

Caracterização dos combustíveis florestais em sobreirais de Trás-os-Montes e Alto Douro



Maria do Céu Pinto Fernandes da Silva

**Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Vila Real, 2008**

Trabalho apresentado na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro como
dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Ecossistemas

*“As doutrinas apresentadas no presente trabalho
são da exclusiva responsabilidade da autora”*

“O Sobreiro em Portugal, sóbrio, rústico, complacente e bonacheirão, vegeta em toda a parte e sujeita-se, com singular e impressionante humildade, às condições mais diversas, por vezes as mais pobres”

Natividade in Aspectos da cultura do sobreiro em Portugal

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem a ajuda e apoio de várias pessoas. Assim, gostaria de agradecer:

- Ao meu Coordenador Investigador Auxiliar Paulo Fernandes, pela oportunidade da realização deste mestrado, bibliografia dispensada e recomendada, assim como toda a ajuda prestada desde o trabalho de campo até à conclusão do mestrado;

- Ao Manuel Zé, por toda a ajuda no trabalho de campo

- Ao Engº Carlos Fernandes, pela ajuda na elaboração dos mapas

- Ao técnico Délio, por todo o apoio prestado no campo e laboratório e interesse e disponibilidade demonstrado desde o início deste trabalho

- Aos meus Pais, Madrinha e Luís, por estarem sempre presentes

- À Anabela, por todo o apoio, carinho, amizade e principalmente paciência nestes anos de muita e boa convivência...Obrigada por tudo!

- À Hélia, por toda a ajuda prestada e apoio dispensado na realização deste trabalho...e não só...

- À D.Helena, pela amizade, carinho, disponibilidade e ajuda desde o início do curso...

- A todas as pessoas que, directa ou indirectamente, estiveram presentes nesta fase e em todos estes anos académicos

- E finalmente...a ti Bé, por todo o apoio, carinho e compreensão nestes anos cheios de momentos felizes e poucos menos felizes...Muito a ti...

Esta dissertação foi efectuada no âmbito do projecto POCI/AGR/61164/2004 financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Índice geral

Agradecimentos.....	4
Índice geral.....	5
Índice de figuras.....	7
Índice de gráficos.....	7
Índice de tabelas.....	8
Resumo.....	9
1. Introdução Geral.....	10
2. Objectivos.....	12
3. Estado actual dos conhecimentos.....	13
3.1. O sobreiro.....	13
3.1.1. Caracterização da espécie.....	13
3.1.2. Distribuição.....	15
3.1.3. Ecologia.....	16
3.1.3.1. Clima.....	16
3.1.3.2. Solos.....	17
3.1.4. Sobreirais e Montados.....	17
3.1.5. Sobreiro e fogo.....	18
3.2. Combustíveis florestais.....	19
3.2.1. Características principais dos combustíveis.....	20
3.2.1.1. Quantidade, acumulação e sucessão de combustível.....	21
3.2.1.2. Distribuição por classe de tamanho.....	21
3.2.1.3. Compactação.....	22
3.2.1.4. Humidade.....	22
3.2.1.5. Outras características.....	24
3.2.2. Classificação dos combustíveis.....	25
3.2.2.1. Classificação por modelos de combustível.....	26
3.2.2.2. Classificação por séries fotográficas.....	26
3.2.2.3. Outras classificações.....	27
3.3. Modelos NFFL.....	28
3.4. Simulação do comportamento do fogo com o sistema Behave Plus.....	29
3.3.1. Descrição do modelo de Rothermel.....	29

3.3.2. Sistema Behave Plus.....	31
4. Metodologia.....	32
4.1. Área de estudo.....	32
4.1.1 Caracterização.....	32
4.1.2 Selecção e localização das parcelas.....	32
4.2. Trabalho de campo.....	34
4.3. Trabalho de laboratório.....	35
4.4. Modelação dos combustíveis.....	36
4.5. Estudo do comportamento do fogo dos modelos específicos.....	39
4.6. Análise dos dados e simulação.....	41
4.6.1. Determinação do número de modelos a construir.....	41
4.6.2. Simulações.....	42
5. Apresentação e análise dos resultados.....	44
5.1. Estudo do comportamento do fogo.....	44
5.1.1. Efeito da variação do vento.....	45
5.1.2. Efeito da variação do declive.....	47
5.1.3. Efeito da variação da humidade do combustível 1 hr.....	48
5.1.4. Comparação dos modelos com os modelos NFFL.....	50
5.1.4.1. Combustível dominado por folhada (Modelo QS3 vs modelo NFFL 9).....	50
5.1.4.2. Combustível dominado por herbáceas (Modelo QS4 vs modelo NFFL 2).....	51
5.1.4.3. Combustível dominado por arbustivas (Modelo QS2 vs modelo NFFL 6).....	52
5.2. Série fotográfica.....	53
6. Conclusões.....	57
7. Bibliografia.....	59
Anexos.....	62

Índice de Figuras

Fig. 1 – Área e locais de estudo.....	33
Fig. 2 - Calibrador de diâmetros.....	35
Fig. 3 - Determinação da relação entre superfície e volume da espécie <i>Cytisus striatus</i>	37

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Distribuição da área mundial do Sobreiro.....	16
Gráfico 2 – Velocidade de propagação versus velocidade do vento.....	45
Gráfico 3 - Comprimento da chama versus velocidade do vento.....	45
Gráfico 4 - Velocidade de propagação versus declive da encosta.....	47
Gráfico 5 - Comprimento da chama versus declive da encosta.....	47
Gráfico 6 - Velocidade de propagação versus Humidade dos Combustíveis.....	48
Gráfico 7 - Comprimento da chama versus Humidade dos Combustíveis.....	49
Gráfico 8 - Velocidade de propagação versus velocidade do vento na folhada.....	50
Gráfico 9 - Comprimento da chama versus velocidade do vento na folhada.....	50
Gráfico 10 - Velocidade de propagação versus velocidade do vento nas herbáceas.....	51
Gráfico 11 - Comprimento da chama versus velocidade do vento nas herbáceas.....	51
Gráfico 12 - Velocidade de propagação versus velocidade do vento nas arbustivas.....	52
Gráfico 13 - Comprimento da chama versus velocidade do vento nas arbustivas.....	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tempo de retardação dos combustíveis.....	22
Tabela 2 – Humidade de extinção dos combustíveis.....	23
Tabela 3 – Modelos NFFL.....	27
Tabela 4 – Modelos NFFL adaptados para vegetação portuguesa.....	28
Tabela5-Valores utilizados de relação superfície-volume e poder calorífico.....	36
Tabela 6 - Parâmetros ambientais utilizados nas simulações.....	38
Tabela 7 – Interpretação do comportamento do fogo segundo a velocidade de propagação.....	39
Tabela 8 - Classificação de acordo com os intervalos de intensidade da frente do fogo (Canadá).....	39
Tabela 9 – Interpretação do comportamento do fogo segundo o comprimento da Chama.....	39
Tabela 10 - Interpretação do comportamento do fogo segundo as dificuldades de supressão.....	40
Tabela 11 – Interpretação da capacidade dos meios de combate em função da intensidade frontal do fogo.....	40
Tabela 12 – Distribuição das parcelas por clusters.....	41
Tabela 13 – Valores médios obtidos para cada cluster.....	41
Tabela 14 – Resultados obtidos para cada cluster.....	42
Tabela 15 – Resultados obtidos para a velocidade de propagação nos modelos	45
Tabela 16 – Resultados obtidos para a intensidade de frente de chama nos modelos ...	45
Tabela 17 – Resultados obtidos para o comprimento da chama	45

Resumo

O sobreiro (*Quercus suber*) é uma espécie de grande importância económica, pela produção da cortiça, e ecológica, pelo facto de constituir um ecossistema notável pela sua biodiversidade e resiliência ao fogo. Contudo, em Portugal, está insuficientemente estudado do ponto de vista da caracterização do seu combustível. Assim, com este trabalho procurou-se caracterizar e modelar os combustíveis florestais dos sobreirais de Trás-os-Montes e Alto Douro, de forma a possibilitar a obtenção de estimativas do comportamento do fogo.

Em várias localizações no concelho de Mirandela efectuou-se trabalho de inventário de combustíveis em sobreiral, incluindo amostragem não-destrutiva e destrutiva. Após processamento laboratorial dos combustíveis recolhidos e tratamento dos dados, estes foram introduzidos no sistema BehavePlus de modelação do comportamento do fogo para desenvolvimento de modelos de combustível típicos do sobreiro na Terra Quente. Os modelos de combustível são ilustrados fotograficamente. O uso dos modelos de combustível em simulação permitiu a sua análise comparativa em função da variação de factores ambientais. A metodologia aplicada e os resultados obtidos permitem aplicações interessantes nos domínios da prevenção e combate de incêndios.

1. Introdução geral

O *Quercus suber* L. é uma espécie de grande importância na floresta portuguesa não só por Portugal possuir mais de um terço de toda a superfície ocupada pelo sobreiro no Mundo, mas também por ser responsável por mais de metade da produção mundial de cortiça. Esta espécie encontra em Portugal as condições ideais para o seu desenvolvimento ocupando cerca de 21,5% de área florestal, localizando-se os principais povoamentos no Sul do País. É contudo possível encontrar sobreiros em todo o País, com excepção das altitudes elevadas e zonas com temperaturas muito baixas no Inverno.

Portugal teve dois anos muito difíceis para a sua floresta: 2003 e 2005, quando uma área de 750,000 ha ardeu e uma vasta área de sobreirais foi afectada. Embora o sobreiro seja uma espécie muito resistente ao fogo devido à cortiça, um produto natural extremamente resistente ao fogo que protege a árvore das chamas, há importantes consequências ecológicas e económicas a considerar. Apesar de muitas árvores recuperarem, as que morrem ficam inutilizadas para a indústria e é necessário bastante tempo para que o ecossistema fique novamente equilibrado. Por outro lado, em comparação com outras espécies, o ecossistema do sobreiro é o que necessita de menos tempo para recuperar (Silva & Catry, 2006). Os incêndios em áreas de sobreiros são assim um problema ambiental com grande importância devido às proporções de destruição, às estratégias do seu ecossistema e principalmente devido às árvores.

A melhor forma de controlar os incêndios florestais reside nas acções de prevenção e combate eficientes. A eficiência desses planos depende da quantidade de informação relacionadas com o comportamento do fogo, que pode ser estimado mediante a caracterização do material combustível, da topografia do terreno e das condições climáticas da região¹.

Nos sobreirais, devido ao seu abundante sub-coberto, o perigo de incêndio é bastante elevado, pois possui cargas elevadas de material lenhoso à superfície do solo. A carga de combustível é uma importante característica dos combustíveis, dado que expressa a quantidade máxima de energia disponível para arder. Visto que a eliminação da carga de combustível elevada é bastante dispendioso, a previsão desta carga torna-se indispensável como suporte à tomada de decisão na gestão de combustíveis. A carga de

¹ <http://www.floresta.ufpr.br/firelab/artigos/artigo21.pdf>

combustível é um dos dados de entrada requeridos pelo sistema Behave Plus permitindo simular o comportamento potencial de um possível fogo numa situação específica. Para prever a quantidade de combustível existente num determinado local, utilizam-se métodos indirectos de amostragem, visto permitiram uma rápida avaliação do material existente (Palheiro, 2001).

2. Objectivos

Os impactes do fogo no ambiente e do Homem sobre o fogo são intermediados e condicionados pela vegetação, o que justifica a sua descrição como um combustível (Fernandes *et al*, 2002). Caracterizar os combustíveis florestais constitui uma tarefa fundamental no âmbito da classificação do perigo de incêndio, e fornece dados de base com diversas aplicações na prevenção e supressão de incêndios. Para as formações dominadas por sobreiro (*Quercus suber*) em Portugal este tipo de informação é inexistente.

Através de métodos de amostragem destrutiva e não destrutiva, respectivamente por recolha de amostras em parcelas e posterior processamento em laboratório e através de medições de variáveis estruturais (coberto, espessura, estratificação, continuidade horizontal e vertical), este trabalho pretende descrever qualitativa e quantitativamente os combustíveis florestais sob coberto de sobreiros em formações típicas desta espécie em Trás-os-Montes e Alto Douro, nomeadamente no que diz respeito à sua estrutura e carga de combustível. O tratamento e síntese dos dados permitirão desenvolver modelos de combustível que tipifiquem os sobreirais da região geográfica em causa.

3. Estado actual dos conhecimentos

3.1 O sobreiro

Quercus suber L. é uma árvore pertencente ao género *Quercus* e à família das *Fagaceas* e a única quercínea produtora de cortiça da região mediterrânea. Existem outras espécies com uma assentada suberosa, como a *Phellodendro amurense* Rup., *Ulmus campestris* var. suberosa ou a *Pseudotsuga taxifolia* mas nenhuma delas tem a capacidade de regenerar a cortiça após a sua eliminação total (Pinto, 2002).

3.1.1. Caracterização da espécie

É uma espécie angiospérmica, dicotiledónea e perenifólia. Possui um porte característico de um carvalho, um porte médio, com fuste entroncado, cilíndrico, bifurcado a baixa altura do solo. As copas podem atingir 20 m de diâmetro e os troncos podem ter mais de 6m de diâmetro altura do peito (DAP) (Costa e Pereira, 2007). A sua altura média está entre os 15 e os 20m, atingindo, em certos casos, 25m. O tronco tem uma casca espessa e suberosa designada por cortiça. Esta camada de cortiça pode ser extraída sem que a árvore fique prejudicada, regenerando-se uma nova camada de cortiça que vai crescendo em espessura nos anos seguintes, demorando cerca de 25 anos a produzir a primeira cortiça. Em cada ano, os sobreiros produzem uma espessura de cortiça variável, de 1 a 10 mm, conforme as idades da cortiça e da árvore, o seu estado de saúde e as condições ambientais. Esta casca é uma protectora da árvore a fortes incêndios devido a ser ignífuga e um bom isolante térmico.

Possui folhas persistentes, de cor verde-escura na página superior e esbranquiçadas com revestimento de pelugem na página inferior onde ainda se salienta uma rede de nervuras. Apresentam tamanho e dimensões diferentes (2,5 a 10cm por 1,2 a 6,5cm), dependente de árvore para árvore e podendo ser ovadas, oblongas ou serradas. As folhas do sobreiro nascem nos princípios de Abril e desenvolvem-se até Junho, altura em que se dá início à actividade fisiológica da árvore com a rebentação dos gomos e persistem, em geral, dois anos.

A floração, que ocorre num período prolongado (normalmente de Abril a Junho), durante o ciclo vegetativo anual da árvore que se manifesta por períodos alternados de actividade e repouso, dá origem a flores masculinas delgadas e longas que se encontram

nas extremidades dos lançamentos dos ramos do ao anterior ou na base de raminhos do próprio ano, formando amantilhos pendentes e agrupados e as flores femininas que dão origem a frutos, as glandes, que se situam nas axilas das folhas dentro de um invólucro de escamas que vão dar origem à cúpula do fruto, a bolota, que caem em grande quantidade no Outono (Costa e Pereira, 2007).

A descendência de uma árvore apresenta uma grande variedade, visto que a polinização, que ocorre durante a Primavera, depende de árvores vizinhas ou das flores da própria árvore.

O sobreiro começa a frutificar de forma alternada por volta dos 15 a 20 anos e, em virtude do muito prolongado período de floração, os frutos não amadurecem simultaneamente (mas sim por camadas, com diferentes designações) requerendo cerca de nove meses para amadurecer e assumindo formas e dimensões muito diferentes de árvore para árvore. A época de frutificação mais abundante dá-se entre Novembro e Janeiro. A espécie é alogâmica, ou seja, a fecundação das flores femininas de um indivíduo pode ser feita pelo pólen de outro indivíduo, e apresenta um poliformismo intenso, daí existirem diferentes características de folhas, frutos e respectivas cúpulas das muitas formas botânicas (Costa e Pereira, 2007).

Possui uma raiz apumada e no início da germinação que ajuda a uma boa fixação nos solos arenosos e que se molda às fendas e espaços disponíveis nos solos rochosos. Esta raiz fica completa com o desenvolvimento de raízes laterais que se ramificam e dão origem a cutículas. Estas desempenham um papel activo muito importante no crescimento da árvore, o que explica a regeneração natural do sobreiro em ambientes hostis.²

O sobreiro começa o seu desenvolvimento aproveitando as reservas nutritivas que estão presentes na bolota, a semente que lhe deu origem. Estas reservas dão-lhe energia suficiente para iniciar as primeiras formações (raiz e primeiras folhas). Após a fixação das raízes ao solo, estas absorvem os nutrientes minerais e a água indispensáveis ao bom crescimento da árvore. Este crescimento não é uniforme durante todo o ano. O período de maior actividade é o período de crescimento de Primavera que se inicia em Fevereiro–Março e se prolonga até Junho-Julho. Neste período e devido às altas temperaturas, poderá haver uma paragem ou um abrandamento no crescimento. Este crescimento é retomado no Outono, entre Setembro e Novembro. É neste último mês

² <http://www.uc.pt/montado>

que se inicia uma fase de repouso invernal que se prolonga até à Primavera seguinte. O período de maior actividade e crescimento, entre Maio e Julho, coincide com a época de descortiçamento, entre Maio e Agosto (Costa e Pereira, 2007).

