



Modelação da Espacialização do módulo de fogo no simulador regional SIMPLOT

Gonçalo Vidal Brejo da Fonseca

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientador: Professora Doutora Margarida Branco de Brito Tavares Tomé

Júri:

Presidente: Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutora Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, orientadora;

Doutor Pedro César Ochôa de Carvalho, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Lisboa, 2011

Resumo

A floresta portuguesa é assolada todos os anos por fogos cujos efeitos destrutivos são bem conhecidos de todos e se fazem sentir não apenas nas perdas de produção, biodiversidade, acumulação de carbono, mas também em elevados impactes sociais, com perda de bens e por vezes mesmo vidas.

O simulador SIMPLOT é uma ferramenta, em fase de desenvolvimento, para a simulação a longo prazo das áreas florestais da totalidade do país, no qual se procura integrar algoritmos de ignição e propagação de fogos florestais compatíveis com simulações de nível nacional.

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um algoritmo para a propagação do fogo adequado para integração no SIMPLOT. Expõem-se e fundamentam-se as opções tomadas, e apresentam-se e interpretam-se alguns outputs produzidos pela ferramenta.

Palavras chave: Fogos Florestais, Simulador de Gestão Florestal, Algoritmo, Ignição, Propagação, Inventário.

Abstract

Every year forest fires are responsible for the loss of production, biodiversity and carbon stock in the Portuguese forest, alongside with major social damages such as the destruction of houses and/or properties and sometimes even lives.

SIMPLOT is a simulation tool, in developing stage, for the long term projection of forest areas at regional or country level, in which we are looking forward to integrate forest fire ignition and propagation algorithms.

This work consists in the development of a forest fire propagation algorithm adequate for integration in SIMPLOT. We expose and demonstrate the options forth taken for this integration, alongside presenting and interpreting some outputs produced by this tool.

Keywords: Forest Fire, Forest Management Simulator, Algorithm, Ignition, Propagation, Forest Inventory.

Extended Abstract

Every year forest fires are responsible for the loss of production, biodiversity and carbon stock in the Portuguese forest, alongside with major social damages such as the destruction of houses and/or properties and sometimes even lives.

SIMPLOT is a tool, in developing stage, for the long term projection of forest areas at regional or country level. In this study we try to integrate fire ignition and fire propagation algorithms into this tool.

For simulation purposes, and given the scale of the intended simulator it was decided to split the fire process in two different phases one concerning the ignition and another one relative to the propagation of the fire. Thus we used two different models as basis. For the ignition phase of the fire, we based our work in an existing model for prediction of ignition risk in Portugal. For the propagation phase we used another model, which, given the correct inputs, returns the probability of occurrence of a forest fire. Both options are subject to be changed in future developments of the simulator if that reveals necessary.

After producing the simulator several runs were processed and outputs are presented for these runs. Results are consistent at regional scale, showing ellipsoidal forms and “no-fires” in areas such as water and urban.

While still needing some adjustment in the process of managing the outputs this tool should be an interesting approach for the spatial visualization of forest fires at large scales as intended.

Keywords: Forest Fire, Forest Management Simulator, Algorithm, Ignition, Propagation, Forest Inventory.

Índice

Lista de quadros e figuras.....	6
Abreviaturas/Acrónimos utilizados.....	7
1. Introdução	8
2. O SIMPLOT	9
2.1. O módulo de fogo do SIMPLOT	9
2.2. O Fogo e os Simuladores de Fogo Especializados	10
3. Metodologia	10
3.1. Dados de origem	11
3.2. Processamento dos dados	11
3.3. Linguagem de Programação	12
3.4. Modelação da ignição (Catry, 2007)	12
3.5. Modelação da propagação	13
3.5.1 Simulação da área de cada fogo	13
3.5.2 Modelação da propagação do fogo (Garcia-Gonzalo, et al, (em revisão) 2011) 15	
3.6. Algoritmo de fogo	16
4 Resultados	18
5 Conclusões	23
5.1 - Interpretação e discussão dos resultados	23
5.2 – Possibilidades de melhoria	24
6 Referências bibliográficas	26
7 Anexos	28
Esquematização do algoritmo	29
Dados constantes na Base da Dados do projecto MOTIVE.....	30
Código Fortran	32

Lista de quadros e figuras

Equação 1 - Primeiro Modelo de Catry para a Probabilidade do Risco de Ignição, 14

Equação 2 - Segundo Modelo de Catry para a Probabilidade do Risco de Ignição, 14

Equação 3 - Modelo de Garzia-Gonzalo para o risco de incêndio, 17

Equação 4 - Calculo de Phard, 17

Figura 1 - Estrutura modular do SIMPLOT, 10

Figura 2 - Primeiro e Segundo modelos de Catry aplicados á Chamusca, 14

Figura 3 - Classes de área de fogo e respectivas frequências relativas e acumuladas, 15

Figura 4 - Maior incêndio ocorrido por ano, 16

Figura 5 - selecção de pixeis adjacentes, 18

Figura 6 - Pixeis susceptíveis de produzir resultados em ArcGIS, 20

Figura 7 - Pixeis susceptíveis de produzir resultados em Fortran, 21

Figura 8 - Pixeis susceptíveis de produzir resultados em Excel, 21

Tabela 1 - Capacidade de calculo do software, 20

Tabela 2 - pixeis susceptíveis de produzir resultados, 22

Abreviaturas/Acrónimos utilizados

Ha (ha) – Hectare

IFN – Inventário Florestal Nacional

AFN – Autoridade Florestal Nacional

USDA – United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

IGeoE – Instituto Geográfico do Exército

INE – Instituto Nacional de Estatística

SIGF – Sistema de Gestão de Incêndios Florestais

GIS – Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

1. Introdução

No decurso dos últimos anos tem vindo a ser desenvolvido no Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia (Universidade Técnica de Lisboa) um simulador florestal - SIMPLOT – de escala regional com o objectivo de prever a evolução dos povoamentos florestais em Portugal, combinando para o efeito dados do Inventário Florestal Nacional e modelos de crescimento e tomando em consideração diferentes objectivos como sejam a flutuação de necessidade de madeira/polpa para pasta, a ocorrência de fogos, e as alterações de uso do solo (Barreiro & Tomé, 2009, pg. 36.).

No contínuo esforço de melhoria do referido simulador procura-se neste momento que o mesmo possa ser “especializado”, isto é, que os seus resultados sejam função de dados localizados no espaço do território nacional e possam ver visualizados com uma distribuição espacial.

Tratando-se o simulador de um simulador por módulos este trabalho procura criar bases para que um desses módulos possa ser especializado, podendo eventualmente no futuro servir, também para a especialização dos restantes módulos.

Atendendo à gravidade e severidade dos fogos florestais sobre as áreas de estudo do simulador e tendo em consideração o aumento médio de áreas queimadas que se tem feito sentir nas últimas décadas, passando a média anual de área queimada de 72 757 ha na década de 80, para 91 220 ha na década de 90, e para 192 186 ha nos 6 anos entre 2000 e 2005 (Cardoso Pereira et al, 2006, pg. 136.), optou-se por realizar esta tentativa de especialização para o módulo de Fogo.

Para o efeito de modelação e tendo como base a linguagem de programação utilizada no modelo optou-se por recorrer á programação em linguagem ForTran.

2. O SIMPLOT

Ao longo do tempo é evidente que o aumento de pressão sobre as áreas florestais tem vindo a causar crescentes dificuldades aos técnicos e gestores na hora de planearem as suas acções. Seja pela crescente pressão humana, pela necessidade de compatibilizar diferentes rendimentos, ou simplesmente pelo longo tempo de retorno do investimento florestal a realidade é que todos os que têm responsabilidades na gestão de áreas florestais cada vez mais necessitam de apoio na hora de decidir.

O SIMPLOT, simulador não espacializado à escala regional, foi desenvolvido para simular o desenvolvimento de todos os povoamentos de uma região. Trata-se de uma ferramenta pensada inicialmente para o eucalipto em Portugal com a capacidade de integrar múltiplos factores de influência por forma a produzir cenários. Tendo como base uma curta necessidade de dados, na generalidade provenientes do IFN, permite estimar o estado futuro das áreas florestais, considerando futuras necessidades de madeira, ocorrência de fogos e alterações no uso do solo. Ao permitir simular cenários alternativos acrescenta flexibilidade para uma melhor modelação regional. (Barreiro & Tomé, 2011, pg. 37.).

Como se pode observar na Figura 1, o SIMPLOT é constituído por diferentes módulos: Crescimento, Fogo, Colheita, Alteração do Uso do Solo e Alternativas de Gestão. Cada um desses módulos corre sequencialmente no simulador para criar os resultados finais, que podem por sua vez ser utilizados como dados base para continuar a simulação.

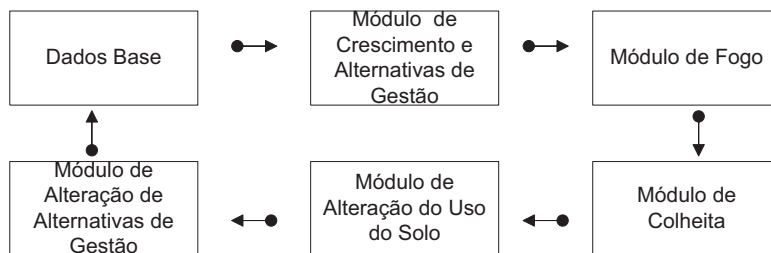


Figura 1 - Estrutura modular do SIMPLOT

Para efeitos de simulação computacional, o SIMPLOT funciona com base em pixels de tamanho definido pelo utilizador, sendo que neste caso de estudo cada pixel terá a dimensão de 1 ha.

2.1. O módulo de fogo do SIMPLOT

Para efeitos deste trabalho interessa concentrar-nos no módulo de fogo do simulador.

Na presente fase de desenvolvimento do modelo o módulo de fogo ordena de forma aleatória a totalidade dos pixels de inventário da área em análise e de forma aleatória utiliza uma simulação de Monte Carlo para definir se cada pixel arde ou não. As áreas ardidas vão sendo acumuladas sucessivamente por forma a atingir uma quantidade total previamente definida com base nos dados de áreas ardidas disponibilizados pela AFN ou em cenários futuros de ocorrência de fogos, após o que termina o módulo e o simulador avança para o módulo seguinte.

