese and foreign methodologies were used to arrive at the concept of rural fire, the distinction between understanding the circumstances and consequences of the rural fires in Arouca. It was also objective, the development of fire and fire, and above all an extremely simple basis of structuring a Geographic Information System to support the management of rural fire risk.

Geographic Information Systems (GIS) clearly favor multidisciplinary studies. They are a system that allows us to use several types of files, giving us diverse information about a certain area under study, using them in order to represent the information of the data in thematic maps. Through them we can analyze the terrain and the dangers or risks in which it lies.

The municipality of Arouca constituted the territory of application of the methodology for its high history of harassment by rural fires.

The results presented show that this municipality is very much attacked and, above all, is greatly damaged by the action of rural fires.

To all those who directly or indirectly helped me in the elaboration of this work, my thanks

**Key words:** GIS, risks, territory, rural fires.

## Índice de Figuras

Figura 1: Representação dos Sistemas Informação Geográfica (elaboração própria) .....	18
Figura 2: Ampliação de opções de geração de dados e informação .....	23
Figura 3: Fluxograma com os procedimentos de integração das diferentes variáveis de perigo (Fonte: Castro e Chuvieco 1998).....	28
Figura 4:Componentes do modelo de risco de incêndio rural (Fonte: Teodoro e Duarte (2012) .....	28
Figura 5:Análise da Teoria do Risco .....	30
Figura 6: Mapas que mostram (a) a probabilidade prevista de ocorrência de incêndios no sul-leste da Austrália e (b) o padrão (Fonte: yang zhang et al 2016).....	33
Figura 7: EFFIS Dados e fluxo de informação (Fonte:EFFIS).....	36
Figura 8: Software de comportamento de fogo FlamMap (Fonte: AEGIS) .....	37
Figura 9:Enquadramento da área de estudo (Fonte: Elaboração própria baseada na CAOP) .....	39
Figura 10: Divisão administrativa do Município de Arouca (Fonte: Elaboração própria baseada na CAOP).....	40
Figura 11: Variação da população por freguesia entre 2001-2011 (Fonte: Dados dos Recenseamentos da População, INE). .....	40
Figura 12: Variação da população por freguesia entre 1950-2011 (Fonte: Dados dos Recenseamentos da População, INE). .....	41
Figura 13: Modelo digital do terreno .....	42
Figura 14: Evolução do número de incêndios rurais no município de Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF) .....	43
Figura 15: Evolução da área ardida em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF) .....	44
Figura 16: : Evolução da área ardida com mais de 100 ha em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF) .....	44
Figura 17: Número de incêndios inferiores a 1 há ocorridos no concelho de Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF).....	45
Figura 18: Evolução da área ardida com menos de 1 há em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: dados fornecidos pelo ICNF) .....	45
Figura 19: Mapa de recorrências do município de Arouca (Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do ICNF) .....	46
Figura 20: Mapa de Ocupação do Solo do município de Arouca, do nível 2 de 2007 (Fonte: DGT) .	47
Figura 21Mapa de ocupação do solo do município de Arouca, no nível 3.....	48

Figura 22: Densidade populacional em 1991, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 1991, INE) .....	49
Figura 23: Densidade populacional em 2001, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 2001, INE) .....	50
Figura 24: Densidade populacional em 2011, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 2011, INE) .....	50
Figura 25: Caracterização das cinco aldeias, num buffer de 500m. ....	52

## **Índice de tabelas**

Tabela 1: Evolução da população por freguesia, entre 1950 e 2011 .....	42
Tabela 2: Algumas características das aldeias (Fonte: Elaboração própria) .....	53

## **Lista de abreviaturas e siglas**

**ANPC-** Autoridade Nacional de Proteção civil

**CAOP-** Carta Oficial Portuguesa

**COS-** Carta Ocupação do solo

**CAD-** Desenho Assistido por Computador

**DGT-** Direção Geral Território

**EFFIS-** European Forest Fire Information System

**FARSITE-** Fire Area Simulation

**INE-** Instituto Nacional Estatística

**ICNF-** Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

**MDT-** Modelo Digital do Terreno

**SGBS-** Sistemas de Gestão de Base de Dado

**SIG-** Sistemas de Informação Geográfica

**TIN-** Triangulated Irregular Network

**WFS-** Web Feature Service

**WMS-** Web Map Service

**MDT-** Modelo Digital do Terreno

# Introdução

## 1. Contextualização

Portugal é o país europeu mais afetado por incêndios rurais, alguns dos quais atingem grandes proporções e provocam grandes impactos sociais e ambientais nas áreas que afetam. Os incêndios rurais referem-se a todas as propagações descontroladas do fogo, que afetam espaço florestal (povoamentos e matos), áreas agrícolas e povoações rurais. Existe uma diferença entre incêndio e fogo que nem sempre é clara para a sociedade. O primeiro é uma combustão descontrolada, enquanto o segundo é uma combustão controlada (Bento-Gonçalves, 2006). A propagação do fogo refere-se à “disseminação da combustão pelos materiais combustíveis circundantes, através da transmissão de calor por convecção, condução ou radiação, ou através do aparecimento de focos secundários, por projeção de material e combustão” (Verde, 2008:p.27-28).”( <http://www.prociv.pt/pt-pt/RISCOSPREV/RISCOSNAT/INCENDIOSFLORESTAIS/Paginas/default.aspx> - retirado em 23/06/2017)O fogo é uma componente natural de muitos ecossistemas e desempenha uma importante função ecológica (Myers, 2007), todavia, não é simplesmente um processo biofísico mas também um processo social (Coughlan e Petty, 2012; Kumagai et al., 2004; McCaffrey et al., 2013; Pyne, 2007). Assim, podemos dizer que é preciso reduzir a ocorrência de incêndios, mas é preciso aproveitar os benefícios do uso do fogo (p.ex. fogo controlado), isto é, incentivar a utilização ecológica do fogo (McCaffrey et al., 2013).

Os incêndios rurais são habitualmente considerados um risco natural de categoria meteorológica (Wisner et al., 2012). Já Loureço (2006) classifica-os como um risco misto, pois assume a existência de causas naturais e antrópicas combinadas na sua ocorrência, todavia, o paradigma físico, focalizado no comportamento e na ecologia do fogo, tem sido dominante na investigação e orientação da política de gestão dos incêndios rurais, o que não permite contribuir de uma forma sustentável para a redução do risco. A Autoridade Nacional de Proteção Civil comprova considera que os “incêndios florestais são considerados catástrofes naturais, mas pelo facto de se desenvolverem na natureza e por sua possibilidade de ocorrência e características de propagação dependerem fortemente de fatores naturais, do que por serem causados por fenómenos naturais. A intervenção humana pode desempenhar um papel decisivo na sua origem e na limitação do seu desenvolvimento. A importância da ação humana nestes fenómenos distingue os

incêndios florestais das restantes catástrofes naturais. ([www.prociiv.pt/pt-pt/RISCOSPREV/RISCOSNAT/INCENDIOSFLORESTAIS/Paginas/default.aspx](http://www.prociiv.pt/pt-pt/RISCOSPREV/RISCOSNAT/INCENDIOSFLORESTAIS/Paginas/default.aspx) retirado em 23/06/2017)

Atendendo que a maior parte dos incêndios rurais têm causas antrópicas é muito redutor, não compreender a sua dimensão social (Tedim e Paton, 2012). Os “ incêndios florestais são socialmente construídos e são problemas porque as sociedades os definem como tal, e quase todas as crises geradas pelo fogo podem ser resolvidas através de instrumentos sociais” (Pyne, 2007: p.274). Este enfoque será fundamental para que a gestão do risco de incêndio rural possa, de uma forma mais eficiente, prevenir e mitigar os efeitos negativos e, paralelamente, incentivar a utilização ecológica e rentável do fogo (McCaffrey et al., 2013). Não obstante os milhares de anos decorridos desde que o Homem começou a “manipular o fogo”, a relação entre sociedades, o fogo e as paisagens continua a permanecer muito pouco compreendida pelo que necessidade de existir uma abordagem mais integrativa aspetos sociais e físicos do fogo (Coughlan e Petty, 2012; Tedim, 2013).

Numa altura em que em muitas regiões do Globo a expansão da interface urbano-florestal está colocando mais pessoas em risco vai aumentando o interesse das ciências sociais pelos incêndios rurais (Mickler et al., 2013).

## **2. Objetivo do trabalho e metodologia**

O objetivo desta investigação é refletir sobre a necessidade e as características de um sistema de apoio à avaliação e gestão do risco de incêndio rural utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Selecionamos como área de estudo o município de Arouca, maioritariamente florestal.

Começamos por fazer uma revisão bibliográfica sobre a utilização dos SIGs na prevenção dos incêndios rurais e sobre aspetos conceptuais relacionados com a temática.

Utilizamos, fundamentalmente, informação secundária proveniente das seguintes fontes:

- I. Instituto Nacional de Estatística (INE): utilizamos dados dos diversos recenseamentos da população.
- II. Direção Geral do Território (DGT): usamos a Carta Oficial Portuguesa (CAOP), a Carta de Ocupação do Solo (COS) de vários níveis dos anos 1990 e 2007.
- III. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF): utilizamos dados da

base de dados dos incêndios rurais na sua componente estatística e cartográfica.

Na análise dos dados utilizamos técnicas de estatística descritiva e representação gráfica de algumas variáveis relacionadas com a ocorrência de incêndios rurais. Os SIGs foram fundamentalmente utilizados para a análise de dados espaciais e a realização de mapas.

Selecionamos ainda cinco aldeias da área de estudo para as caracterizar e assim evidenciar as condições propícias à ocorrência de incêndios rurais.

### **3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está organizada em quatro capítulos e uma conclusão.

No primeiro capítulo faz-se uma breve análise dos SIG, na sua evolução e diversas aplicações, vertentes, componentes e alguns resultados nas diferentes áreas.

No segundo capítulo, enquadram-se os SIG no fenómeno de catástrofe natural incêndios rurais e distingue-se os conceitos de fogo e incêndio rural. Refere-se ainda de como os SIG podem ser usados no auxílio a este fenómeno (incêndio rural), na vertente de prevenção, combate, planeamento e gestão, supressão dos incêndios rurais e ordenamento do território.

Fala-se também, no tipo de cartografia criada e modelações de risco, índices de perigo, do uso de softwares SIG para produção de mapas de risco, simulações no espaço e tempo e até de plataformas de apoio.

No terceiro capítulo são analisados os incêndios florestais na área de estudo, com o enquadramento do município de Arouca e análise do número de ocorrências, bem como da área ardida.

No quarto e último capítulo, são expostas as características de algumas aldeias do município, favoráveis ao fenómeno incêndios rurais. Na conclusão realçam-se os aspetos principais da investigação.

## **Capítulo 1 – Os Sistemas de Informação Geográfica**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são um conjunto de várias noções da compreensão que permite dominar a informação georreferenciada (informação geográfica). Algumas definições perdem o verdadeiro conceito de um SIG, no que diz respeito à sua capacidade de integrar informação e ajudar à tomada de decisões, mas todas focam as suas duas principais características: a referência espacial e a análise de dados.

Os SIG tiveram uma evolução muito rápida e foram adotados em diversas áreas e por isso são utilizados nas mais diversas aplicações (gestão de recursos naturais e de atividades de recreio e lazer; caracterização de critérios e análise de processos respeitantes ao ambiente; auxílio ao ordenamento e planeamento; proteção civil, avaliação de procedimentos económicos, sociais e demográficos; apoio à navegação, em atividades militares energia e telecomunicações e cadastro, e comércio, na gestão de redes). Por este motivo, existem diversos perfis de utilizadores destes softwares e especialistas que foram definindo os SIG de acordo com a aplicação que lhe davam. Surgiram assim várias definições para Sistemas de Informação Geográfica.

Por exemplo, Dueker e KJjerne (1989), definiram os SIG como um sistema composto por hardware (componente física de um computador, constituído pelos elementos elétricos, como por exemplo, circuitos de fios e luz, placas, utensílios, correntes,), software, dados geográficos, metodologias e recursos humanos, que tinham como objetivo a captura, o arquivo, a análise e a divulgação de porções da superfície terrestre.

Podem-se identificar quatro fases no desenvolvimento do conceito de SIG (Oliveira, 2010):

Primeira fase: Foi aceite como um sistema que permitia a visualização e manipulação dos dados geográficos;

Segunda fase: passou por os definir como uma base de dados geográfica;

Terceira fase: definia-os como um sistema que permitia a análise espacial com vista à tomada de decisão;

Quarta e última fase: um sistema que promovia a literacia geográfica dos cidadãos, utilizando os serviços de internet.

Os SIG, independentemente da definição que se queira adotar, são informação georreferenciada, sendo esta a base para organizar tudo aquilo que poderá ser um output, ou seja informação cartográfica que pode ser criado, analisado, gerido, partilhado e disponibilizado.

Os SIG têm origem principalmente em duas áreas: no Desenho Assistido por Computador (CAD) e nos Sistemas de Gestão de Base de Dados (SGBS). Apesar desta sua origem, nestas duas áreas salienta-se a contribuição de diversas disciplinas como a Geografia, a Fotogrametria, a Cartografia, a Detecção Remota, a Topografia, a Geodesia, a Engenharia Civil, a Estatística, a Informática, a Demografia, entre muitas outras disciplinas das ciências sociais e humanas, das ciências naturais e da engenharia.

Todo o desenvolvimento tecnológico envolvido destas áreas permitiu a sua ligação, cooperação e integração num único sistema, dando origem aos SIG (Fazal, 2008). Deste modo, salientam-se como características dos SIG: a integração de dados espaciais e outros tipos de informação num único sistema oferecendo uma base consistente e única para analisar dados geográficos em formato digital; manipulação e o fornecimento de conhecimento geográfico e novas formas de abordar os diferentes assuntos; identificação da associação entre atividades baseadas na proximidade geográfica, ou seja, exploração e a visualização dos dados no espaço facilita a compreensão das conexões que não seriam fáceis de identificar se não tivéssemos os SIG; permissão do rápido acesso a registos administrativos devido à sua possibilidade de localização geográfica.

Com o desenvolvimento desta tecnologia, acompanhado par a par com a inovação começaram a surgir os sistemas em rede, os geoportais (é um site disponível na internet configurado para reunir e distribuir conteúdos de várias fontes, de acesso livre e serve de base a outros sites), e o desenvolvimento de vários softwares SIG de acesso livre e a disponibilização de informação geográfica através de serviços WFS (Web Feature Service –rede de serviço de características da entidade e do objeto específicos) e WMS (Web Map Service – rede de disponibilização de mapas ) o que contribui de uma forma abrupta para a divulgação de softwares e informação utilizada (Fig. 1).

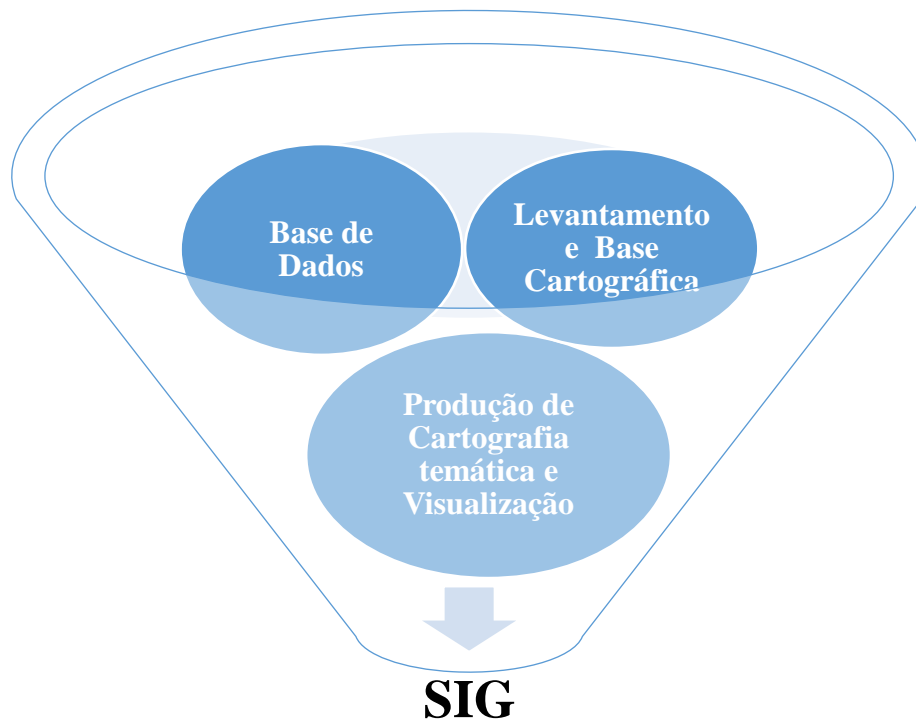


Figura 1: Representação dos Sistemas Informação Geográfica (elaboração própria)

## 1.1 Modelos de Representação Geográfica

Nem sempre a forma conhecemos as coisas, as podemos representar exatamente como são na realidade, tendo como objetivo os SIG construir um modelo geográfico que seja o mais fiel possível da realidade. A principal entrave que surge a esta representação, é o facto de o mundo real ser muito complexo e com diversificados fenómenos, o que leva a que exista inúmeras dificuldades de representação e construção de um modelo único.

