

Humidade do combustível em tipos florestais contíguos



Anabela Borges da Eira

**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 a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Ecossistemas

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

AGRADECIMENTOS

Com a finalização deste trabalho não posso deixar de expressar aqui os meus agradecimentos, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível, assim começo por agradecer:

-Ao Investigador Auxiliar Paulo Fernandes o orientador deste mestrado, que possibilitou a sua realização, disponibilizando meios, indicando e dispensando bibliografia, bem como toda a ajuda prestada ao longo de toda a realização do mestrado até á sua conclusão.

- Ao técnico Délio, por todo o apoio, interesse e disponibilidade demonstrado ao longo de todo o trabalho.

- A todas as pessoas do laboratório de fogos, que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

-Aos meus pais, irmão, amigos e familiares por estarem sempre presentes, pelo apoio e pela confiança.

-Á Maria, a minha grande amiga e companheira desde o inicio do Curso, por todo o apoio, carinho e amizade ao longo desta caminhada, sem a qual a mesma não teria sido fácil. Muito obrigada por tudo!

-Á D.Helena, pelo carinho, amizade, disponibilidade e ajuda desde o inicio do curso.

- A todas as pessoas que, directa ou indirectamente estiveram presentes ao longo destes anos académicos.

-E como não podia deixar de ser a ti Paulo, pelo apoio incondicional ao longo destes anos, pelo carinho e incentivo nos momentos menos bons, transformando-os em momentos felizes!

Esta dissertação foi efectuada no âmbito do projecto POCI/AGR/58896/2004, financiado pela FCT.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	4
ÍNDICE GERAL	5
Índice de quadros	7
Índice de figuras	8
I. ÂMBITO DO TRABALHO	9
1.1.Introdução	9
1.2.Objectivos.....	11
II. COMBUSTÍVEIS FLORESTAIS	12
2.1. Categorias	12
2.1.1. Vivos e mortos	12
2.1.2. Aéreos e de superfície	13
2.1.3. Em estratos	13
2.1.4. Em classes de tamanhos	14
2.2. Principais características dos combustíveis florestais	15
2.2.1. Físicas	16
2.2.2. Químicas	16
2.2.3. Térmicas.....	17
III. HUMIDADE DOS COMBUSTIVEIS FLORESTAIS.....	18
3.1. Generalidades;.....	18
3.1.1. Combustíveis vivos	18
3.1.2. Combustiveis mortos	19
3.2 Factores que influenciam teor de água nos combustíveis;	20
3.2.1 Intrínsecos	21
3.2.2. Extrínsecos.....	23

3.3. Influência na inflamabilidade e combustibilidade	25
3.4. Influência no comportamento do fogo	27
IV. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	30
4.1. Caracterização da área de estudo	30
4.2. Caracterização das espécies utilizadas neste estudo	31
4.3. Caracterização dos índices de risco de incêndio utilizados no estudo	34
4.4. Caracterização do método das varas utilizado no estudo	36
4.5. Recolha de dados	37
4.5.1. Humidade das réguas	37
4.5.2. Humidade da vegetação viva	37
4.5.3. Humidade das réguas e humidade das agulhas.....	38
V. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	40
5.1. Relação entre a humidade da folhada e a humidade das tábuas.....	40
5.2. Relação entre a humidade das tábuas de <i>Pinus pinaster</i> e a meteorologia. ..	43
5.3 - Influência do tipo de coberto florestal no teor de humidade das tábuas	46
5.4. Humidade foliar das espécies arbóreas.....	48
VI.CONCLUSÃO	50

Índice de Quadros

Quadro I- Area ardida versus ocorrências registadas entre 1996 e 2006 (DGRF)8

Quadro II - Classificação dos combustíveis por tamanho e tempo de retardação (RIGOLOT, 1988)..... 22

Quadro III - Humidade de extinção (adaptado de RIGOLOT, 1988) 27

Quadro IV- Temperaturas de secagem. Fontes: FERNANDES (1991), Viegas et al (1992)..... 36

Quadro V – Intervalo de variação da humidade da folhada, das tábuas e das variáveis metereológicas..... 38

Quadro V – Intervalo de variação da humidade da folhada, das tábuas e das variáveis metereológicas. 40

Quadro VI - Coeficientes de correlação (r), com nível de significância (p) entre a humidade da folhada e as variáveis meteorológicas..... 41

Quadro VII- Intervalo de variação da humidade das tábuas e das variáveis meteorológicas 42

Quadro VIII - Correlações entre a humidade da tábuas de *Pinus pinaster* e as variáveis meteorológicas..... 43

Quadro IX- Variação da humidade das tábuas e das variáveis metereológicas 46

Quadro X. Médias ajustadas da humidade por tipo de coberto, após ser considerado o efeito das variáveis meteorológicas..... 47

Quadro XI – Variação da humidade foliar nas diferentes espécies..... 49

..

Índice de Figuras

Fig. 1 – Localização da área de estudo..... 29

Figura 2: Relação entre a humidade da folhada e a humidade das tábuas. A linha a verde representa a concordância entre X e Y. A linha vermelha representa a equação de regressão, que nos permite prever a humidade da folhada em relação á humidade das tabuas.42

Figura 3: Relações entre a humidade das tábuas de *Pinus pinaster* e as variáveis meteorológicas.43

Figura 4: Relações entre humidade das tábuas e as variáveis meteorológicas, para os três tipos de coberto. Pontos vermelhos = *Pinus*, Pontos pretos=*Quercus*, Pontos verdes = *Pseudotsuga*46

Figura 5: Humidade foliar das diferentes espécies.....48

I. ÂMBITO DO TRABALHO

1.1. Introdução

Bênção ou catástrofe, o fogo pode ser bem ou mal utilizado pelo homem. Para os ecossistemas o fogo foi durante milhões de anos apenas mais um factor natural a condicionar a evolução das espécies.

A floresta portuguesa natural era principalmente constituída por árvores de folha caduca no Norte do país e árvores de folha perene a Sul. Actualmente, a área florestal portuguesa ascende aos 3 milhões de hectares, equivalente a 38% do território nacional, onde cerca de 85% da floresta pertence a privados. A floresta nacional contribui para a economia nacional em 3.100 milhões de euros (3% das receitas) (Trabalho realizado por Anabela Eira e Maria Silva no âmbito da cadeira semestral de fogos florestais, 2007).

Actualmente os fogos florestais são uma das principais ameaças aos ecossistemas florestais. Apesar de ser um elemento natural, o fogo quando se propaga num ecossistema desequilibrado pode provocar grandes impactos negativos. Para minimizar estes efeitos negativos são frequentemente elaborados planos de intervenção com o objectivo de restabelecer o equilíbrio do ecossistema florestal (PINTO, 2002).

A ocorrência de um incêndio tem toda uma série de efeitos que se verificam, quer na área ardida, quer em áreas próximas. A amplitude destes efeitos depende, em particular, da intensidade do incêndio o qual, por sua vez, depende dos factores meteorológicos, do combustível que é queimado e do declive do terreno.

Os incêndios florestais são um dos principais problemas ambientais em Portugal, tendo as mais variadas causas. A substituição crescente das espécies florestais nativas por espécies exóticas, nomeadamente resinosas, tem alterado profundamente os ecossistemas florestais, tornando-os mais vulneráveis à acção dos fogos (Macedo e Sardinha, 1987).

O fogo teve um papel determinante no processo de selecção natural, favorecendo as espécies mais resistentes em detrimento das mais vulneráveis, e também menos inflamáveis. Conduziu assim à formação de comunidades vegetais adaptadas e até dependentes do fogo.

Com a alteração do uso do fogo no sistema agro-florestal, tendo este sido praticamente excluído devido, por um lado à grande redução do pastoreio, que leva à acumulação de grandes quantidades de biomassa, por outro à arborização das áreas de montanha com pinheiro bravo, criaram-se assim as condições necessárias para que os incêndios florestais atingissem a gravidade actual.

O Quadro 1 traduz a gravidade da situação das florestas Portuguesas e alerta para a necessidade de serem tomadas medidas mais eficazes, para que este quadro se altere.

Quadro I- Area ardida versus ocorrências registadas entre 1996 e 2006 (DGRF)

Ano	Ocorrências	Área Ardida		Área Total
		Povoamentos	Matos	
1996	28.626	30.542	58.325	88.867
1997	23.497	11.466	19.068	30.535
1998	34.676	57.393	100.975	158.369
1999	25.477	31.052	39.561	70.613
2000	34.109	68.646	90.958	159.605
2001	26.533	45.318	66.532	111.850
2002	26.488	65.160	59.251	124.411
2003	26.195	286.055	139.671	425.726
2004	21.870	56.109	73.430	129.539
2005	35.697	213.517	124.745	338.262
2006	19.929	36.323	39.187	75.510
MÉDIA	27.557	81.961	73.791	155.753

A protecção e o planeamento florestal são as melhores armas na prevenção dos incêndios. São muito importantes as acções de prevenção principalmente na gestão dos combustíveis, de forma a travar o fogo e a facilitar o seu combate.

A intensidade de um incêndio é tanto maior quanto maior for a quantidade de biomassa disponível para arder, sendo também proporcional à velocidade de propagação. É exactamente sobre o primeiro factor que o homem pode intervir através da utilização de técnicas de gestão de combustíveis, limitando assim o potencial energético e criando descontinuidade horizontal e vertical nos combustíveis, o que conduz também a uma redução da velocidade de propagação.

O fogo controlado permite manter as cargas de combustível florestal abaixo de níveis críticos, através de queimas pouco intensas no Inverno, reduzindo assim os incêndios destrutivos do verão. Mas as potencialidades do fogo controlado não se esgotam na prevenção de incêndios, podendo ser utilizado em diversas outras aplicações desde práticas silvícolas, a gestão de habitats e até na gestão de recursos aquíferos em regiões semi-áridas (FERNANDES et al, 2002)

O planeamento é extremamente importante, já que a melhor forma de minimizar o risco de incêndio começa desde logo com a selecção das espécies a implantar, e com a sua distribuição devendo fazer-se uma compartimentação de resinosas por folhosas. Passa também pela construção de corta-fogos, e outros infra-estruturas de apoio ao combate, como pontos de água, e ainda por intervenções silvícolas como desbastes, desrames e cortes.

As condições meteorológicas, devido ao seu efeito directo na alteração do estado do combustível são um factor importantíssimo no aparecimento e desenvolvimento de um incêndio. No entanto, as alterações provocadas no teor de humidade dos combustíveis variam de acordo com o tipo de coberto florestal, e com a sua composição. Por este motivo é importante conhecer o efeito do tipo de floresta na humidade do combustível, para assim de acordo com as condições meteorológicas, ser possível definir qual o melhor plano de combate à deflagração e propagação de incêndios.