Ao pretendermos considerar a distribuição espacial dos fogos colocam-se-nos algumas dificuldades, quais os objectivos que pretendemos obter, qual a forma adequada de o fazer, que variáveis devemos ter em conta, em que formatos teremos de trabalhar, entre outras.

2.2. O Fogo e os Simuladores de Fogo Especializados

Dada a complexidade do comportamento do fogo é usual considerar que o mesmo é imprevisível (Xavier Viegas, 2006, pg.288). Contudo no decurso dos tempos diversas foram as tentativas de compreender os fenómenos constitutivos do fogo e com base nessa compreensão prever o seu comportamento em diferentes situações. Como exemplos dessa procura podemos citar os múltiplos esforços do Departamento Florestal do USDA, que produziram e foram melhorando variados modelos e simuladores utilizados na actualidade um pouco por todo o mundo como sejam o BEHAVE, o FARSITE, o FlamMap, entre outros (Stratton, 2006), os trabalhos desenvolvidos no Canadá pelo Forestry Canada Fire Danger Group, ou os diversos estudos realizados ao longo dos anos na Austrália a partir de McArthur (Pastor et al, 2003).

Como base para modelar o comportamento do fogo procurou-se compreender melhor os processos envolvidos. De acordo com a generalidade da literatura, para um fogo ocorrer têm de ocorrer em conjunto determinadas condições: devem combinar-se um combustível com um comburente na presença da chamada energia de activação, designa-se geralmente esta combinação de factores como o triângulo do fogo (Ventura et al, 2006, pg.95). Alguns autores apontam ainda para a existência de um quarto factor fundamental: o tempo (Xavier Viegas, 2006, pg. 294.).

O processo segundo o qual ocorre o fogo pode ser dividido em três fases: pré-ignição, ignição e combustão (Ventura et al, 2006, pgs.95-96.). Na prática, e para efeitos de modelação do comportamento, geralmente consideram-se duas fases: Ignição (compreendendo os fenómenos de pré-ignição e ignição e muito ligada ao risco potencial de cada local - combustível) e em seguida a Propagação (compreendendo a evolução do fogo ao longo do binómio espaço/tempo, em que entram em jogo para além do risco potencial de cada local – combustível - também factores de relacionamento de cada local com os seus adjacentes – topografia – e factores exógenos e semi-exógenos – meteorologia) (Xavier Viegas, 2006, pgs. 290 – 294.).

Neste trabalho o objectivo não passa por criar novos modelos de ignição e/ou propagação, mas, utilizando modelos já existentes, criar formas de visualizar as áreas que o SIMPLOT prevê que ardam. Nesse sentido optámos entre diversas possibilidades por considerar como modelo de ignição o modelo produzido por Catry (Catry, 2007.) e por basear a propagação nos modelos de risco de incêndio que vêm sendo desenvolvidos no DEF por J. Garcia-Gonzalo (Garcia-Gonzalo et al, (em revisão) 2011). A escolha destes modelos justifica-se pela simplicidade dos mesmos que vai ao encontro da simplicidade do SIMPLOT, pela baixa necessidade de informação adicional e pela proximidade com os responsáveis pelo desenvolvimento dos mesmos que poderá permitir que futuras melhorias produzidas nesses modelos possam vir a ser rapidamente incorporadas no SIMPLOT.

3. Metodologia

3.1. Dados de origem

Como base para o trabalho considerámos os dados de inventário florestal para o Concelho da Chamusca. Esta escolha baseia-se no facto de ao longo dos últimos anos, ao abrigo de diversos projectos entre os quais o actual MOTIVE (MOTIVE – Models for Adaptive Forest Management – 7.º EU Framework Programme.) se ter desenvolvido um intenso esforço de recolha e processamento de dados neste concelho, dispondo-se de uma malha de inventário bastante mais apertada que qualquer alternativa para uma extensão de dimensão bastante razoável (Faias et al, (em revisão) 2011). Estes dados foram previamente preparados criando-se com eles um ficheiro raster atribuindo a cada pixel de dimensão 1ha diversos atributos como sejam a identificação do referido pixel, com coordenadas cartesianas, a altitude/elevação do pixel, e diversos dados de inventário florestal como sejam a densidade de árvores por ha (por espécie), a altura média e dominante, o diâmetro quadrático médio á altura do peito e a área basal do povoamento, volumes e biomassas (de Eucalipto, Sobreiro, Pinheiro bravo e Pinheiro manso), entre outros dados fundamentais para a posterior aplicação dos modelos.

Para calculo das distâncias aos caminhos mais próximos utilizou-se como base os dados disponibilizados pelo IGeoE na Carta Militar Itinerária de Portugal.

Para as densidades populacionais utilizaram-se os dados disponibilizados pelo INE, relativos aos Censos de 2001.

Para o número de dias com precipitação no ano e para a temperatura média anual utilizámos os dados constantes das shapefiles do Atlas do Ambiente (<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>).

3.2. Processamento dos dados

Para aplicar o modelo de Catry tornou-se necessário atribuir a cada ponto da malha de dados de inventário um valor para a Densidade Populacional e para a distância á estrada mais próxima. O dado para altitude já era um elemento constante dos atributos.

Para a Densidade Populacional utilizou-se o shapefile da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), disponibilizado online pelo IGEO, e os dados de população residente disponibilizados também online pelo Instituto Nacional de Estatística. O processo de trabalho passou por usando o Software ArcGIS acrescentar uma linha na tabela de atributos do shapefile da CAOP, introduzindo nesta linha os valores relativos à população residente por Freguesia no Concelho da Chamusca. Calculou-se também com recurso ao ArcGIS a área em km² de cada Freguesia do mesmo Concelho. Por fim utilizando a calculadora integrada no ArcGis fez-se a divisão dos dados de população pela área de cada Freguesia obtendo-se para cada polígono representativo de uma Freguesia do Concelho da Chamusca um valor de densidade populacional. Após isto utilizou-se mais uma vez o ArcGIS para, usando a mesma matriz raster previamente preparada para os dados de inventário, se associar a cada pixel um valor de densidade populacional, optando-se em situações de conflito pelo valor da maior área dentro do pixel.

No que diz respeito à distância à rede viária, e a exemplo do realizado por Catry para a modelação do risco de ignição (Catry, 2007, pg. 11), partiu-se de um ficheiro vectorial da Carta militar itinerária do país à escala de 1/500 000, com base no qual se calculou a distância de cada ponto à estrada mais próxima (função euclidian distance do ArcGIS), produzindo-se o mapa desejado (em formato raster com pixel de 100x100m). Após isto executou-se uma reclassificação (função Slice do ArcGIS) para atribuir a cada célula do raster um valor único. Por fim converteu-se o raster em polígonos e juntou-se esta informação à tabela de atributos do ficheiro vectorial de origem com um Spatial Join.

3.3. Linguagem de Programação

Para proceder à programação do modelo optou-se por utilizar a linguagem FORTRAN pois esta tem sido utilizada ao longo de todo o desenvolvimento do SIMPLOT, pelo que numa óptica de integração e coerência nos pareceu ser a melhor opção.

3.4. Modelação da ignição (Catry, 2007)

Como já vimos a primeira fase de um fogo é a ignição, momento em que através da presença ou actividade de um elemento causador se inicia um fogo. No seu trabalho, Catry, obtem dois modelos relacionando a probabilidade de ignição de um fogo com a Densidade Populacional (Pop_D), a Distância às Estradas mais próximas (D_{roads}), a Altitude ($Elev$) e o tipo de Ocupação do Solo (apenas num dos dois modelos – *Urbano, Agrícola, Florestal, Matos e Incultos*). O primeiro modelo (Equação 1), após teste, obteve uma precisão global de 79,9%, enquanto que o segundo modelo (Equação 2) para o mesmo parâmetro obteve um resultado de 77,1%.

$$P_1 = \frac{1}{[1 + e^{-f(x)}]}$$

Em que:

$$f(x) = (-6.964 + 0.821 \log(Pop_D + 1) - 0.166 \log(D_{roads} + 1) + 0.590 \log(Elev + 1) + 1.559Urb + 0.773Agr - 0.526For - .462Shr - 0.478Spa$$

Equação 1 - Primeiro Modelo de Catry para a Probabilidade do Risco de Ignição

$$P_2 = \frac{1}{[1 + e^{-f(x)}]}$$

Em que:

$$f(x) = (-5.890 + 0.875 \log(Pop_D + 1) - 0.214 \log(D_{roads} + 1) + 0.473 \log(Elev + 1)$$

Equação 2 - Segundo Modelo de Catry para a Probabilidade do Risco de Ignição

Atendendo à pouca diferença de precisão encontrada entre os dois modelos e à maior facilidade na disponibilidade de dados optou-se por integrar no simulador a opção para o utilizador seleccionar um ou o outro consoante os dados que tenha disponíveis. Neste estudo e atendendo aos dados de origem de que dispomos utilizámos o primeiro

modelo. A visualização de ambos criada em ArcGIS pode ser observada nas figuras seguintes (Figura 2).