Com a evolução dos SIG tornou-se possível adquirir os diferentes modelos e representar distintos fenómenos. Salientam-se como modelos principais os Vetoriais, os Matriciais, o Tridimensionais, os Orientados por Objetos; os Difusos e Temporais (Matos, 2008).

O Modelo Vetorial assenta e define três classes de objetos: pontos, linhas e polígonos. Estas classes ficam sempre descritas pelas suas características geográficas e alfanuméricas, e os seus atributos ficam organizados numa tabela em forma de base de dados. Ressalta-se a adequação deste modelo a objetos de limites bem definidos como limites administrativos (Shekhar e Xiong, 2008). Os modelos vetoriais podem ainda ser definidos com regras topológicas (a não existência de espaços por preencher entre ~~18~~

diferentes frações do terreno em que se está a trabalhar, as frações têm obrigatoriamente de estar ligadas entre si, as diferentes frações do terreno não podem ser sobrepostas, entre outras), ou não.

O termo topologia relaciona-se com as características geométricas dos objetos que não dependam das medições efetuadas num sistema de coordenadas (Chrisman, 1997). Os modelos topológicos guardam as relações espaciais explicitamente (objetos e características). Assim, se quisermos fazer uma análise espacial dos dados não precisamos de recorrer às coordenadas geográficas dos elementos. Este modelo apresenta como desvantagem o facto de ser uma estrutura complexa e a topologia ter de ser sempre atualizada após cada alteração.

O Modelo Matricial ou também denominado de raster, utiliza uma divisão de um espaço em células (pixéis) do tamanho que o utilizador define, e está identificado por índices de linhas e colunas numa matriz regular, onde cada célula tem apenas um único valor.

O modelo 3D é considerado o mais atrativo e intuitivo porque permite a realização de análises visuais muito superiores à representação a duas dimensões.

No Modelo Orientado por Objetos, estes estão agrupados em classes com características em comum e as bases de dados para além de apresentarem a informação alfanumérica, apresentam funções associadas ao seu comportamento. Segundo Matos (2008) “é frequente encontrar numa estrutura geográfica OO (Orientada por Objetos), a separação entre atributos espaciais e não espaciais, ou seja, num SGBSD (Sistema de Gestão de Base de Dados). A componente geométrica surge armazenada do mesmo modo que a componente alfanumérica, em lugar de uma separação clara entre a estrutura que suporta a componente geométrica e a componente espacial. Esta junção permite que os atributos não espaciais sejam tabelas ou outros objetos, interrogáveis dentro da mesma estrutura. Esta opção permite que um objeto tenha múltiplas geometrias, o que é adequado para a manutenção de versões em diferentes níveis de generalização, assim como diferentes regras para a representação simbólica, permitindo exclusivamente rearranjos diferentes para cada visualização” (Matos, 2008 p:42).

Os modelos difusos são utilizados em situações em que os limites dos objetos são inexatos ou desconhecidos. Assim, nestes modelos a descrição de um objeto é realizada a partir de pontos com uma distribuição estatística, baseada numa lógica fuzzy (Burrough,1989).

Os Modelos Temporais têm como objetivo a representação cartográfica de objetos que apresentam uma alteração temporal elevada, ou seja, que estejam constantemente a variar. (Yuan, 1996).

A forma mais simplificada de se representar informação espaciotemporal, atenta num plano de três eixos, em que dois são espaciais e um temporal. A este tipo de informação pode ser acrescentada uma outra, usando apenas a georreferenciação de um ponto, linha poligonal, num espaço a três dimensões Matos (2008).

## **1.2. Modelo Digital do Terreno**

Um Modelo digital do Terreno (MDT) é constituído por um conjunto de coordenadas cartográficas planimétricas e altimétricas, através de pontos do terreno num determinado sistema de coordenadas, e um algoritmo de interpolação que permita calcular a altitude (Fonseca e Fernandes, 2004). A escolha dos dados e a forma como os obtemos influenciam diretamente a qualidade do modelo resultante e, por consequência, toda a cartografia temática que se desenvolve a partir dele.

Dos modelos mais utilizados para a representação do terreno são o modelo *raster* (estrutura *Grid*) e a estrutura TIN (Triangulated Irregular Network) (Peuker et al., 1978).

O Modelo TIN consiste numa malha de triângulos, de tamanho variável e o mais equiláteros possível, de acordo com os pontos cotados (Matos,2008). Esta estrutura adapta-se com relativa facilidade às irregularidades do terreno e necessita de menos pontos que o modelo matricial para ter uma qualidade relativamente próxima. De ressaltar que a partir de vários mapas se pode se pode gerar outros, tendo por base a informação tratada. No caso dos mapas de MDT, a partir destes, é possível produzir diversa cartográfica temática como por exemplo o mapa de declives, o mapa de orientação de encostas, hipsometria e o mapa de insolação.

O presente trabalho está relacionado com incêndios em espaços rurais, irá fazer-se uma abordagem à cartografia morfológica do terreno no que diz respeito aos declives, às exposições e ao mapa de insolação, por serem variáveis que influenciam diretamente os incêndios.

### **1.2.1. Mapa de Declives**

O Mapa de Declives é uma das operações espaciais de vizinhança realizadas a

partir do modelo *raster* e deriva de um mapa com dados de altimetria, ou seja, pontos cotados e curvas de nível. No cálculo de declives o *pixel* central encontra-se rodeado por 8 *pixels* onde cada um deles se encontra associado a uma direção específica: Norte, Nordeste, Este, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste, Noroeste. O declive do *pixel* central é calculado com base na informação dos *pixels* vizinhos nas diferentes direções. (Chang, 2006).

### **1.2.2. Mapa de Exposição**

O mapa de Exposição define-se como sendo o lado para qual o terreno está virado em relação ao norte cartográfico. De acordo com Chang (2006), o valor do pixel central é calculado da mesma forma que no mapa de declives: 1) Da mesma forma que se calculam os declives também se podem calcular as inclinações em graus; 2) Depois escolhe-se a direção da máxima inclinação; 3) Em terceiro lugar calcula-se o ângulo entre essa direção e o norte cartográfico; 4) Por fim, atribui-se o valor resultante ao *pixel* central.

Os valores do mapa de exposições variam entre 0° e 360°, onde 0° e 360° correspondem ao Norte.

### **1.2.3. Mapa de Insolação**

A radiação solar total resulta da combinação de três fatores: a radiação direta, a radiação difusa e a radiação refletida. Assume-se que os principais fatores para a variação da radiação solar são segundo Martínez-Durbán et al. (2009): 1) A orientação relativa do terreno em relação ao sol- tem a sua origem no gradiente latitudinal e nas estações do ano; 2) Os processos de interação entre a radiação e a atmosfera- relaciona-se com o clima da área; 3) Os processos de interação entre a radiação e a topografia- pode originar fortes gradientes locais na irradiação solar e está associada com as especificidades do relevo, como a altitude, os efeitos de sombra causados pelas elevações e as exposições das encostas.

Os grandes desenvolvimentos nos SIG nos últimos anos permitiram incluir os efeitos da topografia na estimativa da radiação solar, o que levou a resultados mais fiáveis.

A diferença entre os dados tratados por outros sistemas de informação e os dados utilizados por sistemas de informação geográfica, reside no facto destes últimos apresentarem uma localização geográfica, das possíveis relações topológicas e nos

atributos das entidades (Burrough,1986).

Os dados podem ainda ser diferenciados pela sua forma de aquisição, existindo quatro tipos diferentes: os dados espaciais, os atributos, os dados temporais e os metadados.

Destes quatro tipos, todos são essenciais e indispensáveis, mas salientam-se os metadados quando se prevê que esses dados possam ser compartilhados, uma vez que apresentam toda a informação acerca dos dados. São os dados acerca dos dados.

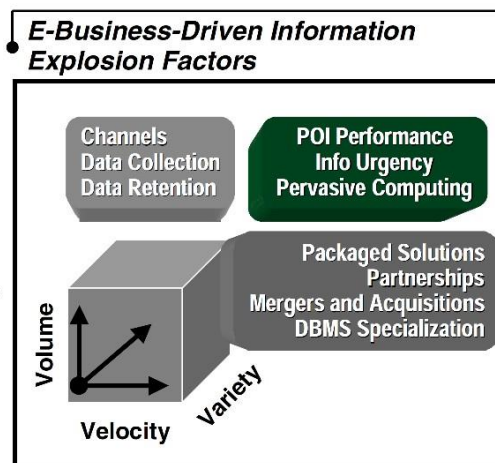
É de salientar que a aquisição de dados e a construção de uma boa base de dados para um SIG é um processo moroso e habitualmente dispendioso

### **1.3 Os Big Data em SIG**

Big Data é o termo que descreve o imenso volume de dados que podem ser estruturados e não estruturados, que influenciam os negócios no dia-a-dia.

Embora este conceito de Big Data seja relativamente recente, o ato de recolher e armazenar grandes quantidades de dados com o objetivo de os analisar é já há muito conhecido. Este conceito tornou-se mais visível quando Laney (2001) definiu os Big Data como os três V, ou seja: 1) Volume: uma vez que podem armazenar um número elevado de dados; 2)Velocidade: os dados conseguem fluir a uma velocidade quase sem precedentes e podem ser utilizados em tempo real ou quase real; 3)Variedade: os dados podem gerados em todos os tipos de formatos (Fig.2). Outros autores, adicionam ainda outros dois V: 4) Veracidade: refere-se aos dados que resultam da dinâmica humana. Os dados catalogados são entendidos como interações reais; 5) Valor: Os Big Data tem a capacidade de distinguir dados e informações que apresentam maior valor para a aplicação em que serão utilizados. Assim, o investidor consegue identificar qual o melhor caminho a seguir no sentido do investimento.

- ▲ **Volume**
  - ▶ Tiered storage/hub and spoke
  - ▶ Selective data retention
  - ▶ Statistical sampling
  - ▶ Redundancy elimination
  - ▶ Offload “cold” data
  - ▶ Outsourcing
- ▲ **Velocity**
  - ▶ Operational data stores
  - ▶ Data caches
  - ▶ Point-to-point data routing
  - ▶ Balance data latency with decision cycles
- ▲ **Variety**
  - ▶ Inconsistency resolution
  - ▶ XML-based “universal” translation
  - ▶ Application-aware EAI adapters
  - ▶ Data access middleware and ETLM
  - ▶ Distributed query management
  - ▶ Metadata management



***Extending data management options enables greater returns on information assets***

Source: META Group

Figura 2: Ampliação de opções de geração de dados e informação

Nos SIG, um dos recursos é exatamente explorar os Big Data e analisá-los. Foram desenvolvidas ferramentas com o intuito de analisar este grande volume de dados. Salienta-se a ferramenta desenvolvida pela ESRI: a GIS Tools for Hadoop. Esta ferramenta elimina qualquer obstáculo que possa existir na construção de aplicações de mapas e os utilizadores podem assim utilizar a variável geográfica dos Big Data na ferramenta Hadoop. Assim, consegue-se adicionar uma localização espacial aos grandes volumes de dados tal como se consegue no número de dados mais pequenos.

Atualmente, este processamento dos grandes volumes de dados é o principal enfoque do mundo das tecnologias de informação.

O grande problema que se reportava com os Big Data era o facto de não terem uma localização geográfica. Com os SIG isto já não acontece mais. O facto da ferramenta Hadoop ter esta vertente espacial é a grande qualidade que esta ferramenta apresenta, porque só assim se demonstra a importância dos Big Data através da análise espacial.

Os Big Data são cada vez mais reconhecidos como um desafio a todos os softwares de sistemas de informação geográfica.

## 1.4. A aplicação dos SIG

Os SIG, pelas suas características, começam a ser cada vez mais incorporados numa variada gama de aplicações de sistemas de gestão de operações e de tomada de decisão. Ao longo do tempo foram surgindo numerosos exemplos de aplicações SIG (Fazal, 2008). Atualmente, os SIG são utilizados nas mais diversas áreas. Segundo Crain e MacDonald (1984) o desenvolvimento das aplicações SIG podem ser representados em três fases evolutivas:

1) a fase de “aplicações de inventário”, que envolve ações de junção e organização de dados, sendo esta a fase mais simples e a que depois pode ser utilizada noutras aplicações;

2) a fase das aplicações das análises realizadas, já apresentando uma maior complexidade no sentido em que se tem de cruzar as informações e obriga ao uso de métodos estatísticos e análise espacial.

3) a fase das aplicações de gestão é a que representa todas as potencialidades dos SIG, exigindo um maior nível de conhecimento nesta área e possuindo um menor número de aplicações. No entanto, esta utilização oferece um forte apoio à decisão e resolução de problemas.

Chrisman (1997) mostra que o objetivo de um SIG pode envolver desde decisões mais complexas às mais simples, conseguindo-se assim distinguir dois tipos de utilizações e de SIG, Matos (2008).

Em relação aos incêndios rurais os SIG começaram por ser utilizados para cartografar a localização de elementos como os postos de vigia (Pawlina et al., 1990) e a posição dos meios de extinção (Salazar e Power, 1988), ou para representar a localização dos pontos de ignição e dos perímetros das áreas ardidas, mas com o passar dos anos, adquiriram uma importância fundamental na temática dos incêndios rurais. Com o seu desenvolvimento rápido, estes abriram novos caminhos para um número infinito de aplicações.

Os SIG na gestão utilizam a georreferenciação para os mais diversos fins e sem qualquer limite temporal podendo ser manipulados por vários utilizadores. Apontam-se a título de exemplo aplicações de SIG de gestão nos municípios, uma vez que estes são obrigados a ter um planeamento adequado à sua localização espacial nas mais diversas vertentes. Salienta-se o ordenamento do território, a agricultura, as pescas e as florestas, no entanto os SIG são igualmente apresentados nas diversas tarefas do dia-a-dia, desde

infraestruturas de transporte à localização de redes de saneamento, por exemplo.

Os chamados SIG de projeto tem como principal foco a resolução de um qualquer problema isolado e são, normalmente, de curta duração. Passam na maioria das vezes pela recolha de informação e pelas operações de análise espacial fundamentais para a realização desse mesmo projeto. As aplicações dos SIG de projeto são muito abrangentes mais apontam-se como principais aplicações a produção de mapas temáticos, o cálculo de áreas de aptidão, problemas relacionados com a modelação ou cálculo de índices, a resolução de problemas de localização, e ainda toda a cartografia relacionada com os riscos, nomeadamente em termos de incêndios rurais.

É fundamental salientar que os SIG vieram acrescentar uma maior eficiência no que diz respeito a matérias florestais, onde se salienta a aplicação desta tecnologia na definição e estabelecimento de políticas e estratégias de ordenamento florestal, fazendo toda uma articulação entre as diversas vertentes relacionadas e podendo ser aproveitados como uma ferramenta de gestão de combate.

Estes, constituem uma ferramenta extremamente útil num incêndio rural, conseguindo proporcionar maior conforto e segurança nas horas de tomar de decisões nos teatros de operações o que desenvolve e permite uma maior capacidade de estabelecer técnicas e estratégicas no sentido de proporcionar a supressão do incêndio. São notórias as inúmeras aplicações possíveis dos SIG no setor florestal e nos diversos níveis deste. O nível de aplicação mais utilizado no setor florestal passa essencialmente pela criação e atualização da cartografia temática. Apesar de esta ser uma vertente extremamente essencial no sentido da tomada de decisão, começaram a ser amplamente exploradas outras potencialidades dos SIG, destacando-se os trabalhos realizados na prevenção e combate a incêndios rurais. Salientam-se as cartas de risco de incêndio rural e cartografia de apoio ao combate.

Os SIG proporcionam a capacidade de armazenar, sobrepor, manipular e visualizar um grande volume de dados que podem derivar a partir da análise da possibilidade de ignição de um incêndio rural, da sua potencialidade de propagação e de todos os efeitos com eles relacionados.

Deste modo, é impossível recusar a importância e a relevância que as diversas aplicações dos SIG têm vindo a ganhar, no sentido de proporcionar um maior conforto e rapidez tanto nas atividades do dia-a-dia como nas que exigem um maior rigor nas tomadas de decisões como acontece nos incêndios rurais.

