

## MESTRADO EM RECURSOS FLORESTAIS

Ricardo Filipe Jesus Neves

# Estudo da micrometeorologia e comportamento do fogo em três tipos de floresta da Região centro de Portugal

Orientador: Professor Dr. Joaquim Manuel Sande Silva

Coorientadora: Dra. Aline Oliveira

Coimbra, 2023

## MESTRADO EM RECURSOS FLORESTAIS

Ricardo Filipe Jesus Neves

# Estudo da micrometeorologia e comportamento do fogo em três tipos de floresta da Região centro de Portugal

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de  
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à  
obtenção do grau de mestre em RECURSOS FLORESTAIS.

Orientador: Professor Dr. Joaquim Manuel Sande Silva

Coorientadora: Dra. Aline Oliveira

Coimbra, 2023

## Agradecimento

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, agradeço profundamente ao meu orientador Professor Dr. Joaquim Sande Silva e à minha coorientadora Dra. Aline Oliveira, pela orientação valiosa, apoio inestimável e insights que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Também expresso minha gratidão aos meus colegas de pesquisa, cujas contribuições e discussões enriquecedoras foram essenciais para o progresso deste trabalho.

Além disso, dedico um agradecimento muito especial à minha esposa pelo apoio contínuo, encorajamento e compreensão durante todo esse processo. Suas palavras de ânimo foram uma fonte de motivação inestimável.

Por fim, expresso minha gratidão ao projeto InduForestFire que forneceram suporte e recursos para a realização deste estudo.

Agradeço sinceramente a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, tornando possível a conclusão desta dissertação.

*“Definir um objetivo é o ponto de partida de toda a realização.”* W. Clement Stone

## Resumo

Este estudo tem como objetivo analisar o efeito da micrometeorologia no comportamento do fogo em três tipos de florestas adjacentes da Região centro de Portugal, respetivamente, pinheiro-bravo (Pbr), eucalipto (Euc) e folhosas caducifólias (FOL). Foram amostrados um total de 10 pares de cada cobertura florestal (Pbr/Euc; Pbr/FOL; Euc/FOL), em áreas de interface urbano-florestal. A recolha de dados foi realizada no verão, entre os meses de junho, julho e agosto, sendo posteriormente processadas e utilizadas em softwares para determinar o comportamento do fogo e a probabilidade da ocorrência de fogo de copas. Os resultados demonstram, que povoamentos de Pbr e Euc são mais suscetíveis à ocorrência de fogo de copas e a comportamentos do fogo mais intensos em comparação com as folhosas. Análises estatísticas comprovam a existência de diferenças significativas em quase todos os parâmetros avaliados para FOL entre Pbr e Euc, reafirmando estudos anteriores que as florestas de folhosas estão associadas a um ambiente menos favorável à propagação do fogo e, por isso, é uma composição que representa menor perigosidade de incêndios. Este estudo é mais uma tentativa de evidenciar a necessidade urgente de ações que promovam a restauração florestal, e uso de espécies mais resilientes ao fogo, em áreas de interface urbano-florestal em Portugal, reduzindo a ocorrência de incêndios de grande intensidade.

**Palavras-chave:** Composições florestais, análises estatísticas, risco de incêndio, fogo de copas.

## **Abstract**

This study aims to analyze the effect of micrometeorology on fire behavior in three types of adjacent forests in the Central Region of Portugal, namely, maritime pine (Pbr), eucalyptus (Euc), and deciduous leaved (FOL) forests. A total of 10 pairs of each forest cover (Pbr/Euc; Pbr/FOL; Euc/FOL) were sampled in urban-forest interface areas. Data was collected during the summer, on June, July and August, and then processed and used in software to determine fire behaviour and the probability of crown fire occurring. The results demonstrate that Pbr and Euc stands are more susceptible to crown fires and exhibit more intense fire behaviors compared to deciduous forests. Statistical analyses confirm significant differences in nearly all assessed parameters for FOL between Pbr and Euc, reaffirming previous studies that deciduous forests are associated with an environment less conducive to fire propagation and, therefore, represent lower fire hazard. This study is another attempt to highlight the urgent need for actions that promote forest restoration and the use of more fire-resilient species in urban-forest interface areas in Portugal, thereby reducing the occurrence of high-intensity fires.