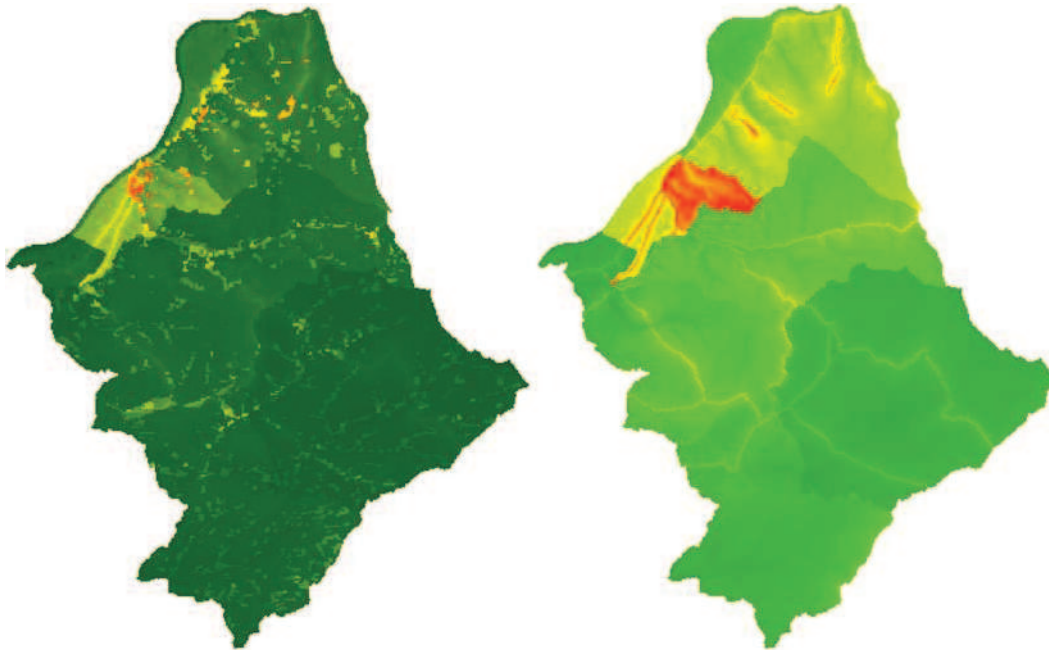


Figura 2 - Primeiro e Segundo modelos de Catry aplicados á Chamusca

No sentido do desenvolvimento do modelo optámos por considerar cada pixel da área de estudo como um possível pixel a arder, pelo que o simulador cria um numero aleatório NALEAT1 que testa contra o risco de ignição calculado pelos modelos já referidos definindo se tem inicio um fogo ou não.

3.5. Modelação da propagação

Após a fase de ignição um fogo poderá passar pelos seguintes estágios: crescimento, pleno desenvolvimento de um regime de propagação eventualmente estacionário, eventual transição de regime de propagação, decaimento das chamas, extinção das chamas, extinção da combustão em brasa e arrefecimento dos resíduos da combustão (André & Viegas, 2001, pg. 239.). Como se pretende um modelo simples vamos apenas optar por considerar que após a ignição o fogo pode propagar-se a áreas próximas ou extinguir-se.

3.5.1 Simulação da área de cada fogo

Em primeiro lugar o simulador vai definir a área que o fogo vai queimar, por forma a saber a quantos pixels necessita propagar o fogo. Para esta consideração foi criada uma tabela a partir dos dados disponibilizados pela AFN (<http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas>) classificando as áreas ardidas em cada incêndio desde 1996 a 2010 em diferentes classes de dimensão e obtendo a partir desta classificação as frequências relativas e acumuladas de cada classe de área. O simulador cria um novo numero aleatório NALEAT2 entre 0 e 1, o qual vai de seguida comparar com a frequência relativa acumulada das classes de dimensão de área ardidas, atribuindo então á area a queimar pelo fogo em questão uma classe de dimensão, após o

que cria outro número aleatório NALEAT3 para definir dentro da classe o valor que corresponde ao número de pixels a “arder” neste fogo.

A escolha das diferentes classes de área a arder teve em consideração a área do pixel (1ha), e o histórico de áreas aridas, procurando-se obter classes que por um lado sejam objectivamente bem representadas pelos pixels usados no simulador, e por outro lado coerentes com as dimensões de fogos habituais.

A Figura 3, apresenta as distintas classes e respectivas frequências, podendo facilmente verificar-se que a grande maioria dos fogos queimam pequenas áreas, sendo que menos de 1% do total das ocorrências inscritas no SGIF/AFN são superiores a 26ha.

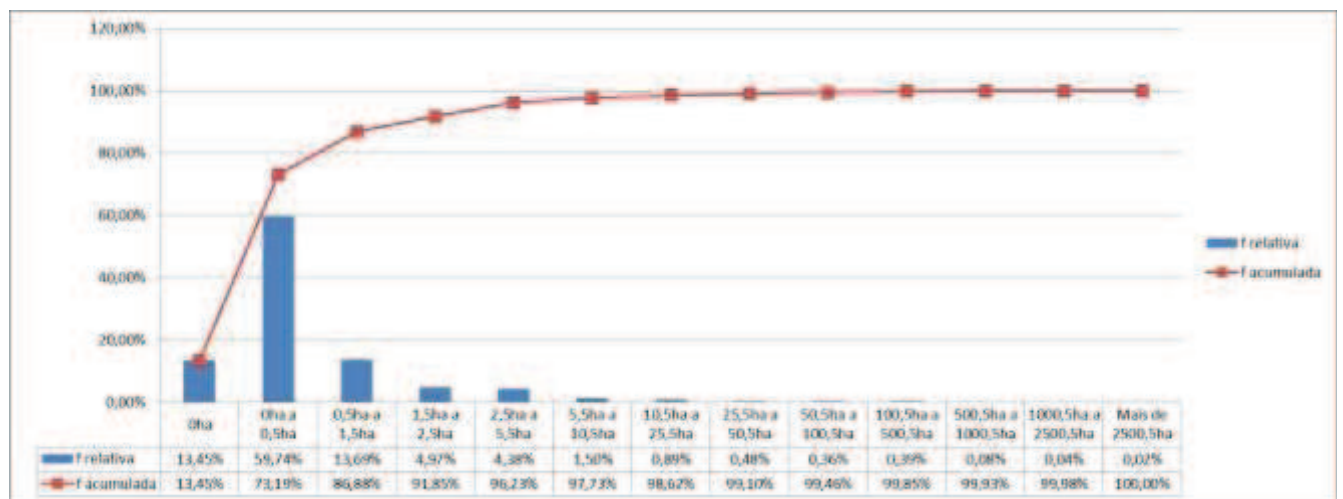


Figura 3 - Classes de área de fogo e respectivas frequências relativas e acumuladas

Ao analisar estes dados podem potencialmente surgir duas dúvidas: o porquê de existirem fogos com área de 0ha, e qual a maior área que o simulador deverá considerar como passível de arder num grande fogo. Quanto à primeira deve-se ao sistema de recolha de dados considerar todas as ocorrências em que se produzem ignições, mesmo quando não existe qualquer propagação do fogo, ou o mesmo é combatido prontamente considerando-se que não ardeu qualquer área. A segunda coloca-nos uma dificuldade técnica, pois para a realização do simulador necessitamos indicar ao algoritmo um valor máximo de área arida por foco de incêndio. Para este efeito voltámos a usar os dados de fogos da AFN, e fomos verificar para cada ano qual o maior incêndio ocorrido, obtendo-se como resultado a Figura 4.

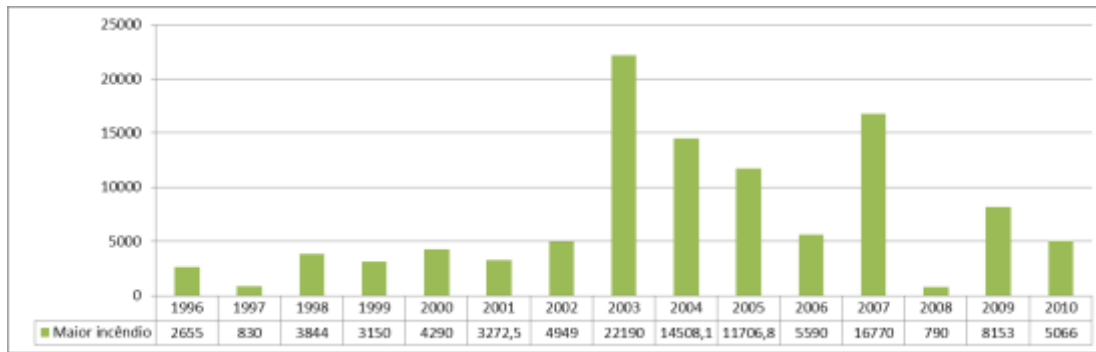


Figura 4 - Maior incêndio ocorrido por ano

Como se pode verificar é no ano de 2003 que um incêndio percorre uma área maior, num total de 22.190 hectares. Assim optou-se por arredondar para cima este valor e limitar a área máxima que o simulador considera em 25.000 hectares, correspondente a pouco mais de 30% da área de estudo total.

3.5.2 Modelação da propagação do fogo (Garcia-Gonzalo, et al, (em revisão) 2011)

Definida a área total a arder temos agora que simular a propagação do fogo. Para esse efeito, como já foi referido, optou-se pelos modelos desenvolvidos por Garcia-Gonzalo (Garcia-Gonzalo, et al, (em revisão) 2011). Este modelo apesar de não ser pensado para a propagação calcula a probabilidade de ocorrência de um fogo (probabilidade de arder), diferenciando-se assim do modelo de risco de Catry, que apenas calcula o risco de ignição.

Como se pode ver na Equação 3 o modelo de Garcia-Gonzalo é também bastante simples e frugal no que diz respeito á necessidade de informação de base. Apenas necessita de dados para a quantidade total de biomassa de matos $Biom$ ($tons\ ha^{-1}$), o diametro quadrático médio das árvores no povoamento dg (cm), o número total de árvores por hectare N (ha^{-1}), a percentagem de folhosas no povoamento $Phard$, o número de dias com precipitação no ano $Prec$ (dias) e da temperatura média anual $Temp$ ($^{\circ}C$). Estes dados estão disponíveis na base de dados do projecto MOTIVE.

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 Biom + \beta_2 dg + \beta_3 N + \beta_4 Phard + \beta_5 Prec + \beta_6 Temp)}}$$

Equação 3 - Modelo de Garcia-Gonzalo para o risco de incêndio

Para os dados respeitantes à variável $Biom$, utilizou-se o valor da variável W . Para o valor de dg , considerou-se o valor da variável dg das tabelas respectivas a cada espécie dominante. Similarmente para o valor de N , considerou-se o valor da variável N das tabelas respectivas a cada espécie dominante. Todos estes dados já constavam da base de dados do projecto MOTIVE.

Para $Phard$ recorreremos também á base de dados do projecto MOTIVE, e usámos os dados de N das diferentes espécies, recorrendo a um cálculo simples em Microsoft

Access para obter a proporção de folhosas no povoamento, tal como representado em Equação 4.

$$\frac{N_{ec} + N_{sb}}{N_{ec} + N_{sb} + N_{pb} + N_{pm}} \times 100$$

Equação 4 - Calculo de Phard

Por fim para os valores das variáveis *Prec* e *Temp* optámos por cruzar no GIS o shapefile dos pixeis da área de estudo com os shapefiles do Atlas do Ambiente (<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>), obtendo para cada ponto um valor de *Prec* e *Temp*.