## Capítulo 2 – Os SIG nos incêndios florestais: exemplos de aplicações

A utilização do fogo está presente na vida do Homem desde a idade da pedra, sendo considerada essencial para o dia-a-dia. O que antes permitia cozinhar e manter a segurança das diferentes comunidades, atualmente é um dos grandes problemas que todos os anos assolam o país. Estas duas formas de ver o fogo sempre estiveram presentes. Por um lado, assume-se que o fogo faz parte do ciclo da natureza, que é essencial para a fauna e para a flora, para a renovação de pastagens e para ajudar a fertilizar os solos, por outro torna-se um grande problema principalmente durante os verões. A má gestão da paisagem, o abandono do interior do país e a falta de interesse por grande parte da população proprietária de espaços rurais nestes mesmos, levou a que os ciclos de recorrência de incêndios rurais fossem cada vez mais curtos.

Esta problemática dos incêndios em espaços florestais é uma realidade cada vez mais preocupante e que cada vez mais se apresenta com proporções catastróficas um pouco por todo o mundo. Como se sabe, os incêndios rurais não causam apenas área ardida. Todos os anos estes vêm acompanhados pelo desespero de quem vê muitas das vezes as poucas coisas que levaram uma vida toda a conseguir a serem destruídas, mas e sobretudo, pelas famílias que ficaram irremediavelmente destruídas pelas vidas humanas que perderam neste contexto.

No Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal (Julião et al., 2009) pode-se verificar que num “contexto diário em que os riscos naturais e tecnológicos condicionam a segurança, a qualidade do ambiente e a vida das populações, a identificação e o conhecimento detalhado desses riscos são fundamentais para adoção de medidas adequadas de eliminação ou mitigação. Esta aposta na prevenção enquanto princípio fundamental da atuação das entidades responsáveis em matéria de risco pressupõe, por sua vez, o acesso a informação qualificada e permanentemente atualizada, organizada em sistemas de apoio à decisão.” (p. 3)

Aqui é salientada a importância de existirem sistemas de informação que auxiliem, que suportem o combate a incêndios rurais. Assim, os SIG ganham relevância. É aqui que se revela todo o seu potencial na medida em que armazenam, gerem e manipulam os dados, surgindo como uma tecnologia de integração e de apoio à tomada de decisão. Os SIG são assim, um sistema que permite aquisição de dados digitais ou analógicos

processando esses mesmos dados e analisando-os.

A sua grande vantagem prende-se com o facto de estes sistemas conseguirem relacionar dados de origens e formas distintas, tendo estes apenas um aspeto em comum, isto é uma localização geográfica. Os SIG vieram “ (...) consolidar o potencial das abordagens metodológicas e das ferramentas aplicadas à gestão territorial e monitorização da ocupação do solo. Inicialmente a utilização dos SIG estava muito focalizada nos domínios das ciências da Terra e do ambiente, em disciplinas já tradicionalmente ligadas à manipulação da cartografia. Mas hoje, fruto dos avanços tecnológicos e da crescente disponibilidade dos dados, os SIG têm vindo a alargar, com grande sucesso, o seu espetro de aplicação a uma vasta gama de domínios.” (Fernandes, 2016: p.477-478).

No caso dos incêndios rurais os SIG têm sido utilizados de formas muito diversas, uma vez que, podem ser utilizados na prevenção, no planeamento e gestão das operações nos teatros de operações, na diminuição dos incêndios e no ordenamento do território, no sentido de definir quais as áreas mais propícias, ou seja, onde existe uma maior probabilidade de ocorrerem incêndios rurais.

Segundo vários autores, Castro (1998), Power (1998), Salazar e Chuvieco (1998), e Salas (1996), o verdadeiro objetivo da utilização dos SIG era a criação de mapas que representassem o risco de incêndio, uma vez que esta tecnologia permite a junção de vários tipos de informação aplicando diversas variáveis de perigo (Fig.3).

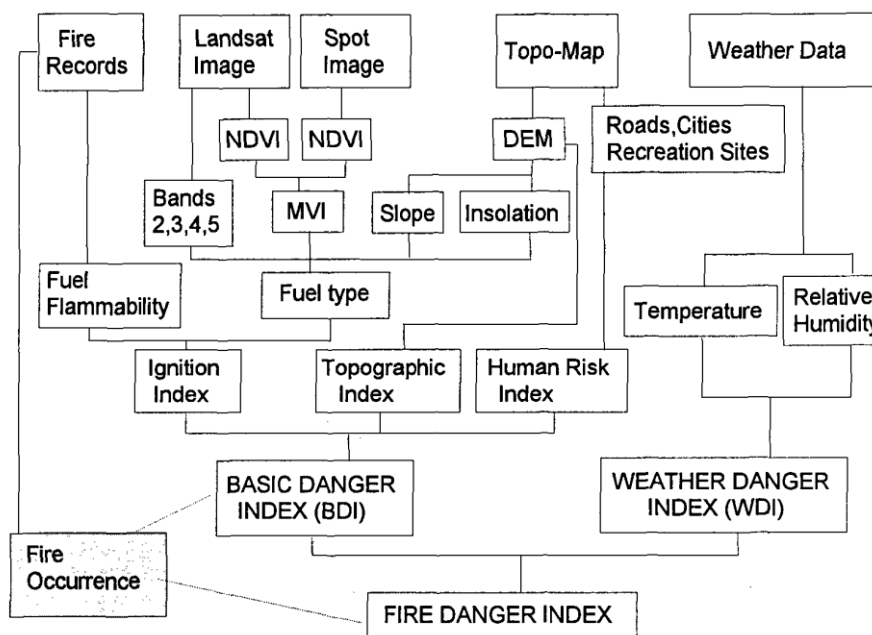


Figura 3: Fluxograma com os procedimentos de integração das diferentes variáveis de perigo (Fonte: Castro e Chuvieco 1998)

Sendo esta problemática dos incêndios rurais uma das mais sentidas não só em território português mas também um pouco por todo o mundo, os Sistemas de Informação Geográfica vieram abrir os horizontes em todas as vertentes que se envolvem em torno de toda esta situação. Assim, torna-se cada vez mais relevante reforçar toda a sua importância no que diz respeito às estratégias a adotar relativamente à prevenção mas principalmente no apoio que estes poderão dar nos diferentes teatros de operações, nomeadamente na definição de táticas e estratégias de combate.

O desenvolvimento rural sustentável envolve um longo percurso no que diz respeito ao conhecimento do território e dos seus recursos, podendo-se aproveitar todas as suas potencialidades, mas, acima de tudo, saber reconhecer quais as suas fragilidades. Nesta área, os SIG vieram contribuir, de certa forma, para inovar a forma como se passou a gerir a floresta. Os SIG não se limitam apenas à representação cartográfica, ainda que esta se demonstre fundamental, demonstrando cada vez mais potencialidades no que diz respeito à análise espacial, podendo ser aproveitados no apoio e sustento da tomada de decisão.

Os SIG são fundamentais para a elaboração de mapas de risco de incêndio florestal que segundo o modelo adotado pelo Instituto da Conservação da Natureza resulta do produto do perigo pelos danos potenciais (Fig.4).

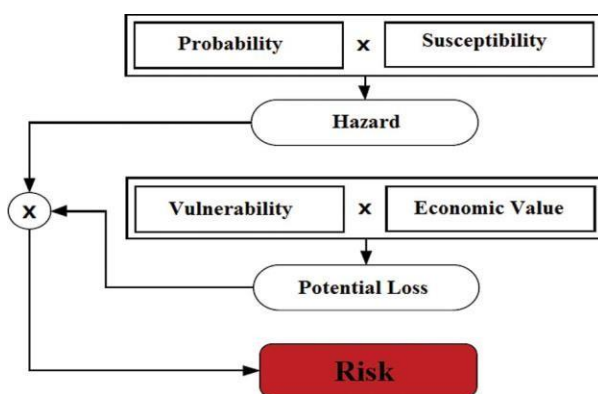


Figura 4: Componentes do modelo de risco de incêndio rural (Fonte: Teodoro e Duarte (2012))

Este sistema é usado com o intuito de combater, e sobretudo fornecer informação de carácter essencial para a gestão do incêndio. Todos estes dados, como também as redes neurais artificiais (RNAs), são a combinação de vários outros mapas que têm como

resultado a produção de mapas de risco de incêndio (Kalabokidis, 2016). Suportam ferramentas de simulação de incêndios rurais onde permitem certos usuários examinar possíveis comportamentos de incêndio e como a propagação do fogo pode acontecer ao longo do tempo, onde os utilizadores finais fornecem os números mínimos e com a duração do fogo estes têm informações meteorológicas onde permite simular os incêndios (Kalabokidis, 2016).

Estes utensílios possibilitam a realização de simulações que preveem um possível comportamento do incêndio, deslocações mais curtas, meteorologia e ponto de ignição.

## **2.1 Cartografia de Perigo de Incêndio Rural e Modelação do Risco**

Nenhum incêndio rural se inicia sem que exista uma fonte de ignição. Assume-se que existem diversos fatores que contribuem para a ignição e propagação dos incêndios em espaços rurais, estando na maioria das vezes associadas a atividades antrópicas. É evidente que nem todos os espaços sejam considerados de risco no sentido de incêndios rurais.

A previsão espacial do risco de incêndio permite efetuar um planeamento mais fiável e a gestão dos recursos disponíveis para a prevenção e combate aos incêndios em espaços florestais. Em Portugal, devido ao elevado número de ignições diárias é essencial este planeamento de forma a identificar as áreas consideradas de maior risco no sentido da prevenção e da pré-supressão de incêndios.

Os conceitos de perigo, de suscetibilidade (impacto espacial de um processo indesejável, que expõe a predisposição de uma área a ser afetada), a vulnerabilidade (nível de perda de um conjunto de elementos expostos em resultado da ocorrência de um processo indesejável) e de risco de incêndio (probabilidade de ocorrência de um processo ou ação indesejável e a estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expostos aos danos corporais e ou prejuízos materiais) são muitas usados para entender o fenómeno dos incêndios rurais.

“Embora os termos risco e perigo tenham assumido muitas vezes o mesmo significado, no presente é amplamente aceite que o perigo é uma componente do risco e não é o risco em si mesmo” (Tedim, 2013: p. 655). Podem no entanto apresentar-se como a tentativa de quantificar a probabilidade de um fogo ocorrer e de se propagar quando existe uma fonte de ignição. O perigo é o processo capaz de originar perdas.

O risco, segundo a Autoridade Nacional de Proteção Civil é a “probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos ” (ANPC, 2009: p.22).

Já outros autores definem que a probabilidade de ocorrência é uma característica do perigo de incêndio e que risco “é a potencial ocorrência de perdas físicas, sociais, económicas e ambientais numa determinada área e num determinado período de tempo, resultante da vulnerabilidade dos sistemas socio-ecológicos quando afetados” (Tedim, 2013: p. 655) por um incêndio.

O risco de incêndios rurais relaciona-se com as condições meteorológicas e considera fatores como os combustíveis, topografia e meteorologia.

Em Portugal, Rebelo (2003) assume que “ o risco pressupõe valor e expressa o potencial de perda de elementos em risco em função da perigosidade de um determinado fenómeno e vulnerabilidade desses mesmos elementos em risco. A perigosidade divide-se em duas componentes: no tempo, por via da probabilidade calculada com base num histórico ou período de retorno, e no espaço, por via da suscetibilidade de um território ao fenómeno tratado. O risco existe sempre que há perigosidade, vulnerabilidade e valor associados. Não havendo uma das componentes, o risco é nulo“ (Fig. 5).

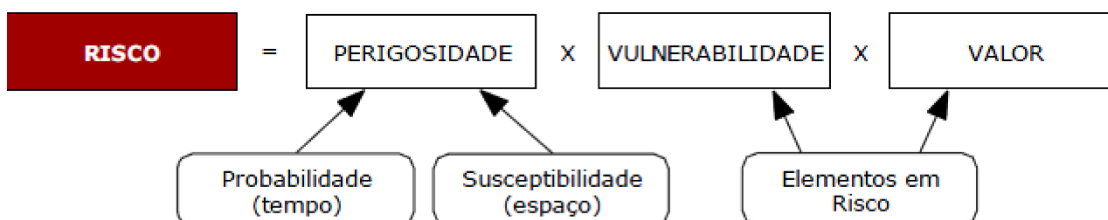


Figura 5: Análise da Teoria do Risco

Apesar de toda esta dificuldade em diferenciar risco e perigo, é evidente que as formas mais eficientes de prevenção iniciam-se a partir do conhecimento dos dois conceitos.

Relativamente à cartografia de risco de incêndio Linn et al. (2012), assume que a elaboração de cartografia de risco de incêndio é extremamente difícil e complexa devido a dependência de fatores antrópicos e ambientais.

Para Yang et al. (2007), as informações acerca da distribuição espacial dos

incêndios são essenciais e indispensáveis para a melhoria das estratégias de prevenção. Toda a análise espacial que se possa fazer das ocorrências pode ajudar posteriormente na orientação do esforço do planeamento e redução do risco.

Uma outra perspectiva surge da parte de Vijayakumar et al. (2015) que reforça a importância dos registos históricos e mapas de recorrências de incêndios no sentido de se conseguir uma melhor perspectiva do que se tem vindo a alterar ao longo dos tempos e no comportamento do fogo, salientando igualmente a importância deste tipo de cartografia para uma melhor compreensão das relações entre os incêndios e o clima.

A elaboração de cartografia de risco de incêndios rurais é inicialmente complexa uma vez que necessita de um conjunto diversificado de variáveis do ambiente a ser mapeado. Depois de conseguir todas estas variáveis à partida disponibilizadas para todo o território nacional, basta ter acesso a essas informações, processá-las adequadamente no sentido de produzir mapas temáticos que mais tarde poderão ser atualizados periodicamente em função das alterações que ocorrem no território ao longo do tempo.

É essencial e prioritário conhecer o risco para uma orientação eficaz da prevenção dos incêndios rurais.

Assim, o conhecimento prévio do risco de incêndio deverá anteceder a maior parte das ações de prevenção e combate a incêndios em espaços rurais, uma vez que só assim se conseguirá uma melhoria no controlo deste risco.

### **2.1.1 Índices de Perigo de Incêndio**

Uma das aplicações dos SIG nos incêndios rurais relaciona-se com a criação de índices de perigo e mapas com a sua distribuição espacial (Chuvieco & Salas. 1996). Os índices de perigo de incêndio são números que refletem, previamente a probabilidade de ocorrer um incêndio, assim como a facilidade que o mesmo poderá ter em se propagar. A relevância destes índices está ligada à tendência moderna de prevenção e pré-supressão dos incêndios rurais.

O desenvolvimento de um índice de perigo de incêndio utiliza diversos fatores que se relacionam com a topografia, a meteorologia e os combustíveis.

De acordo com a sua escala temporal, os índices de perigo de incêndio podem ser organizados em três classes (Vorissis, 1999; Freire et al., 2002; Carapiá, 2006; Gabban et al., 2008):

1. *Dinâmicos ou de curto prazo* - estes baseiam-se em parâmetros que variam de forma quase contínua, como as condições meteorológicas (temperatura, humidade relativa, precipitação e velocidade do vento) e o estado da vegetação.
2. *Estruturais ou de longo prazo* - baseiam-se em fatores que não variam tanto ou rapidamente, como a topografia ou o uso e a ocupação do solo;
3. *Integrados ou avançados* - incluem variáveis estruturais e dinâmicas.

O risco incêndio rural é estudado em Portugal desde 1975-76 (F. Rebelo 1980). Em Coimbra, em meados dos anos 90, eram difundidos diariamente para as entidades interessadas importantes avisar do risco de incêndio para o dia seguinte, corretamente desagradado por diversas áreas do país (Lourenço, 1994). No primeiro passo, pretendia-se definir uma eventual situação de alerta, de função de um grau maior ou menor risco no segundo passo estava a causa uma deteção de situações já consideradas de perigo, mas perfeitamente controláveis com ações rápidas.

Atualmente, os serviços oficiais preocupam-se muito em informar as populações sobre o grau de risco, através de painéis, e através de meios de comunicação sociais, onde todos os órgãos se deviam complementar.

Também se desenvolveu um bom trabalho em Coimbra, onde funcionou vários anos na região centro e passou depois a abranger o total do país o PROSEPE (Projeto de Sensibilização da População Escolar) que procurava através de sensibilização dos alunos do ensino básico e secundário, levar a todo o lado informações sobre a prevenção dos incêndios rurais (Lourenço, 2005).

## **2.2 Produção de Mapas de Risco**

Devido aos incêndios rurais terem vindo ao longo dos anos a causar perdas tanto a nível económico, como social e ambiental foram sendo criados gabinetes técnicos nas autarquias locais, tendo estes como uma das tarefas elaborar os Planos Municipais de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI). Existem atualmente, diversos softwares livres e comerciais que permitem realizar todas as operações necessárias para a produção de mapas de risco.