**Keywords:** Forest compositions, statistical analyses, fire risk, crown fire.

## Índice

1.	Introdução .....	1
2.	Metodologia .....	3
2.1.	Local de estudo .....	3
2.2.	Recolha de dados .....	3
2.2.1.	Dados dendrométricos.....	4
2.2.2.	Micrometeorologia.....	4
2.2.3.	Caraterização da vegetação.....	4
2.2.4.	Combustíveis de superfície e de copas .....	4
2.3.	Simulação do comportamento do fogo .....	5
2.4.	Cálculo das variáveis BehavePlus.....	5
2.4.1.	Carga de combustível morto de 1H, 10H e 100H .....	5
2.4.2.	Carga de combustíveis vivos (herbáceas e arbustos).....	6
2.4.3.	Relação Superfície/Volume (Combustíveis 1H, herbáceas e arbustos).....	6
2.4.4.	Profundidade do combustível de superfície .....	7
2.4.5.	Humidade de extinção .....	7
2.4.6.	Poder calorífico combustível morto e vivo.....	7
2.4.7.	Cobertura das copas.....	7
2.4.8.	Altura da base e da copa .....	8
2.4.9.	Densidade aparente da copa .....	8
2.4.10.	Humidade dos combustíveis .....	9
2.4.11.	Velocidade do Vento (Km/h) .....	10
2.4.12.	Inclinação do Terreno.....	10
2.5.	Análise estatística.....	10
2.5.1.	Análise de componentes principais (ACP).....	10
2.5.2.	Teste de Kruskal-Wallis e Teste Dunn (Comparações Múltiplas).....	11
3.	Resultados .....	11
3.1.	Conteúdo dos resultados do BehavePlus.....	11
3.2.	Conteúdo dos resultados da análise de componentes principais (ACP).....	13
3.2.1.	Parâmetros Ambientais.....	13
3.2.2.	Parâmetros de estrutura .....	14
3.2.3.	Parâmetro combustível .....	14
3.2.4.	Parâmetros humidade.....	15
3.2.5.	Parâmetros comportamento do fogo.....	16
3.3.	Conteúdo da análise estatística Kruskal-Wallis e Teste Dunn (Comparações Múltiplas)	

3.3.1.	Parâmetros Ambientais.....	18
3.3.2.	Parâmetros de Estrutura .....	19
3.3.3.	Parâmetros de Combustível .....	20
3.3.4.	Parâmetros de Humidade .....	22
3.3.5.	Parâmetros do comportamento do fogo.....	24
4.	Discussão .....	25
5.	Conclusão .....	27
	Bibliografia .....	28
	Anexo I.....	31
	Anexo II.....	32

## Índice de figuras

Figura 1 Localização dos transectos no litoral da Região Centro de Portugal .....	3
Figura 2 Exemplo de Hipsómetro utilizado em campo.....	4
Figura 3 Cobertura de copas de um povoamento de folhosas.....	8
Figura 4 Cobertura de copas de um povoamento de Pinheiro e eucalipto.....	8
Figura 5 Exemplo ilustrativo da obtenção do valor da altura da base da copa. Fonte: <a href="https://inventarioflorestal.eu/wp-content/uploads/2012/10/3A-Var-da-arv-d-h-copa.pdf">https://inventarioflorestal.eu/wp-content/uploads/2012/10/3A-Var-da-arv-d-h-copa.pdf</a>	8
Figura 6 Estação meteorológica portátil Kestrel 5500.....	10
Figura 7 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro Ambiental para cada tipo de povoamento. ....	13
Figura 8 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Estrutura para cada tipo de povoamento. ....	14
Figura 9 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Combustível para cada tipo de povoamento. ....	15
Figura 10 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Humidade para cada tipo de povoamento. ....	16
Figura 11 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro comportamento do fogo para cada tipo de povoamento .....	17
Figura 12 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros Ambientais para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p>0.05$ ). ....	18
Figura 13 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros Estruturais para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p>0.05$ ). ....	20
Figura 14 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Combustível para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p>0.05$ ). ....	22
Figura 15 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Humidade para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p>0.05$ ). ....	23
Figura 16 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Comportamento do Fogo para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p>0.05$ ). ....	25