O sistema radicular, com o passar dos anos, começa a não ter capacidade para alimentar uma árvore tão robusta, pois os solos ocupados pelo sobreiro são em geral muito pobres. Assim, quando as raízes deixam de ter capacidade para absorver a quantidade de nutrientes mínima, necessária para assegurar o metabolismo vital, começam a manifestar-se alguns sintomas de senescência, como o afrouxamento do crescimento do lenho, os ramos sucessivamente mais curtos, amarelados e secos, o aparecimento de pragas e de doenças. O processo de envelhecimento poderá ser mais ou menos longo, dependendo das condições ambientais.³

Em muitas regiões do nosso País, o sobreiro tem regeneração espontânea, mas também pode ser semeado e plantado. Tem um melhor desenvolvimento quando cresce sob árvores adultas, pois adapta-se melhor quando se encontra na semi-sombra.

3.1.2. Distribuição

A distribuição do sobreiro na floresta portuguesa reflecte não só as características dos solos e a influência do clima, mas também a acção do Homem. Com excepção das zonas de maior altitude do Norte e Centro, as zonas húmidas e salgadas do litoral e os vales dos grandes rios, o sobreiro tem óptimas condições de vegetação em quase todo o território nacional. Devido à crescente pressão demográfica e à escassez de solos com capacidade agrícola, as florestas de carvalho foram-se reduzindo e degradando (Costa e Pereira, 2007).

O montado de sobreiro tem grande manifestação em Portugal, onde ocupa cerca de 719,4 mil hectares, ou seja, 22% da área florestal nacional, o que representa cerca de um terço da área ocupada pelo sobreiro a nível mundial (DGF, 2002)

Podemos encontrar maiores manchas de montado de sobreiro a Sul do rio Tejo, constituindo quase um povoamento puro contínuo, interrompido pontualmente por culturas agrícolas (Costa e Pereira, 2007).

Ocupando um total de 730.000 hectares em solo nacional, 10.000 hectares de floresta de sobreiro estão localizados no Norte de Portugal. Destes, 6.400 hectares estão

³ <http://www.uc.pt/montado>

na zona de Trás-os-Montes, principalmente nas regiões de Mirandela, Mogadouro, Macedo de Cavaleiros, Carrazeda de Ansiães e Vila Flor, onde aparece na forma de povoamentos densos, mistos com carvalhos de folha caduca e com abundante estrato arbustivo.

Cobrindo uma área superior a 2,2 milhões de hectares em todo o Mundo (Oliveira *et al*, 1992 *cit* Pinto, 2002), podemos encontrar florestas de sobreiro em 7 países da zona mediterrânea como sejam, Portugal, Espanha, França, Itália, Marrocos, Argélia e Tunísia.

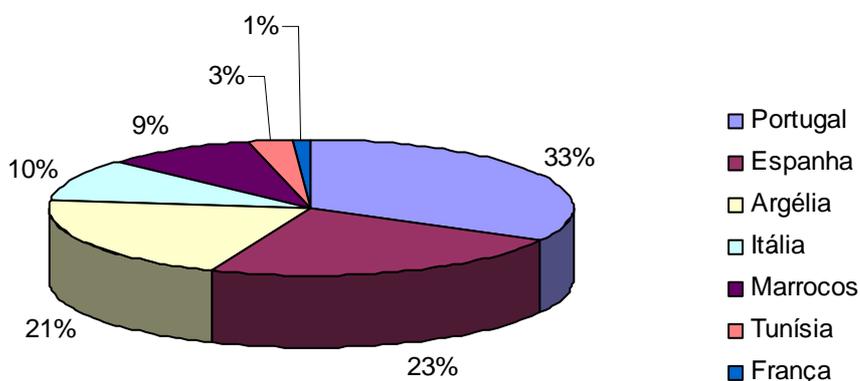


Gráfico 1 - Distribuição da área mundial do Sobreiro (Agro.Ges, 2000)

3.1.3. Ecologia

3.1.3.1. Clima

O sobreiro é uma espécie robusta que se adapta a condições adversas de clima. Adapta-se a regiões com Verões quentes e secos com reduzidos valores de precipitação e Invernos suaves.

Os bosques perenifólios climatófilos prosperam em climas com amplitudes térmicas suaves, humidade atmosférica e insolações elevadas, embora também tolere temperaturas altas e períodos secos de três a quatro meses, típicos do clima do sul de Portugal⁴. Relativamente à pluviosidade, necessita de valores médios anuais de 500 mm, embora o seu ideal se encontra entre os 600 e 800 mm. Resiste, no entanto, a valores

⁴ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sobreiro>

inferiores a 500 mm. A sua temperatura média anual ideal encontra-se entre 15 e 19 °C, o que corresponde às isotérmicas de Janeiro (entre os 8 e 10 °C) e Julho (entre os 22 e 24 °C).

3.1.3.2. Solos

Tal como o clima, esta espécie adapta-se a condições adversas de solo. Tem preferência por solos relativamente profundos e férteis. Tolerar todos os tipos de solo excepto os calcários ou muito mal drenados. Desenvolve-se bem em solos leves, tipicamente arenosos ou cascalhentos, pobres em matéria orgânica e de elevada permeabilidade, e também em solos derivados dos granitos e dos xistos, pedregosos, pouco profundos e pouco evoluídos, de baixo fundo de fertilidade (Costa e Pereira, 2007).

Segundo Natividade (1950), encontramos maiores manchas de sobreiro nos solos designados na carta dos solos de Portugal (1949) por areias Podzolizadas e Regosolos (arenito), os quais correspondem as primeiras formações ao Plioceno e os segundos às do Mioceno (Pinto, 2002).

3.1.4. Sobreirais e Montados

Os sobreiros podem ser integrados em dois sistemas florestais diferentes:

- Montados: sistema onde existe uma multifuncionalidade, associando uma cultura arbórea em povoamentos abertos de baixa intensidade a uma cultura agrícola em subcoberto e a uma exploração de gado.
- Sobreirais: sistema monofuncional com uma notável utilização florestal, caracterizada por uma floresta densa, medianamente alta, com estratos arbustivos que pode ser dominado por espécies esclerófilas que não atinge o porte arbóreo. Sem qualquer componente pecuária e agrícola, a produção de cortiça alia-se à cinegética e à apicultura.

Em Portugal temos um maior número de Montados, representando cerca de 70% da sua ocupação total. Este maior número verifica-se mais a Sul de Portugal, localizando-se os restantes 30 % de sobreirais no Norte de Portugal.

3.1.5. O sobreiro e o fogo

Os incêndios florestais em Portugal, contrariamente ao que acontece no sul da Europa, têm vindo a aumentar ao longo das últimas décadas. Os anos de 2003 e 2005 foram os piores anos de sempre, com uma área de 750,000 ha de área queimada. Curiosamente, os incêndios florestais em Portugal estão mais concentrados no Interior do país do que no Litoral. Isto deve-se ao tipo de vegetação, que é mais contínuo no Interior e fragmentado no Litoral, mas também devido à demografia (Silva & Catry, 2006).

Os montados são sistemas onde o fogo florestal é pouco comum, ao contrário do que acontece nos sobreirais. Isto deve-se ao pouco combustível existente nos montados que é retirado sob a forma de cultivo ou devido ao pastoreio que é por vezes praticado. Nos sobreirais, os povoamentos são de origem espontânea com densidades elevadas e estruturas irregulares (Costa e Pereira, 2007), o que faz com que haja maior quantidade de combustível para arder devido ao abundante sub-coberto.

A sobrevivência do sobreiro após fogo depende de vários factores relacionados com as características da própria árvore (idade, altura, saúde e descortiçamento) e das características do fogo (intensidade, vento, topografia e combustível) (Moreira *et al*, 2007).

Esta espécie tem características de resposta ao fogo relacionadas com a sua capacidade de regeneração e a protecção que a cortiça lhe confere. Esta capacidade de regeneração pós-fogo, segundo Silva (2004) *cit* Castro (2007), deve-se ao facto de o fogo actuar como um factor de selecção permitindo ao sobreiro prevalecer sobre outras espécies menos resistentes ao fogo. Porém, após vários estudos, verificou-se que esta estratégia foi seleccionada evolutivamente em resposta às perturbações em geral e não necessariamente ao fogo.

Um trabalho descritivo realizado no Sul de Portugal, na Serra do Caldeirão, revelou que, ano e meio após a ocorrência de um grande incêndio, os sobreiros não descortçados tiveram níveis de sobrevivência ligeiramente superiores (89%) aos sobreiros descortçados (82%). Para árvores não descortçadas, a altura foi o parâmetro mais fortemente relacionado com a probabilidade de sobrevivência (maior probabilidade de sobrevivência nos sobreiros mais altos), para as árvores descortçadas a espessura da cortiça (medida a partir da última extracção) foi o principal factor a afectar a

sobrevivência (maior sobrevivência nas árvores de maior espessura de cortiça) (DGRF, 2007).

A sobrevivência ao fogo também é influenciada pela idade das árvores. Os sobreiros mais velhos têm maior hipótese de sobrevivência pois possuem maior espessura de cortiça. Porém, os mais jovens apresentam uma maior capacidade de recuperação, visto lançarem novos rebentos a partir da base do caule ou da raiz (Silva, 2007).

3.2. Combustíveis florestais

Combustão é definida como sendo uma reacção química em cadeia, resultante da combustão entre uma substância e o oxigénio, com libertação de calor, luz e chama (Macedo & Sardinha, 1993). Para tal é necessário que uma fonte de calor eleve a temperatura do combustível ao ponto de este se inflamar. Pode então concluir-se que para que haja combustão é necessária a combinação de três factores: ignição, oxigénio e combustível (Carvalho, 2005).

Dos combustíveis dependem o início e a propagação do fogo, constituindo o ponto essencial de todo o sistema de protecção contra incêndios e sobre o qual deve recair a maior atenção uma vez que é o único em que se pode actuar directamente e de maneira preventiva (Lara, 2000). Segundo Chandler (1983), material combustível é a quantidade de matéria vegetal, viva ou morta, que se encontra sobre o solo mineral e que é susceptível de ignição e combustão. Rigolot (1988) define combustíveis florestais como todo o material vegetal que pode arder, ou segundo Lara (1989) toda a vegetação. Fuller (1991) descreve material combustível como sendo qualquer material orgânico, tanto vivo como morto, no solo, sobre o solo ou aéreo, passível de ignição e queima. Na realidade, todo material constituído por carbono tetravalente está sujeito a entrar em combustão, desde que seja submetido à adequada temperatura e tenha atingido baixos teores de humidade e respectivo ponto de ignição (Melo, 2005).⁵

⁵ <http://calvados.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/viewFile/7520/5381>

Devido ao seu comportamento durante o fogo, os combustíveis florestais dividem-se em três classes:

1. Combustíveis perigosos/mortos: São aqueles que sob condições naturais se mostram de fácil e rápida combustão, como as cascas das árvores mortas, os ramos, os raminhos, folhas, pastagens, musgos e líquenes, quando secos. São esses materiais que facilitam o início de um incêndio.

2. Combustíveis semi-perigosos ou de combustão lenta: Incluem-se o húmus húmido, os ramos semi-secos, ou troncos caídos e em processo de deterioração. Esse material conserva o fogo latente.

3. Combustíveis verdes/vivos: É toda a vegetação composta por árvores, arbustos, ervas e outras plantas vivas. Podem actuar como absorventes de calor antes da ignição ou como fontes de calor após a ignição dependendo do seu conteúdo fisiológico em água e dos níveis de stress hídrico em que se encontram (Bradshaw *et al.*, 1983).

Além das três classes acima referidas, os combustíveis podem ainda dividir-se em duas classes, dependendo da sua posição espacial:

1. Combustíveis de superfície - Compreende todo o material vivo ou morto que se encontra na superfície do solo ou imediatamente acima dela (raízes, húmus, folhas mortas herbáceas, entre outros). Refira-se que de entre estes a manta morta e o estrato das herbáceas são responsáveis pela ignição do fogo e sua propagação horizontal e transmissão vertical às arbustivas. Estas, dependendo de sua biomassa, podem ser vector de propagação vertical do fogo para os combustíveis aéreos (Rigolot, 1988 *cit* Varejão, 1991).

2. Combustíveis aéreos - Compreende todo o material vegetal, vivo ou morto, situado acima do nível do solo (arbustivas altas, troncos, ramos e folhagem das árvores, árvores mortas que se mantêm em pé). Estes combustíveis são envolvidos no fogo por intermédio das arbustivas, podendo propagar-se às árvores, principalmente as que estão mortas que inflamam mais facilmente. Podem transformar um fogo de superfície num fogo de copas.

3.2.1. Características principais dos combustíveis florestais

Segundo Rigolot (1990) e Lara (2000) os combustíveis têm como principais características a quantidade, tamanho e forma, compactação, continuidade (horizontal e

vertical), densidade, composição química, humidade e ainda inflamabilidade e combustibilidade, características estas que passamos a descrever:

3.2.1.1. Quantidade, acumulação e sucessão de combustível

Entende-se como quantidade de combustível a quantidade de material vegetal vivo ou morto disponível para arder (Carvalho, 2005) que, segundo Fernandes (1991), se exprime em peso seco por unidade de superfície, geralmente em kg m^{-2} ou t ha^{-1} . A carga de combustível varia consoante a época, o tipo e estrato de vegetação, as condições climáticas gerais e locais e as características topográficas do local (Carvalho, 2005).

A quantidade de combustível influencia directamente a intensidade e velocidade do fogo (Carvalho, 2005).

Acumulação e sucessão de combustível diz respeito à taxa de decomposição de material que é determinada em função de vários factores como a temperatura e humidade, em como estes factores se relacionam entre si ao longo do ano, e também da acumulação de combustíveis mortos que é variável consoante a espécie arbórea, a sua idade e densidade.

A sucessão de combustíveis, que descreve a dinâmica do combustível ao longo do tempo, englobando as noções de acumulação e decomposição, refere-se a alterações nas propriedades dos combustíveis (quantidade, distribuição de tamanhos e razão vivo-morto). Diferentes tipos de combustível seguem diferentes padrões de sucessão. A quantidade de manta morta aumenta com o tempo e quando é atingido o equilíbrio entre o acréscimo e a decomposição, a taxa de acréscimo é quase nula (Brown e See, 1981 *cit* Fernandes, 1991).

3.2.1.2. Distribuição por classes de tamanho

O tamanho e forma dos combustíveis influenciam a ocorrência e propagação do fogo, pois determinam a relação superfície/volume. Esta razão está bastante relacionada com as taxas às quais a humidade e a temperatura variam; partículas finas responderão mais rapidamente a influências exteriores (Brown, 1970 *cit* Fernandes, 1991). Quanto maior for esta relação, menor será o tempo que o combustível demora a estabelecer o equilíbrio de humidade com o ambiente, no caso dos combustíveis mortos, e maior será

a velocidade de combustão devido à perda rápida de humidade e absorção de calor dos combustíveis em combustão vizinhos (Carvalho, 2005).

Nos combustíveis finos, com razões entre a superfície e o volume altas, a ignição é mais fácil e a combustão mais rápida (Fernandes, 1991), o que provoca: maior rapidez na absorção e perda de humidade; maior absorção do calor irradiado pelos combustíveis inflamados adjacentes, facilitando a sua própria ignição; maior rapidez na combustão; combustão mais completa (Varejão, 1991).

3.2.1.3. Compactação

A compactação é o espaçamento entre as partículas do combustível, o que para uma dada quantidade de combustível, indica a percentagem de material combustível e a percentagem de ar entre as partículas (Fernandes, 1991). Quanto menor a taxa de compactação, maior a quantidade de oxigénio disponível para a combustão e portanto mais rápido se torna este processo com o consequente aumento da intensidade do fogo e da sua velocidade de propagação (Carvalho, 2005). A compactação afecta também a taxa de secagem (aumenta conforme aumenta o ar entre as partículas) e a velocidade de propagação (quanto mais ar houver, mais depressa se propaga o fogo).

3.2.1.4. Humidade

Para que o combustível entre em ignição, é necessário que toda a humidade excessiva nele presente se evapore. Assim podemos concluir que o teor de humidade influencia a velocidade de propagação do fogo e a quantidade de calor libertada (Varejão, 1991)

Entende-se então como humidade do combustível a quantidade de água no mesmo, expressa em percentagem do seu peso seco e calculada pela seguinte fórmula:

$$HC\% = \frac{\text{peso húmido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Nos combustíveis finos vivos, o teor de humidade depende da taxa de absorção de água pelas raízes e da transpiração, que estão geralmente desfasados e variam com a hora do dia e a época do ano. A transpiração é controlada por vários factores ambientais

como radiação solar, temperatura, entre outros. Já a absorção de água pelas raízes depende de factores do solo (arejamento, temperatura, tensão de humidade e concentração de solutos) e das dimensões e distribuição do sistema radicular (Fernandes, 1991).

O tempo de retardação, conceito desenvolvido por Byram (1963) cit Chandler *et al*, é a medida da rapidez com que os materiais atingem a humidade de equilíbrio com a humidade ambiente. O tempo de retardação é aquele necessário para a perda de dois terços da diferença entre o conteúdo de humidade inicial e a humidade de equilíbrio (Fernandes, 1991). Quanto maior for o teor de humidade, maior será o tempo de retardação e, portanto, mais baixa a propagação e velocidade do fogo (Carvalho, 2005).

Mostrando ser um instrumento muito útil na previsão da humidade e classificação do combustível, Forberg desenvolveu uma tabela que faz corresponder a cada uma das classes de tamanho um regime de tempo de retardação (tabela 1).