A título de exemplo de trabalhos realizados com softwares *open source*, refere-se o de Teodoro e Duarte (2012), onde propuseram a criação uma aplicação SIG de acesso aberto para produzir mapas de risco de incêndio florestal com base nos fatores e critérios

do modelo definido pela Autoridade Florestal Nacional (2008). Esta aplicação foi criada em ambiente *open source*, no software Quantum GIS. Tinha como objetivo auxiliar na prevenção e redução do risco de incêndio, nomeadamente na criação de mapas de perigosidade e de risco de incêndio. Ao longo deste trabalho realizaram-se os dois mapas em dois softwares diferentes: um *open source* (Qgis) e um outro pago (ArcGIS-Esri). Os autores concluíram que os resultados finais eram praticamente iguais sendo que a alternativa estudada foi avaliada de forma mais eficiente do que a do software proprietário.

O processo de produção de cartografia de risco de incêndio com recurso a softwares SIG está perfeitamente consolidado tanto nuns softwares como nos outros (Fig.6).

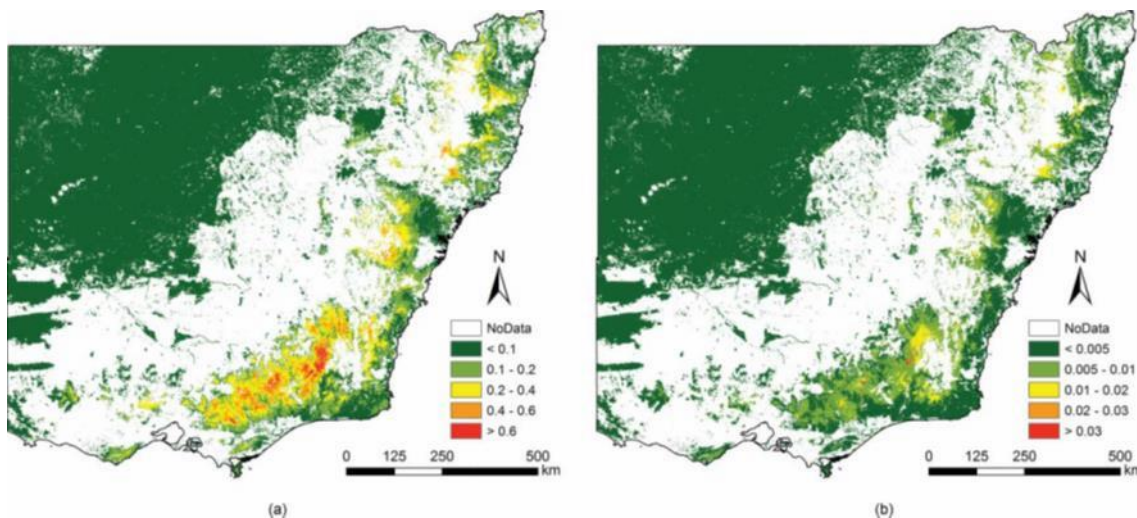


Figura 6: Mapas que mostram (a) a probabilidade prevista de ocorrência de incêndios no sul-leste da Austrália e (b) o padrão (Fonte: yang zhang et al 2016)

Os modelos da Fig.6 sugerem que as áreas montanhosas e florestas e savanas com uma alta cobertura vegetação onde são mais propensas ao fogo, enquanto, as pastagens e arbustos podem ser menos frágeis aos incêndios na área de estudo. Os incêndios rurais também acontecem perto de infraestruturas humanas e a WUI (Yang Zhang et al 2016).

Alguns autores também dizem que os índices da vegetação também são úteis para a previsão do perigo de incêndio devido a conexão do teor de humidade do combustível (Bisquert et al. 2011; Caccamo et al. 2012). A topografia também influencia a extensão do incêndio e afeta a taxa de propagação e própria direção do fogo (Rotherme, 1983), onde pode criar os seus próprios microclimas que afetam o teor da humidade do combustível e a temperatura do ar (Heyerdahl et al. 2001; Sharples 2009). Também podemos ter efeitos sociais e económicos devido a distância das estradas ser muito pequenas da floresta, que conduz a consequências desastrosas para a população em geral (Romero-Calcerrada et al. 2008; Vilar et al. 2010; Hawbaker et al. 2013; Rodrigues et al. 2014; Yang

Zhang et al 2016).

## 2.3 Simulação Espaço-temporal de Incêndios

A simulação espaço-temporal dos incêndios rurais é uma importante ferramenta tanto nos momentos antes, como durante e após o incêndio, no sentido tanto da prevenção como da melhoria das tomadas de decisão. Quando se escolhe um sistema de simulação de incêndios deve-se ter em consideração que para além do modelo e da técnica que esse sistema utiliza, a utilização que nós lhe queremos dar, os dados de *input* que precisamos e os dados de *output* devem ser analisados previamente.

Para Stratton (2006, 2009) o calibrar do sistema escolhido é uma das fases difícil da sua utilização, mas indispensável para que o seu funcionamento corresponda à área onde se vai utilizar, porque, se não o fizermos, os resultados obtidos não serão fiáveis, destacando apenas o sistema de simulação FARSITE (Fire Area Simulation-Área de Simulação de incêndio).

O primeiro sistema informático a realizar modelos de previsão de incêndios rurais e modelação de combustíveis foi o programa Behave (Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System). Este foi desenvolvido nos Estados Unidos da América e foram implementados os modelos de Rothermel (1972), Wagner (1977), Albini (1979) e Rothermel (1991), num programa sem qualquer referência espacial. Os dados introduzidos diziam respeito aos combustíveis e as condições ambientais e era visualizados em formato de gráfico e tabela. Atualmente, este sistema atualizou-se passando-se a chamar BehavePlus. Aqui os cálculos são efetuados com condições homogêneas de combustível, meteorologia e topografia e a sua utilidade é inegável, porque permite interpretar de forma rápida o comportamento do fogo servindo ainda como apoio a outros programas de simulação.

Salienta-se assim, a importância que os SIG pela sua componente espacial, apresentam nas simulações de incêndios. O que antes era apenas visualizado em tabelas e gráficos, pode agora ser analisado a três dimensões de grandes áreas.

Apesar de existirem diversos sistemas de simulação de fogos, destaca-se aqui o sistema FARSITE, uma vez que é um dos mais utilizados um pouco por todo o mundo. O FARSITE é um software que permite o cálculo da progressão e comportamento do fogo por longos períodos de tempo. Este software permite responder a questões essenciais nos teatros de operações como prever para onde é que o incêndio poderá ir, qual é que será a

sua dimensão, e o tempo que demorará ou que pode chegar a um determinado local. Tudo isto é essencial, principalmente no que diz respeito a evacuações de locais.

Os dados de input são meteorológicos, combustíveis (percentagem de cobertura das copas) e topográficos (elevação, declive e exposições), tendo todos em comum o facto de ter uma localização espacial, ou seja, serem georreferenciados. O programa possui ferramentas que permitem simular diferentes formas de combate de incêndio (terrestre e aéreo, direto, indireto ou paralelo, e a utilização de barreiras). Assim, é possível conseguir prever diferentes cenários, adequar medidas de combate e sustentar a tomada de decisão. A sua facilidade de integração e utilização com a maioria dos softwares SIG leva a que seja amplamente utilizado sendo considerado uma das ferramentas mais úteis na prevenção e supressão de incêndios em espaços rurais.

Efetivamente, com o uso dos SIG neste tratamento de dados e produção de mapas, consegue-se identificar as áreas com maior risco de incêndio, as áreas rurais e os seus tipos de vegetação, possíveis perdas e vulnerabilidade.

## **2.4 Plataformas de apoio a Incêndios Rurais**

Os incêndios rurais são cada vez mais um risco quer a nível ambiental quer a nível social. É cada vez mais necessário diminuir esses riscos e aumentar a resiliência dos territórios aos incêndios rurais. As plataformas de apoio a incêndios rurais são sistemas de suporte de decisão que servem de apoio em diversas vertentes, salientando-se a gestão das operações, a definição das estratégias de combate, a disposição dos meios nos teatros de operações, nos trabalhos de redução de combustíveis, e ainda a proteção e segurança dos bombeiros durante o combate aos incêndios. Neste trabalho, salientam-se duas plataformas de apoio a incêndios rurais: a EFFIS e a AEGIS.

### **2.4.1 EFFIS-European Forest Fire Information System**

Tal como o próprio nome indica, o EFFIS é o Sistema Europeu de Informação de Incêndios Florestais que apoia os serviços responsáveis pela proteção das florestas contra incêndios e disponibiliza à Comissão Europeia e ao Parlamento Europeu todas as informações atualizadas sobre incêndios rurais na Europa. O EFFIS funciona desde 1998 e é apoiado por especialistas em incêndios rurais. Os seus dados de input passam por imagens de satélite, por dados meteorológicos e por cartas de combustíveis. Estes são os dados de *input* necessário para o modelo utilizado pelo EFFIS. Aqui nesta fase, analisamos

se todos estes dados de forma computacional passando depois para a monitorização do incêndio desde as condições registadas antes do fogo se iniciar até à extinção e mesmo aos seus efeitos. Deste modo, para este sistema de informação de incêndios rurais consegue-se assim identificar um ciclo da sua atividade. O seu ciclo inicia-se com a ignição de um incêndio rural. Seguindo-se a sua deteção como incêndio ativo. Enquanto o incêndio estiver em ativo ele permanece identificado no sistema. Quando dado por dominado é calculada a área ardida. A fase seguinte passa pela avaliação dos danos no uso e ocupação do solo. A quinta fase salienta-se pela avaliação das emissões que o incêndio provocou e a seguinte faz a estimativa potencial da erosão do solo. A penúltima etapa passa pela avaliação da regeneração da vegetação e a última passa pela previsão do perigo. As duas últimas etapas passam pela sua adaptabilidade a trabalhar com outros serviços web terminando com o intuito de ajudar na cooperação internacional do combate a incêndios rurais (Fig. 7).

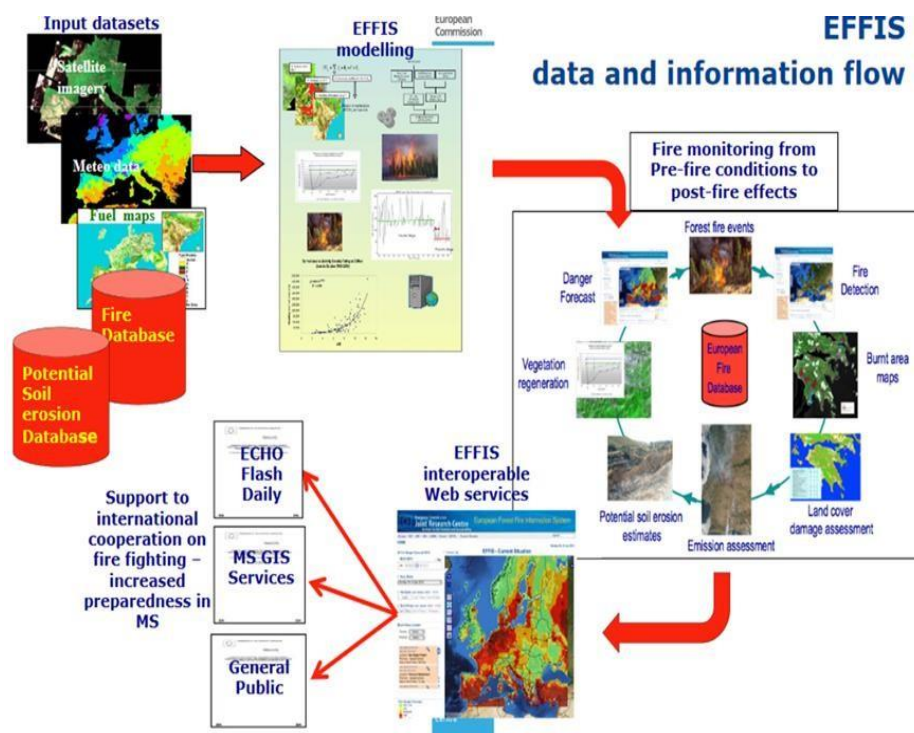


Figura 7: EFFIS Dados e fluxo de informação (Fonte:EFFIS)

### 2.4.2. AEGIS: a wildfire prevention and management information system

A plataforma AEGIS (Fig. 8) é uma plataforma de gestão e prevenção de incêndios rurais da Web-GIS desenvolvida como o intuito de ser uma ferramenta de apoio à decisão e é utilizada na gestão dos riscos de incêndios rurais na Grécia. A sua vantagem está no aviso prévio de incêndio rural, no planeamento e controlo desse incêndio e na coordenação das forças de combate através do acesso a informação disponível online para a gestão do fogo. Este sistema usa várias fontes de dados espaciais e não espaciais para suportar as principais funcionalidades do sistema.

Estes dados suportam as ferramentas de simulação dos incêndios em espaços rurais, que permite que os utilizadores consigam analisar o comportamento e risco de incêndio com o algoritmo de propagação do fogo. Os utilizadores inserem inputs como a duração do incêndio, o ponto de ignição e as informações meteorológicas no sentido de fazer a simulação do incêndio.

A plataforma permite três tipos de simulações, ou seja, a propagação de um único incêndio, o comportamento potencial de um incêndio e faz a análise da probabilidade de ocorrer uma ignição, sendo muito semelhante ao software de comportamento de fogo FlamMap.

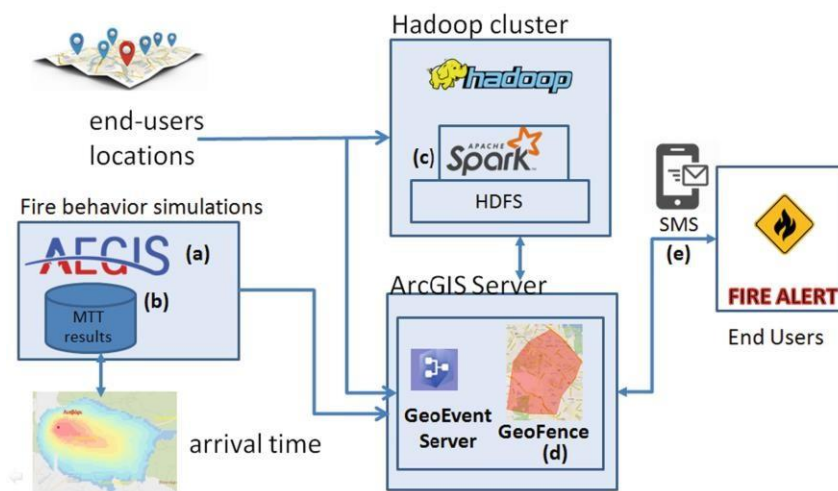


Figura 8: Software de comportamento de fogo FlamMap (Fonte: AEGIS)

Ao longo dos anos, o total de informação em *exabytes* tem vindo a crescer cada vez mais e em menor tempo. Em 1986 era cerca de 2.6 *exabytes* comprimidos enquanto em 2007 o número aumentou para 295 *exabytes*, sendo que o *exabyte* é a unidade de medida de informação que equivale a 1.000.000.000.000.000 bytes. A quantidade de aparelhos ligados à internet nos dias de hoje, é aproximadamente de quinze mil milhões,

e prevê-se que este número aumente e que no ano de 2020, fique entre os cinquenta e os cem mil milhões.

Apesar da explosão digital, acontecimentos como os incêndios rurais continuam a causar bastantes consequências a nível socioeconómico e do ambiente, incluindo também a perda de vidas humanas. Nas últimas décadas, o número destes incêndios tem aumentado para cerca de 50.000 incêndios por ano na região do Mediterrâneo e cerca de meio milhão de hectares arditos. Numa era onde quase tudo é governado pela internet, *Big Data* é sem dúvida um bem precioso, sendo este termo remetente a um gigante conjunto de dados armazenados, sendo caracterizado por 3 dimensões: volume, variedade e velocidade.

Na era digital, o conjunto de dados geoespaciais gerado por máquinas será muito mais eficaz do que gerado por pessoas. Uma vez que nos dias de hoje as populações utilizam a tecnologia como maior forma de comunicação, esta poderá ser eficaz no alerta das populações espalhando o aviso de incêndio (ou a sua elevada probabilidade) de uma forma mais rápida. No presente, o objetivo é explorar esta tecnologia na simulação de incêndios rurais. A aplicação pode não só apoiar a proteção civil e os serviços de controlo de fogo na organização de planos inovadores de gestão contra os incêndios mas também contribuir para um imediato e massivo alerta dos utilizadores que estão em risco durante um surto de fogo.

## Capítulo 3 - Os incêndios rurais no município de Arouca

### 3.1 Enquadramento geográfico

A área de estudo corresponde ao município de Arouca (Fig. 9) que é recorrentemente afetado por incêndios rurais. Este município faz fronteira com os concelhos de Gondomar, Castelo de Paiva, Cinfães, Castro Daire, S. Pedro do Sul, Vale de Cambra, Oliveira de Azeméis e Santa Maria da Feira. O município de Arouca é presentemente constituído por 16 freguesias (Fig. 10). Abrange uma área de 327 km<sup>2</sup> e tinha 22 359 habitantes em 2011 (INE, 2011). O máximo de população verificou-se em 1950, com 26 427 habitantes.