Figura 17 Caixa para recolha de combustível de 1H nos transectos correspondente ao tamanho da sua tampa. ....	31
Figura 18 Caixa hermética para a recolha de amostras de arbustos, herbáceas e folhada vivo para a determinação da percentagem de humidade dos combustíveis. ....	31
Figura 19 Variáveis de entrada para a simulação do comportamento do fogo no Software BehavePlus .....	32
Figura 20 Informação do resultado da simulação do comportamento do fogo no Software BehavePlus .....	33

## Índice de tabelas

Tabela 1 Fonte das referências bibliográficas para a utilização dos valores da superfície/volume para os combustíveis de 1H, herbáceas e arbustos. ....	6
Tabela 2 Valores de referência para a obtenção do cálculo da biomassa para cada povoamento	9
Tabela 3 Valores máximos e mínimos registados dos 3 povoamentos analisados nas variáveis do comportamento do fogo (m/min) .....	12
Tabela 4 Potencial de fogo dos transectos com potencial para evoluir para fogo de copas.....	12
Tabela 5 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros Ambientais para cada tipo de povoamento. ....	18
Tabela 6 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros Estruturais para cada tipo de povoamento .....	19
Tabela 7 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Combustível para cada tipo de povoamento.....	21
Tabela 8 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Humidade para cada tipo de povoamento .....	23
Tabela 9 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Comportamento do Fogo para cada tipo de povoamento.....	24

## 1. Introdução

A ocorrência frequente de incêndios florestais e os seus impactos devastadores, têm sido uma preocupação constante para as autoridades, gestores florestais e comunidades locais em Portugal Continental. As alterações demográficas e climáticas conjugadas com o abandono de terras agrícolas e de pequenas propriedades florestais, acabaram por colocar Portugal como um dos países da Europa mais afetados por incêndios florestais (Barbosa 2020).

De acordo com o último inventário florestal nacional (ICNF, 2015) as florestas continuam a ser o principal uso do solo (36%) em Portugal. A floresta nacional tem uma composição maioritariamente constituída por espécies autóctones (72%), sendo os montados (povoamentos compostos por sobreiro e azinheira) a principal ocupação florestal, com cerca de 1 milhão de hectares. Os pinhais (constituídos por povoamentos de pinheiro-bravo e pinheiro-manso) são a segunda maior ocupação florestal, com uma área pouco inferior a 1 milhão de hectares e os eucaliptais em terceiro com 845 mil hectares. As folhosas caducifólias (carvalhos, castanheiros e outras), são a formação florestal menos representativa (10%).

Embora as folhosas, montado juntamente com caducifólias, apresentem uma maior representatividade ao nível da ocupação do espaço florestal, o mesmo não se verifica em relação a área consumida por incêndios, apresentando valores muito reduzidos em comparação com o eucalipto e o pinheiro-bravo (12.1, 149.9 e 134.7 mil hectares, respetivamente). Nesse contexto, a realização de vários estudos com diferentes tipos de vegetação, indicam uma forte seletividade inicial do fogo em consumir determinado tipo de floresta (Silva, et al. 2009; Nunes, et al. 2005). Contudo, em fogos com muita intensidade e alto poder calorífico devido à dinâmica que possui, deixam de ser pouco seletivos (Nunes, et al. 2005), passando a consumir vegetação menos inflamável. No entanto, existem evidências que para condições meteorológicas de incêndios padrões para Portugal, os povoamentos de florestas de folhosas, são capazes de mitigar a propagação do fogo e reduzir sua severidade (Pinto & Fernandes, 2014; Oliveira, et al. 2023). Tal aspeto colabora para a compreensão de quais espécies de florestas podem ser mais resilientes ao fogo.