Designação	Classe de tamanhos (mm)	Tempo de retardação
Finos ou ligeiros	<6	1 hora
Regulares	6-25	10 horas
Médios	25-75	100 horas
Grossos	>75	1000 horas

Tabela 1 - Tempo de retardação dos combustíveis (Rigolot, 1988)

Relativamente à última categoria (tempo de retardação de 1000 horas), não é considerada para modelação de combustíveis por não influenciar a propagação do fogo.

Nos combustíveis mortos, o teor de humidade é geralmente inferior a 30% e considera-se que eles estão aptos a arder bem quando esse teor é menor que 15 a 25%, dependendo do seu tamanho (Fernandes, 1991). A biomassa viva só é contabilizada quando pertence à classe fina (Rothermel, 1972 cit. Fernandes *et al*, 2002).

O combustível fino controla a propagação do fogo, pelo que é importante quantificar as suas propriedades (Fernandes *et al*, 2002)

Por fim, é necessário referir a humidade de extinção, sendo o teor de humidade, em relação ao seu peso seco, acima do qual não é possível a combustão com chama (Varejão, 1991). Segundo Rigolot (1988), a humidade de extinção toma os valores genéricos da Tabela 2.

Tipo de combustível	Humidade de extinção
Certas herbáceas	12%
Agulhas de resinosas	20%
Manta morta	25 a 40%
Maior parte dos combustíveis vivos	120 a 160%

Tabela 2 –Humidade de extinção dos combustíveis (Rigolot, 1988)

3.2.1.5. Outras características

- Continuidade - Diz respeito à distribuição dos combustíveis no espaço e distingue-se entre continuidade horizontal e continuidade vertical (Carvalho, 2005). A continuidade horizontal é a distribuição no plano horizontal e toma uma primordial importância na evolução dum incêndio, ao determinar em grande parte qual a sua direcção e velocidade e até onde ele se propagará. A continuidade vertical refere-se à distribuição no plano vertical e condiciona a propagação do fogo em altura (Fernandes, 1991).

- Densidade - Relacionada com a capacidade calórica (capacidade de absorção de calor sem se inflamar), a densidade é definida como o peso por unidade de volume da partícula de combustível (Chuvienco *et al.*, 2003). As madeiras densas, como a dos carvalhos, podem absorver mais calor antes de se inflamarem, do que as madeiras menos densas, como a dos pinheiros. A capacidade calórica dos combustíveis pouco densos (troncos, cepos em decomposição) é mais baixa, pelo que recebendo pouco calor atingem o ponto de ignição rapidamente (Fernandes, 1991).

- Composição química - Para compreender a combustão nas florestas é importante conhecer a constituição química dos combustíveis existentes. Os combustíveis florestais resultam de arranjos complexos de celulose e hemiceluloses (cerca de 75%) e lenhina (cerca de 15 a 30%), aos quais ainda se juntam uma série de extractivos, minerais e água, dependendo da espécie.⁶ Antes da ignição, todos os combustíveis ao serem aquecidos produzem gases inflamáveis e a temperatura requerida para os produzir dependerá da composição química do combustível (Rogers *et al.*, 1985 *cit* Fernandes, 1991). Os constituintes minerais desempenham um papel importante pois

⁶ <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=9451&iLingua=1>

catalizam algumas das reacções de pirólise da celulose. A proporção entre a sílica e as cinzas livres de sílica correlaciona-se melhor inversamente com a inflamabilidade do que todo o conteúdo em cinzas. Porque os constituintes minerais resistem ao processo de decomposição, o conteúdo em cinzas aumenta com a degradação dos combustíveis (Fernandes, 1991).

- Poder calorífico - Quantidade total de calor que se liberta na combustão completa da unidade de massa de um corpo, em $J\ g^{-1}$ ou $kJ\ kg^{-1}$. Quando a água contida no combustível ou resultante da combustão é condensada, obtém-se o poder calorífico superior (Fernandes, 1991).

- Inflamabilidade e combustibilidade - A inflamabilidade, que analisa os microfenómenos, é a propriedade que um combustível revela quando é submetido a um aquecimento anormal (Rigolot, 1987 e 1988 cit Fernandes, 1991) e não é constante ao longo do ano pois depende de vários factores (estrutura, humidade, composição química e estados fisiológicos e fenológicos dos combustíveis). Influencia o risco de eclosão de um incêndio e a sua rapidez inicial de progressão. Combustibilidade é definida por Rumebe (1983) citando Delabraze e Valette, como a maior ou menor facilidade com que um vegetal arde libertando energia suficiente para se consumir e inflamar os vegetais vizinhos. A existência de espécies muito inflamáveis a partir de certas frequências influi muito na combustibilidade (Rigolot, 1987 cit Fernandes, 1991).

- Relação superfície-volume: dado bastante importante pois está relacionada com o comportamento e a propagação do fogo. Segundo Fernandes e Pereira (1993), em combustíveis pouco compactos, valores altos deste parâmetro favorecem a ignição, a combustão, a intercepção e transferência de calor e a velocidade de avanço da frente de fogo.

- Carga de combustível - quantifica o material disponível para a combustão, mais ou menos consumido conforme o seu estado higrométrico, tamanho e forma, compactação e continuidade (Botelho e Ventura, 1988 cit Coutinho, 2006).

3.2.2. Classificação dos combustíveis

O conhecimento do comportamento do fogo é importante na medida em que ajuda no processo de tomada de decisão em sistemas de gestão do fogo. Directamente ligados a esse comportamento estão uma série de aspectos como o planeamento de fogos controlados, quantificação da efectividade de tratamento de combustíveis, dificuldade de

controlo de um incêndio e efeitos do fogo. A quantificação do comportamento do fogo potencial para cenários de queima requer uma descrição física da formação vegetal de acordo com as características dos combustíveis que são quantificados através de vários métodos (amostragem destrutiva, relações alométricas e aplicação de modelos que descrevem a sua dinâmica).

Na realização deste trabalho, apenas foram utilizadas dois das cinco classificações, respectivamente por modelos de combustível e por séries fotográficas.

3.2.2.1. Classificação por modelos de combustível

Segundo Andrews, 1983 (*cit* Fernandes, 1991), um modelo de combustível representa um complexo-combustível em termos de “input” para modelo matemático de predição do comportamento do fogo. Por ser uma técnica muito elaborada de classificação de combustíveis e de grande precisão, é necessário recorrer a inventários de combustível.

Este tipo de classificação tem várias vantagens, entre as quais a possibilidade de calcular o comportamento do fogo para qualquer combinação de declive, vento e humidade dos combustíveis. Todos os tipos de coberto vegetal cujas características estruturais do complexo-combustível, como a quantidade e compactação, por exemplo, forem iguais, serão incluídos no mesmo modelo. Um só modelo, fundamentado mais nos parâmetros físicos que nos florísticos, poderá representar uma grande variedade de tipos de coberto vegetal (Fernandes, 1991).

3.2.2.2. Classificação por séries fotográficas

A classificação por séries fotográficas, além de ser de baixo custo, permite facilitar a avaliação dos modelos de combustíveis mais representativos de uma determinada área. Assim, no campo é feito um inventário de combustíveis em parcelas onde encontramos um maior número de situações possíveis. Os resultados são apresentados num formato padrão que inclui uma fotografia da parcela, dados relativos ao povoamento, cargas de combustível por categorias e classe de tamanho e índices de comportamento do fogo (Fernandes, 1991). Assim são-nos facilitadas futuras comparações a partir de observações efectuadas no campo.

3.2.2.3. Outras classificações

- Classificação por estimacão directa - Através deste método e com opiniões de especialistas experientes, conseguimos prever o comportamento do fogo. Os combustíveis são devidamente classificados em quatro categorias mediante a velocidade de propagação e resistência à supressão esperadas: baixa, média, alta e extrema (Fernandes, 1991).

- Classificação por comunidades de plantas - Através desta classificação, caracterizamos o comportamento do fogo para as comunidades através da combinação de registos históricos do fogo com a opinião de especialistas (Fernandes, 1991). É possível fazer a classificação por “fire-groups”, que agrupam os habitats florestais com base na resposta das espécies arbóreas ao fogo e no papel que desempenham na sucessão (Brown e Bevins, 1986 *cit* Fernandes, 1991).

- Classificação por chaves dicotómicas - Utilizada por técnicos com pouca experiência ou em treino, esta classificação baseia-se em avaliações rápidas e simples de comportamento do fogo, como a velocidade de propagação e potencial de fogo de copas (Fernandes, 1991).

3.3. Modelos NFFL

Por forma a permitir estimar o comportamento do fogo, foram criados modelos de combustíveis NFFL (Palheiro, 2001).

Os modelos NFFL foram desenvolvidos no Northern Fire Forest Laboratory, em Missoula, Montana e consistem em 13 modelos típicos de combustível:

Modelos de pastagens e pradarias ou dominados por herbáceas	1 – Erva curta 2 – Erva e arbusto (sob coberto florestal) 3 – Erva alta
Modelos de chaparral ou mato	4 – Chaparral adulto 5 – Chaparral jovem 6 – Mato seco 7 – Matorral (“Southern rough”)
Modelos de folhada florestal	8 – Compacta 9 – De folhosas 10 – Com sub-bosque
Modelos de resíduos de exploração florestal	11 – Leves 12 – Médios 13 – Pesados

Tabela 3 – Modelos NFFL (Fonte: Fernandes, 1991)

Para este trabalho, vão ser utilizados três destes modelos que passamos a descrever:

- Modelo 2 caracteriza um fogo de superfície que se propaga principalmente através de pequenas herbáceas, amarelas ou mortas. A intensidade do fogo é devida, para além das herbáceas, à manta-morta e detritos provenientes dos arbustos dispersos e do estrato arbóreo (Macedo e Sardinha, 1987).

- Modelo 6 caracteriza um fogo influenciado por formações bastantes adultas de carqueja, carvalhos arbustivos e outro tipo de chaparral. O fogo propaga-se através do andar arbustivo e desce para a superfície quando a velocidade do vento diminui ou atinge clareiras (Macedo e Sardinha, 1987).

- Modelo 9, onde o fogo se propaga através da manta-morta superficial com chama comprida, é típico de povoamentos de coníferas de folha curta e os de folhosas, principalmente carvalhos (Macedo e Sardinha, 1987).

Embora se apliquem principalmente nos E.U.A., Barreto (1985) adaptou o modelo de NFFL para a vegetação portuguesa:

Modelo 1	Montado de sobro e azinho
Modelo 2	Povoamentos de pinhal bravo e de alepo, acacial, medronhal e zimbral litora relativamente esparsos e com abundância de gramíneas
Modelo 3	Urzais húmidos/mésicos (<i>Erica scoparia</i> e <i>E.erígena</i>) e juncais xéricos (<i>Capex sp.</i> e <i>Molinea caerulea</i>)
Modelo 4	Carrascal
Modelo 5	Eucaliptal, pinhal manso regular de alto porte c/ mato alto, matas baixas
Modelo 6	Acacial, medronhal, zimbral litoral, pinhal bravo c/ mato alto e pinhal de alepo c/ regeneração abundante e sub-bosque de matos médios a altos
Modelo 7	Pinhal manso irregular em alto fuste c/ mato alto e matagal, matas altas
Modelo 8	Cupressal, choupal
Modelo 9	Carvalhal, floresta de pseudotsuga, pinhal manso s/ sub-bosque
Modelo 11	Pinhal bravo c/ intensos resíduos de cortes culturais
Modelo 12	Corte raso de pinhal bravo não retirado

**Tabela 4 – Modelos NFFL adaptados para vegetação portuguesa
(Fonte: Barreto, 1985 cit Fernandes, 1991)**

3.4. Simulação do comportamento do fogo com o sistema Behave Plus

3.3.1. Descrição do modelo de Rothermel

O modelo matemático de Rothermel, desenvolvido para estabelecer as bases para o cálculo dos índices de perigo de incêndio e comportamento potencial do fogo, requer descrições numéricas das características dos combustíveis (Fernandes, 1991) tais como carga superficial a qual quantifica o material disponível para a combustão e que será mais ou menos consumida conforme o seu tamanho, forma, compactação, entre outros (Botelho *et al*, 1990). Com base nestas características dos combustíveis foram concebidos modelos de combustível genéricos, sendo cada modelo representativo de uma situação frequente encontrada nos ecossistemas dos E.U.A. (Varejão, 1991).

Para avaliar os valores médios da velocidade de progressão e da intensidade do fogo, o modelo de previsão do comportamento do fogo de Rothermel parte dos seguintes pressupostos (Varejão, 1991)

- 1 – Estrato de combustível é superficial, uniforme e contínuo;
- 2 – Apenas é aplicável a fogos superficiais excluindo, portanto, fogos de copa;
- 3 – Não considera o transporte de pontos de ignição;
- 4 – É aplicável a fases estáveis do comportamento do fogo;
- 5 – Considera os efeitos do vento e do declive;
- 6 – A propagação faz-se sem a presença de obstáculos físicos;
- 7 – É fixado um teor máximo de humidade do combustível que permite a sua ignição.

Segundo Rothermel (1972), a velocidade de propagação é determinada através das seguintes equações:

$$R_0 = \frac{I_r \xi}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (1)$$

onde:

R_0 é a velocidade de propagação do fogo, sem efeito do vento nem do declive (m min^{-1})

I_r corresponde à intensidade de reacção (kW m^{-2})

ξ corresponde ao coeficiente do fluxo calorífico

ε corresponde ao índice de aquecimento efectivo do combustível

Q_{ig} corresponde ao calor de pré-aquecimento do combustível (Kcal Kg^{-1})

ρ_b corresponde à massa volúmica do combustível (kg m^{-3})

Integrando em (1) os efeitos do vento e declive, temos:

$$R = \frac{I_r \xi (1 + \phi_v + \phi_d)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (2)$$

sendo Φ_v e Φ_d os coeficiente do vento e do declive.

Através da equação (1) é-nos permitido calcular a velocidade de propagação do fogo sem ter em conta nem o efeito do vento nem o efeito do declive do terreno. Pela equação (2), esses efeitos já são levados em conta, calculando-se assim a velocidade do fogo mediante o efeito do vento e declive, que são as condições mais gerais (Varejão, 1991).

A intensidade de reacção (kW m^{-2}) é calculada com a seguinte equação

$$I_R = w_n h \Gamma' \eta_M \eta_s$$

em que:

Γ' é a velocidade óptima de combustão (min^{-1})

W_n é a carga líquida do combustível sobre o solo (kg m^{-2})

h é o poder calorífico remanescente do combustível (kJ kg^{-1})

η_M é o coeficiente de humificação do combustível (adimensional)

η_s é o coeficiente de mineralização do combustível (adimensional)

3.3.2. Sistema Behave Plus

O sistema Behave Plus é um software que nos permite simular o fogo e o seu comportamento mediante variados factores através de modelos que descrevem esse mesmo comportamento (Andrews *et al*, 2008), nomeadamente o modelo de propagação do fogo de Rothermel. Este programa é bastante flexível na medida em que produz tabelas e gráficos e pode ser utilizado para uma vasta e útil gama de aplicações na gestão do fogo (Andrews *et al*, 2008).

Este sistema pode ser utilizado para várias aplicações que envolvem modelação do comportamento do fogo e os seus efeitos, como prever o comportamento de um fogo em progressão, desenvolver um plano de prescrição de um fogo controlado definindo os critérios que conduzem à satisfação dos objectivos da queima, e avaliar o comportamento do fogo em combustíveis superficiais em função do tipo de combustível, condições do vento e terreno e humidade do combustível.⁷

Podemos ainda efectuar simulações que contemplam: fogos de copas, definição da zona de segurança, dimensão de um foco com origem num ponto de ignição, propagação por focos secundários, dessecação do copado e mortalidade no povoamento, e ainda qual a probabilidade de ignição.

⁷ www.behaveplus.firemodels.org

4. Metodologia

4.1. Área de estudo

4.1.1 Caracterização

Trás-os-Montes, situado no Norte de Portugal, possui duas sub-regiões muito distintas que gozam de aspectos biofísicos distintos: Terra Quente Transmontana e Terra Fria Transmontana.

Na Terra Quente Transmontana, onde se localiza a área de estudo, as amplitudes térmicas anuais e diurnas são elevadas e as variações sazonais são muito nítidas, havendo uma distinção bem acentuada entre o Verão e o Inverno e mais duas estações, a Primavera e o Outono, embora estas sejam pouco desenvolvidas. Entre os 400 e os 500 metros de altitude, os Verões são quentes e longos e os Invernos amenos. A precipitação regista valores anuais na ordem dos 600 mm e a época de geadas ocorre nos meses de Janeiro e Dezembro. Os nevoeiros são frequentes a partir de Novembro e prolongam-se até finais de Janeiro. Todos os seus cursos de água pertencem à bacia hidrográfica do Rio Douro, sendo os principais o rio Tua, rio Rabaçal, rio Tuela, a ribeira de Carvalhais, a ribeira de Vialriça, rio Sabor e rio Azibo.⁸

Segundo a carta de Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991) publicada à escala 1/100000, na área da Terra Quente Transmontana dominam os leptossolos (solos delgados, difíceis de exploração agrícola, para a fixação de raízes e armazenamento de água), existindo grandes manchas de cambissolos (possuem baixos teores de matéria orgânica) e pequenas áreas de antrossolos (solos bastante alterados devido à acção humana) e fluvisolos (solos com maior teor de matéria orgânica, tendo assim elevada aptidão para a agricultura).