3.6. Algoritmo de fogo

Para dar início á sequência do fogo e por forma a criar aleatoriedade no simulador introduzimos um seleccionador aleatório através da função “random”¹ do Fortran para ordenar todos os pixeis da área de estudo de forma aleatória antes de cada corrida.

Após esta sequênciação o simulador irá correr um a um todos os pixeis da lista, estimando para cada um o risco de ignição, de acordo com o modelo de Catry anteriormente definido, e testando esse risco contra um numero aleatório obtido com base numa distribuição uniforme (simulação de Monte-Carlo) (Metropolis & Ulam, 1949), usando a função Random do ForTran. Quando o resultado desse teste é que o risco de ignição calculado pelo modelo de Catry é superior ao número aleatório obtido o simulador considera que se dá uma ignição, marcando o pixel como queimado. Em seguida há que simular o tamanho do fogo e seguidamente a propagação do foco de incêndio.

Cada corrida de propagação do fogo terá inicio como já vimos numa ignição. Após a ignição o simulador deverá como já mencionámos definir a área a arder no fogo *AARDER*. Caso esta área seja igual a 0 ha ou esteja compreendida entre 0 e 0,5 ha (primeira e segunda classes de área ardida definida) a propagação termina e o pixel não é marcado como ardido. Caso a área esteja compreendida entre 0,5 e 1,5 ha (terceira classe de área ardida definida) a propagação termina e o pixel é marcado como ardido. Quando a área for superior a 1,5 ha então a propagação deverá realizar-se da seguinte maneira:

1.º Marcar o pixel de ignição como ardido (variável *ARDIDO* = 1). Atribuir-lhe um valor que indica que o fogo está activo (variável *FOGO_ACTIVADO* = 10), e indicar que a probabilidade de propagação para um pixel ardido é de zero (*P_prop* = 0). De futuro poder-se-á atribuir também um valor que indica qual o fogo (variável *FOGO_N* = x), onde o valor x será sequencial para cada fogo permitindo a visualização espacial individualizada de cada fogo;

2.º seleccionar os pixeis adjacentes ao pixel de ignição que ainda não tenham ardido, utilizando para o efeito os dados da tabela *TD_PIXEL* da base de dados do MOTIVE (*XCENTR* e *YCENTR*), adicionando e subtraindo a estes valores o equivalente

¹ Note-se que o algoritmo gerador de números aleatórios não é totalmente aleatório por definição de programação, contudo procurou-se reduzir esta limitação introduzindo na programação a aleatoriedade a variar em função da hora relógio do computador.

á distância entre o centro de cada pixel da área de estudo, tal como se pode visualizar na Figura 5;

	(XCENTR , YCENTR + 100)	
(XCENTR - 100 , YCENTR)	(XCENTR , YCENTR)	(XCENTR + 100 , YCENTR)
	(XCENTR , YCENTR - 100)	

Figura 5 - selecção de pixels adjacentes

3.º Testar a probabilidade de propagação do fogo para cada um dos pixels adjacentes seleccionados através do calculo da probabilidade de ocorrência de fogo (Modelo de Garcia-Gonzalo);

4.º Obter um número aleatório para cada pixel adjacente e seleccionar para arder os pontos adjacentes com probabilidade de ocorrência de fogo superior ao número aleatório;

5.º Atribuir a este ponto o valor $FOGO_ACTIVO = 11$, $ARDIDO = 1$ e $FOGO_N = x$ (este x deverá ser igual ao indicado em 1.º, por forma a atribuir a cada propagação um valor fixo que permita calcular a área de cada fogo!);

6.º Subtrair em todos os pontos o valor 1 à variável $FOGO_ACTIVO$;

7.º Somar os valores de $ARDIDO$ de todas as células com valor de atributo $FOGO_N = x$ e atribuir esse valor à variável $ARDIDO_FOGO_N$;

8.º testar $ARDIDO_FOGO_N$ contra $AARDER$;

9.º Caso $ARDIDO_FOGO_N$ seja maior ou igual a $AARDER$ então termina este ciclo de propagação, tendo-se como outputs a área ardida $AARDER$, bem como a localização da mesma com base no atributo $ARDIDO = 1$, regressando o simulador à fase de ignição e fazendo uma limpeza a todos os valores de $FOGO_ACTIVO$;

10.º Caso $ARDIDO_FOGO_N$ seja menor que $AARDER$ então o simulador deverá seleccionar os pixels adjacentes a todas os pixels com atributo $FOGO_ACTIVO > 0$ pelo mesmo processo descrito no ponto 2.º;

11.º Retirar aos pixels seleccionados no ponto 10.º todos os duplicados (aqueles em que $IDPIXEL$ seja igual) bem como todos os que já estiverem ardidos (atributo $ARDIDO = 1$), pois em teoria o fogo não se deveria propagar novamente numa área recentemente ardida;

12.º Repetir o ciclo entre os pontos 3.º e 8.º, até o ponto 9.º ser verdadeiro, terminando assim este ciclo de propagação, tal como descrito no ponto 9.º.

Após simular a propagação do fogo o programa contabiliza a área queimada acumulando a mesma numa variável $area_real_fogo$. Esta variável é então por sua vez testada contra um valor $area_fogo$, introduzida pelo utilizador, e caso $area_real_fogo$ seja menor que $area_fogo$ o simulador realiza novo ciclo de ignição – propagação, repetindo esta tarefa enquanto a área ardida total não tiver sido atingida. Caso contrário o simulador considera que atingiu toda a área prevista arder e cria o ficheiro de output em formato importável para o programa de GIS.

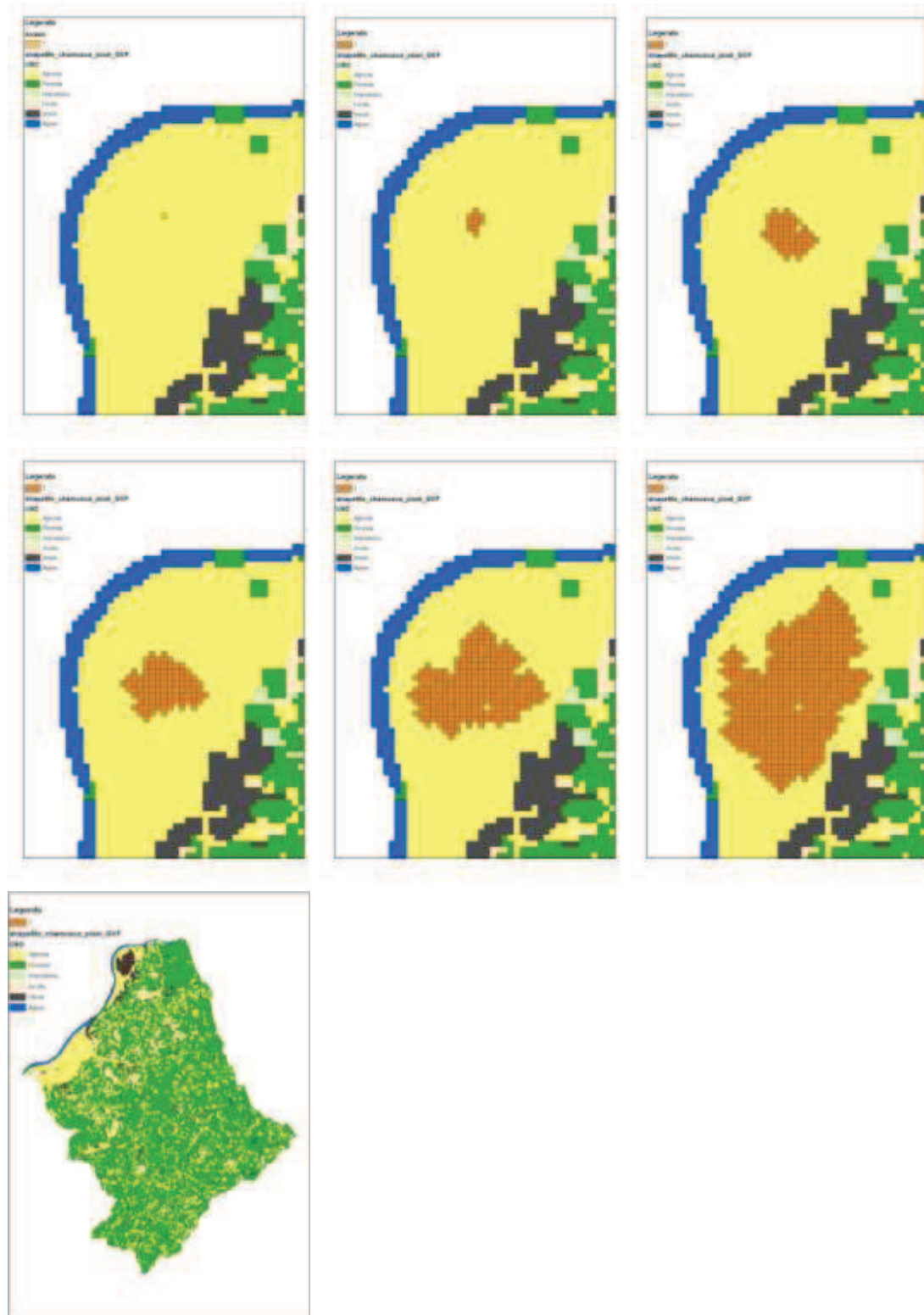
4 Resultados

Realizaram-se diversas corridas do simulador tendo como incidência a propagação do fogo. Testou-se numa primeira fase de forma aleatória e posteriormente procurou-se testar de forma condicionada os outputs em função da ocupação do solo e sua incidência sobre a propagação.

Os ficheiros obtidos do FORTRAN em formato .csv (Coma separated values) foram importados para excel e posteriormente unidos a um ficheiro de ArcGIS através da operação Join Tables usando como campo comum o campo idpixel.