1.2. Objectivos

Com este trabalho pretende-se analisar um dos mais importantes parâmetros da caracterização do perigo de incêndio, a humidade do combustível, dado o efeito que tem na inflamabilidade e combustibilidade da matéria vegetal.

Embora as condições meteorológicas sejam de extrema importância na regulação do teor de humidade dos combustíveis, principalmente dos mortos, o tipo de vegetação influencia também este parâmetro porque afecta as condições micro-meteorológicas no interior do povoamento. Assim, este trabalho incide em três diferentes tipos de coberto florestal, definidos pela sua densidade e composição:

- povoamento aberto, (constituído por indivíduos da espécie *Pinus pinaster*)
- povoamento moderadamente denso, (constituído por indivíduos da espécie *Quercus robur*)
- povoamento denso, (constituído por indivíduos da espécie *Pseudotsuga menziesii*)

Os objectivos do estudo são:

- Quantificar e analisar a diferença de humidade do combustível morto de superfície em formações florestais vizinhas e distintas quanto à sua composição e estrutura;
- Determinar a relação entre o teor de humidade dos combustíveis dos três tipos de coberto, e os parâmetros meteorológicos no sentido de obter resultados interessantes no âmbito da prevenção e combate de incêndios.

II. Combustíveis florestais

Combustível florestal é “qualquer substância ou mistura composta susceptível de ignição e combustão” (MORAIS,1995). MELO (2005) descreve material combustível como sendo qualquer material orgânico, tanto vivo como morto, no solo, sobre o solo ou aéreo, passivo de ignição e queima. Na realidade, todo o material constituído por carbono tetravalente está sujeito a entrar em combustão, desde que seja submetido à temperatura adequada e tenha atingido baixos teores de humidade e o respectivo ponto de ignição.

2.1. Categorias

Os combustíveis podem ser classificados de várias formas de acordo com diferentes critérios e parâmetros.

2.1.1. Vivos e mortos

Esta classificação de combustíveis é muito útil, pois durante um fogo os combustíveis vivos podem actuar como retardante do incêndio, uma vez que possuem uma humidade superior à dos combustíveis mortos (LARA, 1989) cit FERNANDES (1991) e VAREJÃO (1991).

2.1.2. Por estratos

Esta classificação segundo estratos é a mais relacionada com o modo de propagação de incêndios florestais, RIGOLOT (1988) *cit* VAREJÃO (1991) considera 4 estratos:

- 1 Subterrâneo
- 2 Superficial
- 3 Arbustivo
- 4 Arbóreo ou aéreo

Os combustíveis subterrâneos incluem as raízes e húmus.

Os combustíveis de superfície são os que se encontram na superfície do solo ou imediatamente acima dela, e compreendem todo o material inflamável vivo e morto, segundo TRABAUD (1989) *cit* VAREJÃO (1991), nomeadamente a folhada, musgos e líquenes, material lenhoso, ervas e arbustos pequenos.

Os combustíveis aéreos estão a alguma distância do nível do solo, e agrupam todos os materiais vegetais vivos e mortos como, por exemplo, segundo TRABAUD (1989) *cit* VAREJÃO (1991) arbustos altos, troncos, ramos e folhagem das árvores e árvores mortas, mas ainda em pé.

2.1.3. Por classes de tamanho

De acordo com o mesmo autor, os combustíveis podem ser classificados em três classes de tamanho:

- 1 Finos ou ligeiros, com diâmetro inferior a 6 mm, incluindo agulhas, folhas, ervas, manta morta em decomposição.
- 2 Regulares, com diâmetro entre 6 e 25mm, incluindo ramos finos e caules de arbustos.
- 3 Médios, com diâmetro entre 25 e 75mm, composto por ramos.
- 4 Grossos ou pesados, com diâmetro superior a 75mm, composto por ramos grossos e troncos.

2.2. Principais características dos combustíveis florestais

Segundo LARA (1989) *cit* FERNANDES (1991), as principais características dos combustíveis dividem-se em:

Físicas:

- Quantidade de combustível;
- tamanho e forma;
- compactação;
- continuidade (horizontal e vertical);
- densidade da madeira.

Químicas:

- Composição;
- humidade.

Térmicas:

- Calor específico;
- poder calorífico.

2.2.1. Características físicas

A **quantidade** de combustível é o peso seco por unidade de superfície, expresso geralmente em kg m^{-2} ou t ha^{-1} . Dentro desta característica deveremos ter em conta duas distinções importantes que são a **carga total ou potencial de combustível** (quantidade de fitomassa viva ou morta que se encontra acima do solo mineral podendo ser consumida no mais intenso fogo), sendo diferente da biomassa, (que inclui raízes e matéria animal), e ainda a carga de **combustível disponível** (quantidade de combustível disponível para combustão dependendo dos factores climáticos de onde se destaca a humidade, as dimensões do mesmo e não menos importante o estar ao alcance do fogo).

O **tamanho e a forma** das partículas influenciam directamente o comportamento dos incêndios, uma vez que determinam a razão entre superfície e volume. Quanto maior a razão superfície-volume, mais rápida a ignição e combustão.

A **compactação** traduz a relação entre as partículas de combustível e o oxigénio existente entre elas. Quanto menor a compactação, maior a quantidade de oxigénio disponível para a combustão, e conseqüentemente maior a velocidade de propagação.

A **continuidade** diz respeito à distribuição espacial dos combustíveis e divide-se em horizontal, muito importante na evolução de um incêndio, influenciando a dimensão da área ardida, e vertical, que condiciona a propagação do fogo em altura.

A **densidade do combustível** é definida como o peso por unidade de volume, quanto mais denso for o material maior a sua capacidade calorífica, ou seja maior a quantidade de calor que consegue absorver antes de entrar em ignição.

2.2.2. Características químicas

A **composição** química dos combustíveis determina essencialmente a sua inflamabilidade e combustibilidade, afectando assim a intensidade do fogo e a sua velocidade de propagação (CARVALHO, 2005)

Segundo RIGOLOT (1990) *cit* CARVALHO (2005), a **humidade** dos combustíveis está directamente relacionada com a aptidão desse combustível para a combustão, sendo mesmo o factor mais importante na avaliação do combustível, devido à influência que tem na inflamabilidade e no comportamento do fogo.

2.2.3. Características térmicas

O **calor específico** é a quantidade de calor necessária para elevar de 10°C a temperatura de 1g de combustível. Para a matéria vegetal é aproximadamente $1.4 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ VALETTE (1988) *cit* FERNANDES (1991).

Poder calorífico de um corpo é a quantidade total de calor que se liberta na combustão completa da unidade de massa desse corpo, em cal g^{-1} ou J g^{-1} . O poder calorífico está directamente relacionado com a composição química (DOAT e VALETTE, 1981) *cit* FERNANDES (1991).

III. Humidade de combustíveis florestais

3.1. Generalidades

A humidade dos combustíveis é a característica do combustível focada neste trabalho. Trata-se do parâmetro mais importante na avaliação do estado do combustível em termos de perigo de incêndio, uma vez que é o factor que maior influência tem na inflamabilidade e comportamento do fogo, segundo RIGOLOT (1990) *cit* CARVALHO (2005).

A humidade dos combustíveis é uma variável chave, uma vez que dela depende a ignição a propagação e a sustentação do fogo, além de influenciar em muito o seu comportamento e determinar o consumo de combustível. Contudo, a humidade do combustível é muito difícil de prever devido ao grande número de factores que a influenciam.

A humidade do combustível $HC\%$ define-se normalmente como a quantidade de água no combustível. Pode ser expressa em percentagem do peso seco e obtém-se a partir da seguinte fórmula:

$$HC\% = \frac{\text{peso húmido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (1)$$

A humidade do combustível pode também apresentar-se em relação ao peso verde.

3.1.1. Humidade dos **combustíveis vivos**

O teor de humidade nos combustíveis vivos varia de espécie para espécie, e depende dos processos fisiológicos como taxa de absorção de água e transpiração, que por sua vez são influenciados por factores do solo (arejamento, temperatura, tensão de humidade e

concentração de solutos) e factores climáticos (temperatura, a radiação solar, a humidade e o vento), variando estes com a hora do dia e a época do ano.

No verão, ao mesmo tempo que a disponibilidade de água no solo diminui por falta de chuva, a vegetação vai secando. A humidade dos combustíveis vivos pode variar de 300 por cento na folhagem nova até 40 por cento em arbustos xerófilos, sem consequências letais para estes (MACEDO e SARDINHA, 1987) *cit* FERNANDES (1991).

Os combustíveis vivos devido à sua elevada humidade funcionam como entraves ao desenvolvimento do fogo, assim quanto maior o seu teor de humidade, maior o tempo para a ignição e portanto mais baixa a propagação e velocidade do fogo.

3.1.2. Humidade dos combustíveis mortos

A humidade dos combustíveis mortos, ao contrário da humidade dos combustíveis vivos, é muito variável no tempo, pois reage as alterações diárias e horárias das condições meteorológicas. Embora seja uma área com bastantes estudos realizados, ao contrário do combustível vivo, as estimativas da humidade do combustível morto são pouco precisas, devido por um lado, ao facto dos combustíveis mortos não serem homogéneos, por outro lado porque a perda de humidade ocorre através de três mecanismos diferentes (evaporação, difusão capilar e libertação de água) e ainda devido a que a absorção da água se dá por vários processos, sendo que apenas dois (precipitação e absorção da atmosfera) são bem compreendidos.

O teor de humidade dos combustíveis mortos é geralmente inferior a 30%, embora com este valor de humidade dificilmente estejam disponíveis para arder. Apenas se consideram aptos quando o valor está abaixo dos 25% podendo mesmo ser necessário que o valor seja inferior a 15% dependendo do seu tamanho.

3.2. Factores que influenciam o conteúdo de água nos combustíveis

O teor de água dos combustíveis é sem dúvida o factor mais importante na caracterização do combustível, RIGOLOT (1991), sendo influenciado pelas condições meteorológicas, sendo as mais importantes, segundo BOTELHO e VENTURA (1988) *cit* MORAIS (1995), a humidade relativa do ar, a precipitação e a temperatura, mas temos também que ter em consideração o vento e a exposição solar, visto influenciarem também a temperatura e a humidade relativa do meio envolvente.