4.1.2 Seleção e localização das parcelas

As parcelas distribuíram-se por cinco locais do concelho de Mirandela, em manchas importantes de sobreiro (Fig. 1). Mirandela é uma cidade portuguesa situada nas margens do rio Tua, pertencente ao Distrito de Bragança, Região Norte e subregião do Alto Trás-os-Montes. É sede de um município com 658,45 km² de área e 25 742

⁸ http://www.terraquentedigital.espigueiro.pt/caracterizacao_tqt

habitantes (2001), subdividido em 37 freguesias, encontrando-se a uma latitude de $41^{\circ}29'N$ e a uma longitude de $7^{\circ}11'W$.⁹ O município é limitado a norte pelo município de Vinhais, a leste por Macedo de Cavaleiros, a sul por Vila Flor e por Carrazeda de Ansiães e a oeste por Murça e Valpaços.¹⁰ A realização deste trabalho incluiu a localização de parcelas de amostragem em diferentes freguesias de Mirandela, respectivamente Marmelos, Romeu, Vila Boa, Sucções e Freixiel.

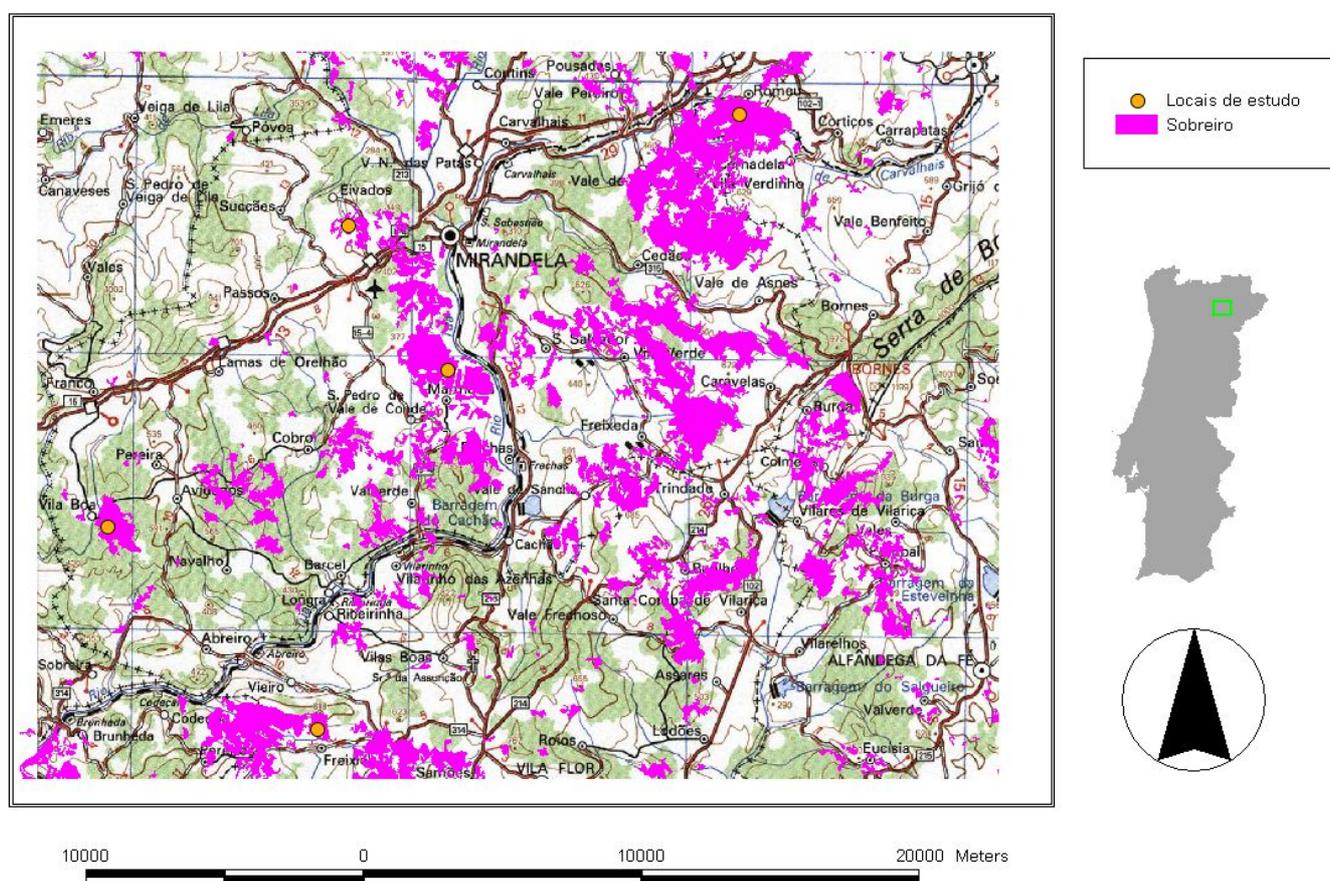


Fig. 1 – Área e locais de estudo

⁹ <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/SEmono/ASE2005/ASE2005tab/ASE2005Tab12.html>

¹⁰ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Mirandela>

4.2. Trabalho de campo

Num determinado mesmo local, as parcelas de amostragem procuraram ser representativas da variação em composição específica e estrutura da vegetação. Assim, procurou-se que os locais de amostragem abrangessem as principais situações de combustibilidade do sobreiral na região, facilitando a posterior tomada de decisão para desenvolvimento dos modelos de combustível (Palheiro, 2001).

Em cada parcela de amostragem recolheu-se informação genérica da parcela, a composição e estrutura do estrato arbóreo, notas descrevendo a continuidade vertical, o combustível lenhoso, em pé e no solo, e dados respeitantes à composição e estrutura do sub-bosque e à espessura e estratificação da manta morta.

Foram medidos os sobreiros presentes no raio determinado no início das medições e que variou entre parcelas, de forma a cobrir da melhor forma a variação na densidade arbórea. Mediu-se a altura total, altura média da copa viva e o DAP (diâmetro à altura do peito) de cada árvore, contabilizando-se posteriormente o nº de árvores por classe DAP e por unidade de área.

Foi também determinada a percentagem ocupada pelo estrato arbóreo e classificada a estrutura (uma combinação da altura e densidade) do povoamento, na qual se considerou o estrato como aberto (A), fechado (F), alto (A) ou baixo (B). A cada parcela atribuiu-se o modelo (ou conjunto de dois modelos) NFFL mais representativo e o vector do fogo, ou seja o estrato que mais provavelmente propagaria o fogo:

F- Folhada

H- Herbácea

A- Arbustos

L- Lenhosos

Em algumas parcelas mediu-se linearmente e horizontalmente a vegetação interceptada não superior a 2 metros de altura, a fim de determinar a sua altura e percentagem de coberto. Também se teve em conta a cobertura de rochedo existente e que interceptava a linha. Nas restantes efectuou-se uma avaliação visual da cobertura por espécies arbustivas dominantes e estrato herbáceo.

Foram colhidos horizontes L (superficial e não decomposta) e F (em decomposição) da folhada numa área de 0,07 m² e medida a sua espessura, tanto na área referente à recolha como também em toda a parcela. Foram igualmente colhidas

amostras de arbustivas, sub-arbustivas e herbáceas em áreas entre um m² e meio e os três m² e meio.

Em cada uma das parcelas, foram tiradas várias fotografias à folhada, sub-bosque e copas das árvores, registando a hora a que as fotografias eram tiradas. Estas fotografias serão utilizadas na realização das séries fotográficas.

Para além destes parâmetros, ainda foi registado em cada parcela o modelo NFFL que melhor se aplicada ao local, a exposição (com a ajuda de uma bússola), declive (medido com um hipsómetro vertical – Vertex) e substrato rochoso.

4.3. Trabalho de laboratório

Em laboratório, as amostras de folhada foram separadas por horizontes, L ou F. No horizonte L, o material ainda não se encontra em decomposição, é a camada mais à superfície. Na camada F, o material já se encontra em algum estado de decomposição. No caso das sub-arbustivas e arbustivas, a separação era feita tendo em conta o estado (morto ou vivo) e a classe de tamanho (<6 mm, >6 mm) com a ajuda de um calibre de diâmetros (fig 2). Todas as herbáceas se consideraram finas (<6 mm) e mortas (1hr), pois é esse o estado em que se encontram no Verão. Após separação de todo o material, este era pesado separadamente, seco em estufa a 65°C durante 48 horas e novamente pesado. Os pesos eram posteriormente expressos em toneladas de peso seco por hectare. Para que o combustível não voltasse a absorver humidade do ar após a saída da estufa, a pesagem era feita o mais rápido e o mais próximo possível da estufa. Esta informação serviu de base à determinação das cargas de combustível por parcela e massas volúmicas típicas dos estratos da folhada, ervas e arbustos.

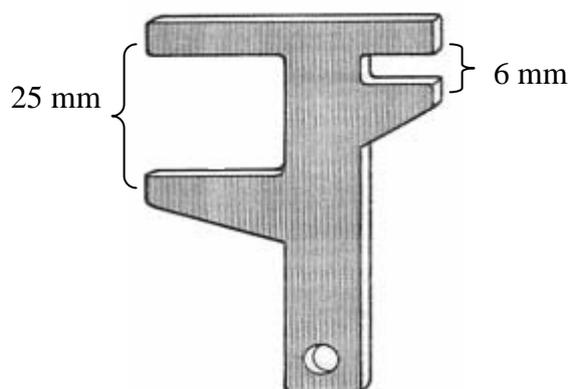


Fig. 2 - Calibrador de diâmetros

4.4. Modelação de combustíveis

Após obtenção da informação de campo e de laboratório, foi necessário tratar os dados para chegarmos aos dados de entrada necessários ao desenvolvimento de modelos de combustível no sistema Behave Plus: espessura do complexo-combustível, carga de combustível, relação superfície-volume, poder calorífico, e humidade de extinção.

Para cálculo da carga de combustível (CC), teve de ser calculada a massa volúmica (MV) em cada parcela para cada estrato.

$$MV = \frac{\sum P \text{ sec } oL + F(g)}{1000 \text{ volume}(m3)} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{Para a camada L+F}$$

$$MV = \frac{P \text{ sec } o(g)}{1000 \text{ volume}(m3)} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{Para herbáceas}$$

No caso das arbustivas, tivemos de calcular o volume para cada parcela através da fórmula:

$$Volume = \frac{\text{área} \times \% \text{cob. arb.}}{100} \times \frac{\text{altura}}{100} \text{ (m}^3\text{)}$$

Este volume foi calculado para a espécie que é dominante em cada parcela. Calculado o volume, a massa volúmica foi determinada pela mesma fórmula usada para as herbáceas para quatro situações diferentes: arb.vivos < 6, arb.vivos 6-25, arb.mortos <6 e arb.mortos>6.

Assim, calculamos as cargas de combustível:

$$CC = \frac{MV \text{ (kg / m}^3\text{)} \times \text{volume}(m3)}{1000} \text{ (t/ha)}$$

Visto que, para chegarmos aos valores da relação superfície-volume, o processo iria ser um processo bastante moroso e por constituir uma tarefa difícil medir as

dimensões das partes constituintes de uma planta (Coutinho, 2006), adaptamos os valores que necessitamos de Cohen *et al.*

Espécie	Relação superfície-volume (m^{-1})	Poder calorífico ($kJ\ kg^{-1}$)
<i>Arbutus unedo</i>	3500	20000
<i>Cistus ladanifer</i>	3000	19500
<i>Cytisus spp</i>	3411	21500
<i>Erica arborea</i> e <i>E. scopario</i>	7500	22500
<i>Juniperus oxycedrus</i>	10000	20500
<i>Lavandula spp</i>	4500	20000
<i>Pterospartum tridentatum</i>	4500	22000

Tabela 5 - Valores utilizados de relação superfície-volume e poder calorífico (Cohen *et al*)

Porém, para ter uma noção de como se determina esta relação, o valor da espécie *Cytisus spp.* foi determinado da seguinte maneira: foram colocadas numa superfície plana e ao acaso, ramos de giesta. Sobre estes ramos foi colocada uma fita métrica (como podemos ver na Fig. 3) e foi medido o diâmetro do caule que interceptava a fita. De seguida somou-se todos os valores obtidos e dividiu-se o valor por quatro, chegando assim ao valor da relação superfície volume.



Fig. 3 - Determinação da relação entre superfície e volume da espécie *Cytisus striatus*

Os valores da tabela cinco são referentes aos valores para combustíveis vivos. Como nos dados de entrada do Sistema Behave Plus é necessário conhecer os valores da relação superfície volume para combustíveis de 1hr, foi necessário determinar os valores através uma média ponderada com os valores da relação superfície volume dos arbustos (assumindo idênticos valores para combustíveis vivos e 1hr), folhada de sobreiro (4000 m⁻¹) e herbáceas (8000 m⁻¹) para cada parcela.

Poder calorífico - Tal como acontece na relação superfície volume, os valores apresentados são para combustíveis vivos. Foi então necessário calcular um valor médio em cada parcela para o poder calorífico do material morto, através de uma média ponderada com os valores do poder calorífico dos arbustos, folhada de sobreiro (20500 kJ kg⁻¹) e herbáceas (18500 kJ kg⁻¹).

Humidade, que representa a quantidade de água num determinado corpo e é expressa em percentagem do seu corpo seco. Assumiu-se uma humidade de extinção para dado de entrada no Behave Plus de 35%, com base em conhecimento do comportamento do fogo.

O sistema Behave Plus necessita, para além destes 4 dados de entrada, foi ainda necessário calcular a espessura do estrato combustível de cada parcela usando a seguinte fórmula:

$$Espessura = \frac{(alt.folhada \times CCfolhada) + (alt.herb. \times CC herb.) + (alt.arb. \times CCarb.)}{\sum CC}$$

O programa exige ainda dados relativos ao ambiente, como a humidade, declive e velocidade do vento. Foram considerados os valores na tabela seis:

Humidade de combustíveis com 1hr	4 %
Humidade de combustíveis com 10hr	5 %
Humidade de combustíveis mortos com 100hr	6 %
Humidade dos combustíveis arbustivos vivos	70 %
Humidade dos combustíveis herbáceos vivos	100%
Velocidade do vento a meia altura da chama	15 Km/h
Declive da encosta	0 %

Tabela 6 - Parâmetros ambientais utilizados nas simulações

4.5. Estudo do comportamento do fogo dos modelos específicos

Segundo Botelho e Ventura (1988) *cit* Coutinho (2007), os modelos de combustível devem ser classificados com base na velocidade de propagação (tabela sete). Já Hirsch (*cit* Coutinho, 2007) classifica os modelos tendo como base a resistência que o fogo opõe ao seu controlo, directamente relacionada com o comprimento da chama e na intensidade da frente (tabela oito).

Velocidade de propagação (m/min)	Interpretação
<2	Lenta
2-10	Média
10-70	Alta
>70	Extrema

Tabela 7 – Interpretação do comportamento do fogo segundo a velocidade de propagação (Fonte: Rodrigues, 1995)

Intervalo de intensidade da frente (kW/m)	Descrição/Dificuldades de supressão
0-10	Normalmente o fogo não se consegue expandir muito para além do ponto de ignição e arde quase sem chama / Auto-extinção
10-500	Fogos superficiais lentos, chamas pequenas / Ataque directo com equipamento ligeiro
500-2000	Fogos moderadamente lentos, chamas pequenas, ocasionalmente grandes / Equipamento pesado e ataque aérea
2000-4000	Fogos moderadamente rápidos, pode apresentar chamas baixas e altas em simultâneo. Pode ocorrer a ignição da copa de árvores isoladas / O ataque frontal pode falhar
4000-10000	Propagação muito rápida, com envolvimento generalizado das copas das árvores. As chamas podem-se estender do solo até acima das copas / Ataque frontal impossível

Tabela 8 - Classificação de acordo com os intervalos de intensidade da frente do fogo (Canadá) (Fonte: Coutinho, 2007)

Baseando-se somente no parâmetro comportamento da chama, Richardson *et al*, (1994), considera as seguintes classes segundo os quais os modelos poderão ser distribuídos (Rodrigues, 1995):

Comprimento da chama (m)	Interpretação
0-2	Perigo baixo
2-4	Perigo médio
4-7	Perigo alto
>7	Perigo extremo

Tabela 9 – Interpretação do comportamento do fogo segundo o comprimento da chama (Fonte: Rodrigues, 1995)

Porém, um fogo é classificado tendo por base a resistência que opõe à sua supressão. Para tal, Andrews e Rothermel (1982) *cit* Rodrigues (1995), definiram quatro classes fundamentadas no comprimento da chama e intensidade da frente de fogo (tabela 10)

Comprimento da chama (m)	Intensidade do fogo (kW/m)	Interpretação
<1,2	<346	Passível de ataque frontal ou nos flancos com ferramentas manuais; uma linha aberta normalmente sustém o fogo
1,2-2,4	346-1739	Demasiado intenso para ataque frontal só com ferramentas manuais; bulldozers e retardantes podem ser eficazes
2,4-3,3	1739-3459	Graves problemas de controlo; árvores inteiras a arderem; fogo passivo de copas; dispersão de focos de incêndio; controlo da frente é praticamente impossível
>3,3	>3459	Fogo de copas e transporte de focos de ignição generalizados; controlo frontal impossível

Tabela 10 - Interpretação do comportamento do fogo segundo as dificuldades de supressão (Fonte: Rodrigues, 1995)

Podemos ainda analisar o comportamento do fogo através de gráficos que conjugam a variável energia libertada e a variável velocidade de propagação. As áreas delimitadas por cada linha equivalem à interpretação do fogo de acordo com a sua dificuldade de supressão (Rodrigues, 1995). Segundo Fernandes (1991), estes gráficos representam o método que melhor visualiza as diferenças existentes entre as predições para dois ou mais modelos de combustível.