Apesar de alguns autores argumentarem que o tipo de floresta tem um efeito marginal nos rácios de seleção do fogo e no comportamento do fogo, quando comparado com a estrutura do povoamento e complexo combustível de superfície (Fernandes, et al. 2016; Barros & Pereira, 2014), já existem evidências que fragmentos florestais de folhosas podem interromper a continuidade horizontal geral dos complexos de combustíveis superficiais inflamáveis na paisagem

e contribuir para o aumento das influências de baixo para cima, que exercem maior controle local sobre o comportamento do fogo (Fernandes, et al. 2016). Nesse sentido, Silva, et al. (2009) argumentam que povoamentos florestais com copa densa podem fornecer microclima em escala local e condições de combustível que são menos propícias à propagação do fogo.

A esse respeito, diferentes tipos de florestas proporcionam diferentes ambientes micrometeorológicos, que por sua vez, influenciam diferentemente no comportamento do fogo (Pinto e Fernandes 2014). A micrometeorologia é a análise mais próxima ao nível do solo das condições atmosféricas do interior da floresta, indicando as médias de curto prazo (na ordem de uma hora ou menos) da flutuação diária da humidade relativa do ar, humidade dos combustíveis, velocidade do vento, temperatura do ar, precipitação, radiação solar, características do solo, entre outros (Arya 2001).

Estudos revelam uma maior correlação das variações meteorológicas com a estrutura dos povoamentos e o tipo de gestão florestal, em comparação à própria composição por espécie, demonstrando que tanto em estruturas abertas e baixas, como em intervenções silvícolas através da seleção de grupos de árvores, apresentam menor teor de humidade nos combustíveis mortos e um aumento da velocidade do vento em comparação às restantes estruturas e intervenções florestais (Silva, et al. 2010; Bigelow e North 2012).

Tendo em conta, a seletividade do fogo em relação aos diferentes tipos de vegetação, sendo a micrometeorologia do interior das florestas um dos aspetos que mais pode influenciar essa seletividade, este trabalho, portanto, possui dois objetivos principais:

1. Avaliar as diferenças do comportamento do fogo em três tipos de povoamento na região centro de Portugal, composto por Folhosas, Eucalipto e Pinheiro Bravo;
2. Avaliar de que forma o comportamento do fogo é afetado pelas variáveis do povoamento, especialmente as condições micrometeorológicas.

Para atender a esses objetivos desenvolvemos modelos de combustível e simulações do comportamento do fogo para avaliar o efeito da composição florestal na região centro de Portugal, incluindo áreas de interface Urbano-Florestal de zonas industriais. Amostramos 30 pares, de povoamentos de eucalipto vs. folhosas (10), pinheiro-bravo vs. folhosas (10), e pinheiro-bravo vs eucaliptos (10) em que foram recolhidos dados ambientais, estruturais e de combustível. Para compreender os percursos significativos para o comportamento do fogo entre os diferentes tipos de florestas desenvolvemos um modelo linear generalizado misto. Este estudo esta inserido no projeto InduForestFire.

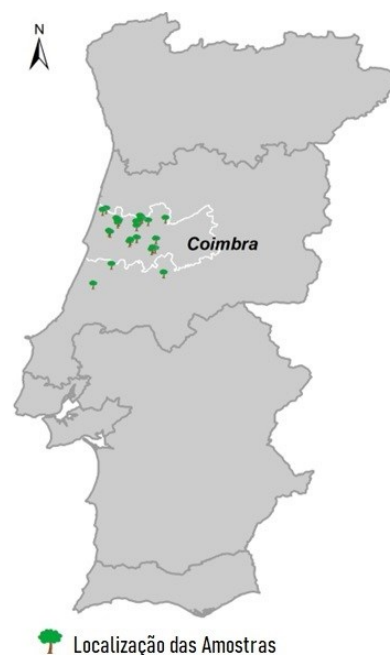
## 2. Metodologia

### 2.1. Local de estudo

O local da realização deste estudo (Figura 1), situa-se no litoral da Região Centro de Portugal, e contempla um total de 30 pares de três diferentes coberturas florestais: Pinheiro-bravo, Eucalipto e folhosas caducifólias.

As áreas de estudo foram seleccionadas pelos seguintes critérios:

1. Coberturas florestais distanciadas no máximo 100 metros entre si, com estrutura e topografia semelhantes (Pinheiro/Eucalipto; Pinheiro/Folhosas; Eucalipto/Folhosas.)
2. Áreas de interface urbano-florestal.