Entre 2001 e 2011 todas as freguesias perderam população, com exceção da freguesia de Arouca que viu a sua população aumentar em 87 indivíduos o que correspondeu a um aumento de 2,8% (Fig. 11).

Valor que tem vindo a diminuir. A densidade populacional era de 342 hab./km<sup>2</sup>). O núcleo urbano de maior dimensão é a vila de Arouca que em 2011 tinha cerca de 3 000 habitantes e está localizado no extremo nascente do Vale de Arouca.

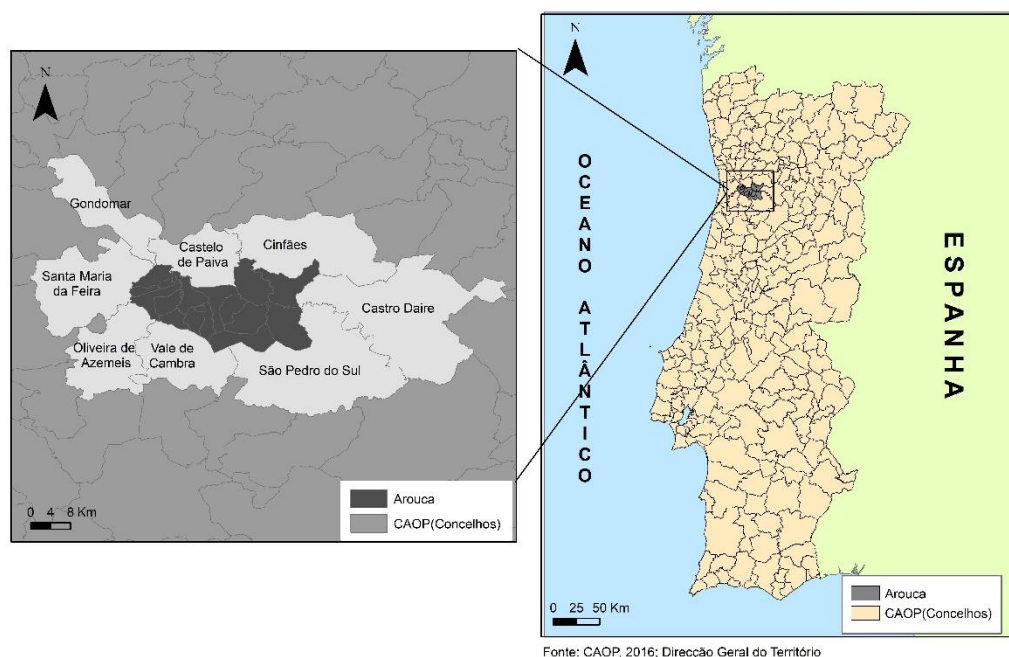


Figura 9: Enquadramento da área de estudo (Fonte: Elaboração própria baseada na CAOP)

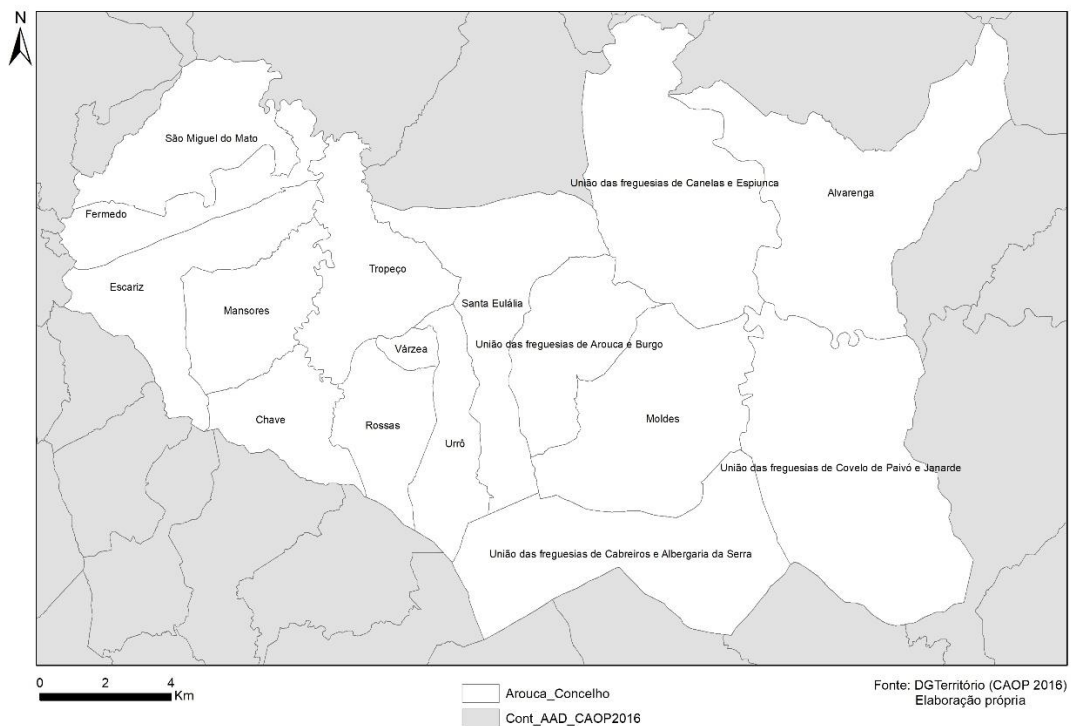


Figura 10: Divisão administrativa do Município de Arouca (Fonte: Elaboração própria baseada na CAOP)

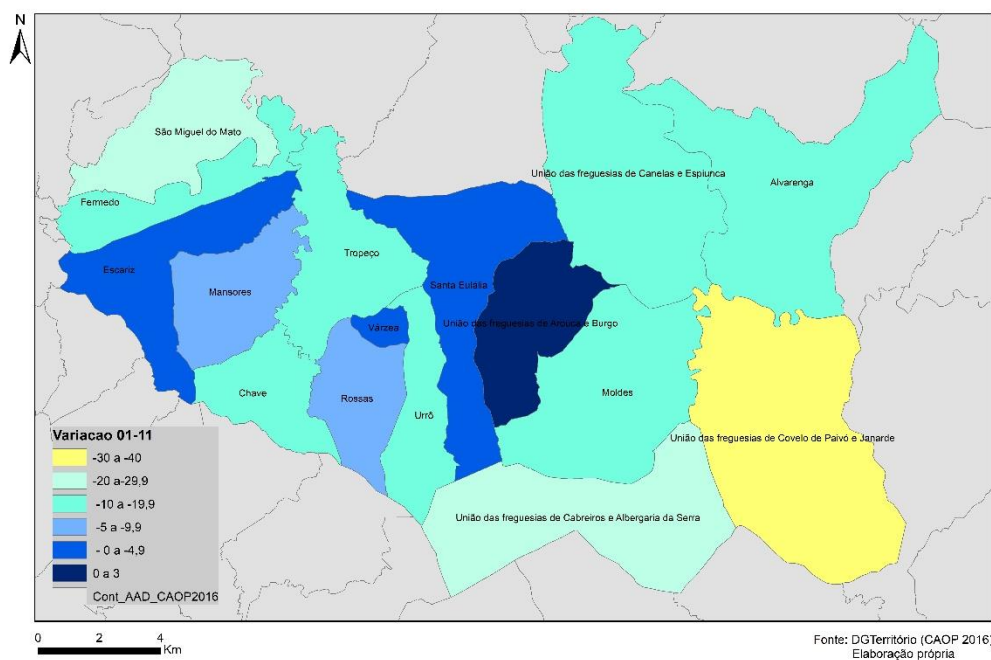


Figura 11: Variação da população por freguesia entre 2001-2011 (Fonte: Dados dos Recenseamentos da População, INE).

Considerando a evolução da população entre 1950 e 2011 verifica-se que se

registou uma perda de 13,8% dos habitantes. Neste período temporal, as freguesias de Escariz, Várzea, Rossas, e sobretudo a União de freguesias de Arouca e Burgo, viram a sua população aumentar consideravelmente como se pode observar na Fig. 12.

Por outro lado, as freguesias que perderam mais população foram São Miguel de Mato, União de freguesias de Canelas e Espinca, Alvarenga, União de freguesias de Covelo de Paivó e Janarde e também a União de freguesias de Cabreiros e Albergaria da Serra (Tabela 1). Trata-se fundamentalmente das freguesias que se localizam no Maciço da Gralheira.

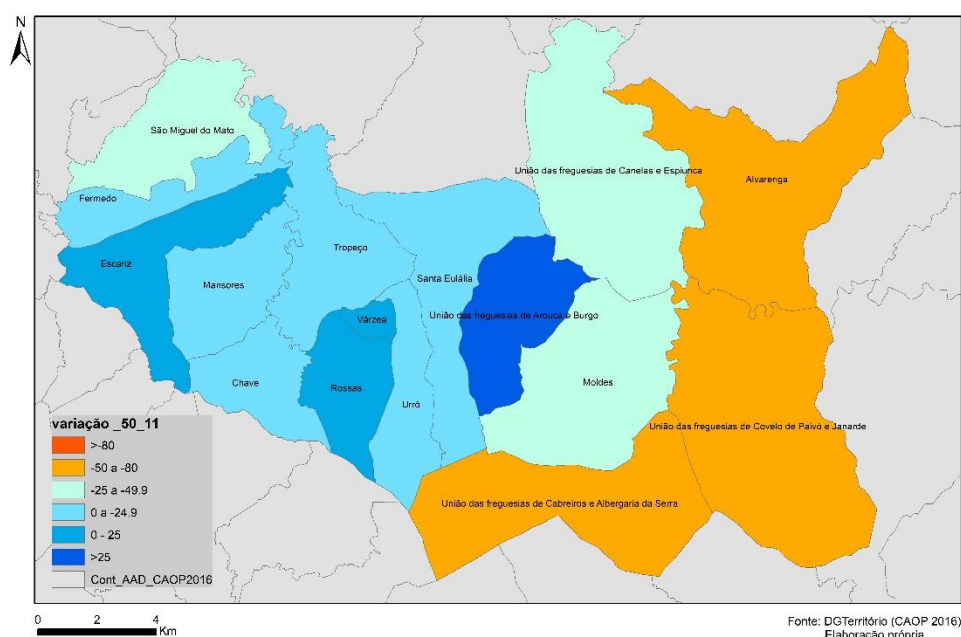


Figura 12: Variação da população por freguesia entre 1950-2011 (Fonte: Dados dos Recenseamentos da População, INE).

De facto, o município de Arouca apresenta um relevo acidentado, com vales muito encaixados. As altitudes mais baixas, inferiores a 200 m, localizam-se nos vales dos rios Arda e Paiva (Fig. 13).

Do ponto de vista hidrográfico, a maioria da área em estudo neste trabalho, enquadra-se na bacia hidrográfica do Douro, com a exceção do vertente sul da Serra da Freita, drenada pelo rio Caima, pertencente à bacia hidrográfica do Vouga. Estes não os principais cursos de água que percorrem o município. Pelo contrário, as altitudes mais elevadas ocorrem na Serra da Freita e na parte nordeste do concelho, na Serra de Montemuro, onde está situado o ponto com maior altitude do concelho com 1 222m.

Tabela 1: Evolução da população por freguesia, entre 1950 e 2011

Freguesia	1950	1960	1970	1981	1991	2001	2011	var_50_11	var_01_11
Alvarenga	3137	2819	2187	1886	1637	1368	1223	-61,01	-10,60
Chave	1456	1459	1293	1354	1398	1414	1253	-13,94	-11,39
Escariz	1797	1971	1862	1865	2055	2255	2222	23,65	-1,46
Fermedo	1665	1650	1563	1562	1552	1504	1340	-19,52	-10,90
Mansores	1216	1290	1192	1180	1125	1155	1081	-11,10	-6,41
Moldes	1715	1742	1568	1626	1596	1477	1257	-26,71	-14,90
Rossas	1472	1601	1428	1503	1527	1693	1599	8,63	-5,55
Santa Eulália	2409	2512	2276	2187	2132	2339	2253	-6,48	-3,68
São Miguel do Mato	1122	1048	1010	979	851	800	593	-47,15	-25,88
Tropeço	1305	1375	1217	1253	1277	1297	1150	-11,88	-11,33
União das freguesias de Arouca e Burgo	3617	3694	3696	4296	4835	5165	5178	43,16	0,25
União das freguesias de Cabreiros e Albergaria da Serra	1145	946	739	493	434	326	233	-79,65	-28,53
União das freguesias de Canelas e Espiunca	1788	1684	1505	1406	1406	1341	1183	-33,84	-11,78
União das freguesias de Covelo de Paivó e Janarde	883	792	582	529	456	328	222	-74,86	-32,32
<b>Total</b>	<b>33 860</b>	<b>33 494</b>	<b>30367</b>	<b>30620</b>	<b>31025</b>	<b>31387</b>	<b>29172</b>	<b>-13,85</b>	<b>-25,16</b>

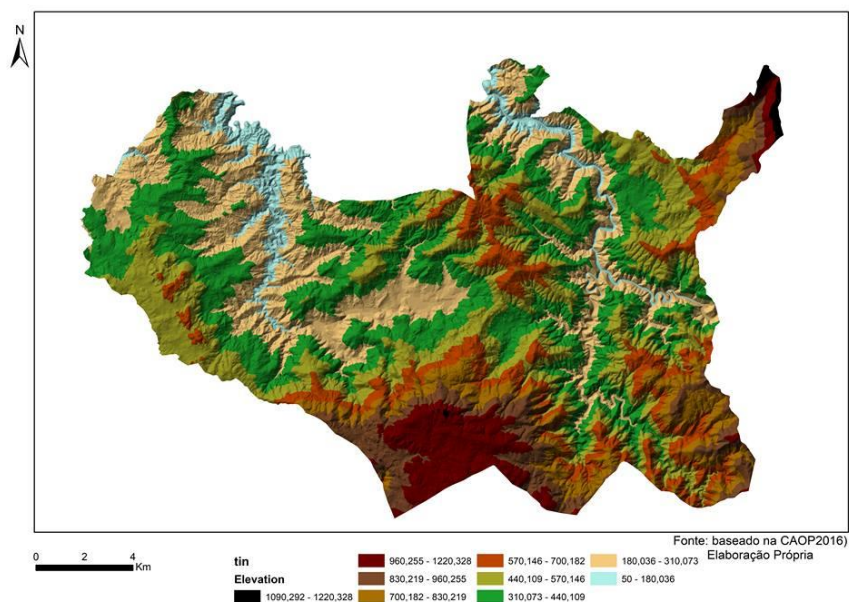


Figura 13: Modelo digital do terreno

### 3.2 Evolução dos Incêndios entre 1980 e 2015

No período de 1980 a 2015 o número de incêndios rurais apresentou uma tendência crescente (Tabela 2; Fig. 14). Contudo o aumento não tem sido progressivo ou regular pois verificaram-se variações interanuais significativas. O número médio de incêndios por ano foi de 29 nos anos oitenta e foi aumentando ao longo das décadas, sendo de 136 em 2000 - 2009. No período seguinte (2010-2015) o valor diminuiu ligeiramente (em média 126 eventos por ano). Os anos com maior incidência de incêndios foram 2001, 2005 e 2013, com 250, 270 e 230 ocorrências respectivamente. Se entre 1980 e 1994 o número de incêndios por ano foi sempre inferior a 100, desde então são muito poucos os anos que não excedem esse valor (Tabela em anexo)

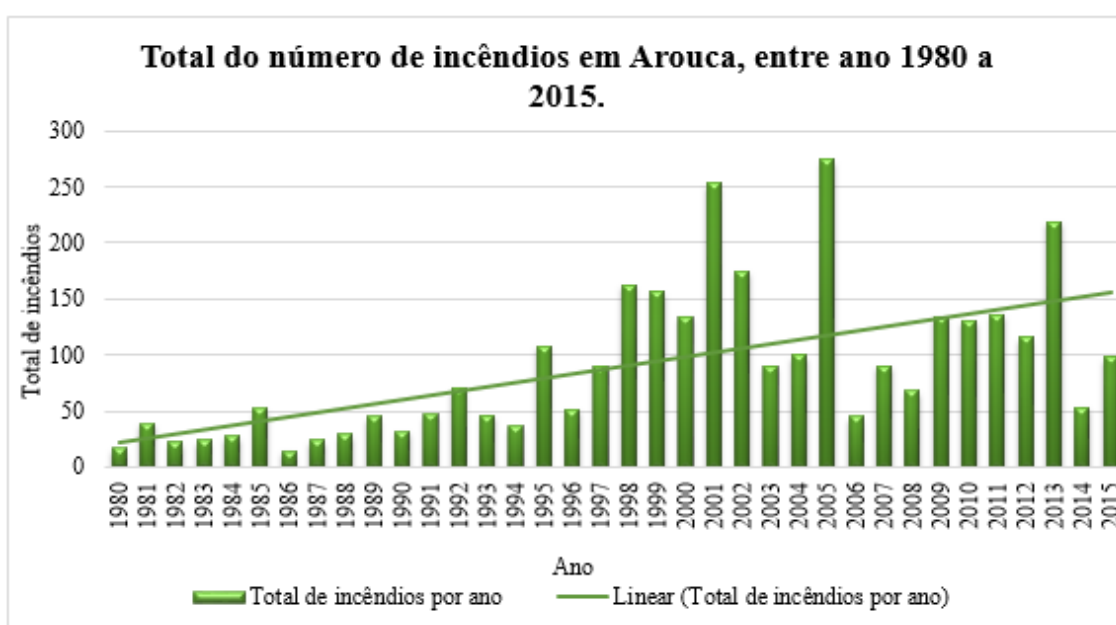


Figura 14: Evolução do número de incêndios rurais no município de Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF)

Em termos de área ardida constata-se que se tem registado uma grande variabilidade interanual da área queimada (Fig. 15). O ano com valor mais elevado foi 2005 (8 983 ha). Já a menor área ardida ocorreu nos anos de 1994 e 2006 com respetivamente 35 ha e 24,9 ha. A média anual de área queimada foi de 1 541ha na década de oitenta, valor superior ao das décadas seguintes.