Com a ajuda dos valores obtidos na intensidade da frente de fogo, podemos decidir qual o melhor meio de combate.

Intervalo de intensidade da frente (kW/m)	Requisitos de controlo
<500	Equipamento de sapador
500-2000	Meios terrestres (água sob pressão, bulldozers)
2000-4000	Meios aéreos
>4000	Controlo frontal impossível

Tabela 11 – Interpretação da capacidade dos meios de combate em função da intensidade frontal do fogo, de acordo com Alexander (2000)

4.6. Análise dos dados e simulação

4.6.1. Determinação do número de modelos a construir

Devido a termos 26 parcelas, o que equivalia a 26 modelos, foi necessário minimizar o número de modelos a construir. Para tal, foi feita uma análise de Cluster no programa JMP, através do método Kmeans. Assim, identificamos grupos de dados homogéneos com base nos dados das parcelas, definindo-se dez variáveis estruturais a analisar: altura, carga de combustível 1hr, 10hr, vivo<6, L+F e herbáceas, relação superfície volume vivo e 1 hr e poder calorífico vivo e 1hr. Para se chegar ao número de clusters a utilizar, foram realizadas várias tentativas e análises aos valores obtidos nas respectivas tentativas e chegou-se à conclusão que os modelos se encontravam melhor repartidos em 5 clusters.

Cluster	Parcela
QS1	17 e 26
QS2	14, 16, 2, 24 e 25
QS3	7
QS4	13, 20, 4, 6 e 8
QS5	1,3, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 19, 21, 22 e 23

Tabela 12 – Distribuição das parcelas por modelo

Assim, chegamos aos seguintes valores:

Modelo	QS1	QS2	QS3	QS4	QS5
Altura média (m)	0,71	1,31	0,10	0,94	0,44
CC L+F (t/ha)	0,57	4,79	11,39	1,68	5,34
CC herbáceas (t/ha)	0,61	0,01	0,00	0,63	0,17
Crg1hr (t/ha)	4,15	7,74	11,64	3,19	6,62
Crg10hr (t/ha)	0,29	3,41	0,26	1,16	1,38
Crg vivo<6 (t/ha)	8,36	8,97	0,41	1,58	2,32
SVRvivo	3206	5432	5456	3329	3830
SVR1hr	3572	5008	4051	4692	4091
PC vivo	20500	20750	22000	21100	21269
PC 1hr	20338	20630	20552	20398	20631

Tabela 13 – Valores médios obtidos para cada modelo

- QS 1: com uma altura média considerável, teve em conta a grande quantidade de carga de combustível <6 e de 1hr;
- QS 2: é caracterizado por ter uma elevada altura média assim como elevada carga de combustível <6 e 1hr e pouca quantidade de herbáceas;
- QS 3: caracterizada pela ausência de herbáceas, a carga de combustível para L+F e 1hr é bastante distinto e a sua estrutura é baixa;
- QS 4: possui uma estrutura alta e uma carga de combustível de herbáceas bastante elevada;
- QS 5: com uma altura média relativamente baixa, é caracterizado pela elevada quantidade de folhada e baixa quantidade de herbáceas que possui. Tem ainda uma carga de combustível de 1hr considerável.

4.6.2. Simulações

Após obtenção dos valores para cada cluster, estes foram inseridos no Behave Plus onde chegamos aos modelos de combustíveis finais e utilizados para análise dos resultados. Tivemos em conta os parâmetros ambientais usados anteriormente. Foi também feito um ajustamento na altura média dos clusters para que as simulações do comportamento do fogo fossem mais realistas.

Modelo	Velocidade de propagação (m/min)	Energia Unidade de área (kJ/m ²)	Frente de chamas Intensidade (kW/m)	Chama Comprimento (m)
QS1	14.3	27843	6640	4.4
QS2	45.7	31798	24206	8.0
QS3	3.2	14754	783	1.7
QS4	44.6	8665	6435	4.4
QS5	19.1	24718	7860	4.8

Tabela 14 – Resultados obtidos para cada modelo

Com estes valores, foi-nos permitido fazer várias simulações de comparação dos modelos obtidos fazendo variar os parâmetros do vento, declive e humidade. Aquando da realização da simulação para o parâmetro declive, o factor vento teve o valor zero. Também foram efectuadas comparações de três dos nossos modelos com os modelos americanos que já vêm inseridos no programa que melhor se assemelhavam às nossas parcelas:

- Modelo NFFL 9 vs QS3, para comparação dos resultados em folhada
- Modelo NFFL 2 vs QS4, para comparação dos resultados em herbáceas
- Modelo NFFL 6 vs QS2, para comparações dos resultados em arbustivas

5. Apresentação e análise dos resultados

5.1. Estudo do comportamento do fogo

De acordo com as tabelas de classificação anteriormente descritas, a classificação das nossas parcelas em função do nível de comportamento do fogo é apresentada nas Tabelas 15 a 17. É fácil constatar que a maioria das situações se enquadra em cenários de fogo rápido e intenso e, conseqüentemente, de combate difícil.

Velocidade de propagação (m/min)	Modelos
Média (2-10)	QS3
Alta (10-70)	Restantes

Tabela 15 – Resultados obtidos para a velocidade de propagação nos modelos

Intensidade de frente de chama (kW/m)	Modelos
Fogos moderadamente lentos, chamas pequenas, ocasionalmente grandes / Equipamento pesado e ataque aérea	QS3
Propagação muito rápida, com envolvimento generalizado das copas das árvores. As chamas podem-se estender do solo até acima das copas / Ataque frontal impossível	Restantes clusters

Tabela 16 – Resultados obtidos para a intensidade de frente de chama nos modelos

Comprimento da chama (m)	Modelos
Perigo baixo	QS3
Perigo alto	QS1, QS4 e QS5
Perigo extremo	QS2

Tabela 17 – Resultados obtidos para o comprimento da chama

Como já foi referido anteriormente, outra maneira de analisar os resultados é fazendo uso de gráficos, nos quais se examina o comportamento do fogo mediante variação do vento, declive e humidade.

5.1.1. Efeito da variação do vento

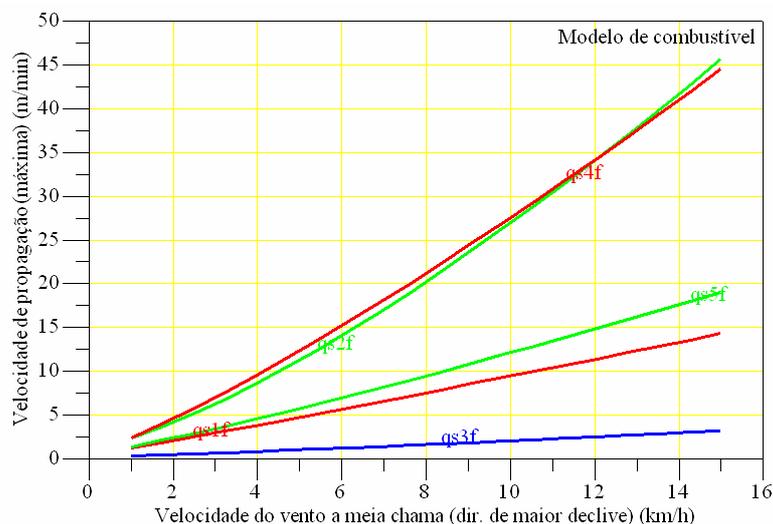


Gráfico 2 – Velocidade de propagação versus velocidade do vento

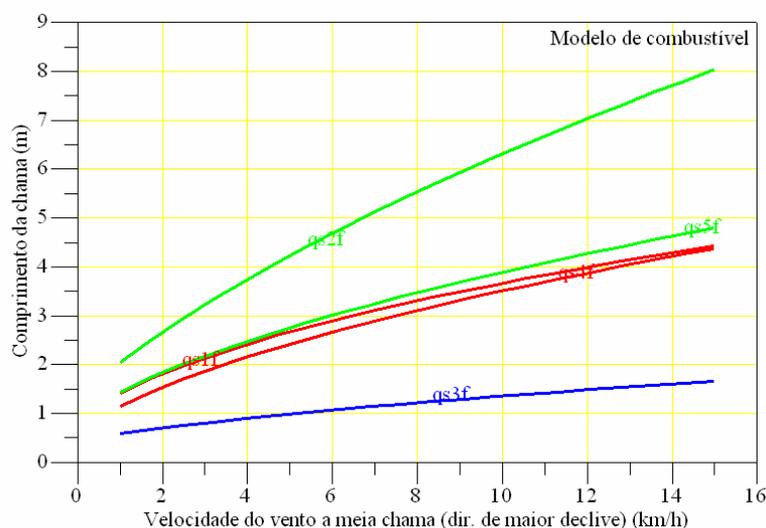


Gráfico 3 - Comprimento da chama versus velocidade do vento

A velocidade de propagação de um fogo depende da velocidade do vento, sendo a primeira proporcional à segunda. Ou seja, quando a velocidade do vento aumenta, a velocidade da propagação também vai aumentar. O vento é também responsável pela

oxigenação da combustão e, conseqüentemente, intensifica a queima. Nos gráficos 2 e 3 podemos ver que esta situação acontece nos nossos modelos.

Relativamente aos modelos QS2 e QS4 apresentam uma resposta muito idêntica de velocidade de propagação: uma elevada velocidade de propagação acompanhada por uma subida na velocidade do vento. Para uma velocidade do vento de 8 km/h, o modelo 2 apresenta uma velocidade de propagação de 20,2 m/min enquanto que o modelo 4 apresenta uma velocidade de propagação de 21,2 m/min.

O mesmo se passa com os modelos QS1 e QS5, embora não se registre uma velocidade de propagação tão acentuada como no primeiro caso. No modelo QS1 temos uma velocidade de propagação de 7,5 m/min e no modelo QS5 de 9,2 m/min para uma velocidade do vento de 8 km/h. Esta situação pode ser justificada pelas alturas médias do combustível: os modelos QS2 e QS4 exibem alturas mais elevadas que os modelos QS1 e QS5. No modelo QS3, um aumento da velocidade do vento leva a que a velocidade de propagação seja baixa, situação justificada pela reduzida altura média e maior compactação, com maior representatividade da manta morta. Para uma velocidade do vento a 8 km/h, este modelo apresenta uma velocidade de propagação de apenas 1,6 m/min.

Relativamente ao comprimento da chama, podemos verificar que todos os modelos apresentam respostas muito semelhantes à velocidade do vento. Porém, o modelo QS3 produz um comprimento de chama menor (de 1,2 m para uma velocidade do vento de 8 km/h), contrariamente ao modelo QS2, o qual origina um maior comprimento de chama (para o mesmo valor de velocidade do vento, o comprimento de chama é de 5,5 m). Nos modelos restantes podemos ver que a resposta ao aumento da velocidade do vento é bastante equivalente. Estas situações podem ser explicadas pela altura da vegetação. A vegetação é baixa no modelo QS3 enquanto que a vegetação presente nas parcelas do modelo QS2 é a que regista valores de altura média mais elevados.

5.1.2. Efeito da variação do declive

Segundo Macedo e Sardinha (1987), tanto o vento como o declive impelem a chama em direcção ao combustível ainda não ardido, situado além da linha de fogo, elevando mais rapidamente a sua temperatura até ao ponto de ignição, o que fará aumentar a velocidade de propagação e o comprimento da chama.

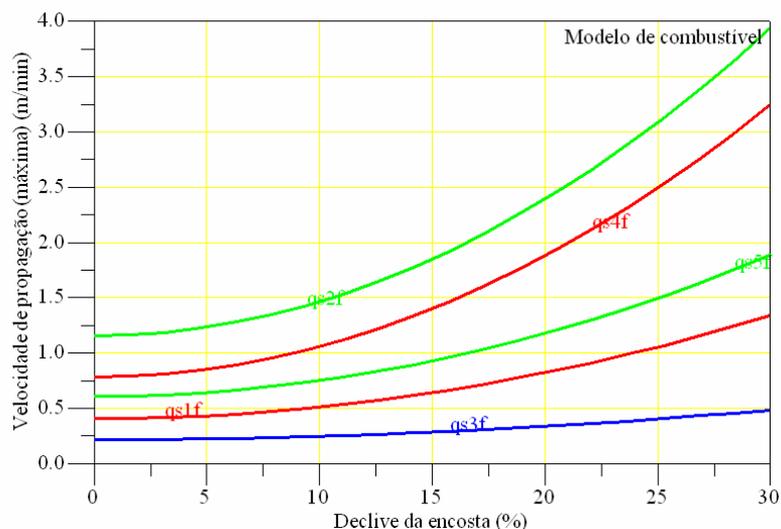


Gráfico 4 - Velocidade de propagação versus declive da encosta

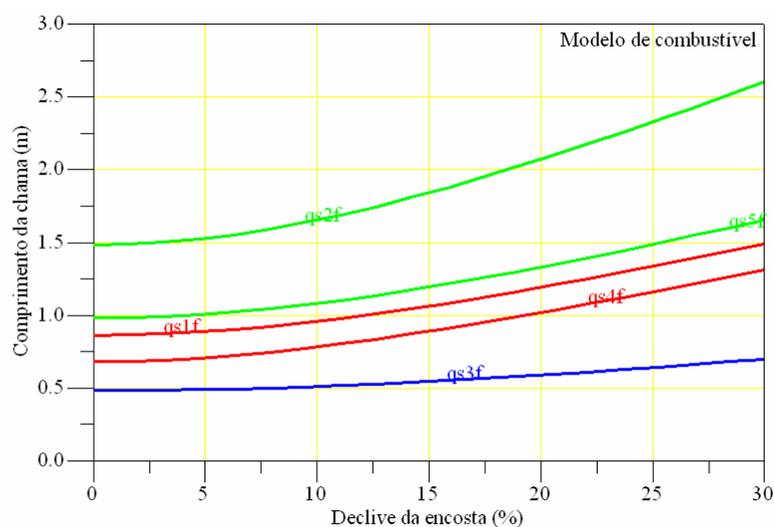


Gráfico 5 - Comprimento da chama versus declive da encosta

Podemos ver que para a velocidade de propagação e para o comprimento da chama, os modelos apresentam comportamentos muito parecidos e aumentam com o

acréscimo do declive. Porém, o modelo QS2, tanto para a velocidade de propagação, onde para declive de 30° toma o valor de 3,9 m/min, como para o comprimento da chama, com valor de 2,6m para 30° de declive, apresenta os valores mais elevados.

Para a velocidade de propagação, podemos verificar que os modelos QS2 e QS4 têm um maior aumento em resposta ao aumento do declive. Particularmente, a partir dos 10%, a velocidade de propagação varia de forma brusca chegando a atingir valores elevados no modelo QS2. Já o modelo QS3 apresenta uma resposta quase constante, tanto de velocidade de propagação como de comprimento da chama, situação explicada pela elevada quantidade de folhada e combustíveis de 1hr.

Os modelos QS1 e QS5 são os modelos que, embora apresentem aumentos tanto na velocidade de propagação como no comprimento da chama para um aumento do declive, não mostram aumentos tão severos. Para a velocidade de propagação, os dois modelos apresentam uma variação de 0,2 m/min entre os 0° e os 30°, enquanto que o comprimento da chama tem uma variação de 0,1 m no mesmo intervalo de declive.

O modelo QS5 revela uma resposta semelhante ao modelo QS3, ou seja, com o aumento do declive, o comprimento da chama e velocidade de propagação pouco se alteram. Para um declive de 0°, o comprimento da chama é de 1 m e toma o valor de 1,7 m quando o declive atinge 30°. Para a velocidade de propagação, temos 0,6 m/min num declive de 0° e 1,9 m/min num declive de 30°.

5.1.3. Efeito da variação da humidade do combustível 1hr

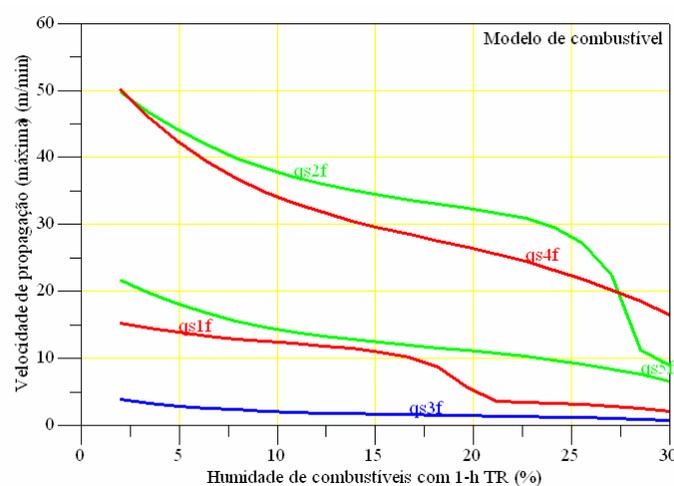


Gráfico 6 - Velocidade de propagação versus Humidade dos Combustíveis

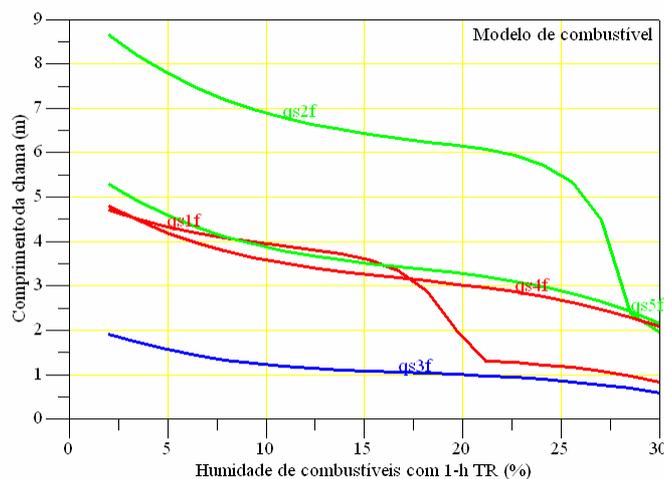


Gráfico 7 - Comprimento da chama versus Humidade dos Combustíveis

Segundo Rothermel e Anderson (1966) *cit* Silva (1990), um acréscimo no teor de humidade do combustível provoca uma diminuição na velocidade de progressão do fogo.