*Figura 1 Localização dos transectos no litoral da Região Centro de Portugal*

### 2.2. Recolha de dados

A recolha de dados foi efetuada no período do solstício de verão, entre os meses de junho, julho e agosto, utilizando o método por transectos lineares. Recorrendo ao uso de uma fita métrica e algumas estacas, foram estabelecidos três pontos ao longo de 20 metros (0m, 10m e 20m, respetivamente). Todos os dados foram registados em uma ficha de campo, incluindo informações sobre avaliação dendrométrica, micrometeorológica, caracterização da vegetação, dos combustíveis de superfície e de copas, entre dois povoamentos adjacentes de composições diferentes.

Nos seguintes capítulos (2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4) descreve-se mais detalhadamente os passos na recolha dos dados mencionados.

### 2.2.1. Dados dendrométricos

Nos pontos estabelecidos ao longo dos 20 m, foram selecionadas as quatro árvores mais próximas de cada ponto, caracterizando-as quanto à sua espécie, altura, diâmetro à altura do peito (130 cm) e cobertura da copa. Para realizar essas medições, foi necessário utilizar fita métrica, suta, vara e hipsómetro (VERTEX) (Figura 2).



Figura 2 Exemplo de Hipsómetro utilizado em campo.

### 2.2.2. Micrometeorologia

Com o uso de estações meteorológicas portáteis, posicionadas a uma altura de 2 metros acima do nível do solo, registaram-se, a cada 10 metros ao longo dos 20 metros, informações sobre humidade e temperatura do ar, além da velocidade do vento, em intervalos de dois segundos entre medições, durante 10 minutos. Após a recolha de todas as informações, foi determinada a média das três medições em cada um dos três pontos, a fim de obter um valor médio para cada transectos.

### 2.2.3. Caracterização da vegetação

A caracterização da vegetação foi realizada ao longo dos 20 metros do transectos, utilizando 21 pontos circulares espaçados por um metro entre si, cada um com um perímetro de 50 cm de diâmetro. Dentro dessas áreas circulares, foram recolhidos dados referentes à altura das espécies (arbustivas ou herbáceas), profundidade da folhada (da superfície até a camada de húmus), percentagem de plantas vivas e percentagem de preenchimento da área circular.

### 2.2.4. Combustíveis de superfície e de copas

Para determinar o tipo de combustível, foram recolhidas amostras de material combustível vivo e morto em cada transectos nos três pontos diferentes (0m, 10m, 20m), com o objetivo de calcular a carga de combustível (1H, 10H e 100H) e sua humidade, recorrendo à utilização de algumas caixas (Anexo 1 Figura 17 e 18).

Para a recolha da carga de combustível, foi utilizado a caixa representada na figura 17, cujas dimensões são de 35 cm de largura, 54 cm de comprimento, 16 cm de profundidade e volume total de 30.240 cm<sup>3</sup>, sendo recolhido apenas, o combustível correspondente à área da tampa da caixa, que é de 1.890 cm<sup>2</sup>.

Para a recolha do combustível para a determinação do teor de humidade, foi utilizado caixas herméticas representada na figura 18, cujas dimensões são de 12 cm de largura, 17 cm de comprimento, 12.5 cm de profundidade e volume total de 2.550 cm<sup>3</sup>, sendo recolhido amostras de arbustos e herbáceas vivos, folhagem e material das copas das árvores.

### 2.3. Simulação do comportamento do fogo

O software *BehavePlus 6.0* simulou o comportamento do fogo para todas as amostras recolhidas nos povoamentos (Andrews 2014). Baseado em modelos matemáticos, sendo o mais comum o descrito por Rothermel (1991) e inserido todas as variáveis necessárias, visível no anexo 3, foi possível obter os resultados dos seguintes parâmetros:

- Taxa de propagação do fogo (m/mim);
- Calor do fogo por unidade de área ( $kJ/m^2$ );
- Intensidade do fogo (kW/m);
- Comprimento de chama (m);
- Probabilidade de fogo de copas (Sim/Não);
- Tipo de fogo de copas (ativo/passivo/independente).