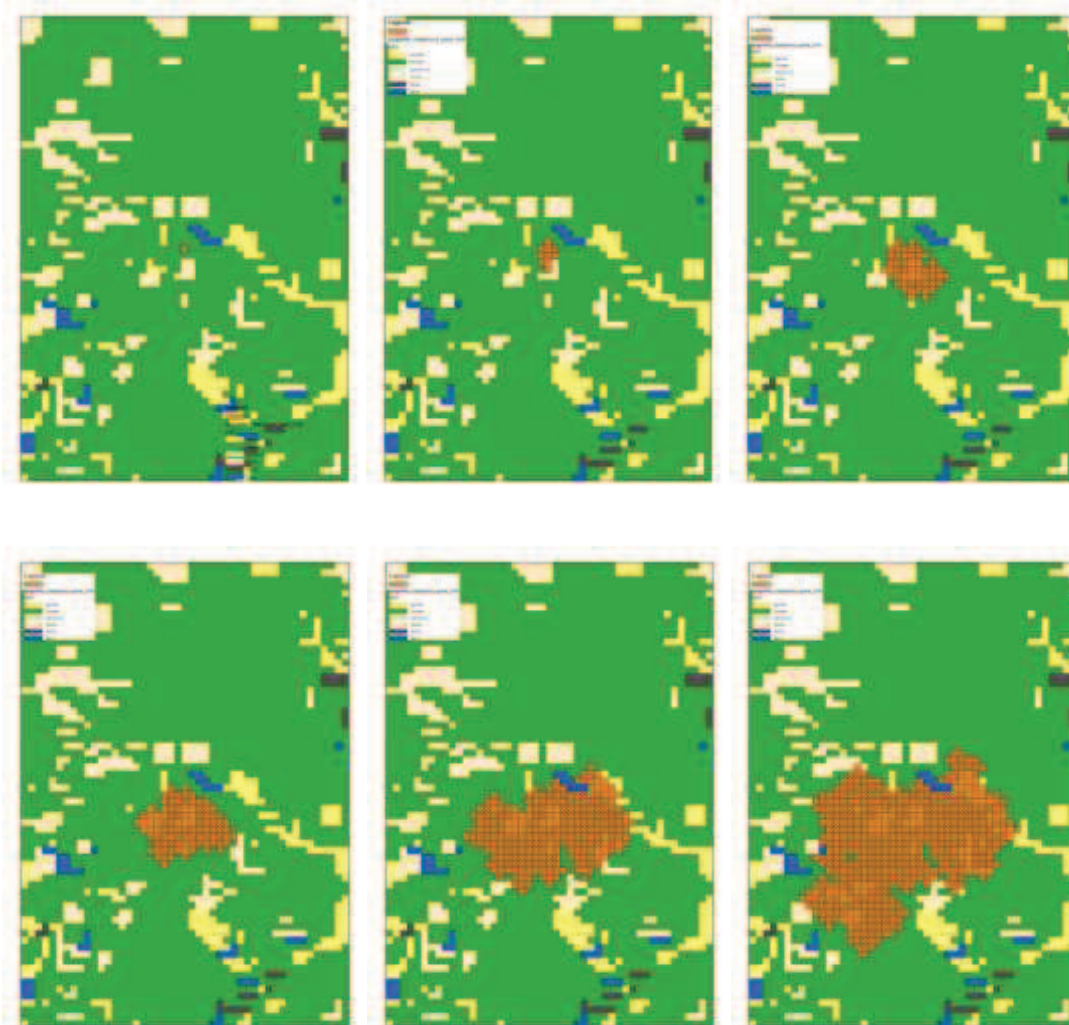
Nas páginas seguintes apresentam-se alguns dos outputs obtidos.

1.ª Corrida - Fogo com origem no pixel com centro em $(x,y) = (255,255)$ (imagens à escala de 1:25.000 com 1, 10, 50, 100, 250 e 500 pixels de área ardida, seguidas da imagem à escala da área de trabalho com 500 pixels de área ardida).



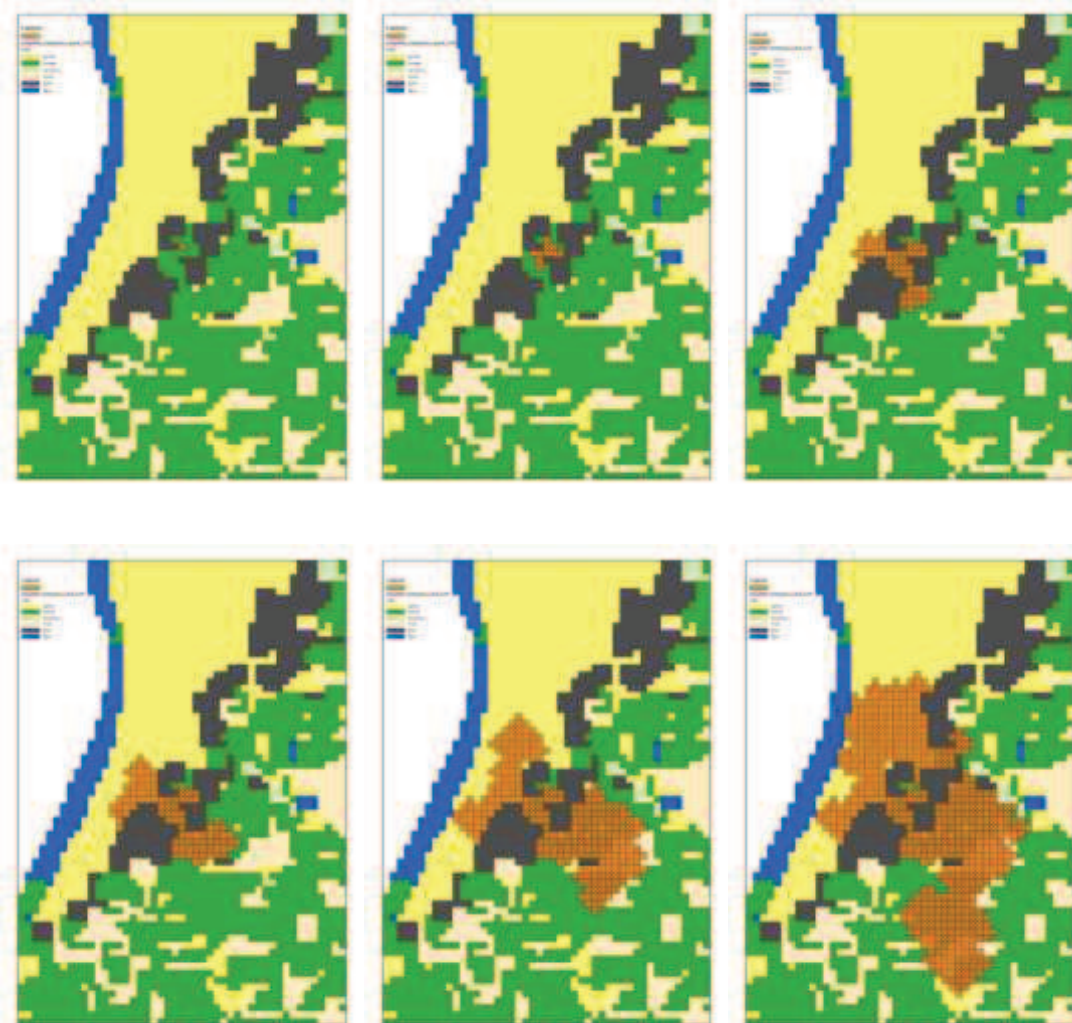
Como se pode observar este fogo progride numa zona agrícola a norte da área de estudo, proporcionando outputs consistentes com os formatos elipsoidais tradicionais dos fogos, e inclusive ocorrendo uma zona de 1 pixel não ardida dentro do perímetro do fogo o que também é consistente com a observação real.

2.^a Corrida - Fogo com origem no pixel com centro em $(x,y) = (213,459)$ (imagens à escala de 1:25.000 com 1, 10, 50, 100, 250 e 500 pixels de área ardida).



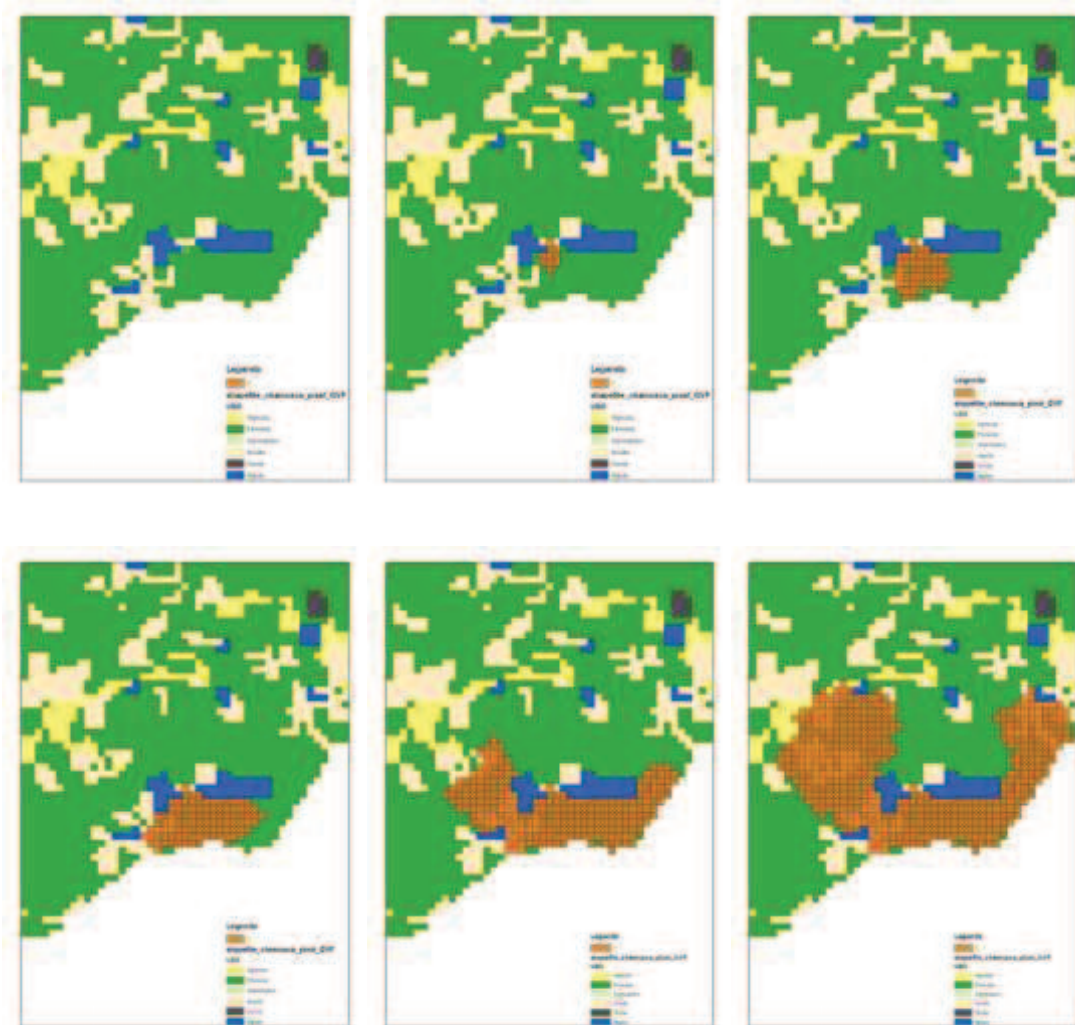
Este fogo ocorre numa zona central da área de estudo, maioritariamente florestal, mas com presença de algumas manchas agrícolas, incultos e zonas de água. Mais uma vez o output é consistente com os formatos elipsoidais tradicionais dos fogos, apresentando pequenas manchas não ardidas dentro do perímetro do fogo. Também interessante é notar que, tal como seria expectável, o fogo circunda as zonas de água não as queimando.