Embora no ano de 2005 tenha ocorrido um incêndio de grandes dimensões (que afetou cerca de 8 556 ha), a área anual média percorrida pelo fogo na década 2000-2009 foi de 1 185ha o que representou um valor inferior ao ocorrido nos anos oitenta.

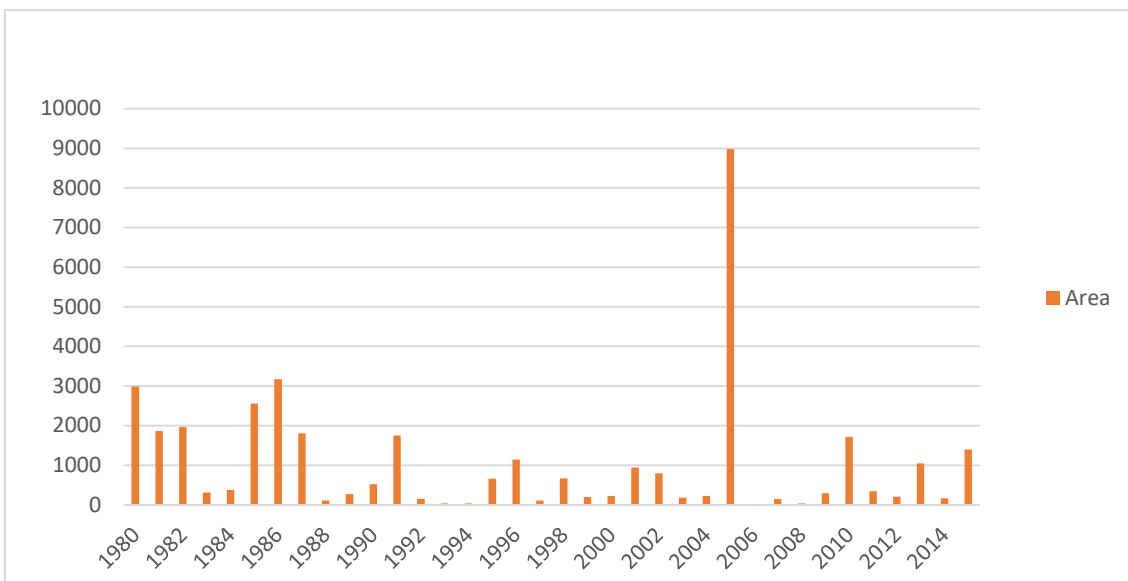


Figura 15: Evolução da área ardida em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF)

Como é possível observar na Fig. 16, na maior parte dos anos ocorreram grandes incêndios rurais, isto é incêndios com  $\geq 100$ ha. No período em análise os anos com maior área queimada por grandes incêndios rurais foram 2005, 1986 e 1980.

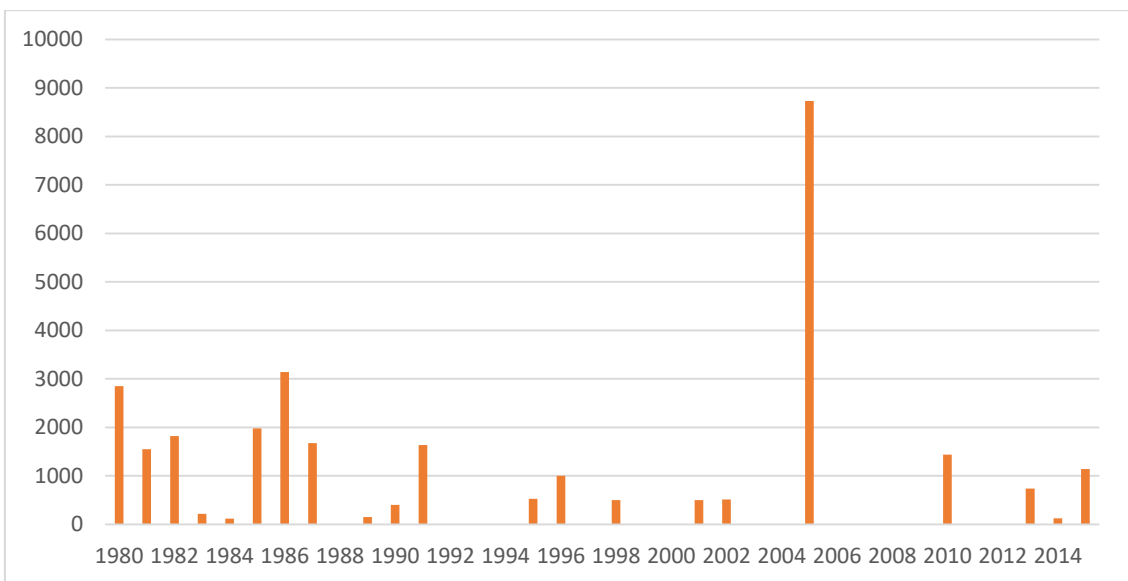


Figura 16: : Evolução da área ardida com mais de 100 ha em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF)

Em relação aos incêndios com dimensões inferiores a 1ha, verificou-se que o seu número e a área por eles afetada aumentou (Fig. 17 e Fig. 18). Entre 1980 e 1991, menos de 4,3% dos incêndios tinha menos de 1 há e a área por eles queimada era inferior a 3%. A partir de então, verifica-se que, em geral, pelo menos de 64% dos incêndios ocorridos em cada ano tiveram essa dimensão. Nos anos 2008, 2013 e 2014, mais de 85% dos

incêndios tiveram menos do 1 ha e afetaram áreas muito variadas, tendo sido registado o maior valor em 2008 com 19%.

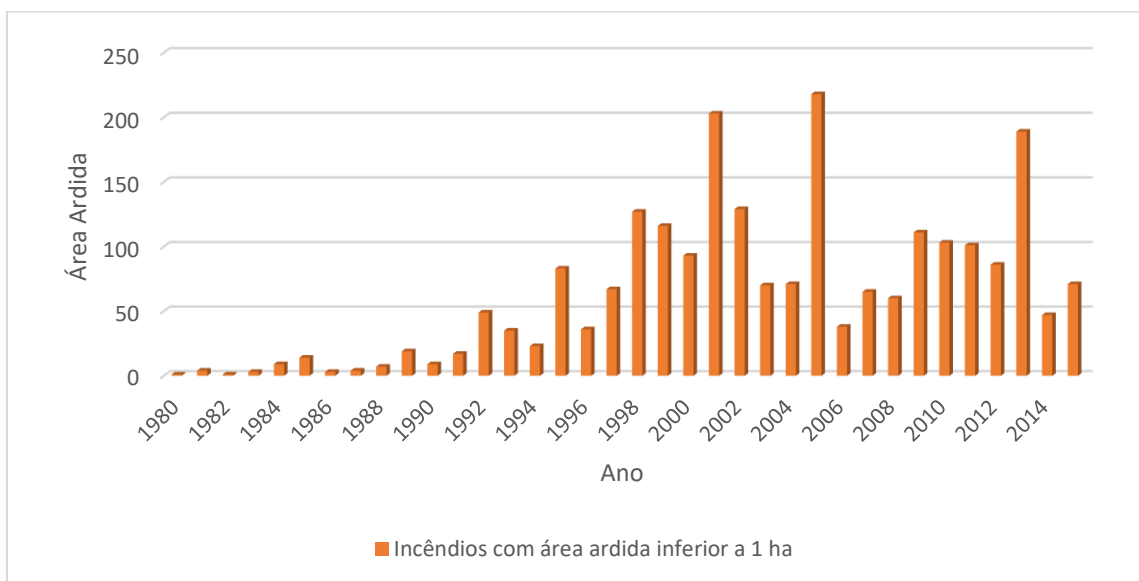


Figura 17: Número de incêndios inferiores a 1 há ocorridos no concelho de Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: Dados fornecidos pelo ICNF)

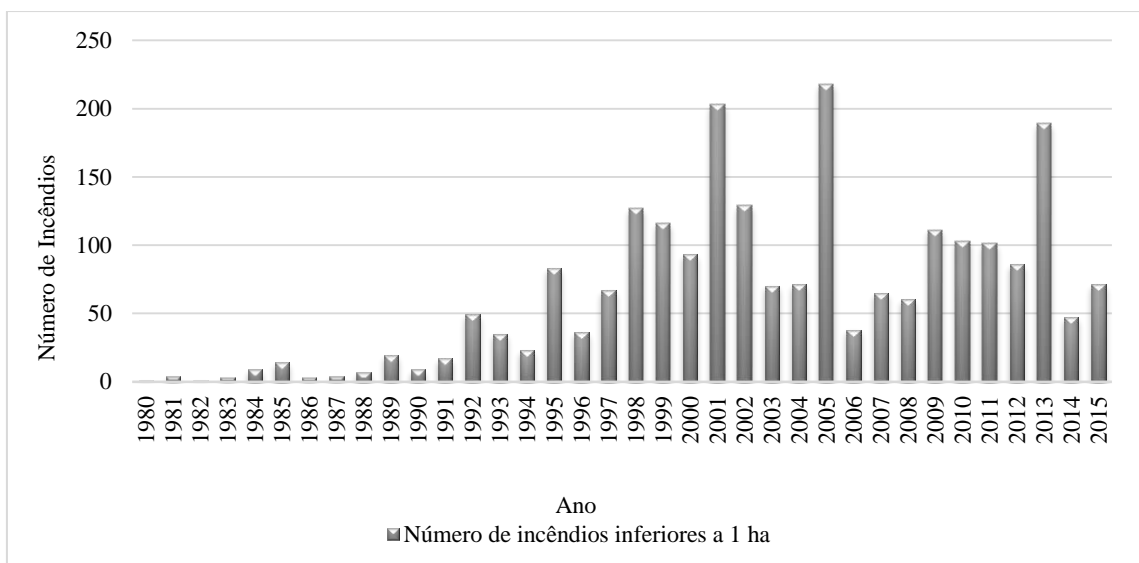


Figura 18: Evolução da área ardida com menos de 1 há em Arouca, entre 1980 e 2015 (Fonte: dados fornecidos pelo ICNF)

Os incêndios rurais não afetaram de igual modo todo o município de Arouca. No período de 1990 a 2015, em 17 838, 64 ha do concelho não se registaram incêndios o que corresponde a 54,2 % (Fig. 19). Em cerca de 9 551,57 ha (29%) do concelho foram registados apenas um incêndio. O número máximo de vezes que uma mesma unidade de superfície ardeu foi 6, o que representa 0,03% (11 ha) do município. A área mais afetada

por incêndios é a parte sul e oriental, isto é a parte com maior altitude e com vales mais encaixados (Fig. 19).

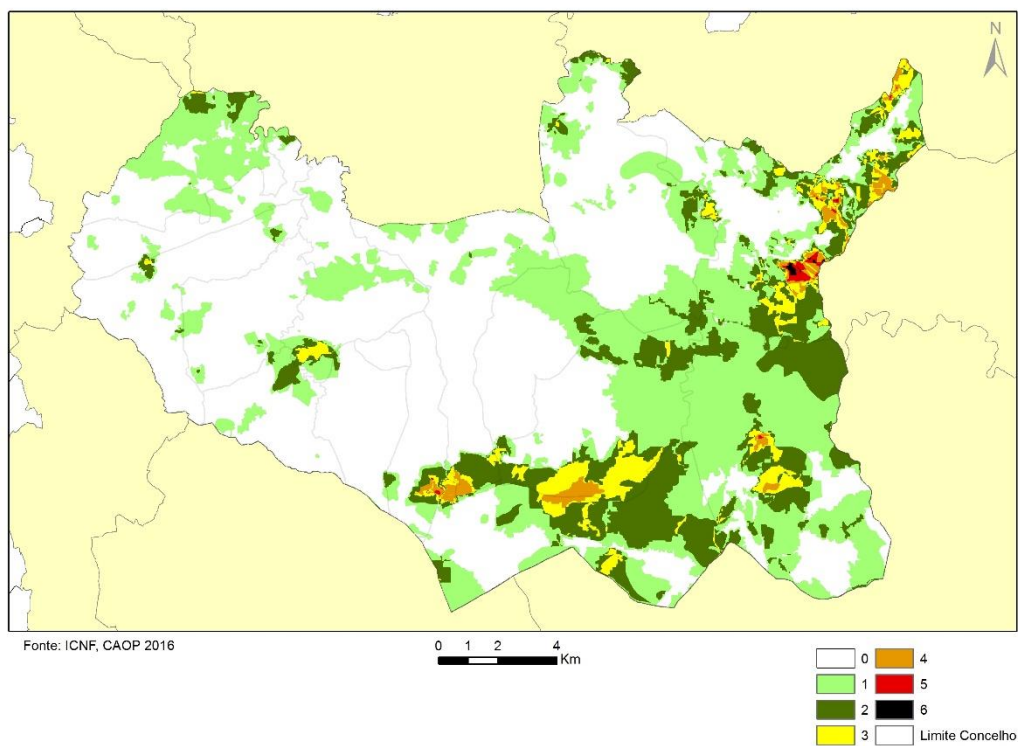


Figura 19: Mapa de recorrências do município de Arouca (Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do ICNF)

## Capítulo 4 – As características do município favoráveis ao risco de incêndio

### 4.1 Ocupação do solo

O nível 2 da COS (Fig. 20) mostra que o concelho é maioritariamente coberto por espaços rurais (verdes) 75% do município existindo ainda alguns espaços agrícolas (laranja)

O nível 3 da COS (Fig. 21) subdivide cada uma das classes presentes no nível 2; aqui temos pormenorizado que tipo de espécie ou atividade existe sobre o solo. As florestas apresentam-se de diversos tipos: florestas de folhosas, florestas de resinosas, florestas mistas, florestas abertas com cortes e novas plantações.

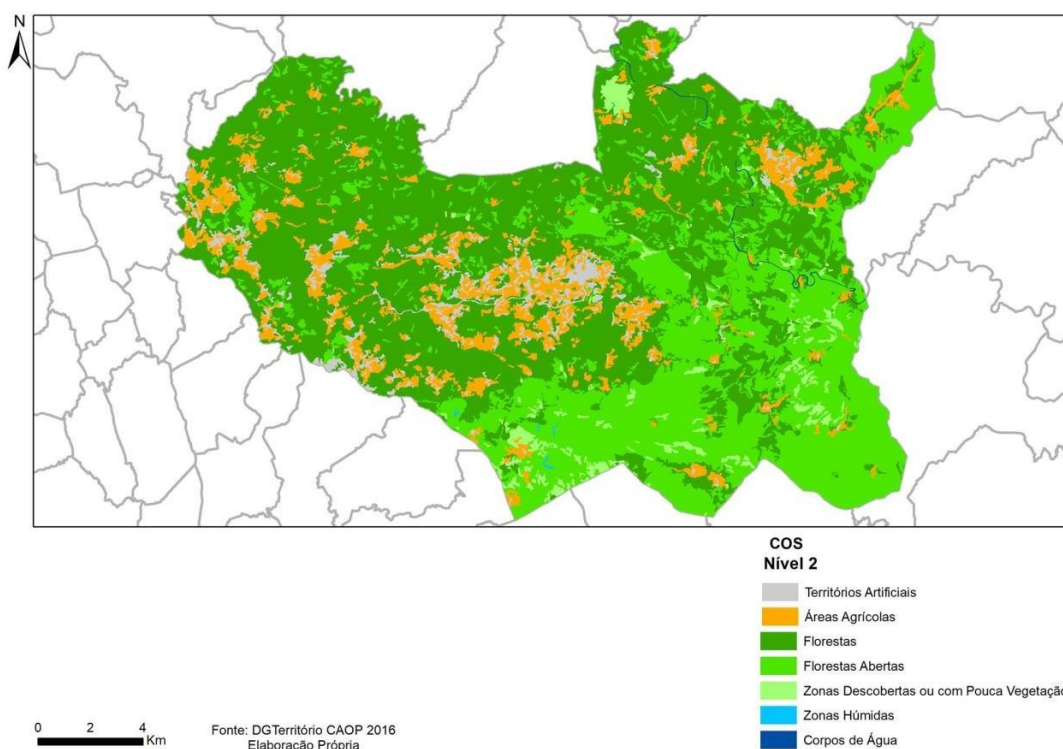


Figura 20: Mapa de Ocupação do Solo do município de Arouca, do nível 2 de 2007 (Fonte: DGT)

No entanto, e não menos importante, é de referir que as vinhas, vegetação herbácea natural, os pomares e as culturas temporárias (de sequeiro e regadio) também ocupam uma área considerável. Temos um concelho tipicamente rural.