A retenção de água pelos combustíveis ocorre de três diferentes formas:

1. Toda a água que forma as soluções que rodeiam as partes internas do combustível, assim como os vasos mais largos constitui a água livre, proveniente da água líquida da chuva ou do solo, ocasionalmente da condensação de nevoeiro e, em certos locais de orvalho (MACEDO e SARDINHA, 1978 *cit* MORAIS 1995)
2. A água que faz parte integrante da planta é a água de constituição, ou intramolecular, sendo necessário alterar a estrutura da planta para ocorrer a sua perda (TRABAUD, 1989 *cit* MORAIS 1995).
3. A água que o combustível retira do ar constitui a água ligada, com ligações tão fortes como a água de constituição. Estando a quantidade desta condicionada principalmente pela humidade relativa e também pela temperatura.

Segundo MACEDO e SARDINHA (1987) as fibras do material vegetal contêm em simultâneo água livre e água ligada. A água livre perde-se por evaporação e segundo TRABAUD (1987) *cit* MORAIS (1995), esta evaporação depende inicialmente da velocidade do vento, da temperatura do combustível e da pressão do vapor de água da atmosfera. A evaporação termina quando se atinge a humidade de equilíbrio, ou seja, quando a pressão de vapor de água no interior do vegetal é igual a pressão atmosférica. Após atingir-se este equilíbrio ocorrem fenómenos de absorção e desorção, como resposta às alterações da temperatura e humidade relativa do ar.

A quantidade de água dos combustíveis varia ao longo do ano, das estações e mesmo ao longo do dia, sendo os combustíveis mortos os mais afectados. As variações são resultado de factores extrínsecos e intrínsecos

3.2.1. Factores extrínsecos

Segundo LARA (1989) *cit* MORAIS (1995), os factores meteorológicos que maior efeito têm na quantidade de água nos combustíveis são:

- Temperatura e humidade do ar;
- vento;
- precipitação;
- estação do ano;
- exposição e declive.

Todos estes factores, exceptuando o último, têm uma influência directa na humidade dos combustíveis, sendo esta influência maior nos combustíveis mortos uma vez que estes reflectem de forma directa as condições meteorológicas locais. Quanto aos combustíveis vivos, embora também percam água à medida que o solo a vai perdendo, como acontece no verão, apresentam uma humidade mais elevada que os mortos.

A temperatura do ar condiciona a temperatura dos combustíveis, e como consequência a velocidade de evaporação da água contida nos mesmos, sendo por este motivo a temperatura do ar um dos indicadores das condições dos combustíveis e da humidade do ar (MORAIS, 1995).

A humidade do ar, ao contrário da temperatura, é responsável pelo teor da humidade dos combustíveis, principalmente dos mais finos (MACEDO e SARDINHA, 1987). A humidade relativa do ar varia ao longo do dia, dependendo em parte da temperatura, sendo mais elevada nas primeiras horas da manhã. À medida que a temperatura do ar aumenta, e se a humidade relativa baixar os combustíveis perdem rapidamente humidade sendo mais acentuada essa perda nos combustíveis mortos que nos vivos.

O vento e a exposição solar, devido à sua influência na temperatura e humidade do ar induzem alterações na humidade dos combustíveis. O vento retira a humidade dos combustíveis quando estes se encontram expostos, podendo também ter um efeito oposto quando os mesmos se encontram praticamente secos, refrescando-os (TRABAUD 1989 *cit* MORAIS 1995).

A chuva, segundo MACEDO e SARDINHA (1987), é o único factor que pode elevar o teor de humidade dos combustíveis acima dos 30%. O número de dias de chuva, assim como a quantidade de precipitação ocorrida influenciam directamente o teor de humidade dos combustíveis, variando esta com o tipo de combustível (grosso ou fino), principalmente se existir um contacto entre ambos, sendo este o principal factor climático na determinação do teor da humidade dos combustíveis (FORBERG, 1977 *cit* MORAIS 1995).

Ao longo do ano, e de acordo com as estações as condições climáticas variam, na primavera após as chuvas de Inverno as herbáceas estão saturadas de água (30 a 35% do seu peso seco). Com a aproximação da estação mais seca do ano, o verão, vai havendo uma diminuição progressiva do teor de humidade, chegando a atingir valores bastante inferiores a 10% no estado de secura completa. Isto porque o solo não tem disponibilidade de água para as plantas reporem a que perde por evaporação, agravando-se este estado de secura à medida que aumenta o número de dias sem chuva (MORAIS 1995).

Segundo TRABAUD (1989) *cit* MORAIS (1995), o orvalho é também um dos factores que, embora de forma indirecta influencia o aumento do teor de humidade dos combustíveis, isto porque o orvalho fornece humidade ao solo que, por sua vez, a liberta por evaporação aos combustíveis mortos, e aos vivos através da absorção por parte das raízes da planta.

A exposição e o declive influenciam de forma indirecta a quantidade de água nos combustíveis, uma vez que condicionam a quantidade de radiação solar que estes recebem, e também porque a radiação solar é responsável pelo aquecimento do solo e da atmosfera, que por sua vez vão também influenciar a perda de água dos combustíveis.

Os combustíveis expostos ao sol secam mais rapidamente do que os que se encontram à sombra, atingindo mais rapidamente a humidade de equilíbrio. O mesmo acontece com os combustíveis com exposição a sul, que perdem mais água uma vez que estão mais tempo expostos aos raios solares que aqueles expostos a norte. Ainda segundo TRABAUD (1989) *cit* MORAIS (1995) o movimento aparente do sol faz com que ao longo do dia se verifiquem alterações significativas no teor de humidade dos combustíveis, assim como no vento que tem um efeito contrário ao sol ao diminuir a temperatura dos combustíveis devido à deslocação de ar.

3.2.2. Factores intrínsecos

O teor de humidade dos combustíveis pode ser aproximadamente zero, ou ultrapassar os trezentos por cento. Esta variação tão acentuada deve-se por um lado às condições meteorológicas, por outro a factores relacionados com a própria planta, como sejam: parte da planta, o seu estado fenológico e o tipo de combustível. Os rebentos constituem a parte das plantas que apresentam um maior conteúdo de água (LARA, 1989) *cit* MORAIS (1995). Verifica-se também um teor de água muito elevado durante a floração, assim como um menor teor de humidade nas partes mais lenhificadas das plantas, ou seja, vai diminuindo no sentido da copa para o solo.

Um outro factor muito importante na variação da humidade dos combustíveis é como já foi mencionado o estado do mesmo, ou seja, o facto de se tratar de combustível vivo ou morto, sendo que no morto a humidade é normalmente inferior a 30% e varia mais bruscamente que no vivo uma vez que os mecanismos de regulação natural não funcionam, estando por isso muito condicionado pelas condições climáticas.

O tempo de retardação é uma medida de rapidez de secagem, conceito desenvolvido por BYRAM (1963) *cit* FERNANDES (1991), e é definido como sendo o tempo necessário para os combustíveis atingirem a humidade de equilíbrio (condição na qual o combustível não aumenta nem diminui o seu teor de humidade) com a humidade ambiente, ou seja, o tempo necessário para que os combustíveis atinjam 2/3 ou 63 por cento da humidade de equilíbrio, dependendo este tempo essencialmente da dimensão do material, ou seja, da sua relação superfície / volume.

Dada a importância deste conceito na previsão da humidade do combustível e na sua classificação, Forberg fez corresponder a cada uma das classes de tamanho um regime de tempo de retardação (Quadro 2).

Quadro II - Classificação dos combustíveis por tamanho e tempo de retardação (RIGOLOT, 1988)

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

O tempo que um combustível demora a atingir o teor de humidade de equilíbrio é condicionado pelo ambiente atmosférico, e depende também da fragmentação e exposição do combustível e da velocidade do vento, que por sua vez influencia o gradiente de humidade na vizinhança da superfície do combustível. Assim um tronco de grande dimensão ou um material compacto demora muito mais tempo a alterar a sua humidade do que as ervas secas que reagem mais rapidamente as variações atmosféricas pois são muito fragmentadas e estão mais expostas.

3.3. Influência na inflamabilidade e combustibilidade

A inflamabilidade pode ser definida como a maior ou menor capacidade que uma substância possui, de entrar em combustão, quando submetida a uma fonte de calor. Ainda segundo TRABAUD (1989) esta grandeza tem influência sobre o perigo de ignição de um incêndio e sobre a rapidez de propagação inicial (MORAIS, 1995).

A inflamabilidade depende das principais características dos combustíveis, que ao variarem provocam também uma variação na inflamabilidade, características anteriormente referidas:

- estrutura
- teor em água
- composição mineral e presença de substâncias voláteis
- estados fisiológicos e fenológico.

Segundo FERNANDES (1991) a inflamabilidade varia ao longo do ano de acordo com os estados fisiológicos e fenológicos de forma decrescente com a ordem seguinte:

- Frutificação;
- repouso vegetativo hibernar;
- floração;
- rebentação;
- crescimento activo e desenvolvimento aéreo da planta.

A inflamabilidade é mais correctamente uma propriedade do ecossistema do que das espécies individuais (DIMITRAKOPOULUS e METEEVA, 1998) *cit* CARVALHO (2005). Enquanto a inflamabilidade analisa os micro-fenómenos, a combustibilidade reprodu-los à escala do povoamento (CARMELLE e CLEMENT, 1978) *cit* MORAIS (1995).

A combustibilidade pode definir-se como a capacidade de uma substância arder depois de se inflamar, ou segundo TRABAUD (1978) *cit* MORAIS(1995) a capacidade de um vegetal ou um conjunto de vegetais, propagar o fogo no qual se consome, estando dependente não só da estrutura da formação mas também da presença de espécies muito inflamáveis.

Para que um combustível comece a arder, é necessária a evaporação de toda a humidade em excesso, ocorrendo esta através da absorção de calor. Esta quantidade de calor que é necessário fornecer para que o combustível inflame é influenciada pelo teor de humidade do mesmo, uma vez que aumenta principalmente o calor específico e a condutividade térmica do combustível (CHANDLER, 1983) *cit* MORAIS (1995) aumentando assim a quantidade de calor absorvida pela superfície do combustível para que se atinja o ponto de inflamação.

Segundo MACEDO e SARDINHA (1987), a combustão da madeira dá-se em três fases, podendo no caso de incêndios florestais ocorrer em simultâneo:

1ª Fase de pré-aquecimento

2ª Fase da combustão gasosa

3ª Fase da combustão do carbono

Na fase de pré-aquecimento ocorre o aquecimento, desumidificação e destilação parcial dos combustíveis. É durante esta fase que o teor de humidade desempenha um papel muito importante, devido à sua acção na velocidade da combustão e na libertação de gases para a atmosfera. O vapor de água que se liberta com a combustão dilui o oxigénio do ar circundante, fenómeno de "asfixia", este fenómeno acontece quando a soma da pressão de todos os gases iguala a pressão atmosférica.