Podemos ver que o modelo QS2 apresenta para uma humidade dos combustíveis de 3% uma velocidade de propagação muito elevada, 50 m/min. À medida que a humidade vai aumentando, essa velocidade vai diminuindo chegando a diminuir bruscamente quando a humidade atinge o valor de 27%, passando de 22,7 m/min para 16,5 m/min quando dos 28%. Nota-se um abrandamento nessa descida aos 29% de humidade.

A mesma situação acontece para o modelo QS1. Apresenta uma velocidade de propagação de 14,3 m/min aos 4% de humidade. Essa velocidade vai decrescendo lentamente quando a humidade aumenta, mas aos 19% quando apresenta um valor de 7,3 m/min, a velocidade decresce de forma brusca aos 18% atingindo os 4,9 m/min.

Os restantes modelos também apresentam descidas na velocidade de propagação quando a humidade dos combustíveis aumenta, mas são descidas pouco acentuadas.

Relativamente ao comprimento da chama, encontramos as mesmas situações que na velocidade de propagação. Os modelos QS1 e QS 2 têm uma descida bruta do comprimento de chama a partir de uma certa percentagem de humidade, 18% e 26% respectivamente.

5.1.4. Comparações dos modelos com os modelos NFFL

5.1.4.1. Combustível dominado por folhada (Modelo QS3 vs modelo NFFL

9)

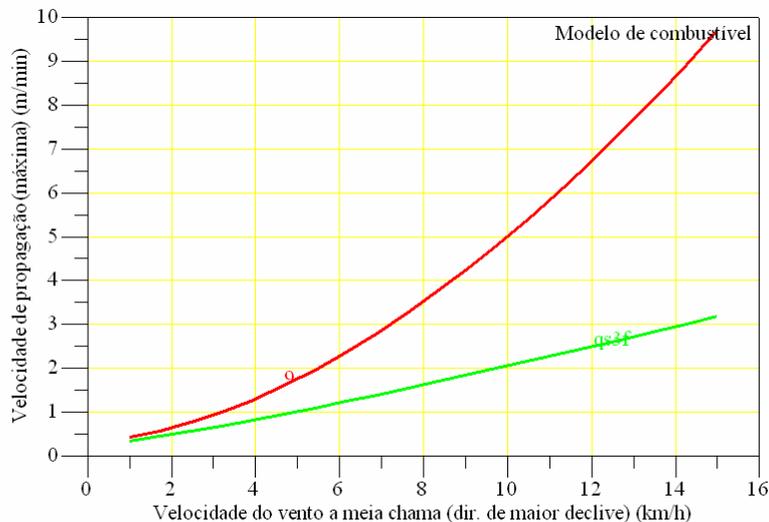


Gráfico 8 - Velocidade de propagação versus velocidade do vento na folhada

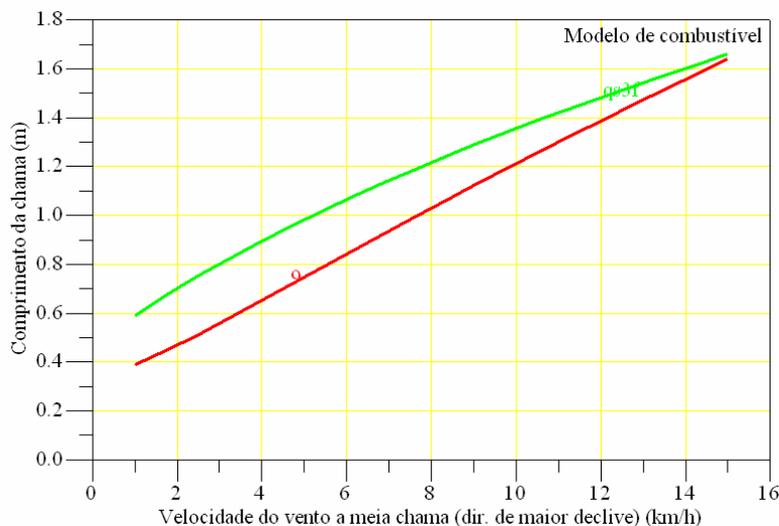


Gráfico 9 - Comprimento da chama versus velocidade do vento na folhada

Fazendo uma comparação entre o nosso modelo QS3 e o modelo NFFL 9, podemos ver que há diferenças entre eles. A velocidade de propagação do modelo americano, a partir dos 4 km/h, tem um aumento brusco enquanto que o modelo três apresenta um aumento menos acentuado e constante, provavelmente devido à relativamente grande compactação da folhada do sobreiro.

Já o comprimento da chama do modelo QS3 é maior que o comprimento da chama do modelo americano à medida que a velocidade do vento aumenta. Porém, a taxa de crescimento do modelo QS3 diminui a partir de 4 km/h, aproximando-se a chama do mesmo valor que o modelo americano aos 15 km/h. O modelo americano apresenta um aumento constante à medida que a velocidade do vento aumenta. De novo, a compactação da folhada deverá explicar esta diferença de comportamento.

5.1.4.2. Combustível dominado por herbáceas (Modelo QS4 vs modelo NFFL 2)

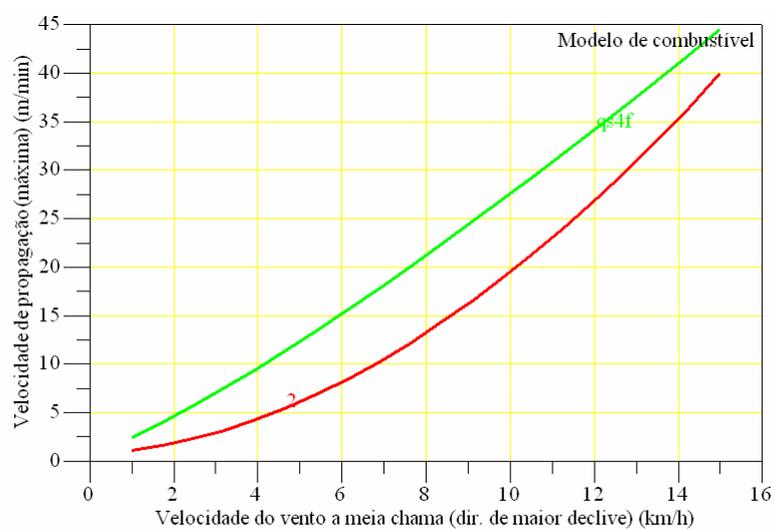


Gráfico 10 - Velocidade de propagação versus velocidade do vento nas herbáceas

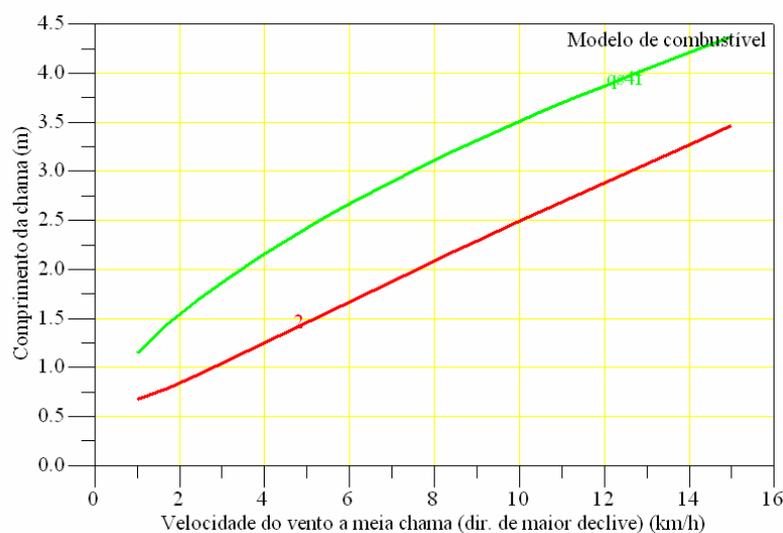


Gráfico 11 - Comprimento da chama versus velocidade do vento nas herbáceas

Nas herbáceas, podemos ver que o nosso modelo QS4 apresenta comportamentos mais severos em relação ao comprimento da chama e à velocidade de propagação. Para esta última, embora o modelo QS4 apresente uma evolução constante à medida que o vento aumenta, o modelo americano, perto dos 3 km/h, começa a ter um aumento mais brusco. Para o comprimento da chama, é o modelo americano que apresenta uma evolução constante e menos severa que o modelo quatro.

5.1.4.3. Combustível dominado por arbustivas (Modelo QS2 vs modelo NFFL 6)

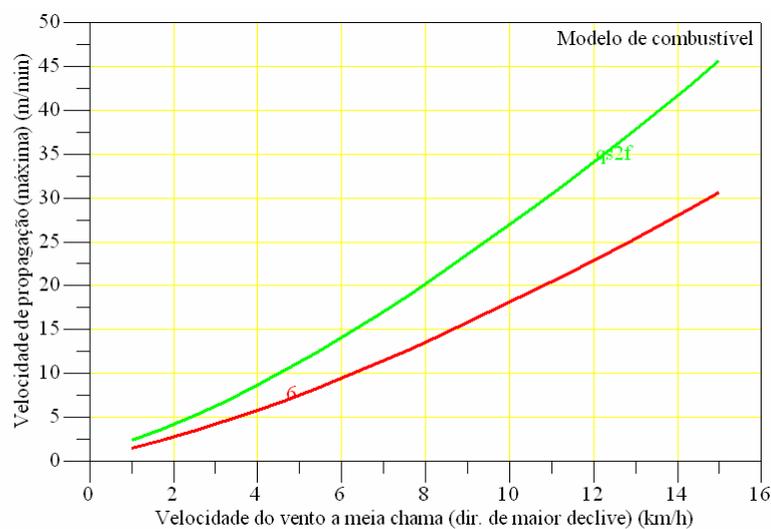


Gráfico 12- Velocidade de propagação versus velocidade do vento nas arbustivas

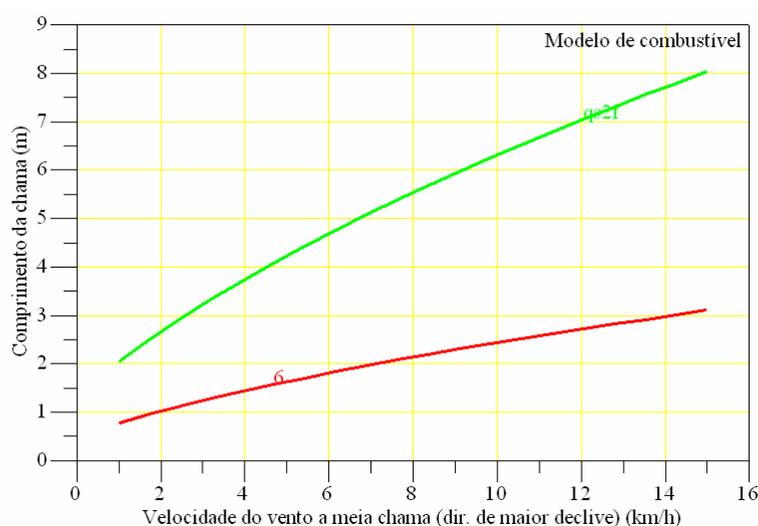


Gráfico 13 - Comprimento da chama versus velocidade do vento nas arbustivas

Comparando os modelos QS2 e NFFL 6, vemos que para a velocidade de propagação os modelos apresentam uma evolução muito similar, embora no modelo QS2 a velocidade de propagação seja mais elevada.

No modelo QS2, a chama é mais comprida que no modelo e a diferença acentua-se com o aumento da força do vento. Quando o vento atinge cerca de 15 km/h, o comprimento da chama é aproximadamente 2,5 vezes superior no modelo QS2 relativamente ao NFFL 6.

5.2. Série fotográfica

A série fotográfica dos modelos de combustível, que de seguida se apresenta, é constituída por fotografias das parcelas representativas dos vários modelos de combustível para sobreiral na Terra Quente.

Para cada um dos modelos foi criada uma tabela onde é inserida uma fotografia geral e uma fotografia da folhada da parcela que melhor representa cada modelo. São também inseridas na tabela as informações recolhidas em campo e os valores obtidos após tratamento dos dados, relativos às condições locais do combustível, povoamento e fisiografia, e que apresentam maior relevo para a análise do comportamento do fogo.

Coberto Sub-coberto		<i>Quercus suber</i> <i>Cytisus striatus</i>		Parcela: P17 Local: Freixiel	
				Declive	20°
				Exposição	250°
				Substrato	granito
				Árvores	
		Altura	9,4 m		
		Altura base da copa	4,5 m		
		Densidade	316 ha ⁻¹		
		Área basal	18,3 m ² ha ⁻¹		
					
Cargas de combustível (t ha⁻¹)		Arbustos		Estrato arbustivo	
				Altura: 0,82 m; coberto: 69,5%	
Folhada L (1hr)	0,69	1hr	6,56	Modelo de combustível: QS1 / NFFL 6 Estrutura IFN: Aberto	
Folhada F	0,44	vivo <6 mm	10,01		
Herbáceas	0,692	10hr	0,23		
		vivo 6-25 mm	0,06		

Coberto Sub-coberto		<i>Quercus suber</i> <i>Cistus</i> e <i>Cytisus</i>		Parcela: P2 Local: Romeu	
				Declive	36°
				Exposição	315°
				Substrato	granito
				Árvores	
		Altura	7,6 m		
		Altura base da copa	4,2 m		
		Densidade	1 ha ⁻¹		
		Área basal	74,6 m ² ha ⁻¹		
					
Cargas de combustível (t ha⁻¹)		Arbustos		Estrato arbustivo	
				Altura: 2 m; coberto: 60%	
Folhada L+F	9,39	1hr	13,44	Modelo de combustível QS2 / NFFL: 4/5 Estrutura IFN: entre alto e fechado e baixo e aberto	
Herbáceas	0	vivo <6 mm	8,41		
		10hr	4,13		
		vivo 6-25 mm	9,23		

Coberto Sub-coberto		<i>Quercus suber</i> <i>Cytisus striatus</i> ; <i>C. scoparius</i>		Parcela: P7 Local: Romeu	
				Declive	35°
				Exposição	125°
				Substrato	granito
				Árvores	
				Altura	7,8 m
				Altura base da copa	3,4 m
				Densidade	300 ha ⁻¹
				Área basal	20,7 m ² ha ⁻¹
					
Cargas de combustível (t ha⁻¹)		Arbustos		Estrato arbustivo	
				Altura: 0,80 m; coberto: 10%	
Folhada L+F	11,39	1hr	11,64	Modelo de combustível QS3 / NFFL:	
Herbáceas	0	vivo <6 mm	0,41	6	
		10hr	0,26	Estrutura IFN: baixo e aberto	
		vivo 6-25 mm	0,14		

Coberto Sub-coberto		<i>Quercus suber</i> <i>Cytisus striatus</i>		Parcela: P13 Local: Vila Boa	
				Declive	19°
				Exposição	280°
				Substrato	xisto
				Árvores	
				Altura	7,8 m
				Altura base da copa	2,9 m
				Densidade	141 ha ⁻¹
				Área basal	3,3 m ² ha ⁻¹
					
Cargas de combustível (t ha⁻¹)		Arbustos		Estrato arbustivo	
				Altura: 0,66 m; coberto: 20%	
Folhada L+F	0	1hr	1,0	Modelo de combustível QS4 / NFFL: 1	
Herbáceas	0,56	vivo <6 mm	1,05	Estrutura IFN: Aberto e baixo	
		10hr	0,52		
		vivo 6-25 mm	1,15		

Coberto Sub-coberto		<i>Quercus suber</i> <i>Cytisus striatus</i> , <i>Cistus ladanifer</i>		Parcela: P22 Local: Marmelos	
			Declive Exposição Substrato		22° 111° xisto
			Árvores		
			Altura Altura base da copa Densidade Área basal		6,9 m 2,1 m 112 ha ⁻¹ 50,8 m ² ha ⁻¹
					
Cargas de combustível (t ha⁻¹)		Arbustos		Estrato arbustivo Altura: 0,8 m; coberto: 40%	
Folhada L+F	3,26	1hr	4,66	Modelo de combustível QS5 / NFFL: 5 Estrutura IFN: Aberto e alto	
Herbáceas	0,05	vivo <6 mm	3,68		
		10hr	0,27		
		vivo 6-25 mm	1,02		

6. Conclusões

Este trabalho procurou caracterizar os combustíveis presentes nos sobreirais típicos da Terra Quente Transmontana, desenvolvendo modelos de combustível que nos permitem diversas utilizações práticas, nomeadamente a cartografia do perigo de incêndio, o planeamento do combate a incêndios e o planeamento da gestão de combustíveis. Os modelos construídos foram comparados com os modelos padrão NFFL mais próximos, tendo-se constatado diferenças substanciais no comportamento estimado do fogo. Tal como outros estudos mostraram, os 13 modelos NFFL não são suficientes para descrever todo o comportamento possível do fogo. No entanto, um estudo deste tipo carece de validação posterior com dados reais de comportamento do fogo.