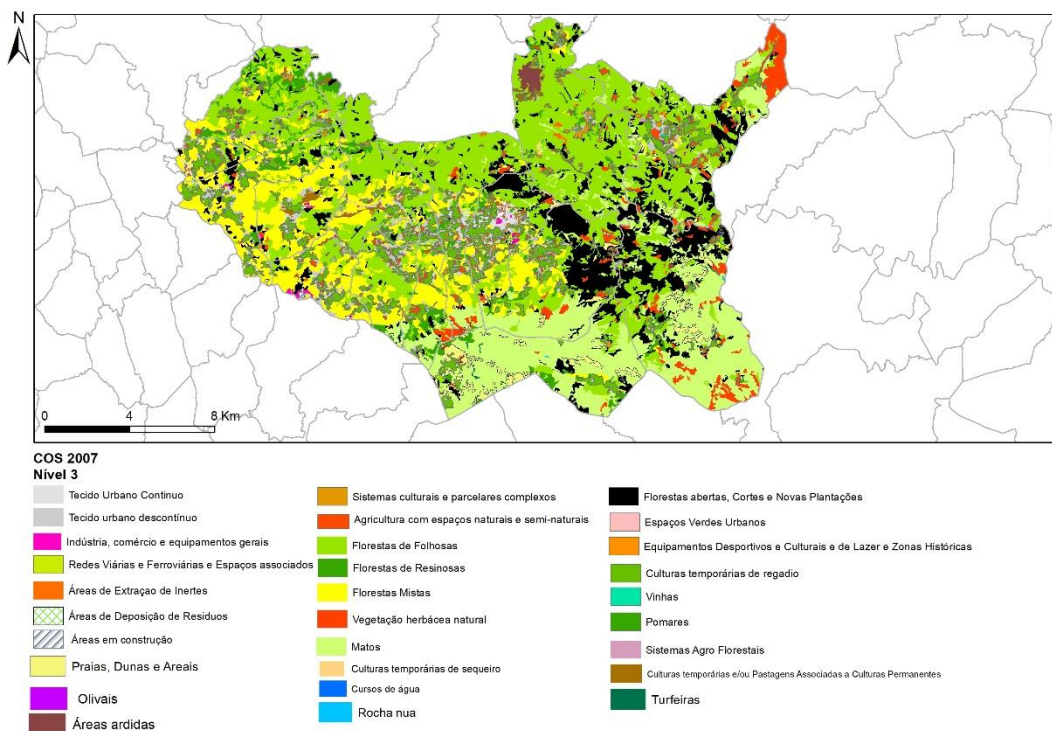


Figura 21 Mapa de ocupação do solo do município de Arouca, no nível 3

A análise centra-se sobretudo nas espécies que mais podem condicionar o comportamento dos incêndios. As florestas apenas de eucalipto ascendem a 10 244,98 ha o que corresponde a 31,13 % da área do município, ou seja, quase um terço, quando esta espécie é conjunta com folhosas ou resinosas acrescem mais 2 325 ha, ou seja passamos a ter uma área com a presença de eucalipto de 12 570 ha, correspondente a 38,19 % da área municipal.

O pinheiro bravo que tem vindo a perder representatividade para o eucalipto, as florestas apenas de pinheiro são de 1 205,09 ha (3,7% da área municipal), quando aglomerada com folhosas a sua área ascende 3 679,41 ha (11,18% da área municipal).

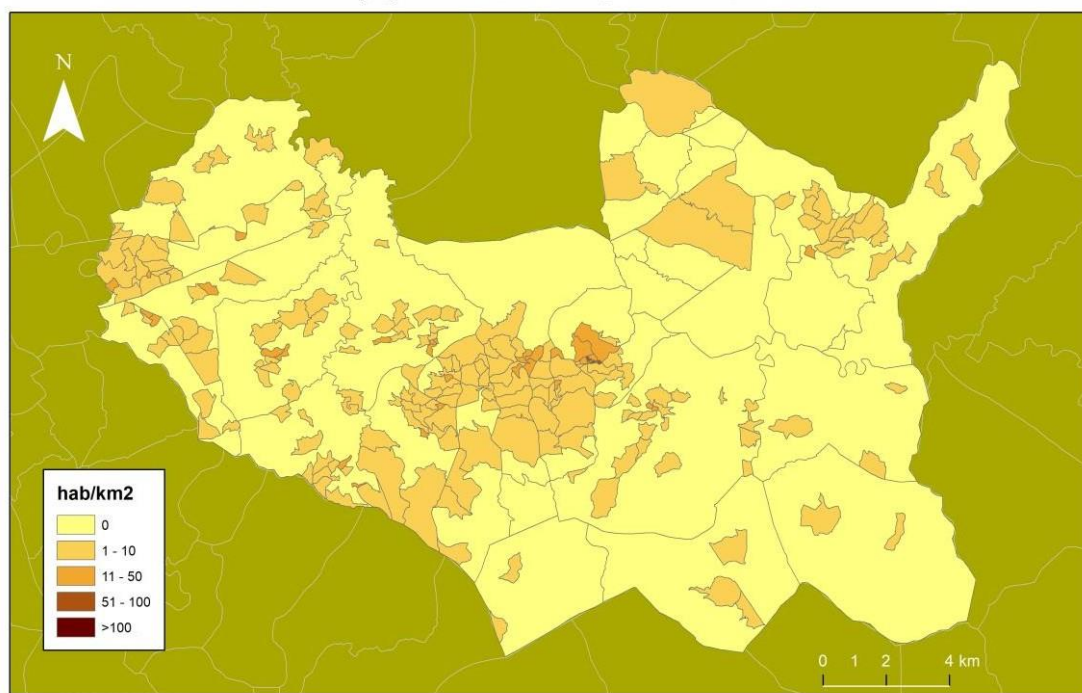
Os carvalhos aparecem em apenas 484,7 ha (1,5% do território) mas igualmente como o pinheiro ou eucalipto aparece junto com outras folhosas ou resinosas e ascende a sua presença num total de 1 215,2 ha (3,7%) do território.

Os matos densos estão presentes em 2 923,84 ha (8,9%) os poucos densos em 2 920,57 ha (8,8%) e a vegetação esparsa em 733,6 ha (2,2%).

## 4.2. Densidade populacional

A densidade populacional por subsecção mostra a proporção de indivíduos que residem em determinada área do território e representa normalmente pelo número de habitantes por km<sup>2</sup>. Dessa forma podemos perceber a evolução da população ao longo do tempo num determinado território 1991, 2001, 2011. (Fig. 24, 25 e 26).

A análise não foi possível de ser elaborada com coerência pela alteração do número de subsecções do ano de 2001 para 2011.



Fonte: CAOP 1.0, INE, BGRI

Figura 22: Densidade populacional em 1991, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 1991, INE)

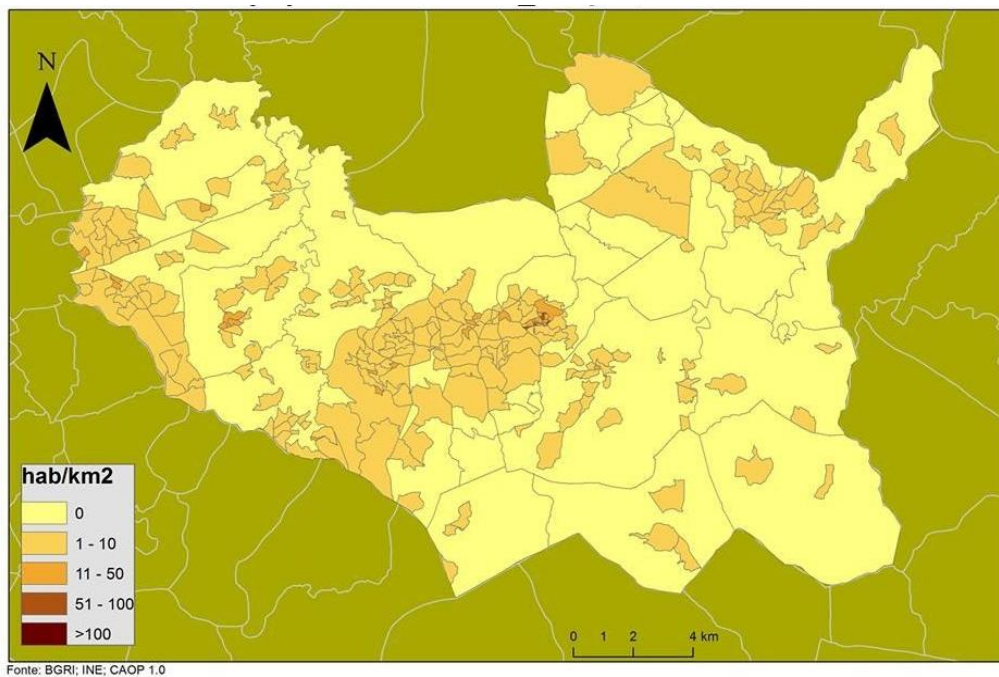


Figura 23: Densidade populacional em 2001, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 2001, INE)

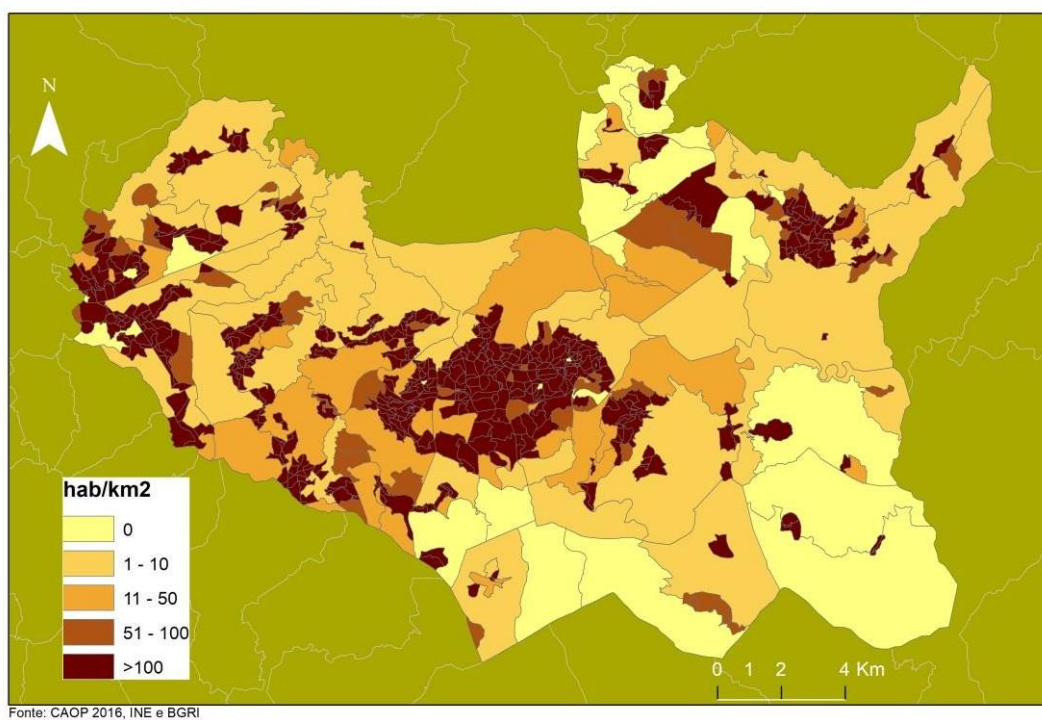


Figura 24: Densidade populacional em 2011, por subsecção (Fonte: Dados do Recenseamento da População de 2011, INE)

Os valores de densidade populacional são normalmente baixos com subsecções onde não existe população e a que existe está concentrada sobretudo no vale de Arouca no seu extremo oeste ou então em subsecções que podem corresponder a aldeias de montanha.

A análise deste período de tempo, entre 1991 e 2011, mostra um decréscimo de população, por envelhecimento ou emigração, em todo o concelho à exceção das freguesias centrais, Arouca e Burgo que registaram ganhos.

Em 1991, verifica-se que a maioria das subsecções têm valor de zero, a maior concentração é na parte central do concelho, freguesias de Arouca, Burgo, Santa Eulália e Rossas, com valores entre 1 a 10 hab/km<sup>2</sup>, com os mesmos valores temos casos pontuais no extremo oeste do concelho e na freguesia de Canelas e Alvarenga.

Em 2001 a situação é bastante idêntica, mas nota-se que subsecções que tinham valor de zero começam a ser povoadas e entram na classe dos 1 a 10 hab/km<sup>2</sup>, esses casos verificam-se sobretudo na freguesia de Escariz, Mansores e Fervedo.

No ano de 2011 parece que houve um aumento da população, mas não real devido à subdivisão e aumento da subsecção e conseqüente diminuição da área de cada uma o que parece dar áreas com enormes ganhos populacionais, o que não corresponde à realidade houve mesmo a continuação de perda de população.

Os valores mais altos de densidade populacional ascendem aos 9 000 hab/km<sup>2</sup>. Decorrente desta subdivisão ainda existem subsecções com valores de zero.

### **4.3 Características das aldeias da Serra da Freita**

As aldeias da Serra da Freita aqui consideradas são Castanheira, Cabaços, Mizarela, Albergaria da Serra e Merujal. São aldeias cujos residentes tem uma enorme tradição com o uso do fogo para renovação das pastagens. Estas atitudes tornam as aldeias mais preparadas para enfrentar incêndios extremos aliado à área agrícola em seu redor que lhe conferem outra proteção. As espécies aqui semeadas são sobretudo o centeio e milho para alimentar o gado.

O corte do centeio sobretudo em junho ou julho, deixado a secar no campo torna estas aldeias vulneráveis, assim aconteceu com Castanheira, em 2016, com 2 palheiros queimados no centro da aldeia e explosão de botijas de gás, e Cabaços que o incêndio invadiu as áreas agrícolas, tudo devido à propagação do incêndio empurrado pelo forte vento.

Estas aldeias serranas têm características próprias, de pequena dimensão tem uma área urbana de apenas 3,2 ha, 53,2 ha de área agrícola, 188 ha de área florestal e 645,7 ha de matos e rocha nua (Fig. 25 e Tabela 1).

A aldeia com maior área urbana é Albergaria com 1,1 ha e a que tem menos é Cabaços com apenas 0,3 ha, todas as outras não atingem sequer valores de 1 ha. Em termos de área agrícola a maior área corresponde novamente a Albergaria com 20,5 ha, seguindo-se Castanheira com 17,2 ha e a aldeia com menos área agrícola é Mizarela com 4,1 ha.

As áreas florestais sobretudo, a aldeia do Merujal tem 98,4 ha seguindo-se Albergaria com 41 ha e a que tem menos é Cabaços com 7,4 ha. As áreas de Matos densos e rocha nua a maior é área é a do Merujal com 261 ha seguindo-se Cabaços com 141 ha e Castanheira com 129,9.