A temperaturas normais este fenómeno de "asfixia" praticamente não existe, apenas se verifica para temperaturas superiores ao ponto de ebulição da água e com elevada libertação desta, uma vez que dificulta o contacto do oxigénio do ar com o combustível. A

circulação do ar é também muito importante, uma vez que o seu aumento pode aumentar a dissipação da humidade em excesso e assim ajudar a manter a combustão.

Segundo TRABAUD (1989) o teor elevado de água nos combustíveis diminui consideravelmente o valor da taxa de combustão, que é definida como a velocidade de produção de calor libertado num fogo por unidade de tempo numa dada superfície. O mesmo autor refere ainda MCARTHUR (1967) que a taxa de combustão aumenta rapidamente à medida que a humidade decresce (MORAIS 1995). Como exemplo, para um combustível com um teor de humidade de 3% em relação ao seu peso seco, o calor emitido durante a combustão será aproximadamente quatro vezes superior ao que seria emitido se o teor de humidade fosse de 10% em vez de 3%.

Assim a humidade dos combustíveis não determina apenas a quantidade de calor que um combustível necessita para arder, ou seja para atingir o ponto de inflamação, determina também a quantidade de calor que os combustíveis libertam durante a combustão aos combustíveis vizinhos.

MACEDO e SARDINHA (1987), em várias medições de temperatura das chamas durante a combustão de diferentes de combustível referem um valor médio, que varia entre 870°C para combustíveis com uma humidade superior a 40%, que se podem verificar na Primavera, e 980°C para combustíveis bastante mais secos como acontece no Outono (MORAIS, 1995).

3.4. Influência no comportamento do fogo

Quando falamos em comportamento de um fogo, temos que ter em consideração os vários factores que o influenciam, as suas características, que conduzem a impactos mais ou menos graves. Uma dessas características é a velocidade de propagação que pode variar de apenas alguns metros por semana até vários km h^{-1} nos fogos mais violentos.

A velocidade de propagação do fogo depende de vários factores. Alguns, como a quantidade de combustível e a velocidade do vento têm uma influência positiva, aumentando a velocidade de propagação à medida que aumentam. O mesmo não acontece em relação ao teor de água, uma vez que quanto mais elevado for o teor de humidade dos combustíveis menor será a velocidade de propagação. TRABAUD (1989) *cit* MORAIS (1995) refere também que esta propagação pode mesmo ser nula se o combustível disponível forem herbáceas saturadas em água, ou ter um efeito totalmente contrário e a propagação ser extremamente rápida se as herbáceas se encontrarem secas.

Segundo McARTHUR (1967) *cit* MORAIS (1995) para a mesma velocidade do vento se ocorrer uma diminuição do teor de humidade do combustível de 7% para 2%, a velocidade de propagação do fogo irá duplicar. Também o teor de humidade superficial dos combustíveis, e a humidade do ar condicionam o desenvolvimento e progressão de grandes fogos, devido a formação de focos secundários. O aparecimento dos focos secundários é a pior característica do comportamento de fogos tempestuosos, devido ao efeito que tem na intensidade do mesmo e também no que respeita à dificuldade do seu combate.

Para MACEDO e SARDINHA (1987) as faúlhas mais perigosas são as que caem perto da frente de fogo, onde os combustíveis já estão pré-aquecidos e novos focos de ignição são facilmente origináveis. A probabilidade de ocorrer ignição é muito variável, estando muito dependente do teor de humidade do combustível, podendo ser próxima de zero, se o teor de humidade dos combustíveis estiver entre os 25 e os 30 por cento do seu peso seco (TRABAUD, 1989 *cit* MORAIS 1995).

Assim um fogo florestal é condicionado pelo teor de humidade dos combustíveis de várias formas, uma vez que determina a possibilidade de ignição, influencia a velocidade da combustão, e porque do teor de humidade depende a maior ou menor formação de focos de ignição provocados pelas faúlhas, que podem aumentar a velocidade de propagação do fogo. Como exemplo, admitindo que durante um grande incêndio são arrastadas 4 000 faúlhas por km² na frente de fogo, se a humidade do combustível for elevada permitindo apenas a ignição de 0,1% dos focos, apenas quatro novos focos se formam. Se a humidade

for muito baixa permitindo a ignição de 0,5% dos focos, duzentos novos focos secundários se formam.

É durante a estação quente que ocorre com maior frequência a eclosão de grandes fogos florestais, devendo-se esta situação à combinação de temperaturas elevadas com baixos valores de humidade relativa do ar, que levam a uma diminuição do teor de humidade dos combustíveis tanto vivos (por transpiração) como mortos. Segundo MACEDO e SARDINHA (1987) o comportamento do fogo é influenciado de várias formas pela seca prolongada, uma vez que interfere com a secagem dos estratos inferiores, e também dos mais compactos como ramos e troncos, o que se reflecte num aumento da velocidade de combustão, devido ao aumento da quantidade de combustível disponível para arder.

O teor de humidade dos combustíveis influencia também outros parâmetros do comportamento do fogo, como sejam a intensidade do fogo e o comprimento da chama, que está relacionado de forma directa com a intensidade da frente do fogo.

Um outro parâmetro muito importante é a humidade de extinção, que corresponde ao teor máximo de água que o combustível pode possuir, acima do qual não é possível haver combustão com chama. Segundo RIGOLOT (1988) *cit* VAREJÃO (1991) tem os valores do Quadro 3.

Quadro III - Humidade de extinção (adaptado de RIGOLOT, 1988)

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%

Assim, e de acordo com o MACEDO e SARDINHA (1987), os factores que determinam a extinção ou o desenvolvimento de um fogo e que são influenciados pelo teor de humidade dos combustíveis podem resumir-se a três:

- 1º - a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura do combustível até ao ponto de ignição;
- 2º - a eficácia na transferência do calor aos combustíveis vizinhos durante a combustão;
- 3º - a velocidade com que o oxigénio é mobilizado para a combustão.

IV. Metodologia experimental

4.1. Caracterização da área de estudo

O local de estudo onde decorreu o trabalho de campo localiza-se no arboreto da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, concelho de Vila Real,

Vila Real encontra-se na zona de transição entre a Terra Fria e a Terra Quente. Tem um clima de extremos, "nove meses de Inverno e três de inferno", um provérbio que provém do facto do Verão ser muito quente e o Inverno longo e frio, chegando a atingir-se os 0°C e a ocorrer precipitação em forma de neve. Este clima é reflexo da situação geográfica da cidade, rodeada pelas serras do Marão e Alvão, que funcionam como barreira natural. A Serra do Marão é uma formação montanhosa de origem xistosa e granítica, de formas abruptas, tendo como ponto mais alto os 1415m, e uma atitude média entre os 450 e os 650m. Situada na zona climática da Terra de Transição a temperatura média anual de Vila Real varia entre 12 e 14°C, com uma precipitação total média anual superior a 1200mm.

O arboreto é constituído por uma grande variedade de espécies, desde autóctones a exóticas, onde se podem encontrar resinosas e folhosas, e espécies de folha caduca e folha perene. A sua distribuição não é regular, podendo encontrar-se vários exemplares da mesma

espécie aglomerados num mesmo local, ou uma única árvore dispersa no meio de várias outras árvores de outras espécies.



Fig. 2 – Localização da área de estudo

4.2. Caracterização das espécies utilizadas neste estudo

O **castanheiro** (*Castanea sativa*) é uma caducifólia de crescimento lento, com grande longevidade e que podemos actualmente encontrar espalhada um pouco por todo o mundo. Em Portugal encontra-se reduzida a uma área inferior a 30 mil hectares. Pode atingir 30 a 35m de altura, sendo pouco exigente, adapta-se a solos pobres e climas rigorosos, tem preferência por solos leves, profundos e arejados, de natureza granítica e xistosa, temperaturas entre os 10 e 22 °C e altitudes entre os 400 e os 1000m com uma pluviosidade média, visto não se adaptar bem em solos com tendência para o encharcamento. Pode ser explorada tanto pela produção de fruto (castanha) como pela madeira de grande qualidade. Um dos motivos da diminuição da área do castanheiro é a doença provocada pelo ataque de *Phytophthora cambivora*, vulgarmente conhecida como “tinta dos castanheiros”. Outro motivo são os fogos florestais, esta espécie demonstra uma resistência muito baixa, tanto ao nível das folhas extremamente vulneráveis, como a nível do tronco

que apresenta uma casca pouco espessa, com baixo isolamento térmico. Outro factor importante é a acumulação de folhas e ouriços, que formam uma manta morta vulnerável ao fogo, e que permite que o mesmo seja mais violento (Gonçalo,).

O **carvalho roble** (*Quercus robur*), vulgarmente conhecido como carvalho alvarinho, é uma caducifólia de crescimento lento, necessita de 60 anos para atingir a sua maturidade e produzir fruto em abundância. Trata-se de uma árvore de grande porte, podendo atingir os 40m, e com grande longevidade chegando mesmo a ultrapassar os 500 anos. Esta espécie autóctone prefere ambientes temperados com verões e Invernos pouco marcados, e baixas altitudes embora em determinadas situações se possa encontrar entre os 800 e 1000m como por exemplo no Gerês. Necessita de grandes quantidades de água motivo pelo qual requer solos com grande retenção e locais com elevada pluviosidade. Prefere solos fundos e férteis, principalmente de origem siliciosa, podendo também desenvolver-se em solos de origem calcária e ligeiramente ácidos. Informação baseada em “ os carvalhais” JOAQUIM SANDE SILVA.

O **medronheiro** (*Arbutus unedo*) é uma ericácea autóctone, que podemos encontrar em todo o país. Uma planta de porte arbóreo ou arbustivo que atinge os 5 a 10m de altura. É muito conhecida e importante do Mediterrâneo, especialmente em Portugal, tanto pela sua utilização como planta ornamental (devido as flores e frutos muito vistosos), como pelo fruto comestível, nomeadamente utilizado na produção de aguardente de medronho, sendo conhecida também a sua aplicação a nível medicinal. É uma espécie com preferência por solos siliciosos embora tolere os calcários. Toleram também o ensombramento e climas secos com baixa pluviosidade. Podemos encontrá-la até aos 1200 metros de altitude. É uma espécie que renova através do cepo e que pode viver mais de 200 anos. A área ocupada por esta espécie tem vindo a diminuir, em 1995 o medronheiro ocupava 13,1% da área florestal do Algarve, com os incêndios da última década estes valores caíram para cerca de 1/3.