A utilização do Sistema Behave Plus permitiu-nos fazer várias simulações para o comportamento do fogo para diferentes situações ambientais. Concluiu-se mais uma vez ser um programa de grande ajuda para prever o comportamento de futuros fogos florestais em locais com combustível semelhante. Para além das capacidades de predição do sistema Behave Plus, podemos recorrer à série fotográfica elaborada para classificar de forma expedita o nível local de perigo de incêndio e para nele prever o comportamento do fogo.

O fogo apresenta um comportamento mais severo nas parcelas mais abertas, onde a altura média do combustível existente é bastante elevada, dominadas por vegetação arbustiva (essencialmente giestas ou estevas). Nestas parcelas, a propagação vai ser muito rápida envolvendo as copas das árvores, e o comprimento da chama atinge valores muito elevados sendo impossível o ataque frontal ao fogo pelas equipas de supressão. Nos locais onde é abundante a folhada, e as herbáceas não se encontram presentes ou estão em pouca quantidade, o fogo será moderadamente lento, com chamas pequenas, ocasionalmente grandes. Nestes casos, o controlo do fogo é possível através de meios terrestres recorrendo a água sob pressão e máquinas de rastro.

Relativamente aos valores obtidos nas simulações, a velocidade de propagação do fogo variou globalmente entre 3,2 m/min e 45,7 m/min nos modelos concebidos. O comprimento da chama e a intensidade da frente de chama apresentam valores mais baixos no modelo QS3, dominado por folhada, 1,7 m e 783 kW/m respectivamente. É no modelo QS2, dominado pelo estrato arbustivo, que a severidade do comportamento do

fogo é mais elevada (8 m para o comprimento da chama e 24206 kW/m para a intensidade de frente de fogo). Podemos então concluir que nas parcelas estudadas o comportamento do fogo vai apresentar duas situações genéricas: fogo rápido e bastante intenso, na maioria das situações, ou fogo moderadamente lento e moderadamente intenso.

8. Bibliografia

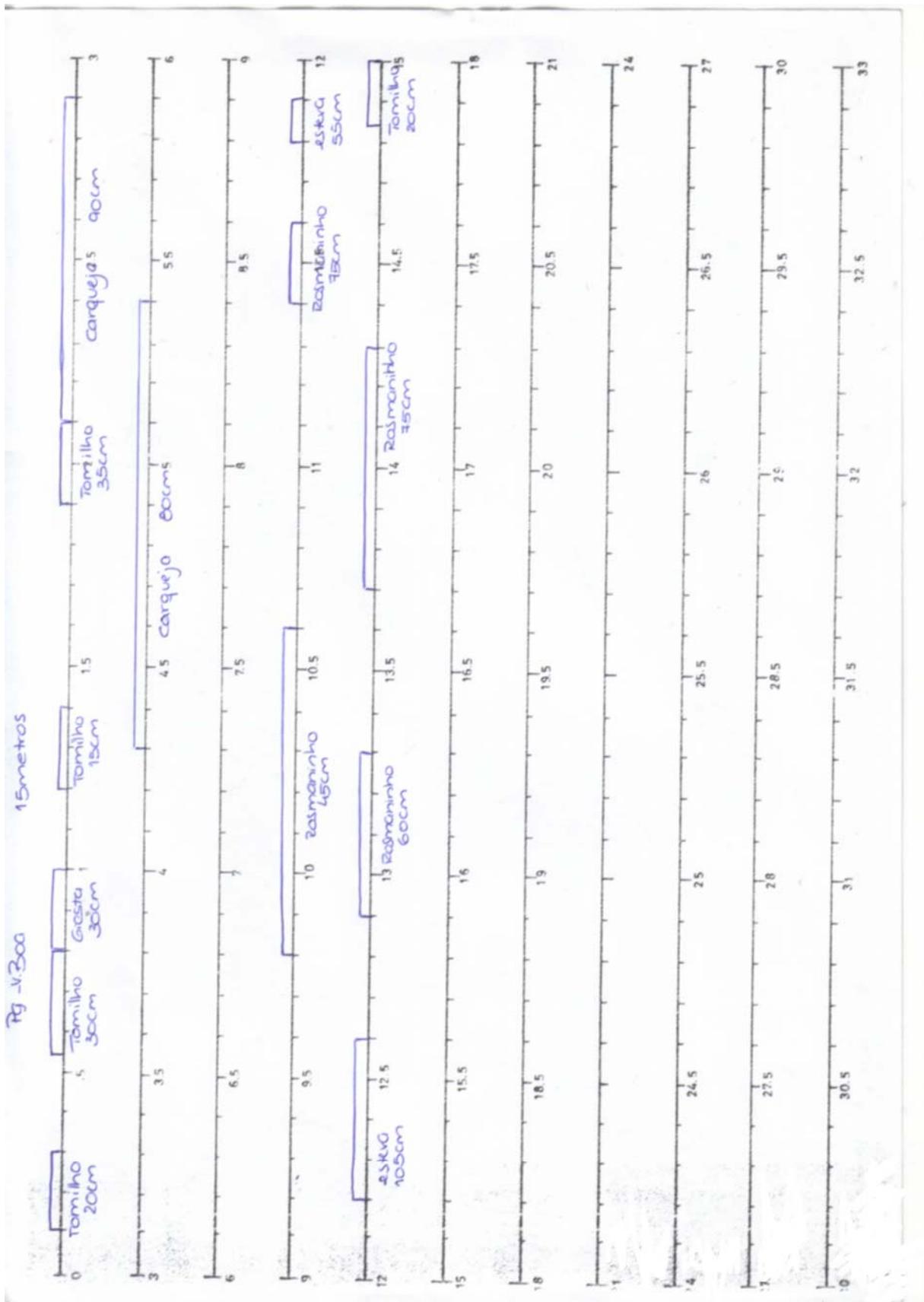
- Andrews, P.L. (2007) Behave Plus: Fire modelling system: past, present and future. US Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Missoula, Montana.
- Andrews, P.L., Bevins, C.D., Seli, R.C. (2008). Behave Plus fire modelling system. US Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Missoula, Montana.
- António, C.M. (sem data). O montado de sobreiro e os seus produtos. Acesso: <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=2098&iLingua=1>
- Beutling, A. (2005). Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais. Universidade Federal do Panamá.
- Botelho, H., E. Varejão, P. Fernandes, e F. Rego. (1990). Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo. Pp. 729-742 In Livro II Congresso Florestal Nacional, Novembro de 1990, Faculdade de Economia, Porto.
- Bradshaw, L.S.; J.E.Deeming; R.E. Burgan & J.D. Cohen (1983). The 1978 National Fire-Danger Rating System. Technical Documentation. US Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden.
- Carvalho, P.A.C.F. (2005). Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa.
- Castro, V.J.M. (2007). Sobrevivência do sobreiro a incêndios em Trás-os-Montes e Alto Douro. Relatório final de estágio, licenciatura em Ecologia Aplicada. UTAD, Vila Real
- Chuviero, E.; D. Riaño; J.V. Wagtendonk & F. Morsdog, 2003. Fuel Loads and Fuel Type Mapping. In Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. The Role Of Remote Sensing Data. A. P. Cracknell (Ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Costa, A., Pereira, H. (2007). Montados e sobreirais: uma espécie, duas perspectivas. Coleção Árvores e Florestas de Portugal: Os Montados, muito para além das árvores.
- Coutinho, B.S.G.V. (2006). Estudo do combustível da manta morta em bosques caducifólios e povoamentos de coníferas de agulha média e curta. Relatório final de estágio, Licenciatura Eng^a Florestal, UTAD, Vila Real
- Cruz, M.G. (2005). Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais- Região centro de Portugal. Coimbra

- Fernandes, P.A.M. (1991). Caracterização do combustível florestal em ecossistemas de *Pinus pinaster* Ait.: Aplicação do Sistema Behave. Relatório final de estágio, Licenciatura em Eng^a Florestal. UTAD, Vila Real
- Fernandes, P.A., Pereira, J.P. (1993). Caracterização de combustíveis na Serra da Arrábida. Silva Lusitana. Revista da Estação Florestal Nacional. Lisboa
- Fernandes, P.A.M. (1997). Caracterização do combustível e do comportamento do fogo em comunidades arbustivas do Norte de Portugal. Curso de mestrado em Eng^a de Recursos Florestais. UTAD, Vila Real
- Fernandes, J.A.M. (1994). Caracterização de algumas características de combustíveis florestais. UTAD, Vila Real
- Fernandes, P.M., Ruivo, L.M., Gonçalves, P.C., Rego, F.C., Silveira, S.C. (2000) Dinâmica da combustibilidade nas comunidades vegetais da Reserva Natural da Serra da Malcata. Congresso Ibérico de Fogos Florestais. Castelo Branco
- Fernandes, P.A.M. (sem data). A avaliação do comportamento do fogo no combate a incêndios florestais. UTAD, Vila Real
- Fernandes, P., Luz, A., Loureiro, C., Ferreira, P.G., Botelho, H. (sem data). Fuel modelling and fire bazard assessment based on data from the Portuguese National Forest Inventory. UTAD, Vila Real
- Fernandes, P.A.M., (sem data). Silvicultura Preventiva e Gestão de Combustíveis: Opções e Optimização
- Lara, C.H. (2000). Combustibles Forestales: inflamabilidad. In La Defensa contra incêndios forestales- fundamentos y experiências, McGraw Hill, Madrid
- Macedo, F. W. & A.M. Sardinha (1993). Fogos florestais. Publicações Ciência e Vida, Lisboa.
- Melo, L.A.M.N. (2005). Modelagem de combustíveis florestais no Parque Nacional de Iguaçu, Paraná, Brasil. Curso de mestrado em Eng^a Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná, Brasil
- Moreira, F., Duarte, I., Catry, F., Acácio, V. (2007). Cork extraction as a key factor determining port-fire cork oak survival in a montain region of southern Portugal. Forest Ecology and Management (1-3): 30-37.
- Natividade, J.V. (1990). Subericultura. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Direcção Geral de Florestas, Lisboa.
- Palheiro, P.M. (2001). Quantificação de resíduos de exploração: comparação de metodologias de inventário e comportamento do fogo associado. Relatório interno de estágio. Centro de estudos sobre incêndios florestais. Coimbra.

- Patacho, D. (2007). A importância dos Montados de Sobreiro em Portugal. *Jornal Quercus* Julho/Agosto 2007
- Pereira, J.S. (2004). Efeito do Coberto Arbóreo e Herbáceo na Sobrevivência e Crescimento de Plântulas de Sobreiro e Azinheira. Lisboa
- Pinto, T.M.S. (2002). Descortiçamento em *Quercus suber* L.- Influência na dinâmica fotossintética. Tese de doutoramento em Eng^a Ambiental. UTAD, Vila Real.
- Rigolot, E. (1990). Combustíveis. In A Técnica do fogo controlado. UTAD, Vila Real.
- Rodrigues, A.P.P. (1995). Caracterização dos combustíveis florestais e de sub-bosque no Parque Natural de Montesinho - Aplicação do sistema Behave. Relatório final de Estágio. Licenciatura em Eng^a Florestal. UTAD, Vila Real.
- Silva, M.L.F.H. (1990). Incêndios florestais em Trás-os-Montes: Variabilidade e importância das características dos combustíveis florestais durante a “Estação normal de fogos”. Relatório final de Estágio. UTAD, Vila Real.
- Silva, J.S., Catry, F. (2006). Forest fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *International Journal of Environmental Studies*, 63(3): 235-257.
- Varejão, E.B.S. (1991). Caracterização de Combustíveis em Ecossistemas Florestais: Aplicação do Sistema Behave. Relatório final de estágio. Licenciatura em Eng^a Florestal. UTAD, Vila Real
- Cohen, M., Cuiñas, P., Diez, C., Fernandes, P., Guijarro, M., Moro, C. (sem data) “Deliverable D6-03-A1, Wildland fuel particles characterisation database content”

Anexos

Anexo 1 – Ficha de campo para a linha de intercepção



FCT - Modelos de combustível

FICHA A: dados miscelâneos e da parcela. Estratos do sub-bosque, transição e arbóreo.

Código Local Coorden.

Data Hora fotos Exposição Declive

Distância da parcela anterior: Substrato

Estrato arbóreo

Espécies	%	Espécies	%
Q. Subar	100		

Coberto total =
 Altura média =

Nº árv. por classe DAP em m²

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
		II	III			I							

Estrutura Modelo NFFL ¹ Vector do fogo

¹ folhada (F), herb. (H), arbust. (A), lenhosos (L)

Continuidade vertical e combustível de transição

	Base	Topo	% cob.
² Altura da base da copa <input type="text" value="4,1m"/>			
<input type="text" value="Estrutura irregular"/>			
Arbustos > 2 ou andar dominado			
³ Outros			

² do andar dominante ou codominante ³ Preencher apenas se significativo para fogo de copas

Madeira morta (d > 7 cm)

Acumulação basal não-lenhosa

Combustível lenhoso caído Distribuição:

Vegetação do sub-bosque (< 2 m)

Estrato	Espécie	Coberto, %	Altura, cm	% morto
Arbustivo	Ch. Ind.	linha de intercepção		60%
	Cytisus			10%
	Thymus			20%
	Lavandula			50%
Sub-arbustivo				
Herbáceo		10%	80cm	

Espeçura L+F

2,5	3,5
2	3
1,5	3
1	2
2	1,5
cob=70%	

Observações

Anexo 2 – Ficha de campo

Desenvolvimento de modelos de combustível para avaliação do perigo de incêndio nos espaços florestais portugueses
Projecto POCI/AGR/61164/2004

FICHA PARA PESAGEM DE COMBUSTÍVEIS

Código da parcela:

CATEGORIAS	Peso húmido (g)	Peso seco iliq. (g)	Tara (g)	Peso seco (g)
Folhada				
L	164,82	242,24	86,53	155,71
F	438,51	583,31	166,91	416,40
Herbáceas				
	18,58	83,25	66,04	17,21
	89,48	218,19	140,91	77,28
Folhas (fetos)				
d<6 mm				
6<d<25 mm				
Lenhosos				
d<6 mm	20,82	23,68	8,08	15,60
	419,83	456,83	126,82	330,01
6<d<25 mm	284,42	337,88	74,00	263,88
	20,29	20,54	8,14	12,40
d>25 mm				
Arbustos vivos				
d<6 mm	28,69	27,82	8,12	19,7
	730,81	1124,63	564,21	560,42
6<d<25 mm	25,75	32,36	8,16	24,20
	15,15	18,29	7,23	11,06
d>25 mm				
Madeira morta				
d<6 mm				
6<d<25 mm				
d>25 mm				

Anexo 3 – Ficha usada em laboratório

Anexo 4 – Valores de cargas de combustíveis, relação superfície volume e poder calorífico obtidos para cada parcela

Nº	Código	Altura média	L+F	Carga final (t/ha)				Rel. S/V		Pcalor	
				Herbáceas	1hr	10hr	vivo<6	vivo	1hr	vivo	1hr
1	P1-Romeu	0,64	5,58	0,48	6,58	3,14	0,19	3206	4285	20500	20345
2	P2-Romeu	1,29	9,39	0,00	13,44	4,13	8,41	3206	3625	20500	20500
3	P3-Romeu	0,40	6,52	0,00	7,49	0,99	1,59	3411	3884	21500	20696
4	P4-Romeu	0,57	6,65	0,33	8,03	1,06	2,56	3000	3871	19500	20163
5	P5-Romeu	0,44	10,17	0,17	11,98	1,66	4,00	3000	3770	19500	20197
6	P6-Romeu	1,40	0,00	0,87	1,65	2,14	0,91	3411	5656	21500	20033
7	P7-Romeu	0,10	11,39	0,00	11,64	0,26	0,41	5456	4051	22000	20552
8	P8-Romeu	1,53	0,00	0,29	1,79	1,54	2,47	3411	3893	21500	21185
9	P9-Vila Boa	0,56	0,74	0,34	1,99	0,73	1,53	4500	4810	21000	20536
10	P10-Vila Boa	0,36	7,30	0,26	9,00	0,95	3,68	4500	4256	22000	20944
11	P11-Vila Boa	0,24	6,78	0,00	7,36	0,38	1,48	7500	4626	22500	20858
12	P12-Vila Boa	0,23	6,16	0,03	6,80	0,00	1,60	3411	3895	21500	20697
13	P13-Vila Boa	0,57	0,00	0,56	1,07	0,52	1,05	3411	5002	21500	20460
14	P14-Vila Boa	1,44	2,61	0,00	7,70	5,16	12,43	3000	3173	19500	19673
15	P15-Freixiel	0,21	2,66	0,59	3,50	0,28	0,45	3411	4568	21500	20302
16	P16-Freixiel	1,43	2,43	0,00	3,82	1,91	6,00	10000	8273	20500	20500
17	P17-Freixiel	0,75	1,13	0,52	6,56	0,23	10,01	3411	3671	21500	21270
18	P18-Freixiel	0,50	4,25	0,07	5,52	0,92	2,80	3411	3805	21500	20875
19	P19-Freixiel	0,26	3,52	0,15	4,18	0,53	0,85	3411	4018	21500	20624
20	P20-Freixiel	0,63	1,75	1,11	3,40	0,56	0,89	3411	5039	21500	20149
21	P21-Freixiel	1,01	5,48	0,11	7,38	4,99	1,16	3411	3961	21500	20640
22	P22-Marmelos	0,50	3,26	0,05	4,66	0,27	3,68	3206	3607	20500	20487
23	P23-Marmelos	0,41	7,04	0,00	9,64	3,04	7,20	3411	3702	21500	21006
24	P24-Marmelos	1,40	4,61	0,00	6,57	2,80	8,42	3456	3648	20750	20662
25	P25-Eivados	0,98	4,89	0,04	7,16	3,06	9,60	7500	6323	22500	21816
26	P26-Eivados	0,66	0,00	0,70	1,74	0,35	6,72	3000	3473	19500	19405