O software *BehavePlus 6.0*, possibilita a obtenção de resultados através de modelos de combustíveis pré-existent, porém, e de modo que este relatório seja o mais realista possível, procedeu-se aos cálculos das variáveis necessárias e que se resume no capítulo seguinte.

### 2.4. Cálculo das variáveis *BehavePlus*

#### 2.4.1. Carga de combustível morto de 1H, 10H e 100H

Recolhido as amostras necessárias nos diversos pontos do transectos, conforme descrito no capítulo 2.2.4, a folhada foi separada em diferentes tamanhos (Carga 1H <6mm; Carga 10H >6mm e <25mm; Carga 100H >25mm). Em seguida, as amostras foram inseridas em recipientes

metálicos e submetidas a uma temperatura de 104°C por 24 horas, ou alternativamente a 84°C por 48 horas. Após o tempo de permanência na estufa, os recipientes contendo a folhada foram pesados, calculando a diferença de peso inicial e final, excluindo a tara do recipiente. O valor obtido foi convertido para quilogramas e dividido pela área da tampa da caixa, convertendo no final para toneladas por hectare, permitindo assim a correta inserção dos valores no *BehavePlus*.

#### 2.4.2. Carga de combustíveis vivos (herbáceas e arbustos)

Após a recolha de todos os dados necessários, conforme descrito no capítulo 2.2.3, iniciou-se o cálculo da carga de combustíveis vivos. O primeiro passo consistiu em calcular o volume dos combustíveis. Esse cálculo foi realizado multiplicando o volume pela percentagem de ocupação e pela percentagem de combustível vivo. O resultado obtido foi então multiplicado pelo valor da densidade aparente do combustível. Para as herbáceas, utilizou-se o modelo HER-01 de Cruz (2005), enquanto para as arbustivas foi baseado no modelo de Silva et al. (2006). Em seguida, todos os resultados foram somados e divididos pelo número total de áreas analisadas, sendo então convertidos para toneladas por hectare.

#### 2.4.3. Relação Superfície/Volume (Combustíveis 1H, herbáceas e arbustos)

Para o preenchimento deste campo, recorreu-se à utilização de valores de referência conforme ilustrado na Tabela 1

*Tabela 1 Fonte das referências bibliográficas para a utilização dos valores da superfície/volume para os combustíveis de 1H, herbáceas e arbustos.*

<b>Combustível</b>	<b>Referência</b>	<b>Fonte</b>
1H	Cohen et. al.	Cohen, et al. 2003
Herbáceas	HER-01 de Cruz	Cruz 2005
Arbustos	Cohen et. al. e Fernandes	Cohen, et al. 2003 Fernandes, 2009

Para o cálculo da relação superfície/volume das arbustivas, foi necessário executar uma média ponderada de todos os valores das amostras de modo a se obter um único valor por transepto.

#### 2.4.4. Profundidade do combustível de superfície

Após a recolha de todos os dados necessários, conforme descrito no capítulo 2.2.3, procedeu-se à determinação da profundidade do combustível de superfície. Para obter um valor único para cada área de estudo, foi elaborado uma folha de Excel que modelou as entradas de dados referentes à carga da folhada, herbáceas e arbustivas. Os dados a serem inseridos no software *BehavePlus* consistem no resultado total da profundidade determinada pela folha de Excel.

#### 2.4.5. Humidade de extinção

A humidade de extinção, um valor expresso em percentagem, indica o limite em que um combustível morto pode entrar em combustão. Utilizando a mesma folha de Excel que calculou a profundidade, procedeu-se de maneira similar, à determinação do valor da humidade de extinção, baseado nos valores de referência de Fernandes (2009) e Cruz (2005).

#### 2.4.6. Poder calorífico combustível morto e vivo

Recorrendo aos valores de referência de Cohen et al. (2003), realizou-se a média ponderada de todas as amostras, obtendo um valor único para o combustível vivo e outro para o combustível morto.