O **pinheiro bravo** (*Pinus pinaster*) é uma conífera de crescimento rápido, com grande representatividade em Portugal. É uma resinosa autóctone que atinge alturas entre os 20 e 40 metros e pode viver 200 anos, mas em geral não ultrapassa os 100 anos. Sendo uma

espécie com grande plasticidade em termos climáticos, podemos encontrá-la praticamente em todo o país, excepto no Alentejo interior. A sua distribuição depende de determinadas características como sejam, temperatura entre os 8°C e 15°C, nunca ultrapassando nos meses mais quentes uma temperatura média de 20°C, sensível ao frio, como as geadas de primavera, morre se a temperatura for inferior a -15°C. Encontra-se em altitudes até 700-900 m. Prefere solos permeáveis, com profundidade média, mesmo quando apresentam valores baixos de salinidade e calcário, sendo pouco tolerante a solos encharcados e com elevada compactação. Ecologicamente é uma espécie muito importante uma vez que mesmo em solos muito degradados, devido a grande capacidade vegetativa e rapidez de crescimento, contribui para o aumento da matéria orgânica, melhora as condições edafoclimáticas e proporciona sombra que favorece o desenvolvimento de novas espécies.

Em relação ao fogo trata-se da espécie actualmente mais afectada, devido às suas características, como seja a presença de resina um composto altamente volátil, que resulta numa elevada inflamabilidade, a grande quantidade de manta morta acumulada no subcoberto, o sub-bosque, e também devido à sua estrutura aérea relativamente densa que leva a fogos de copas muito difíceis de combater. No entanto trata-se de uma espécie que apresenta alguma resistência ao fogo, por um lado o facto de possuir uma casca espessa, que lhe permite resistir a fogos pouco intensos, e por outro o facto de possuir pinhas fechadas que abrem com o calor do fogo permitindo assim a reprodução e perpetuação da espécie. Informação baseada em “Pinhais e Eucaliptais” JOAQUIM SANDE SILVA.

O **eucalipto** (*Eucalyptus globulus*) é uma espécie de crescimento rápido, com grande expansão devido à elevada produtividade, à facilidade de cultivo, e à alta qualidade do papel. A produtividade aumenta em climas mediterrânicos, com Invernos suaves sem ocorrência de geadas e temperaturas abaixo dos -10°C, pois estas condições podem levar a morte das folhas ou mesmo das plantas. A precipitação anual deve ser superior a 700m, uma vez que esta espécie apresenta maior rentabilidade em solos férteis e com elevada disponibilidade de água, embora possa resistir a períodos de escassez, uma vez que se trata de uma espécie com grande capacidade de adaptação. Espécie introduzida em Portugal há mais de cento e cinquenta anos, demonstra uma resposta positiva ao fogo, principalmente quando os mesmos se dão em povoamentos adultos. Esta resposta positiva deve-se a grande

capacidade de rebentar vigorosamente da toiça, e também ao facto de conseguir regenerar a copa, graças às reservas acumuladas na raiz e à elevada protecção térmica dos gomos. Informação baseada em “Pinhais e Eucaliptais” JOAQUIM SANDE SILVA.

A **pseudotsuga** (*Pseudotsuga menziessi*) é uma resinosa de crescimento rápido, originária da região costeira do Pacífico nos Estados Unidos da América e Canadá. É uma espécie de tolerância intermédia, que regenera preferencialmente em zonas de clareira de florestas naturais, vegeta em condições de clima temperado oceânico com uma pluviosidade média anual de 1250mm e temperatura média anual 10°C, podendo variar dos 3°C (temperatura média em Janeiro) aos 18°C (temperatura média em Julho). Tem preferência por solos com pH entre 5 e 5.5, reage mal a solos encharcados e apresenta elevada sensibilidade a zonas ventosas. A sua utilização está recomendada nas zonas serranas, acima dos 700 ou 800 metros, e de acordo com ALVES (1988) trata-se de uma resinosa muito importante devido por um lado a apresentar crescimentos significativamente mais rápidos que outras resinosas, por outro também por se julgar ser uma das mais favoráveis na evolução dos solos onde se instala (ALVES,1998).

4.3. Breve referência aos índices de risco de incêndio utilizados no estudo

Citando FERNANDES (2005), “O perigo de incêndio é classicamente definido como o resultado dos factores constantes e variáveis que afectam a deflagração, propagação e dificuldade de extinção dos incêndios assim como os danos por eles causados. Os factores ditos constantes – declive do terreno, combustível – dependem da localização e variam lentamente no tempo, enquanto que os factores variáveis (condições meteorológicas) sofrem evoluções temporais rápidas mas podem afectar áreas extensas de forma similar”.

Em Portugal nos últimos anos tem sido utilizado o Sistema Canadano de Indexação de Perigo de Incêndio, pois concluiu-se após a realização de um conjunto de testes estatísticos que este apresenta o melhor desempenho tanto na discriminação do número de incêndios por dia, como na área ardida por dia. Este Sistema é de fácil utilização, e os

respectivos índices são calculados pelo Instituto de Meteorologia.

O Sistema Canadano de Indexação de Perigo de Incêndio é constituído por vários índices:

FFMC — Índice humidade do combustível morto e fino

Trata-se de um valor numérico que exprime a humidade contida nos combustíveis mortos de superfície. É um indicador da facilidade relativa de ignição que é muito sensível aos efeitos meteorológicos.

DMC — Índice de humidade da manta morta inferior

O DMC é um valor numérico que exprime a humidade média contida em níveis orgânicos compactos, mas soltos, de profundidade moderada. O índice indica a profundidade de queima na manta morta. A manta morta demora mais tempo a secar, mas as condições meteorológicas das duas semanas anteriores têm enorme efeito no DMC.

DC — Índice de seca

O DC é o valor numérico que exprime a humidade contida em materiais mais compactos (o húmus) e lenhosos de grande volume. É um indicador útil de seca e mostra a probabilidade de fogo subterrâneo. É necessário um período longo sem chuva (o sistema usa 52 dias) para secar estes combustíveis e maximizar o DC.

BUI — Índice do combustível disponível

Este índice é um indicador do combustível existente para combustão. É calculado a partir do DMC e o DC.

ISI — Índice evolução inicial do fogo

Indica o valor da evolução inicial do fogo. É calculado tendo em conta o FFMC e o factor vento.

FWI — Índice de perigo de incêndio

O FWI é o índice global de perigo de incêndio que combina o ISI e o BUI e indica a intensidade potencial do fogo. A escala original do FWI divide-se em 4 classes de risco: baixo (0-7), moderado (8-16), elevado (17-31) e extremo (32+). Para além dos índices é ainda possível calcular parâmetros de comportamento de um fogo que eventualmnete venha a deflagrar nestas condições:

4.4. Caracterização do método das varas utilizado no estudo

O método das varas é um dos métodos utilizado em Portugal e em outros países como o Canadá e os E.U.A, para avaliar o índice de perigo de incêndio. Devido a tratar-se de um método bastante promissor, foi já realizado no nosso país um trabalho na zona Centro onde foram utilizadas varas secas de *Pinus pinaster* (MORAIS, 1995).

As varas, réguas ou tábuas de madeira devem ter dimensões padronizadas, densidade uniforme e estarem anidras. Sendo utilizadas apenas na determinação da humidade de combustíveis mortos. A sua exposição varia de acordo com o sistema de indexação usado, no entanto as tábuas devem simular a exposição dos combustíveis, especialmente os mais críticos.

Neste estudo foram utilizadas nove tábuas de *Pinus pinaster* sendo colocadas três em cada um dos cobertos florestais.

4.5. Recolha de dados

4.5.1. Humidade das réguas

Foi preparado um conjunto de nove réguas de madeira, que depois de secas em estufa, foram identificadas, pesadas e os seus valores devidamente registados.

Para a colocação das varas assim como para a recolha do combustível morto foi escolhido um local onde se verificava uma separação mais ou menos visível das espécies. Foram colocadas três varas em cada um dos três tipos de coberto florestal (*Pinus*, *Quercus* e *Pseudotsuga*), devidamente afastadas entre elas e de forma a não estarem em contacto directo com o solo. Foram efectuadas pesagens frequentes sempre as 17 horas, na mesma balança, e em condições de céu limpo. Os valores obtidos estão registados no anexo I.

A humidade das réguas foi determinada através da equação 1.

4.5.2. Humidade das réguas e humidade das agulhas

Foram efectuadas recolhas de combustível morto no coberto florestal de *Pinus pinaster*, numa área limitada, onde foram também colocadas as três varas utilizadas anteriormente para medir a humidade no mesmo coberto.

As recolhas foram efectuadas em diferentes horas do dia, e em diferentes condições meteorológicas (céu limpo, céu encoberto, chuva na véspera e chuva no próprio dia) procedendo-se da seguinte forma:

- Era recolhida uma pequena quantidade de agulhas secas e inteiras (no mínimo 50g), da camada superior que não apresentassem qualquer indício de decomposição, eram colocadas num saco de plástico, o saco era fechado e transportado directamente para o laboratório, juntamente com as varas;
 - no laboratório era efectuada a pesagem da amostra e das varas e os valores registados;
 - o saco contendo a amostra era então aberto e a mesma colocada na estufa a 65°C durante 48 horas, as varas logo após a pesagem eram recolocadas no mesmo local;
 - após as 48 horas era novamente pesada a amostra registando-se o valor no anexo III.
- Todas as pesagens eram efectuadas na mesma balança sendo esta colocada o mais próximo possível da estufa, evitando assim absorção da humidade do ar por parte do combustível seco.

Relativamente à secagem dos combustíveis, FERNANDES (1991) constatou através de consultas a diferentes autores, que não existia concordância quanto ao tempo de secagem e qual a temperatura ideal, como podemos verificar no Quadro 4 onde são apresentados os valores utilizados pelos respectivos autores.

Quadro IV- Temperaturas de secagem. Fontes: FERNANDES (1991), Viegas et al (1992).