3.^a Corrida - Fogo com origem no pixel com centro em $(x,y) = (258,300)$ (imagens à escala de 1:25.000 com 1, 10, 50, 100, 250 e 500 pixels de área ardida).



Este fogo ocorre numa das zonas mais urbanizadas da área de estudo, portanto maioritariamente de uso social, na proximidade de zonas agrícolas sobre a várzea do rio Tejo a Norte, Noroeste e Oeste e de zonas florestais a Sul, Sudeste e Este. Neste caso pretendemos testar o comportamento do simulador nas zonas urbanas, sendo que o mesmo apresenta outputs coerentes ao não queimar qualquer pixel social. Note-se também que mais uma vez as zonas de água não são queimadas. Também interessante é notar que alguns pixels próximos do pixel inicial do fogo não ardem e permanecem não arditos após o fogo avançar, pois deixam de estar próximos das frentes de fogo activas.

4ª Corrida - Fogo com origem no pixel com centro em $(x,y) = (100,533)$ (imagens à escala de 1:25.000 com 1, 10, 50, 100, 250 e 500 pixels de área ardida).



Este fogo ocorre numa extremidade da área de estudo e os seus outputs permitem-nos observar o comportamento do simulador perante a proximidade de zonas de água, em que o resultado é mais uma vez o expectável, rodeando o fogo as mesmas e quando estas são de maior dimensão criando uma descontinuidade na paisagem que na realidade se observa. Por outro lado observa-se que nas zonas de extremidade da área de estudo (limite do Concelho da Chamusca) o simulador é “forçado” a avançar para o interior da área de estudo, visto não dispor de qualquer informação que lhe permita propagar o fogo para fora desta área.

5 Conclusões

5.1 - Interpretação e discussão dos resultados

Como é natural ao produzirmos um simulador generalista deparámo-nos com uma série de limitações que devemos ter em conta e para as quais devemos alertar todos os utilizadores.

Em primeiro lugar devemos sempre ter presente que um simulador não ultrapassa a capacidade limitada de quem o desenvolve e que por este motivo nunca será mais do que uma aproximação à realidade, pelo que todos os resultados são e serão sempre hipotéticos.

Em seguida nunca será demais referir que estamos na presença de um simulador de grande escala. A qualidade de outputs é sempre limitada pela qualidade dos dados de input. Neste caso pretende-se obter outputs com base em dados de input que possam estar acessíveis com facilidade, e trabalha-se com pixels de dimensão de 1 hectare, pelo que não podemos aumentar a resolução dos outputs para além deste limite, e os resultados de cada simulação estarão sempre limitados/condicionados por esta condição. Neste caso parece-nos claramente limitante a qualidade dos dados da rede viária pois a escala a que estão disponíveis os dados é demasiado alta para proporcionar qualidade na análise. O facto de os dados de Densidade Populacional se referirem ao freguesia também afecta o resultado final visto atribuir o mesmo valor para uma variável em grandes quantidades de pixels.

A diferenciação entre fase de ignição e fase de propagação introduzida no simulador através do uso de diferentes modelos propicia resultados “potencialmente” mais próximos da realidade, visto que na prática se observa que a um alto risco de propagação nem sempre se associa um elevado risco de ignição.

Em função da pseudo-aleatoriedade introduzida, é expectável que se produzam outputs diferenciados a cada corrida do simulador, o que vai de encontro às expectativas, pois na realidade observamos que a tendência para arder pode ser maior num determinado ponto, mas não é verdade que esse seja sempre o ponto que arde.

Observa-se que os resultados produzidos pelo simulador são coerentes com o expectável, não se ocorrendo a queima de áreas aquáticas ou sociais. Por outro lado a limitação da área de estudo (4.^a corrida) afecta os resultados do simulador.

5.2 – Possibilidades de melhoria

Como o modelo de risco de ignição é função entre outros parâmetros da distância à rede viária, e a rede viária disponível para uso neste trabalho é à macro-escala (apenas estão disponíveis as principais vias de acesso), ocorre que os resultados são grandemente condicionados por esta limitação. Neste sentido, uma base de dados mais detalhada de rede viária, que incluísse todas as vias transitáveis e regularmente utilizadas pelas populações locais (como sejam estradas municipais e outras vias de menor escala) poderá ser a melhoria mais imediata a introduzir neste simulador e talvez a mais viável solução para ultrapassar o constrangimento referido. Para tal poder-se-ia recorrer a diversos processos, como sejam: a digitalização da rede viária transitável a partir de cartas militares ou ortofotomapas, o uso de outras bases de dados, ou ainda o levantamento da rede viária com recurso a GPS. Lamentavelmente os custos associados a este trabalho ou à disponibilização das bases de dados em formato digital impediram-nos em tempo útil de validar o sucesso dessas melhorias.

Por outro lado, com um aprofundamento da malha de dados utilizada será sempre possível melhorar os outputs, mas os custos dessa melhoria podem ser inoportáveis. Contudo sempre que estejam disponíveis dados mais actuais o simulador permitirá ter resultados melhorados.

A aplicação deste simulador para toda a área geográfica do país está limitada pela malha de dados disponíveis, assim e para tal ser passível de ocorrer poder-se-ia alternativamente recorrer ao alargamento dos pixels em função da malha do IFN, aplicar distribuições estatísticas para “gerar” dados para uma malha que permita produzir para todo o país um mapa pixelizado com unidades de 1ha, ou reforçar a recolha de dados de inventário com a colaboração de diversas entidades locais (Departamentos e Serviços Regionais, Associações de Proprietários e/ou Produtores, Gestores de áreas privadas, etc...), o uso dos dados dos diversos planos de gestão já entregues na AFN para análise, ou até a realização progressiva de inventários nas zonas para as quais não se tem informação. Uma outra solução para ultrapassar este constrangimento poderá passar pelo uso de métodos de nearest neighbour aplicados sobre os dados do IFN combinados com detecção remota. Note-se que os limites geográficos do país serão também uma limitação no uso do simulador, com base nos resultados obtidos sugere-se que, sempre que tal seja possível, se extenda a área de aplicação até à ocorrência de limites geográficos que impossibilitem a propagação do fogo.

A possibilidade de encontrar nos dias de hoje diversos softwares que, apesar de algumas limitações, podem ser livremente utilizados por qualquer utilizador permite a alteração da programação em ForTran para adequar esta simulação a novos modelos ou realidades diferentes, bem como alterar os dados de input e visualizar os dados de output em qualquer situação.

Quanto aos modelos usados a melhoria é sempre possível, quer pela sua actualização progressiva, quer pela adaptação do simulador de forma a utilizar modelos localizados para diferentes áreas geográficas com diferentes condicionantes.

Também será sempre possível procurar modelar com menor necessidade de dados de origem, este processo apesar de limitante nos resultados pode proporcionar uma importante redução no custo de recolha de informação e tornar-se por esse motivo uma opção a equacionar.

Os outputs criados pelo simulador em formato csv relevam-se ainda pouco práticos de importar para o ArcGIS, de futuro seria interessante criar alguma pequena ferramenta que proporcione melhor integração neste parâmetro.

6 Referências bibliográficas

Adams, Jeanne C., Brainerd, Walter S., Martin, Jeanne T., Smith, Brian T., Wagener, Jerrold L., Fortran 90 Handbook – complete ANSI/ISO reference, Intertext Publications – McGraw-Hill Book Company, 1992, 823p.

A.F.N., Estatística – Dados sobre incêndios florestais, download em formato xls a partir de: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/estatisticas>, (acesso a 2011/10/27).

André, J.C.S., Viegas, D.X., Modelos de propagação de Fogos Florestais: Estado-da-arte para utilizadores – Parte I: Introdução e Modelos Locais. *Silva Lusitana* 9(2), 2001, 237-265.

André, J.C.S., Viegas, D.X., Modelos de propagação de Fogos Florestais: Estado-da-arte para utilizadores – Parte II: Modelos Globais e Sistemas Informáticos. *Silva Lusitana* 10(2), 2002, 217-233.

Atlas do Ambiente – Dados sobre temperatura e dias de precipitação em Portugal Continental. Download em formato shp a partir de: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>, (acesso a 2011/10/27).

Baeza Pereyra, Julio R., Tutorial rápido de Fortran. Download em formato pdf a partir de: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=tutorial%20rapido%20%20de%20fortran%2C%20julio%20r.%20baeza&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fate.oac.uncor.edu%2F~manuel%2Fastro%2FFortranTutorial.pdf&ei=ZA7ATu-tNI_oOauD0MEB&usq=AFQjCNEI2Boo6ZS2YY3r8TtFr6p2-3DYlw, (acesso a 2011/10/10)

Barreiro, S., Tomé, M, 2009, SIMPLOT: Simulating the impacts of fire severity on sustainability of eucalyptus forests in Portugal. *Ecological Indicators* 11 (2011) 36-45.

Cardoso Pereira, J.M., Brito Carreiras, J.M., Neves Silva, J.M., Vasconcelos, M.J., 2006, Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal Em *Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, Impactes e Prevenção*, ISAPress, 2006, 133-161.