#### 2.4.7. Cobertura das copas

Utilizando uma câmara digital equipada com uma lente olho de peixe acoplada a um smartphone, posicionada abaixo da árvore e voltada para o céu, capturou-se uma imagem abrangendo toda a área da copa (Figura 3 e 4). Em seguida, as imagens foram processadas no software *ImageJ* para extrair a percentagem de cobertura das copas das árvores.



Figura 4 Cobertura de copas de um povoamento de Pinheiro e eucalipto



Figura 3 Cobertura de copas de um povoamento de folhosas

#### 2.4.8. Altura da base e da copa

Conforme descrito no capítulo 2.2.1, procedeu-se à medição da altura das árvores utilizando o “Vertex”. Foi realizada a medição desde a base da árvore até o ponto mais alto da árvore viva e, em seguida, desde a base da árvore até a base da copa (zona dos primeiros ramos vivos) (Figura5). O cálculo da altura da copa foi obtido pela diferença entre a altura máxima e a altura da base da copa.

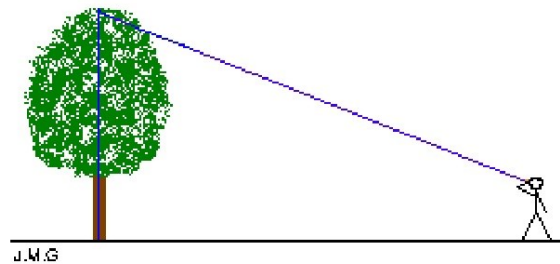


Figura 5 Exemplo ilustrativo da obtenção do valor da altura da base da copa. Fonte: <https://inventarioflorestal.eu/wp-content/uploads/2012/10/3A-Var-da-arv-d-h-copa.pdf>

#### 2.4.9. Densidade aparente da copa

O cálculo da densidade aparente da copa é obtido através da multiplicação da biomassa pela densidade das árvores e, em seguida, dividido pela altura da copa, conforme demonstrado na fórmula seguinte;

- $$\text{Densidade aparente da copa} = \frac{\text{Biomassa} \times \text{Densidade}}{\text{Altura da copa}}$$

Para a determinação do valor da biomassa, recorreu-se as fórmulas apresentadas pelo ICNF no Anexo técnico do IFN6 (ICNF 2015) e que se ilustra na Tabela 2:

Tabela 2 Valores de referência para a obtenção do cálculo da biomassa para cada povoamento

ICNF- Anexo técnico IFN6					
Espécie	B0	B1	B2	Equação	Fonte
Eucaliptos spp	0,248952	1,264033	-0,7121	$B_0 DAP^{B1} (h/DAP)^{B2}$	Tomé, et al. 2007
Pinheiro-bravo e outras resinosas	0,0998	1.392518	-0,71962	$B_0 DAP^{B1} (h/DAP)^{B2}$	Tomé, et al. 2007
Carvalhos e outras folhosas	0,00399	1,88754	-	$B_0 C^{B1}$	Mendes, 2011
Legenda: DAP-Diâmetro medido a altura do peito (1,30m); h-Altura total da árvore; C-circunferência da árvore medida a 1,30 m de altura.					

#### 2.4.10. Humidade dos combustíveis

Nos diversos pontos do transectos, foram recolhidas as amostras necessárias conforme descrito no capítulo 2.2.4. A folhada foi separada em diferentes categorias (Carga 1H, herbáceas vivas, arbustos vivos e folhada da copa). Essas amostras foram então colocadas em recipientes metálicos e pesadas antes de serem submetidas a uma temperatura de 104°C por 24 horas, ou alternadamente a 84°C durante 48 horas, em uma estufa. Após o tempo de permanência na estufa, os recipientes com a folhada foram pesados novamente, calculando-se a diferença de peso antes e depois do período na estufa. Com esse resultado, foi feita uma divisão pelo peso inicial, multiplicada por 100, obtendo assim valores percentuais.

Para determinar os valores de humidade dos combustíveis de carga 10H e 100H, foi acrescido 1 e 2 pontos percentuais, respetivamente, aos valores indicados pela carga 1H (Scott e Burgan 2005).