Autores	Temperaturas (°C)	Tempo de permanência (horas)
Van Wagner (1967)	100	24
Brown e Marsden (1976)	95	Não especificado
Trabaud (1976)	80	48
Caramelle e Clement (1978)	60	24
Rigolot (1987)	60	48
Pais (1988)	100	24
Vega e Casal (1988)	80	24
Lara (1990)	95-105	Não especificado
Viegas et al (1990)	100	4
Hartford e Rothermel (1991)	103	Não especificado
Natário (1990)	100	8 e 48

4.5.3. Humidade da vegetação viva

Foram efectuadas recolhas de material foliar vivo de seis espécies (eucalipto, pinheiro, carvalho, pseudotsuga, castanheiro e medronheiro).

Foram seleccionadas para as recolhas as árvores de mais fácil acesso para que a recolha se realizasse sempre na mesma árvore, apenas no caso de duas espécies (pinheiro e

medronheiro) devido a trata-se de árvores com uma menor dimensão por serem ainda jovens, e para que não provocássemos qualquer dano grave na planta, as recolhas foram efectuadas em mais que uma árvore.

A recolha das amostras de combustível realizava-se sempre às 11 horas e consistiam em:

1. Com o auxílio de uma tesoura de poda ou de uma craveira, era cortada uma amostra de folhas verdes (aproximadamente 50g).
2. As folhas eram colocadas individualmente em sacos plásticos, que eram de imediato fechados e em seguida transportados para o laboratório.
3. No laboratório era efectuada a pesagem das amostras e os valores registados.
4. As amostras eram então colocadas na estufa a 65°C durante 48 horas após se efectuar a abertura do saco.
5. Após as 48 horas era novamente pesada a amostra, registando-se os valores no anexo II. A balança utilizada era sempre a mesma, sendo esta colocada o mais próximo possível da estufa antes de se proceder à pesagem, evitando-se assim que o combustível absorvesse a humidade do ar antes da pesagem.

V. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Relação entre a humidade da folhada e a humidade das tábuas

Os dados de humidade das tábuas e da folhada juntamente com os dados meteorológicos foram sujeitos a uma análise de regressão múltipla, tendo-se eliminado as variáveis não significativas. As variáveis mais significativas e que melhor poderão explicar a relação existente entre a humidade das tábuas e a humidade da folhada, ou seja, se a humidade das tábuas reflecte a humidade real dos combustíveis, encontram-se no Quadro IV.

Quadro V – Intervalo de variação da humidade da folhada, das tábuas e das variáveis meteorológicas.

Variável	Mínimo	Máximo
Humidade da folhada (%)	2.8	101.9
Humidade das tábuas (%)	3.8	39.8
Temperatura (°C)	4.4	23.9
Humidade relativa (%)	35,0	99,0
Vento (km/hora)	0	14
Precipitação (mm)	0	17
FFMC	31.7	90,0
ISI	0,0	6.1
FWI	0,0	17.5

Podemos verificar que o intervalo de valores de humidade da folhada é bastante mais amplo do que os valores de humidade apresentados pelas tábuas. Isto mostra que as tábuas são incapazes de reflectir toda a amplitude de variação possível do teor de humidade, provavelmente porque a sua espessura não permite uma reacção rápida à variação atmosférica, não capturando assim os extremos.

A variável independente mais associada à humidade da folhada é a precipitação ($r = 0,54$), estando positivamente correlacionada com a humidade dos combustíveis. A temperatura do ar ($r = -0,38$) é também significativa, apresentando correlação negativa com o teor de humidade dos combustíveis.

O FFMC é dos índices seleccionados o que apresenta a melhor correlação com o teor de humidade dos combustíveis, o que se pode explicar pelo facto deste ser o índice do teor de humidade dos combustíveis finos, calculado apartir de dados meteorológicos (temperatura, humidade relativa, velocidade do vento e precipitação).

Quadro VI - Coeficientes de correlação (r), com nível de significância (p) entre a humidade da folhada e as variáveis meteorológicas.

Variáveis independentes	r	p
Temperatura (°C)	-0,38	0,04
Humidade relativa (%)	0,41	0,02
Vento (Km/hora)	-0,03	0,87
Precipitação (mm)	0,54	0,00
FFMC	-0,66	0,00
ISI	-0,58	0,00
FWI	-0,53	0,00

Também MARDSEN-SMEDLEY (1993) *cit* MORAIS (1995), ao tentar relacionar a humidade dos combustíveis finos com os vários parâmetros meteorológicos, apenas obteve boas correlações com a temperatura ($r = 0,87$), com a humidade relativa ($r=0,84$) e com o número de dias desde a ultima chuva ($r=0,54$). Todas as outras variáveis não eram significativas.

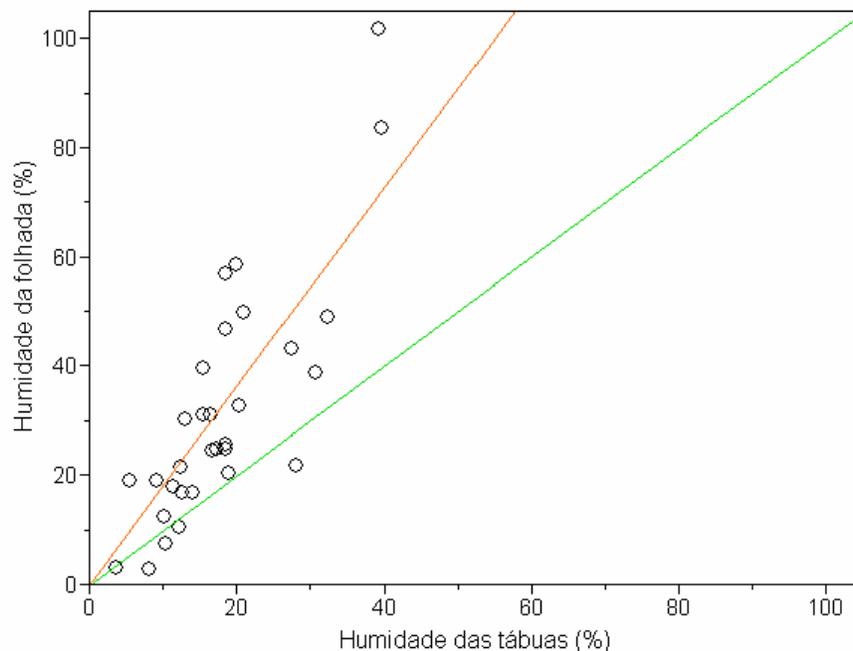


Figura 2: Relação entre a humidade da folhada e a humidade das tábuas. A linha a verde representa a concordância entre X e Y. A linha vermelha representa a equação de regressão, que nos permite prever a humidade da folhada em relação á humidade das tabuas.

A seguinte equação, representada na Figura 2, indica a relação entre os dois teores de humidade:

$$\text{Humidade da folhada} = 1.814 * \text{Humidade das tábuas}$$

com um erro padrão de 0.116.

A equação anterior explica aproximadamente 70% da variação da humidade da folhada em função da humidade das tábuas. Até cerca de 15% há concordância, a partir daí as tábuas subestimam a humidade real da folhada, em aproximadamente metade do valor, mais concretamente a humidade da folhada é 1.81 superior à humidade das tábuas.

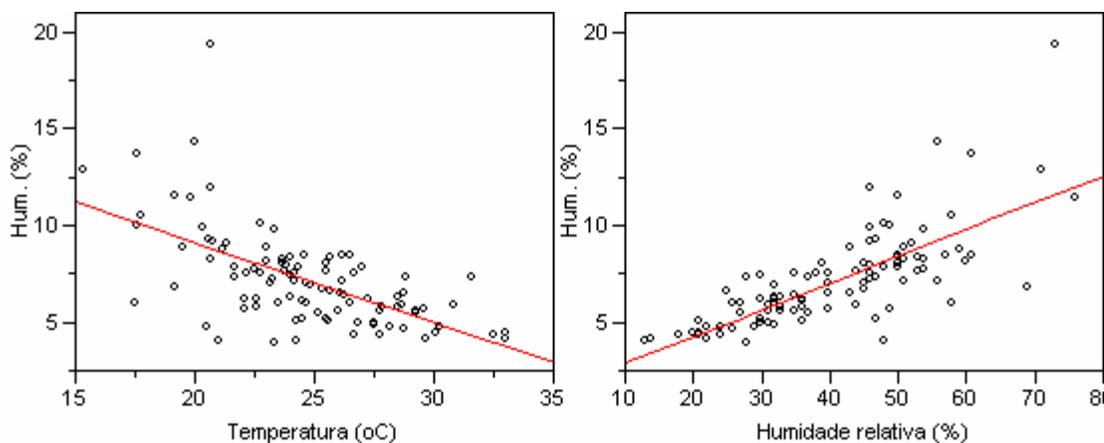
5.2. Relação entre a humidade das tábuas de *Pinus pinaster* e a meteorologia

Foi efectuada uma análise ao efeito do tipo de tábua nos resultados, as tábuas utilizadas eram de três tipos diferentes de madeira (Mogno, Pinho e Tola). A análise de variância indicou que não houve efeito do tipo de madeira nos resultados.

Quadro VII- Intervalo de variação da humidade das tábuas e das variáveis meteorológicas

Variável	Mínimo	Máximo
Humidade das tabuas de Pinus (%)	4.0	19.4
Temperatura (°C)	15.4	33.0
Humidade relativa (%)	13.0	76.0
Vento (Km/hora)	3	21
Precipitação (mm)	0	9
FFMC	37.2	96.1
DMC	2.2	154.1
FWI	0.0	49.5

A Figura 3 mostra as relações entre a humidade das tábuas de pinheiro bravo e variáveis ou índices meteorológicos. Ao analisarmos os gráficos verificamos que a humidade relativa apresenta uma relação linear com a humidade das tábuas, ou seja, à medida que a humidade relativa aumenta, aumenta também, e na mesma proporção, a humidade das tábuas. Uma relação inversa surge para a temperatura e para o índice FWI (de perigo de incêndio), já que quando a temperatura aumenta a humidade dos combustíveis diminui, aumentando assim o índice de perigo de incêndio.