Catry, F.X., 2007, *Modelação Espacial do Risco de Ignição em Portugal Continental*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, 50p.

Dodson, Zane, *A Fortran 90 Tutorial*, Computer Science Department – University of New Mexico, 1994, 56p.

Faias, S., *Base de Dados MOTIVE para o concelho da Chamusca*, (em fase de revisão), 2011, Instituto Superior de Agronomia, 30p.

Garzia-Gonzalo, J. Et al, *Assessing wildfire occurrence probability in Portugal*, (em fase de revisão), 2011, Instituto Superior de Agronomia, 30p.

IGEO – Carta Administrativa Oficial de Portugal – CAOP 2011, download em formato shapefile a partir de: http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/shapes_2011.htm, (acesso a 2011/08/22).

IgeoE – Carta Militar Itinerária de Portugal, escala 1/500 000. Download em formato .dwg a partir de: http://www.igeoe.pt/downloads/ifr_downloads.htm, (acesso a 2011/08/28).

INE – Instituto Nacional de Estatística – Censos, séries históricas - População residente (N.º) por Local de residência (à data dos Censos 2001); Decenal. Download em formato xls a partir de: http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacoes, (acesso a 2011/08/28).

Metcalf, Michael, Fortran 90 Tutorial, CERN, Download em format pdf a partir de: <http://wwwasdoc.web.cern.ch/wwwasdoc/WWW/f90/f90.html>, (acesso a 2011/08/30)

Nicholas Metropolis, S. Ulam, 1949, The Monte Carlo Method, Journal of the American Statistical Association, Vol. 44, No. 247, pg. 335-341.

Pastor, E., Zárate, L., Planas, E., Arnaldos, J., Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior, Progress in Energy and Combustion Science 29 (2003) 139-153.

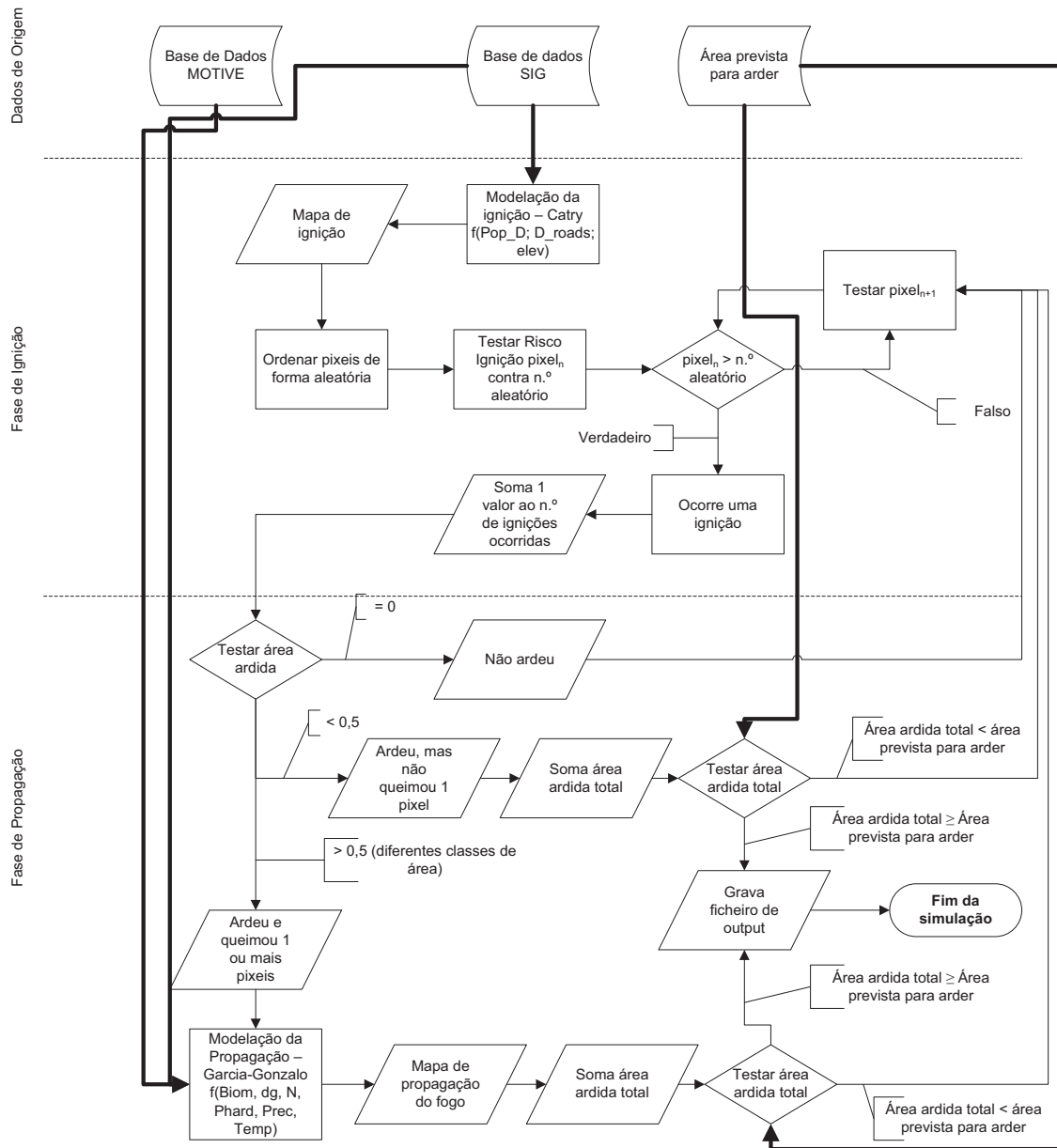
Stratton, Richard D. 2006, Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools and techniques, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research station, 15p.

Ventura, J., Vasconcelos, M.J., 2006 O fogo como processo físico-químico e ecológico Em Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, Impactes e Prevenção, ISAPress, 2006, 133-161.

Xavier Viegas, D., 2006, Modelação do comportamento do fogo Em Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, Impactes e Prevenção, ISAPress, 2006, 133-161.

7 Anexos

Esquematização do algoritmo



Dados constantes na Base da Dados do projecto MOTIVE

Tabela	Campos
TD_PARCELA	IDFONTE
TD_PARCELA	IDPROP
TD_PARCELA	IDPARC
TD_PARCELA	IDOP2007
TD_PARCELA	OPPOV
TD_PARCELA	X_ETRS89
TD_PARCELA	Y_ETRS89
TD_PARCELA	X_DLXIPCC
TD_PARCELA	Y_DLXIPCC
TD_PARCELA	X_DLxIGEOE
TD_PARCELA	Y_DLxIGEOE
TD_PARCELA	Lat_WGS84
TD_PARCELA	LONG_WGS84
TD_PARCELA	Lat_WGS84º
TD_PARCELA	LONG_WGS84º
TD_PARCELA	Z_MDT
TD_PARCELA	AnoMed
TD_PARCELA	MesMed
TD_PARCELA	Area
TD_PARCELA	composicao
TD_PARCELA	estrutura
TD_PARCELA	rotacao
TD_PARCELA	t_Ec
TD_PARCELA	t_Pb
TD_PARCELA	t_Pm
TD_PARCELA	t_Sb

Tabela	Campos
TD_PIXEL	IDPIXEL
TD_PIXEL	XMIN
TD_PIXEL	XMAX
TD_PIXEL	YMIN
TD_PIXEL	YMAX
TD_PIXEL	XCENTR
TD_PIXEL	YCENTR
TD_PIXEL	Latitude
TD_PIXEL	Longitude
TD_PIXEL	Altitude
TD_PIXEL	Exposicao
TD_PIXEL	Declive
TD_PIXEL	USO
TD_PIXEL	OP2007_rctf
TD_PIXEL	OP2007
TD_PIXEL	OPPIXEL
TD_PIXEL	IDSOLO
TD_PIXEL	PEDOL_PRIN
TD_PIXEL	PROFUNDIDADE
TD_PIXEL	TEXTURA
TD_PIXEL	soil_class
TD_PIXEL	id_Textura
TD_PIXEL	MaxASW
TD_PIXEL	MinASW
TD_PIXEL	ASW
TD_PIXEL	IDPARC2007
TD_PIXEL	IDPARC
TD_PIXEL	Shape_Length
TD_PIXEL	Shape_Area