Anexo 5 – Valores utilizados para definição do número de modelos a construir

Nº	Código	Cob_herb.	Cob_arb.	Altura	folhada	ervas	Crg arb(finós+10hr)
1	P1-Romeu	30	25	0,64	5,58	0,48	3,85
2	P2-Romeu	0	60	1,29	9,39	0,00	16,60
3	P3-Romeu	0	20,67	0,40	6,52	0,00	3,55
4	P4-Romeu	57	15	0,57	6,65	0,33	4,67
5	P5-Romeu	20	45	0,44	10,17	0,17	7,29
6	P6-Romeu	60	45	1,40	0,00	0,87	3,83
7	P7-Romeu	0	10	0,10	11,39	0,00	0,92
8	P8-Romeu	50	30	1,53	0,00	0,29	5,51
9	P9-Vila Boa	10	37,33	0,56	0,74	0,34	3,18
10	P10-Vila Boa	10	60	0,36	7,30	0,26	6,06
11	P11-Vila Boa	0	42	0,24	6,78	0,00	2,43
12	P12-Vila Boa	10	60	0,23	6,16	0,03	2,21
13	P13-Vila Boa	90	20	0,57	0,00	0,56	2,07
14	P14-Vila Boa	0	75	1,44	2,61	0,00	22,68
15	P15-Freixiel	30	15	0,21	2,66	0,59	0,97
16	P16-Freixiel	0	37,14	1,43	2,43	0,00	9,31
17	P17-Freixiel	70	69,5	0,75	1,13	0,52	15,15
18	P18-Freixiel	5	20	0,50	4,25	0,07	4,92
19	P19-Freixiel	10	17,66	0,26	3,52	0,15	1,89
20	P20-Freixiel	70	25	0,63	1,75	1,11	1,99
21	P21-Freixiel	0	30	1,01	5,48	0,11	7,95
22	P22-Marmelos	5	40	0,50	3,26	0,05	5,31
23	P23-Marmelos	0	39	0,41	7,04	0,00	12,83
24	P24-Marmelos	0	50	1,40	4,61	0,00	13,07
25	P25-Eivados	10	60	0,98	4,89	0,04	14,90
26	P26-Eivados	60	85	0,66	0,00	0,70	8,11

Anexo 6 – Identificação das parcelas por cluster e respectivos valores utilizados

Código	Cluster	Altura média	CC final L+F (t/ha)	CC final herbáceas (t/ha)	Crg1hr	Crg10hr	Crg vivo<6	SVRvivo	SVR1hr	PC vivo	PC 1hr
P1-Romeu	5	0,63	5,57	0,4845	6,579219	3,1373	0,1932	3205,5	4285,346	20500	20345,05
P2-Romeu	2	1,29	9,39	0	13,4448	4,128	8,412	3205,5	3624,549	20500	20500
P3-Romeu	5	0,40	6,52	0	7,48717	0,9888	1,59135	3411	3884,445	21500	20696,19
P4-Romeu	4	0,57	6,65	0,3306	8,02932	1,06272	2,55744	3000	3870,52	19500	20162,56
P5-Romeu	5	0,44	10,17	0,174	11,98125	1,6605	3,996	3000	3769,863	19500	20197,06
P6-Romeu	4	1,40	0	0,87	1,6461	2,1421	0,9087	3411	5655,578	21500	20032,64
P7-Romeu	3	0,10	11,39	0	11,6441	0,256	0,412	5455,5	4050,795	22000	20552,35
P8-Romeu	4	1,53	0	0,29	1,7924	1,536	2,472	3411	3892,828	21500	21185,01
P9-Vila Boa	5	0,56	0,74	0,3368	1,991255	0,73	1,5328	4500	4809,543	21000	20535,54
P10-Vila Boa	5	0,36	7,30	0,261	8,99764	0,95118	3,67524	4500	4256,403	22000	20944,08
P11-Vila Boa	5	0,24	6,78	0	7,3568	0,382	1,476	7500	4625,666	22500	20857,52
P12-Vila Boa	5	0,23	6,16	0,032	6,7962	0	1,6039	3411	3895,259	21500	20697,49
P13-Vila Boa	4	0,57	0	0,558	1,065	0,516	1,0515	3411	5001,967	21500	20459,93
P14-Vila Boa	2	1,44	2,60	0	7,7006	5,161	12,4264	3000	3173,469	19500	19673,47
P15-Freixiel	5	0,21	2,66	0,59	3,50331	0,284221	0,4476	3411	4567,707	21500	20301,66
P16-Freixiel	2	1,43	2,43	0	3,82344	1,914	6	10000	8272,774	20500	20500
P17-Freixiel	1	0,75	1,13	0,5152	6,556037	0,2298	10,0117	3411	3670,988	21500	21270,3
P18-Freixiel	5	0,50	4,25	0,0655	5,52264	0,9208	2,7966	3411	3805,287	21500	20874,7
P19-Freixiel	5	0,26	3,52	0,145	4,1823	0,528	0,8498	3411	4017,599	21500	20623,97
P20-Freixiel	4	0,63	1,75	1,106	3,401245	0,55576	0,894426	3411	5038,676	21500	20148,84
P21-Freixiel	5	1,01	5,48	0,1053	7,3839	4,9877	1,1575	3411	3961,338	21500	20640,5
P22-Marmelos	5	0,50	3,26	0,0456	4,6612	0,2727	3,6815	3205,5	3607,484	20500	20486,95
P23-Marmelos	5	0,41	7,04	0	9,6351	3,04	7,201	3411	3702,204	21500	21005,6
P24-Marmelos	2	1,40	4,61	0	6,574304	2,804519	8,422956	3455,5	3648,233	20750	20661,51
P25-Eivados	2	0,98	4,89	0,0406	7,1633	3,0648	9,5979	7500	6323,368	22500	21815,66
P26-Eivados	1	0,66	0	0,702	1,7448	0,3465	6,7158	3000	3473,186	19500	19405,36



Módulos: SUPERFÍCIE

Descrição ➔

COMBUSTÍVEL/VEGETAÇÃO, SUPERFÍCIE/SUBCOBERTO

a partir de Modelo de C

Tipo de modelo de combustível ➔

Carga de combustível om 1-h TR

tonne/ha ➔

Carga de combustível om 10-h TR

tonne/ha ➔

Carga de combustível om 100-h TR

tonne/ha ➔

Carga de combustível herbáceo vivo

tonne/ha ➔

Carga de combustível arbustivo vivo

tonne/ha ➔

Relação superfície vol para combustíveis om 1-h TR

m²/m³ ➔

Relação superfície vol para combustíveis herbáceos vivos

m²/m³ ➔

Relação superfície vol para combustíveis lenhosos vivos

m²/m³ ➔

Espessura do estrato combustível

m ➔

Humidade de extinção dos combustíveis mortos

% ➔

Potência calorífica do combustível morto

kJ/kg ➔

Potência calorífica do combustível vivo

kJ/kg ➔

HUMIDADE DOS COMBUSTÍVEIS

Humidade de combustíveis om 1-h TR

% ➔

Humidade de combustíveis om 10-h TR

% ➔

Humidade de combustíveis mortos om 100-h TR

% ➔

Humidade dos combustíveis herbáceos vivos

% ➔

Humidade dos combustíveis arbustivos vivos

% ➔

METEOROLOGIA

Velocidade do vento a meia chama (dir. de maior decliv)

km/h ➔

TERRENO

Declive da encosta

% ➔

Anexo 8 – Valores para velocidade de propagação, intensidade da frente de fogo e comprimento da chama obtidos no Sistema Behave Plus

Combustível Modelo	Velocidade de propagação (máxima) m/min	Frente de chamas Intensidade kW/m	Chama Comprimento m
parcela1	52.4	12872	6.0
parcela10	24.9	14169	6.3
parcela11	24.2	8246	4.9
parcela12	19.0	7691	4.7
parcela13	23.9	1170	2.0
parcela14	34.3	22558	7.8
parcela15	20.0	3140	3.1
parcela16	157.5	25559	8.3
parcela17	27.6	17367	6.9
parcela18	29.5	9998	5.4
parcela19	21.0	4441	3.7
parcela2	60.4	53718	11.6
parcela20	53.5	6914	4.5
parcela21	60.1	18356	7.1
parcela22	24.3	7599	4.7
parcela23	17.4	14672	6.4
parcela24	48.8	22530	7.8
parcela25	76.3	33262	9.3
parcela26	10.0	1639	2.3
parcela3	31.4	12648	6.0
parcela4	38.3	16547	6.8
parcela5	27.1	20971	7.5
parcela6	70.7	4022	3.5
parcela7	7.6	3173	3.2
parcela8	45.9	3635	3.4
parcela9	31.4	2977	3.1

Anexo 9 – Valores obtidos para a variação da velocidade do vento a meia chama versus velocidade de propagação

Velocidade de propagação (máxima) (m/min)

Meia chama Velocidade do vento km/h	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
0.0	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
1.0	1.2	2.3	0.3	2.4	1.4
2.0	2.0	4.1	0.5	4.6	2.4
3.0	2.9	6.3	0.7	7.0	3.4
4.0	3.8	8.7	0.8	9.6	4.6
5.0	4.7	11.3	1.0	12.3	5.7
6.0	5.7	14.1	1.2	15.2	6.9
7.0	6.6	17.1	1.4	18.2	8.2
8.0	7.5	20.2	1.6	21.2	9.5
9.0	8.5	23.5	1.8	24.3	10.8
10.0	9.4	26.9	2.0	27.6	12.1
11.0	10.4	30.5	2.3	30.8	13.5
12.0	11.4	34.1	2.5	34.2	14.8
13.0	12.3	37.9	2.7	37.6	16.2
14.0	13.3	41.7	3.0	41.0	17.6
15.0	14.3	45.7	3.2	44.6	19.1

Anexo 10 – Valores obtidos para a variação da velocidade do vento a meia chama versus comprimento da chama

Comprimento da chama (m)

Meia chama Velocidade do vento km/h	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
0.0	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
1.0	1.4	2.0	0.6	1.1	1.4
2.0	1.8	2.7	0.7	1.5	1.8
3.0	2.1	3.2	0.8	1.9	2.2
4.0	2.4	3.7	0.9	2.2	2.5
5.0	2.7	4.2	1.0	2.4	2.8
6.0	2.9	4.7	1.1	2.7	3.0
7.0	3.1	5.1	1.1	2.9	3.3
8.0	3.3	5.5	1.2	3.1	3.5
9.0	3.5	5.9	1.3	3.3	3.7
10.0	3.7	6.3	1.4	3.5	3.9
11.0	3.8	6.7	1.4	3.7	4.1
12.0	4.0	7.0	1.5	3.9	4.3
13.0	4.1	7.4	1.5	4.0	4.5
14.0	4.3	7.7	1.6	4.2	4.6
15.0	4.4	8.0	1.7	4.4	4.8

Anexo 11 – Valores obtidos para a variação do declive versus velocidade de propagação

Declive %	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
0	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
1	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
2	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
3	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
4	0.4	1.2	0.2	0.8	0.6
5	0.4	1.2	0.2	0.9	0.6
6	0.4	1.3	0.2	0.9	0.7
7	0.5	1.3	0.2	0.9	0.7
8	0.5	1.4	0.2	1.0	0.7
9	0.5	1.4	0.2	1.0	0.7
10	0.5	1.5	0.2	1.1	0.8
11	0.5	1.5	0.3	1.1	0.8
12	0.6	1.6	0.3	1.2	0.8
13	0.6	1.7	0.3	1.2	0.8
14	0.6	1.8	0.3	1.3	0.9
15	0.6	1.9	0.3	1.4	0.9
16	0.7	1.9	0.3	1.5	1.0
17	0.7	2.0	0.3	1.6	1.0
18	0.7	2.2	0.3	1.7	1.1
19	0.8	2.3	0.3	1.8	1.1
20	0.8	2.4	0.3	1.9	1.2
21	0.9	2.5	0.3	2.0	1.2
22	0.9	2.7	0.4	2.1	1.3
23	1.0	2.8	0.4	2.2	1.4
24	1.0	2.9	0.4	2.4	1.4
25	1.1	3.1	0.4	2.5	1.5
26	1.1	3.2	0.4	2.6	1.6
27	1.2	3.4	0.4	2.8	1.6
28	1.2	3.6	0.5	2.9	1.7
29	1.3	3.8	0.5	3.1	1.8
30	1.3	3.9	0.5	3.2	1.9

Anexo 12 – Valores obtidos para a variação do declive versus comprimento da chama

Declive	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
0	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
1	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
2	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
3	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
4	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
5	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
6	0.9	1.5	0.5	0.7	1.0
7	0.9	1.6	0.5	0.7	1.0
8	0.9	1.6	0.5	0.7	1.0
9	0.9	1.6	0.5	0.8	1.1
10	1.0	1.7	0.5	0.8	1.1
11	1.0	1.7	0.5	0.8	1.1
12	1.0	1.7	0.5	0.8	1.1
13	1.0	1.8	0.5	0.8	1.1
14	1.0	1.8	0.5	0.9	1.2
15	1.1	1.8	0.5	0.9	1.2
16	1.1	1.9	0.6	0.9	1.2
17	1.1	1.9	0.6	0.9	1.2
18	1.1	2.0	0.6	1.0	1.3
19	1.2	2.0	0.6	1.0	1.3
20	1.2	2.1	0.6	1.0	1.3
21	1.2	2.1	0.6	1.0	1.4
22	1.2	2.2	0.6	1.1	1.4
23	1.3	2.2	0.6	1.1	1.4
24	1.3	2.3	0.6	1.1	1.5
25	1.3	2.3	0.6	1.2	1.5
26	1.4	2.4	0.7	1.2	1.5
27	1.4	2.4	0.7	1.2	1.6
28	1.4	2.5	0.7	1.3	1.6
29	1.5	2.5	0.7	1.3	1.6
30	1.5	2.6	0.7	1.3	1.7

Anexo 13 – Valores obtidos para a variação da humidade dos combustíveis 1hr versus comprimento da chama

1-h Humidade %	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
4	4.4	8.0	1.7	4.4	4.8
5	4.3	7.8	1.6	4.2	4.6
6	4.2	7.6	1.5	4.0	4.4
7	4.1	7.4	1.4	3.9	4.2
8	4.1	7.2	1.3	3.8	4.1
9	4.0	7.0	1.3	3.7	4.0
10	3.9	6.9	1.2	3.6	3.9
11	3.9	6.8	1.2	3.5	3.8
12	3.8	6.7	1.2	3.4	3.7
13	3.8	6.6	1.1	3.4	3.6
14	3.7	6.5	1.1	3.3	3.6
15	3.6	6.4	1.1	3.3	3.5
16	3.5	6.4	1.1	3.2	3.5
17	3.3	6.3	1.0	3.2	3.4
18	3.0	6.3	1.0	3.1	3.4
19	2.5	6.2	1.0	3.1	3.3
20	1.7	6.1	1.0	3.0	3.3
21	1.3	6.1	1.0	3.0	3.2
22	1.3	6.0	1.0	2.9	3.1
23	1.3	5.9	0.9	2.8	3.1
24	1.2	5.7	0.9	2.8	3.0
25	1.2	5.5	0.9	2.7	2.9
26	1.1	5.2	0.8	2.6	2.8
27	1.1	4.5	0.8	2.5	2.6
28	1.0	3.4	0.7	2.4	2.5
29	0.9	2.1	0.7	2.2	2.3
30	0.8	2.0	0.6	2.1	2.2

Anexo 14 – Valores obtidos para a variação da humidade dos combustíveis 1hr versus velocidade de propagação

1-h Humidade %	Modelo de combustível				
	qs1f	qs2f	qs3f	qs4f	qs5f
4	14.3	45.7	3.2	44.6	19.1
5	13.9	44.0	2.9	42.2	18.0
6	13.5	42.4	2.7	40.2	17.1
7	13.2	41.1	2.5	38.4	16.3
8	12.9	39.8	2.4	36.8	15.5
9	12.6	38.8	2.2	35.4	14.9
10	12.4	37.8	2.1	34.1	14.4
11	12.2	37.0	2.0	33.0	13.9
12	12.0	36.3	1.9	32.1	13.5
13	11.7	35.6	1.8	31.2	13.1
14	11.5	35.0	1.8	30.4	12.8
15	11.1	34.5	1.7	29.7	12.5
16	10.6	34.0	1.7	29.0	12.2
17	9.9	33.6	1.6	28.3	11.9
18	8.9	33.2	1.6	27.7	11.7
19	7.3	32.8	1.5	27.0	11.4
20	4.9	32.3	1.5	26.4	11.1
21	3.6	31.8	1.4	25.7	10.8
22	3.6	31.3	1.4	25.0	10.5
23	3.5	30.6	1.3	24.2	10.2
24	3.4	29.7	1.3	23.3	9.8
25	3.2	28.3	1.2	22.4	9.4
26	3.1	26.2	1.1	21.4	8.9
27	2.9	22.7	1.1	20.3	8.4
28	2.7	16.5	1.0	19.1	7.9
29	2.4	10.0	0.9	17.9	7.3
30	2.2	9.0	0.8	16.5	6.6