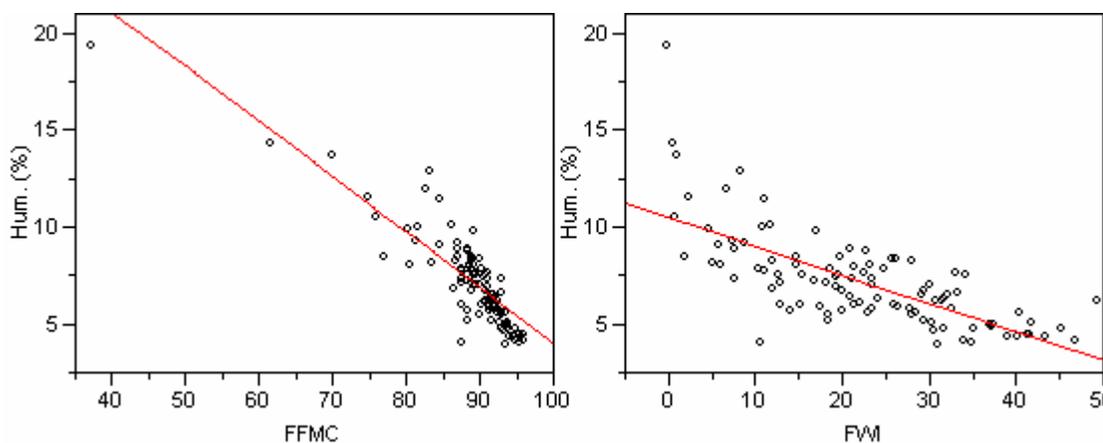


Figura 3: Relações entre a humidade das tábuas de *Pinus pinaster* e as variáveis meteorológicas

Quadro VIII - Correlações entre a humidade da tábuas de *Pinus pinaster* e as variáveis meteorológicas.

Variáveis independentes	r	p
Temperatura (°C)	-0,61	0,00
Humidade relativa (%)	0,75	0,00
Vento (Km/hora)	0,21	0,04
Precipitação (mm)	0,59	0,00
FFMC	-0,87	0,00
DMC	-0,55	0,00
FWI	-0,72	0,00

Do Quadro VIII constata-se a existência de uma melhor associação entre a humidade das tábuas e a meteorologia, do que aquela verificada entre a humidade da folhada e a meteorologia. A diferença pode ser explicada pelo facto de serem utilizadas sempre as mesmas tábuas, e estas serem sempre colocadas no mesmo local. Outro motivo provável será que embora a recolha fosse efectuada na mesma área das tábuas, e tendo em consideração as condições de exposição em que as mesmas se encontravam aquando da recolha, existia variação espacial na humidade da folhada. Importante também é o facto da amostra ser mais heterogénea, uma vez que o material recolhido é sempre diferente. Outro factor influente poderá ser a diferença na intensidade da amostragem, sendo menor o número de amostras de folhada em relação às tábuas.

5.3 - Influência do tipo de coberto florestal no teor de humidade das tábuas

Foi efectuada uma regressão múltipla utilizando o método *stepwise* (passo a passo), para identificar as variáveis que melhor explicam a humidade nos diferentes tipos de coberto. Os valores mínimo e máximo das variáveis encontram-se no Quadro IX.

Quadro IX- Variação da humidade das tábuas e das variáveis meteorológicas

Variavel	Mínimo	Máximo
Humidade das tábuas de <i>Pseudotsuga</i> (%)	4.9	25.6
Humidade das tábuas de <i>Quercus</i> (%)	4.6	22.8
Humidade das tábuas de <i>Pinus</i> (%)	4.0	19.4
Temperatura (°C)	15.4	33.0
Humidade relativa (%)	13.0	76.0
FFMC	37.2	96.1
FWI	0.0	49.5

Os valores máximos e mínimos do teor de humidade das tábuas são inferiores sob coberto de *Pinus*, aumentando sob coberto de *Quercus*, e sendo mais elevados sob coberto de *Pseudotsuga*.

A Figura 4 mostra a relação entre a humidade das tábuas e as variáveis meteorológicas e índices. Dos gráficos apresentados verifica-se que se mantêm as diferenças nos valores do teor de humidade dos combustíveis de acordo com o tipo de coberto florestal, seguindo a mesma ordem. Os valores da humidade dos combustíveis aumentam à medida que a humidade relativa aumenta, sendo que os valores mais baixos são aqueles registados sob coberto de *Pinus*, os mais elevados surgem sob coberto de *Pseudotsuga*, aparecendo o sob-coberto de *Quercus* com valores intermédios.

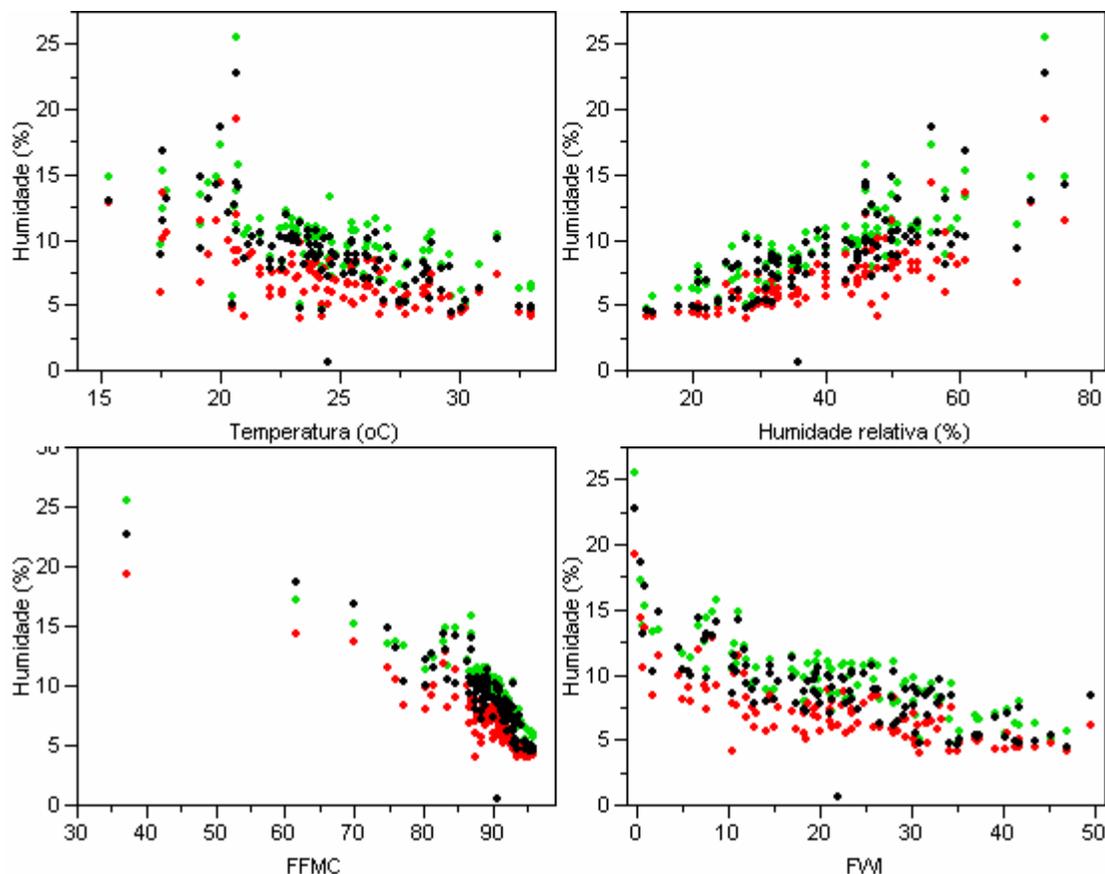


Figura 4: Relações entre humidade das tábuas e as variáveis meteorológicas, para os três tipos de coberto. Pontos vermelhos = *Pinus*, Pontos pretos=*Quercus*, Pontos verdes = *Pseudotsuga*

Quadro X. Médias ajustadas da humidade por tipo de coberto, após ser considerado o efeito das variáveis meteorológicas.

Coberto florestal	Humidade (%)
<i>Pseudotsuga</i>	9.9 a
<i>Quercus</i>	9.1 b
<i>Pinus</i>	7.2 c

Os valores seguidos de letra diferente são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), de acordo com o teste de Tukey –Kramer HSD.

Efectuando uma análise de covariância à humidade das tábuas com as variáveis independentes temperatura, humidade relativa, precipitação e tipo de coberto (como variável categórica), obtém-se um R^2 (coeficiente de determinação) de 0,77 (0.001), sendo todas as variáveis altamente significativas na explicação da variação da humidade. Idêntica análise em que os índices FFMC e FWI substituem as variáveis meteorológicas permite

explicar cerca de 81% da variação na humidade das tábuas (0.001), ou seja, resultou numa ligeira melhoria. O Quadro IX indica as médias ajustadas para condições meteorológicas idênticas do teor de humidade das tábuas para cada coberto florestal. Os valores do Quadro IX diferem entre tipo de coberto, sendo especialmente notório o valor mais reduzido que corresponde ao pinhal bravo.

Conclui-se que o tipo de coberto é importante, na medida em que faz com que o risco de incêndio seja diferente. Esta diferença pode explicar-se pelas diferentes características dos cobertos. O ensombramento é uma das condições que varia com o tipo de coberto florestal. Em povoamentos abertos, como de *Pinus pinaster*, o ensombramento é menor havendo por isso maior exposição solar, que leva a um aumento da temperatura, redução da humidade e mais fácil entrada do vento, e como consequência um maior grau de secura e uma mais rápida taxa de secagem do combustível. Ao contrário dos povoamentos abertos, nos mais densos (no nosso caso a *Pseudotsuga menziesii*) o ensombramento é mais elevado, havendo por isso menor exposição solar, menor circulação de ar devido a serem mais abrigados, o que leva a uma maior humidade dos combustíveis mortos diminuindo o risco de incêndio comparativamente aos povoamentos abertos. Os povoamentos moderadamente densos, como o de carvalho, apresentam valores intermédios de humidade e também de risco de incêndio.

5.4. Humidade foliar das espécies arbóreas

O teor de humidade das folhas das árvores pode ter um papel importante na transição para fogo de copas, sendo por isso um factor importante na caracterização da combustibilidade dos vários tipos florestais. No Quadro XI apresentamos os valores mínimos e máximos da humidade foliar das espécies em estudo. Verificamos que as espécies que apresentam valores de humidade mais elevados são o *Pinus pinaster* e especialmente o *Arbutus unedo*.

Os valores da humidade foliar não estão relacionados de forma directa com o grau de secura, pois dependem do controle fisiológico da planta variando com a espécie e não apenas em função das condições climáticas e de local. A situação fisiográfica e edafo-

climática é idêntica para todas as espécies, uma vez que as recolhas ocorreram numa área de aproximadamente 100 metros, em que as condições de temperatura, precipitação e solo se podem assumir como idênticas.

Quadro XI – Variação da humidade foliar nas diferentes espécies.