Tabela	Campos	Tabela	Campos	Tabela	Campos	Tabela	Campos	Tabela	Campos
TGLOBULUS_update2010_ec	IDFONTE	TSAS_plots_ec	IDFONTE	TSAS_plots_pb	IDFONTE	TSAS_plots_pm	IDFONTE	TSAS_plots_sb	IDFONTE
TGLOBULUS_update2010_ec	IDOP2007								
TGLOBULUS_update2010_ec	IDOP2010								
		TSAS_plots_ec	IDPROP	TSAS_plots_pb	IDPROP	TSAS_plots_pm	IDPROP	TSAS_plots_sb	IDPROP
TGLOBULUS_update2010_ec	IDPARC	TSAS_plots_ec	IDPARC	TSAS_plots_pb	IDPARC	TSAS_plots_pm	IDPARC	TSAS_plots_sb	IDPARC
TGLOBULUS_update2010_ec	t								
TGLOBULUS_update2010_ec	rot								
TGLOBULUS_update2010_ec	S								
		TSAS_plots_ec	hmed_ec	TSAS_plots_pb	hmed_pb	TSAS_plots_pm	hmed_Pm	TSAS_plots_sb	hmed_Sb
		TSAS_plots_ec	dmed_ec	TSAS_plots_pb	dmed_pb	TSAS_plots_pm	dmed_Pm	TSAS_plots_sb	dmed_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	hdom	TSAS_plots_ec	hdom_ec	TSAS_plots_pb	hdom_Pb	TSAS_plots_pm	hdom_Pm	TSAS_plots_sb	hdom_Sb
								TSAS_plots_sb	dug_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	dg	TSAS_plots_ec	dg_ec	TSAS_plots_pb	dg_Pb	TSAS_plots_pm	dg_Pm		
TGLOBULUS_update2010_ec	N	TSAS_plots_ec	N_ec	TSAS_plots_pb	N_Pb	TSAS_plots_pm	N_Pm	TSAS_plots_sb	N_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	Nst								
		TSAS_plots_ec	Nv_ec						
TGLOBULUS_update2010_ec	G	TSAS_plots_ec	G_ec	TSAS_plots_pb	G_Pb	TSAS_plots_pm	G_Pm		
								TSAS_plots_sb	Gu_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	V	TSAS_plots_ec	V_ec	TSAS_plots_pb	V_pb	TSAS_plots_pm	V_Pm		
TGLOBULUS_update2010_ec	Vu	TSAS_plots_ec	Vu_ec					TSAS_plots_sb	Vu_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	Vb	TSAS_plots_ec	Vb_ec						
TGLOBULUS_update2010_ec	Vs								
		TSAS_plots_ec	Vst_ec						
				TSAS_plots_pb	Vm_pb				
TGLOBULUS_update2010_ec	Ww	TSAS_plots_ec	Ww_ec			TSAS_plots_pm	Ww_Pm	TSAS_plots_sb	Ww_Sb
				TSAS_plots_pb	Ws_pb				
TGLOBULUS_update2010_ec	Wb	TSAS_plots_ec	Wb_ec			TSAS_plots_pm	Wb_Pm		
TGLOBULUS_update2010_ec	Wbr	TSAS_plots_ec	Wbr_ec	TSAS_plots_pb	Wbr_pb	TSAS_plots_pm	Wbr_Pm	TSAS_plots_sb	Wbr_Sb
								TSAS_plots_sb	Wbv_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	Wl	TSAS_plots_ec	Wl_ec	TSAS_plots_pb	Wl_pb	TSAS_plots_pm	Wl_Pm	TSAS_plots_sb	Wl_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	Wa	TSAS_plots_ec	Wa_ec	TSAS_plots_pb	Wa_pb	TSAS_plots_pm	Wa_Pm	TSAS_plots_sb	Wa_Sb
TGLOBULUS_update2010_ec	Wr	TSAS_plots_ec	Wr_ec	TSAS_plots_pb	Wr_pb				
						TSAS_plots_pm	Wc_Pm		
		TSAS_plots_ec	ddom_ec	TSAS_plots_pb	ddom_Pb	TSAS_plots_pm	ddom_Pm		
								TSAS_plots_sb	dudom_Sb

Tabela	Campos	Tabela	Campos
Tsubcoberto_IF1999	id_parcela	Tsubcoberto_IF2010	Parcela
Tsubcoberto_IF1999	n	Tsubcoberto_IF2010	n
Tsubcoberto_IF1999	V	Tsubcoberto_IF2010	V
Tsubcoberto_IF1999	W	Tsubcoberto_IF2010	W
Tsubcoberto_IF1999	C	Tsubcoberto_IF2010	C

Código Fortran

```
!*****
*****
!* *
!* Programa para testar a subrotina para simular fogos de forma espacializada
!* *
!*****
*****
program teste_fogos
use declarations_fogo
integer xini,yini
!*****
*****
pi=4*atan(1.)
N(0:10,1:1000,1:1000)=0
G(0:10,1:1000,1:1000)=0
ardido(1:1000,1:1000)=0
!*****
*****
iseed_fogo1=5321
iseed_fogo2=89876
iseed_fogo3=48652
iseed_fogo4=98567
open (unit=10,file='input_fogo.csv',status='unknown',action='read')
fim=0
read (10,*)
do while (fim==0)
read (10,*,iostat=fim)
i,j,idpixel(i,j),usosolo(i,j),xcentr(i,j),ycentr(i,j),EspDom, &
prec(i,j),temp(i,j),d_pop(i,j),dist_rv(i,j),alt(i,j),(N(k,i,j),k=1,3),N(6,i,j)
), &
(G(k,i,j),k=1,3), G(6,i,j),wmatos(i,j)
do k=1,10
N(0,i,j)=N(0,i,j)+N(k,i,j)
G(0,i,j)=G(0,i,j)+G(k,i,j)
end do
cod_esp(i,j)=0
select case (EspDom)
case ("P")
cod_esp(i,j)=1
case ("E")
cod_esp(i,j)=2
case ("S")
cod_esp(i,j)=3
case ("A")
cod_esp(i,j)=4
case ("M")
cod_esp(i,j)=6
end select
if (N(0,i,j)==0) then
dg(0,i,j)=0
phard(i,j)=0
else
dg(0,i,j)=sqrt((4*G(0,i,j))/(pi*N(0,i,j)))
phard(i,j)=(N(0,i,j)-N(1,i,j)-N(6,i,j)-N(10,i,j))/N(0,i,j)
end if
p_igni(i,j)=1/(exp(-(-5.890+0.875*log(d_pop(i,j))-0.214*log(dist_rv(i,j)) &
+0.473*log(alt(i,j))))))
select case (usosolo(i,j))
case ("Aguas")
p_prop(i,j)=0
```

```

case ("Social")
p_prop(i,j)=0
case ("Inculto")
p_prop(i,j)=0.8
case ("Improdutivos")
p_prop(i,j)=0.5
case ("Agricola")
p_prop(i,j)=0.5
case ("Florestal")
p_prop(i,j)=1/(1+exp(-(4.9888+0.0433*wmatos(i,j)-0.0279*dg(0,i,j) &
-0.00053*N(0,i,j)-0.0124*phard(i,j)-0.0219*prec(i,j) &
-0.2192*temp(i,j))))
end select
! if (i==70) write (*,*) i,j,idpixel(i,j),p_igni(i,j),p_prop(i,j)
end do
write (*, ' (/, " Area do fogo: ", $) ')
read (*, *) Area_fogo
write (*, ' (/, " X pixel inicial: ", $) ')
read (*, *) xini
write (*, ' (/, " Y pixel inicial: ", $) ')
read (*, *) yini
write (*, *)
call propaga_fogo (xini,yini,area_fogo)
close (10)
open (unit=10,file='input_fogo.csv',status='unknown',action='read')
open (unit=11,file='output_fogo.csv',status='unknown',action='write')
write (11,*) "ipixel,jpixel,idpixel,xcentr,ycentr,UsoSolo,EspDom,Ardido"
fim=0
read (10,*)
do while (fim==0)
read (10,*,iostat=fim)
i,j,idpixel(i,j),usosolo(i,j),xcentr(i,j),ycentr(i,j),EspDom, &
prec(i,j),temp(i,j),d_pop(i,j),dist_rv(i,j),alt(i,j),(N(k,i,j),k=1,3),N(6,i,j)
), &
(G(k,i,j),k=1,3), G(6,i,j),wmatos(i,j)
write (11,' (2(i5,a1),2(f10.0,a1),a10,a1,a1,a1,i1) ')
>>&
i,v,j,v,idpixel,v,xcentr(i,j),v,ycentr(i,j),v,usosolo(i,j),v,EspDom,v,ardido(
i,j)
if (ardido(i,j)==1) write (*, '(2i5,1x,a10,1x,a1,i2) ') i,j,usosolo(i,j),EspDom,
&
ardido(i,j)
end do
!
*****
*
close (10)
close (11)
write (*, ' (//, " Carregue RETURN para terminar ", $) ')
read (*, *)
end program teste_fogos

```

```
module declarations_fogo
implicit none
integer :: i,j,k,fim
integer :: iseed_fogo1,iseed_fogo2,iseed_fogo3,iseed_fogo4
integer, dimension (1000,1000) :: idpixel,ardido
real :: pi
real :: area_fogo
real, dimension (1000,1000) :: xcentr,ycentr,prec,temp,d_pop,dist_rv,alt
real, dimension (1000,1000) :: wmatos,phard,cod_esp
real, dimension (0:10,1000,1000) :: N,G,dg
real, dimension (1000,1000) :: p_igni,p_prop
real, dimension (10000) :: fogo_activo,xfogo,yfogo
character (len=1) :: v=","
character (len=1) :: EspDom
character (len=50), dimension (1000,1000) :: usosolo
end module declarations_fogo
```

```

subroutine propaga_fogo (xini,yini,areafogo)
use declarations_fogo
integer :: npixeis,xini,yini,nnew
integer :: x,x1,x_1,y,y1,y_1
real :: areafogo,areafogo_aux,xaleat
areafogo_aux=1
npixeis=1
ardido(xini,yini)=1
p_prop(xini,yini)=0
fogo_activo(1)=10
xfogo(1)=xini
yfogo(1)=yini
open (unit=15,file='Naleat.csv',status='unknown',action='read')
do while (areafogo_aux<areafogo)
nnew=0
do i=1,npixeis
if (fogo_activo(i)>0) then
x=xfogo(i)
y=yfogo(i)
x1=xfogo(i)+1
x_1=xfogo(i)-1
y1=yfogo(i)+1
y_1=yfogo(i)-1
read (15,*) xaleat
write (20,*) x,y1,xaleat,p_prop(x,y1),areafogo_aux
if (p_prop(x,y1)>xaleat) call queima_pixel (i,nnew,x,y1,areafogo_aux)
if (areafogo_aux==areafogo) exit
read (15,*) xaleat
write (20,*) x,y_1,xaleat,p_prop(x,y_1),areafogo_aux
if (p_prop(x,y_1)>xaleat) call queima_pixel (i,nnew,x,y_1,areafogo_aux)
if (areafogo_aux==areafogo) exit
read (15,*) xaleat
write (20,*) x1,y,xaleat,p_prop(x1,y),areafogo_aux
if (p_prop(x1,y)>xaleat) call queima_pixel (i,nnew,x1,y,areafogo_aux)
if (areafogo_aux==areafogo) exit
read (15,*) xaleat
write (20,*) x_1,y,xaleat,p_prop(x_1,y),areafogo_aux
if (p_prop(x_1,y)>xaleat) call queima_pixel (i,nnew,x_1,y,areafogo_aux)
end if
end do
do i=1,npixeis
if (fogo_activo(i)>0) then
fogo_activo(i)=fogo_activo(i)-1
end if
end do
npixeis=npixeis+nnew
end do
end subroutine propaga_fogo

```

```
subroutine queima_pixel (ii,nnew,x,y,areafogo)
use declarations_fogo
integer :: ii,nnew,x,y
real :: areafogo
nnew=nnew+1
fogo_activo(ii+nnew)=10
xfogo(ii+nnew)=x
yfogo(ii+nnew)=y
ardido(x,y)=1
p_prop(x,y)=0
areafogo=areafogo+1
end subroutine queima_pixel
```