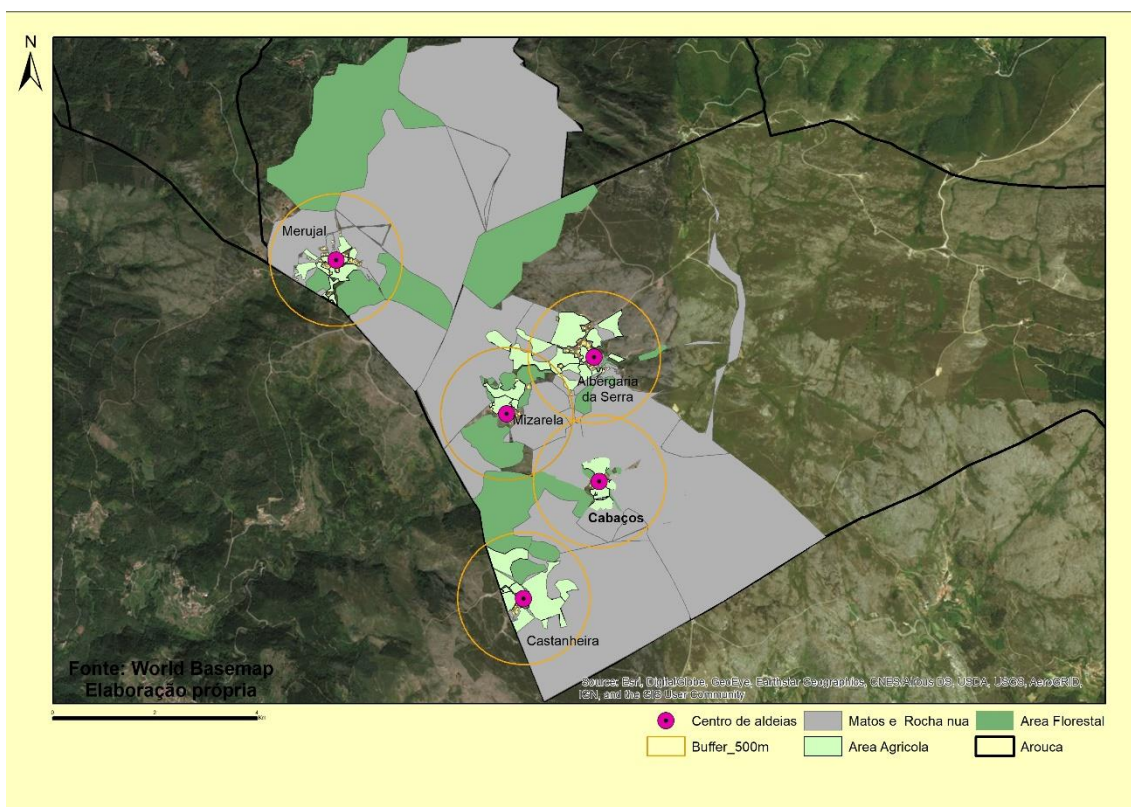


Figura 25: Caracterização das cinco aldeias, num buffer de 500m.

Tabela 2: Algumas características das aldeias (Fonte: Elaboração própria)

Lugar	Área urbana (ha)	Área agrícola (ha )	Área florestal (ha)	Área de Matos e Rocha Nua (ha )	Total (ha)
Albergaria	1,1	20,5	41,0	30,7	93,3
Cabaços	0,3	5,3	7,4	141,0	154,0
Castanheira	0,5	17,2	27,4	129,9	174,9
Merujal	0,8	6,2	98,4	261,0	366,4
Mizarela	0,6	4,1	13,7	83,1	101,5

## **Conclusão**

Desde logo se evidenciam as potencialidades e aplicações dos SIG que poderão ser um aliado na prevenção e combate aos incêndios rurais. Desta forma, é essencial que, perante toda a problemática apontada, se discuta sobre a utilização dos SIG, uma vez que este município, todos os anos é bastante fustigado por incêndios.

Ao longo do tempo, a perigosidade da paisagem no município de Arouca foi aumentando pela maior extensão de áreas de monocultura de eucalipto, redução das áreas agrícolas devido ao despovoamento.

Um melhor conhecimento da dinâmica do território de Arouca é fundamental para uma maior eficácia na prevenção dos incêndios florestais e redução das ocorrências.

## Referências Bibliográficas

- Abdi, O., Kamkar, B., Shirvani, Z., Teixeira da Silva, J. A., & Buchroithner, M. F. (2016). Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: a case study from Golestan, Northeast Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-14.
- Alves, P. M. C. (2012). Probabilidade de Ignição e Suscetibilidade de incêndios Florestais.
- Antunes, C. C., Viegas, D. X., & Mendes, J. M. (2011). Avaliação do risco de incêndio florestal no Concelho de Arganil. *Silva lusitana*, 19(2), 165-179.
- Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). Exertional heat illness during training and competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(3), 556-572.
- Artés, T., Cencerrado, A., Cortés, A., & Margalef, T. (2016). Real-time genetic spatial optimization to improve forest fire spread forecasting in high-performance computing environments. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(3), 594-611.
- Athanasios Nikos, Themistocleous M. Kalabokidis (2017). "Wildfire Prevention in the Era of Big Data." Springer: 111–118.
- Castro, R., & Chuvieco, E. (1998). Modeling forest fire danger from geographic information systems. *Geocarto International*, 13(1), 15-23.
- Chou, Y. H. (1992). Management of wildfires with a geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(2), 123-140.
- Chuvieco, E., & Congalton, R. G. (1989). Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2), 147-159.
- Chuvieco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3), 333-345.
- Coughlan, M. R., & Petty, A. M. (2012). Linking humans and fire: a proposal for a transdisciplinary fire ecology. *International Journal of Wildland Fire*, 21(5), 477- 487.

- Cova, T. J. (1999). GIS in emergency management. *Geographical information systems*, 2, 845-858.
- De Albuquerque, J. P., Herfort, B., Brenning, A., & Zipf, A. (2015). A geographic approach for combining social media and authoritative data towards identifying useful information for disaster management. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(4), 667-689.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2004a). Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*, 19(7), 731-745.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2004b). Statistical analysis of fire frequency models for Catalonia (NE Spain), 1975–1998) based on fire scar maps from Landsat MSS data. *International Journal of Wildland Fire*, 13(1), 89-99.
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169-174.
- Duarte, L., & Teodoro, A. C. (2016). An easy, accurate and efficient procedure to create forest fire risk maps using the SEXTANTE plugin Modeler. *Journal of Forestry Research*, 27(6), 1361-1372.
- Duguy, B., Alloza, J. A., Baeza, M. J., De la Riva, J., Echeverría, M., Ibarra, P., . . . Vallejo, R. V. (2012). Modelling the ecological vulnerability to forest fires in Mediterranean ecosystems using geographic information technologies. *Environmental management*, 50(6), 1012-1026.
- Eugenio, F. C., Dos Santos, A. R., Fiedler, N. C., Ribeiro, G. A., da Silva, A. G., Dos Santos, Á. B., Schettino, V. R. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: a case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of environmental management*, 173, 65-71.
- Eugenio, F. C., dos Santos, A. R., Fiedler, N. C., Ribeiro, G. A., da Silva, A. G., Juvanhol, R. S., Pezzopane, J. E. M. (2016). GIS applied to location of fires detection towers in domain area of tropical forest. *Science of the Total Environment*, 562, 542-549.
- Feng, J., Wang, J., Yao, S., & Ding, L. (2016). Dynamic assessment of forest resources quality at the provincial level using AHP and cluster analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 184-193.

- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Nunes, A., & Lourenço, L. (2016). Incidence and recurrence of large forest fires in mainland Portugal. *Natural Hazards*, 84(2), 1035-1053.
- Figueiró, P. S., & Raufflet, E. (2015). Sustainability in higher education: a systematic review with focus on management education. *Journal of Cleaner Production*, 106, 22-33.
- Figueiró, R. d. A. (2015). Cartografia do trabalho de agentes penitenciários: reflexão sobre o “dispositivo prisão”.
- FREIRE, S., CARRÃO, H., & CAETANO, M. R. (2002). Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. *Instituto Geográfico Português: Lisbon, Portugal*.
- Gonçalves, A. B. (2007). Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha: o caso da serra da Cabreira.
- Gonçalves, A. B., Vieira, A., Martins, C. O., Leite, F. F., & Silva, F. C. (2010). A desestruturação do mundo rural e o uso do fogo: o caso da Serra da Cabreira (Vieira do Minho). *Caminhos nas Ciências Sociais: memória, mudança social e razão: estudos em homenagem a Manuel da Silva Costa*, 87-104.
- Hadzilacos, T., & Tryfona, N. (1996). Logical data modelling for geographical applications. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(2), 179-203.
- Hamilton, M. P., Salazar, L. A., & Palmer, K. E. (1989). Geographic information systems: providing information for wildland fire planning. *Fire Technology*, 25(1), 5-23.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1-10.
- Johnson, R. (2000). GIS technology for disasters and emergency management. *An ESRI white paper*.
- Kalabokidis, K., Ager, A., Finney, M., Athanasis, N., Palaiologou, P., & Vasilakos, C. (2016). AEGIS: a wildfire prevention and management information system. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 16(3).

- Kalabokidis, K., Athanasis, N., Vasilakos, C., & Palaiologou, P. (2014). Porting of a wildfire risk and fire spread application into a cloud computing environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(3), 541-552.
- Keane, R. E., Burgan, R., & van Wagendonk, J. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 301-319.
- Kessell, S. R. (1990). An Australian geographical information and modelling system for natural area management. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), 333-362.
- Knezic, S., & Mladineo, N. (2006). GIS-based DSS for priority setting in humanitarian mine-action. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(05), 565-588.
- Lee, B., Alexander, M., Hawkes, B., Lynham, T., Stocks, B., & Englefield, P. (2002). Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1), 185-198.
- Leite, F. F., Gonçalves, A. B., Lourenço, L., Úbeda, X., & Vieira, A. (2013). Grandes incêndios florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo mediterrâneo. *Silva lusitana*, 21(especial), 129-144.
- Levine, R. J., Hauth, J. C., Curet, L. B., Sibai, B. M., Catalano, P. M., Morris, C. D., . . . Bild, D. E. (1997). Trial of calcium to prevent preeclampsia. *New England Journal of Medicine*, 337(2), 69-77.
- Lourenço, L. (2007). Riscos naturais, antrópicos e mistos.
- Lourenço, L., & Mateus, M. (2013). Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo: Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.
- Lowell, K. E. (1994). Probabilistic temporal GIS modelling involving more than two map classes. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(1), 73-93.
- Marković, V., Nagy, I., Sik, A., Perge, K., Laszlo, P., Papatoma-Köhle, M., . . . Glade, T. (2016). Assessing drought and drought-related wildfire risk in Kanjiza, Serbia: the SEERISK methodology. *Natural Hazards*, 80(2), 709-726.
- Maurer, A., Schmitt Figueiró, P., Alves Pacheco de Campos, S., Sebastião da Silva, V., & de Barcellos, M. D. (2015). Yes, We also can! O desenvolvimento de iniciativas

- de consumo colaborativo no Brasil. *Revista Base (Administração e Contabilidade) da UNISINOS*, 12(1).
- Meneses, Miguel B., & Cortez, N. (2015). Efeito de um incêndio florestal nas propriedades físico-químicas da água da ribeira de são domingos (região oeste de Portugal). *Recursos Hídricos*, 36(1).
- Najafabadi, A. T. P., Gorgani, F., & Najafabadi, M. O. (2015). Modeling forest fires in Mazandaran Province, Iran. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 851-858.
- Nedovic-Budic, Z. (2000). Geographic information science implications for urban and regional planning.
- Paton, D., & Tedim, F. (2012). A dimensão social dos incêndios florestais: Identificação de fatores que contribuem para uma gestão sustentada e integrada.
- Pelling, M., & Wisner, B. (2012). *Disaster risk reduction: Cases from urban Africa*: Routledge.
- Pourtaghi, Z. S., Pourghasemi, H. R., Aretano, R., & Semeraro, T. (2016). Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. *Ecological Indicators*, 64, 72-84.
- Power, M., Champion, L., & Aris, S. (1988). The development of a measure of social support: the Significant Others (SOS) Scale. *British Journal of Clinical Psychology*, 27(4), 349-358.
- Price, O. F., Penman, T., Bradstock, R., & Borah, R. (2016). The drivers of wildfire enlargement do not exhibit scale thresholds in southeastern Australian forests. *Journal of environmental management*, 181, 208-217.
- Pultar, E., Raubal, M., Cova, T. J., & Goodchild, M. F. (2009). Dynamic GIS case studies: Wildfire evacuation and volunteered geographic information. *Transactions in GIS*, 13(s1), 85-104.
- Rebelo, F. (2003). *Riscos naturais e acção antrópica: estudos e reflexões*: Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press.
- Salazar, L., Ziogas, P., & Vincenti, D. (1988). *Simple models for SPICE assist Power Electronics circuit simulation on PCs*. Paper presented at the Industry Applications Society Annual Meeting, 1988., Conference Record of the 1988 IEEE.

- Sobeih, A. (2005). Geographic information systems (GIS) in Egypt. *IISD a developing Connection: Bridging the policy gap between the information society and sustainable development*. IISD, Winnipeg.
- Spencer, R. D. (1997). Remote sensing and GIS applications in the US Forest Service. *Cartography*, 26(2), 31-40.
- Sunar, F., & Özkan, C. (2001). Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277.
- Tedim, F. (2013). O contributo da vulnerabilidade na redução do risco de incêndio florestal. *Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo, Departamento de Geografia. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra*, 653-666.
- Tedim, F., & Carvalho, S. (2013). A vulnerabilidade aos incêndios florestais: reflexões em torno de aspetos conceptuais e metodológicos. *Territorium*.
- Teodoro, A. C., & Duarte, L. (2013). Forest fire risk maps: a GIS open source application—a case study in Norwest of Portugal. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(4), 699-720.
- Tolhurst, K. G., & McCarthy, G. (2016). Effect of prescribed burning on wildfire severity: a landscape-scale case study from the 2003 fires in Victoria. *Australian forestry*, 79(1), 1-14.
- Verde, J. C. (2010). *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal*.
- White, L. A. S., White, B. L. A., & Ribeiro, G. T. (2016). Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(85), 41-49.
- Wisner, B., Gaillard, J. C., & Kelman, I. (2012). *Handbook of hazards and disaster risk reduction and management*: Routledge.
- Xu, K., Zhang, X., Chen, Z., Wu, W., & Li, T. (2016). Risk assessment for wildfire occurrence in high-voltage power line corridors by using remote-sensing techniques: a case study in Hubei Province, China. *International Journal of Remote Sensing*, 37(20), 4818-4837.
- Yuan, M. (1997). Use of knowledge acquisition to build wildfire representation in Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(8), 723-746.

Zhang, Y., Lim, S., & Sharples, J. J. (2016). Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1800-1815.

## Anexos

Tabela 1 evolução do número de incêndios na área de estudo

Ano	< 1 ha		1 ha < 5 ha		5 ha < 10 ha		10 ha < 50 ha		50 ha < 100 ha		100 ha < 500 há		500 ha < 1000 ha		1000 ha < 5000 ha		5000 ha < 10000 ha		> = 10000 ha		Total	
	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da	Ocorrências	T.área ardi da
1980	93	12,648	28	54,5	7	43	6	113,5													134	223,6
1981	4	1,2	18	41,3	3	18,5	7	185,6	1	70	6	1550									39	1866,6
1982	1	0,1	13	29,5	2	10	3	62	1	50	1	120			1	1700					22	1971,6
1983	3	0,9	13	31,1	5	29,5	2	30			1	220									24	311,5
1984	9	2,2	9	22	2	10	8	207			1	120									29	361,2
1985	14	4,7	13	29	6	31	12	207	4	305	3	780			1	1200					53	2556,7
1986	3	0,4	8	16	1	8	1	10			1	140			1	3000					15	3174,4
1987	4	1	11	17	3	18	2	42	1	50	1	200	2	1475							24	1803,0
1988	8	2,4	19	37,5	3	18			1	50											31	107,9
1989	20	6,5	18	30,4	4	25	3	60			1	150									46	271,9
1990	10	3,3	11	21,1	8	47,2	3	53			2	400									34	524,6



<b>2007</b>	65	9,07	23	37,036	2	10			1	91											91	147,1
<b>2008</b>	61	7,66	5	6,466	2	14,868	1	11,982													69	41,0
<b>2009</b>	112	12,94	12	23,75	3	22,75	9	155,47	1	79,32											137	294,2
<b>2010</b>	104	9,6394	13	25,691	4	23,1	8	163,29	1	55,57	2	405,64			1	1032					133	1714,9
<b>2011</b>	101	15,33	23	51,99	3	18,5	8	122,77	2	133,6											137	342,2
<b>2012</b>	86	12,54	17	40,39	3	17,75	10	139,43													116	210,1
<b>2013</b>	98	13,93	19	36,06	2	14,29	5	151,12	1	89	3	739									128	1043,4
<b>2014</b>	35	6,37	3	4,32			2	28,8			1	128									41	167,5
<b>2015</b>	71	13,2585	16	22,93	1	5,3	5	144,5	1	68,7	4	1139									98	1393,7
<b>2016</b>	41	10,12	10	20,96	2	12,6	3	98,4							1	2577			1	21909	58	24628,1
<b>Total</b>	2235	319,026	648	1210,1	112	661,96	186	2880,9	25	1686,1	34	7617,14	6	3805	6	10514	1	8556	1	21909	3254	59159,177