Variável	Mínimo	Máximo
<i>Castanea sativa</i>	106.2	266.7
<i>Quercus robur</i>	109.4	200.8
<i>Pinus pinaster</i>	122.0	312.1
<i>Eucalyptus</i>	82.7	112.0
<i>Pseudotsuga</i>	58.8	162.0
<i>Arbutus unedo</i>	142.5	271.4

Os valores seguidos de letra diferente são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), de acordo com o teste de Tukey–Kramer HSD.

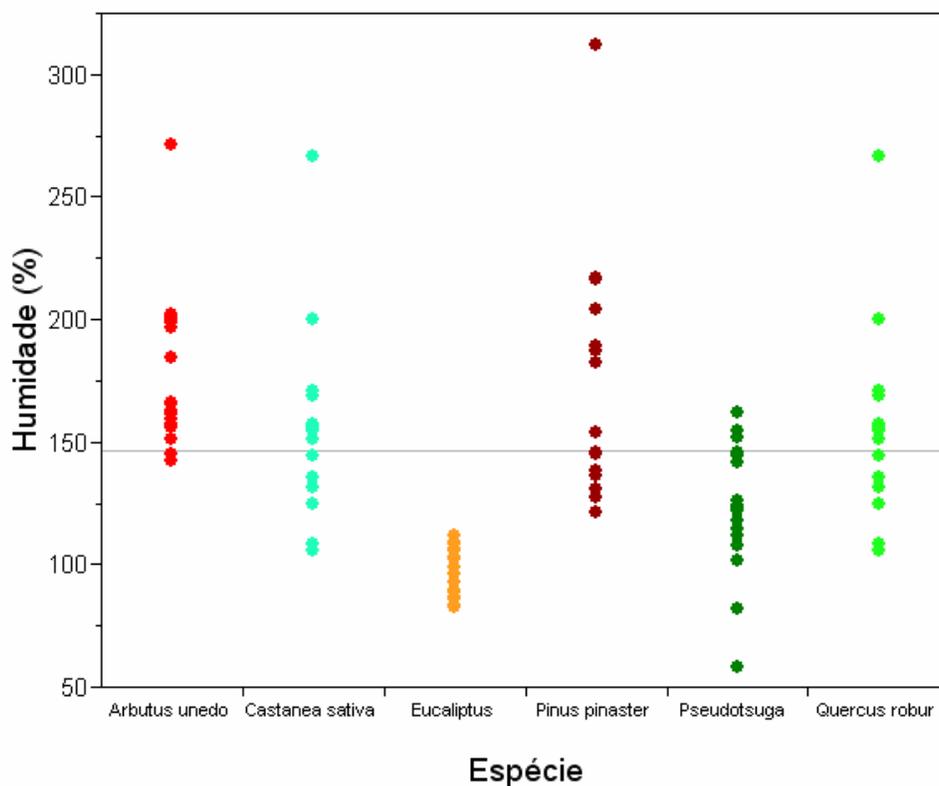


Figura 5: Humidade foliar das diferentes espécies.

Na Figura 5 podemos verificar que a espécie que apresenta menor amplitude de valores de humidade é o eucalipto, sendo também a espécie que apresenta valores de humidade foliar mais baixos, não ultrapassado os 112%. Pelo contrário no pinheiro a diferença entre o valor máximo da humidade e o mínimo é aproximadamente 200%.

Podemos verificar pelos resultados que o *Pinus pinaster* e o *Arbutus unedo* se encontram mais relacionados entre si, assim como as duas espécies de caducifólias que são semelhantes entre si, mas apresentam uma relação de alguma semelhança com o *Pinus pinaster* e o *Arbutus unedo*, bem como com a *Pseudotsuga mensiesii*, que por sua vez não é estatisticamente diferente do *Eucalyptus globulus*.

Os resultados não são os esperados, já que se previa que as espécies apresentassem semelhanças entre si, de acordo com o tipo de planta (folhosas caducifólias, folhosas esclerófilas e resinosas). Obtemos assim um resultado inconclusivo, provavelmente porque o número de amostras por espécie ($n=17$) não foi suficiente.

VI - Conclusão

Consideramos que os objectivos propostos neste trabalho foram cumpridos, embora os resultados tenham sido afectados pelo facto do Verão ter sido algo chuvoso, prolongando-se os períodos de chuva até ao mês de Setembro.

Em relação aos resultados obtidos com o método de estimação da humidade do combustível através das tábuas, concluímos que as mesmas subestimam o valor real da humidade da folhada em cerca de 50%. Embora se verificasse uma concordância de valores até aos 15% de humidade, a amplitude dos valores da humidade das tábuas é muito inferior aos valores registados na folhada, mostrando assim que as tábuas são incapazes de reflectir toda a amplitude de variação possível do teor de humidade. Tal deve-se provavelmente ao facto de a sua espessura não permitir uma reacção rápida à variação atmosférica, não capturando assim os extremos observados.

Em relação à humidade da folhada verificámos também que a precipitação é a variável independente com maior significado na humidade da folhada, sendo o índice FFMC aquele que melhor explica a sua variação.

Constatamos também a existência de uma melhor associação entre a humidade das tábuas e a meteorologia, do que aquela verificada entre a humidade da folhada e a meteorologia. Tal pode-se dever ao facto das tábuas utilizadas serem sempre as mesmas, à maior heterogeneidade da folhada e ao facto de termos um maior número de dias com dados de tábuas comparativamente aos dias com dados de folhada.

A humidade nos diferentes tipos de coberto foi de encontro ao esperado, verificando-se que os três tipos de coberto são estatisticamente diferentes, destacando-se o valor reduzido da humidade sob coberto de pinhal bravo. Os índices FFMC e FWI, em substituição das variáveis meteorológicas, permitem explicar cerca de 81% da variação na humidade das tábuas, o que reflecte uma melhoria comparativamente à utilização das

variáveis humidade relativa do ar e precipitação. Com os valores obtidos é possível concluir que o tipo de coberto é importante, induzindo riscos de incêndio diferenciados. Esta diferença pode explicar-se pelas diferentes características dos cobertos, nomeadamente o grau de ensombramento, que é uma das condições que varia com o tipo de coberto florestal e que aumenta com o adensamento do coberto.

Os resultados obtidos para a humidade dos combustíveis foliares vivos não foram conclusivos, não revelando as esperadas diferenças entre espécies ou grupos de espécies. É necessário um esforço adicional de amostragem.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, A.A.M. 1988. Técnicas de produção Florestal, 2ª Edição.

BOTELHO, H. 2006. *Apontamentos das aulas de Restauração de Ecossistemas Florestais*. Ecologia Aplicada. UTAD. Vila Real.

CABRAL, P.F. 2005. Modelação do Risco de Incêndio Florestal com Redes Neurais artificiais: Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica.

CORTES, R. 2006. *Apontamentos de aulas de Reabilitação de cursos de água*. Ecologia Aplicada. UTAD. Vila Real

FERNANDES, P.M. 1991. Caracterização do Combustível Florestal em ecossistemas de *Pinus pinaster* Ait.: Aplicação do sistema Behave. Relatório Final de Estágio da Lic.^a em Eng.^a Florestal. UTAD, Vila Real.

FERNANDES, P., H. Botelho, C. Loureiro. 2002. Manual de Formação para a técnica de fogo controlado. UTAD, Vila Real.

GONÇALO, E.P.M. (). Influencia das altas temperaturas no desenvolvimento do castanheiro Dissertação de mestrado em Biologia e Geologia para o ensino.
“”

GOUVEIA, M.C. 1995. Estudo das Influências Ambientais Sobre a Humidade Dos Combustíveis Mortos Finos e Avaliação da Capacidade Preditiva do Sistema Behave. Relatório Final de Estágio da Lic.^a em Eng.^a Florestal. UTAD, Vila Real.

LOUREIRO, A. 1999. *Apontamentos de Silvicultura (2ª edição)*. *Culturas das Principais Espécies Florestais utilizadas em Portugal*. Série Didáctica. Ciências Aplicadas. UTAD. Vila Real.

LOUREIRO, A. 1990. *Dendrologia Florestal*. Série Didácticas. Ciências Aplicadas. UTAD. Vila Real.

MACEDO, F.W, Sardinha, A.M. 1993. Fogos Florestais. Publicações Ciência e Vida, Lisboa.

MATEUS, P.J.V.R. 1994. *Eleição de um índice de perigo de incêndio para o perímetro da Serra do Marão, Meia Via e Ordem*. Relatório Final de estágio. Licenciatura em Eng.^a Florestal, UTAD, Vila Real.

MELO, L.N. 2005. Modelagem de Combustível Florestal no Parque Nacional do Iguçu, Paraná, Brasil. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais.

MORAIS, A.P. 1995. Teores de Humidade de Combustíveis Florestais e sua Relação com Parâmetros Meteorológicos no Perímetro Florestal Da Serra do Marão. Relatório Final de Estágio.

PEREIRA, F. M. M. 1998. *Avaliação do perigo de incêndio no perímetro florestal da Serra do Marão*. Relatório final de estágio. Licenciatura em Eng.^a Florestal, UTAD, Vila Real.

PINTO, T.M.S. 2002. Descortiçamento em *Quercus Suber* L.- Influencia na dinâmica Fotossintética. Tese de Doutoramento em Engenharia Ambiental UTAD, Vila Real.

REIS, F.E.G.T., 1995. *Programa de intervenção e recuperação de áreas ardidadas no perímetro florestal da Serra do Marão*. Relatório Final de estágio. Licenciatura em Eng.^a Florestal, UTAD, Vila Real.

RODRIGUEZ, J.J. 2000. *Estudo da flora e vegetação nas cumeadas das Serras do Marão e Alvão*. Relatório Final de estágio. Licenciatura em Eng.^a Florestal, UTAD, Vila Real.

VAREJÃO, E. 1991. Caracterização de Combustíveis em Ecossistemas Florestais. Relatório Final de estágio. Licenciatura em Eng.^a Florestal, UTAD, Vila Real.

VIEGAS, D.X., M.T. Viegas, A.D. Ferreira. 1992. Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 2(2): 69-86.

VIEGAS, D.X., J.Pinol, M.V. Viegas e R. Ogaya. 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal of Wildland Fire*, 10(2): 223 – 240.

VIEGAS, D.X., R.M. Reis, M.G. Cruz, e Maria T. Viegas. 2004. Calibração do Sistema Canadano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. *Silva Lusitana*, 12(1).

Sites consultados

<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v12n1/12n1a07.pdf>

http://www.quantific.pt/PubPdf/AP1_FireWeather.pdf

http://pt.wikipedia.org/wiki/Arbutus_unedo

<http://arvoresdeportugal.free.fr/IndexArboretum/Ficha%20MedronheiroArbutusunedo.htm>