#### 2.4.11. Velocidade do Vento (Km/h)

Utilizando estações meteorológicas portáteis (Kestrel 5500), foram realizadas leituras a cada 2 segundos durante um período de 10 minutos. Essas estações foram distribuídas nos 3 pontos ao longo do transectos (0m, 10m, 20m) e posicionadas em tripés a 2 metros de altura do solo. Os resultados foram posteriormente analisados e determinado a média de todas as leituras registadas em todos os pontos para cada transectos.



*Figura 6 Estação meteorológica portátil Kestrel 5500*

#### 2.4.12. Inclinação do Terreno

Para conferir resultados consistentes, foi decidido manter uma inclinação de 0° em todos os transectos deste estudo.

### 2.5. Análise estatística

#### 2.5.1. Análise de componentes principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais é uma técnica estatística usada para simplificar a complexidade de um conjunto de dados, tornando-os mais compreensíveis. Essa técnica transforma os dados originais em um novo conjunto de variáveis, onde as variáveis são não correlacionadas. As novas variáveis, chamadas de componentes principais, são ordenadas de acordo com a quantidade de variância ou covariância presente nos dados originais (Hongyu, Sandanielo e Junior 2016). O objetivo é reduzir a dimensionalidade dos dados, mantendo o máximo possível da variação presente nos dados originais. Dessa forma, os dados podem ser representados em um espaço de menor dimensão, facilitando a visualização e interpretação.

### 2.5.2. Teste de Kruskal-Wallis e Teste Dunn (Comparações Múltiplas)

O teste de Kruskal-Wallis é um teste estatístico não paramétrico usado para avaliar diferenças significativas entre três ou mais grupos independentes (Wallis, 1952). Uma diferença é confirmada quando o valor da significância (p-value) é  $\leq 0.05$ .

O Teste de Dunn é um método estatístico usado para comparação múltipla que, após a rejeição da hipótese nula no teste de Kruskal-Wallis (p-value  $\leq 0.05$ ), identifica quais grupos específicos diferem entre si.

## 3. Resultados

### 3.1. Conteúdo dos resultados do *BehavePlus*

Pretendeu-se, por meio do *BehavePlus*, simular o comportamento do fogo em variáveis como taxa de propagação do fogo (m/min), calor do fogo por unidade de área ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ ), intensidade do fogo ( $\text{kW}/\text{m}$ ), comprimento de chama (m) e probabilidade de ocorrência de fogo de copas para os 60 transectos analisados.

Os resultados apresentados na Tabela 3, referem somente os valores mais altos e mais baixos da taxa de propagação do fogo nos três tipos de povoamentos e demonstram que, os povoamentos de pinheiros e de eucaliptos apresentam uma maior discrepância entre os valores mais altos e mais baixos entre si da variável analisada. Este valor tão acentuado da discrepância deve-se ao facto de, na recolha de dados, existirem povoamentos sem qualquer controlo silvícola, contribuindo para o aumento da carga arbustiva e de combustíveis de 1H, influenciando dessa forma no aumento da taxa de propagação do fogo (m/min). Por outro lado, povoamentos com controlo de vegetação espontânea apresentaram valores muito baixos devido a reduzida carga de combustíveis de superfície existente nesses povoamentos.

Os povoamentos de folhosas, mesmo nos que se verificou a inexistência de controlo de vegetação, apresentaram uma reduzida carga arbustiva e de combustíveis de 1h demonstraram nesse sentido, uma reduzida discrepância nos valores da variável, fruto das suas características micrometeorológicas mais húmidas e de um maior ensombramento fornecido pela cobertura de copas, desfavorecendo desse modo, o crescimento desse combustível de superfície.

*Tabela 3 Valores máximos e mínimos registados dos 3 povoamentos analisados nas variáveis do comportamento do fogo (m/min)*

Povoamentos	Taxa de propagação do fogo (m/min)	Calor do fogo por unidade de área (kJ/m <sup>2</sup> )	Intensidade do fogo (kW/m)	Comprimento de chama (m)	Transição para fogo de copas	Tipo de fogo de copas
Pinheiro	44,30	52972,00	39146,00	10,00	YES	ATIVO
Eucalipto	21,30	26242,00	9304,00	5,20	YES	ATIVO
Folhosas	3,10	12638,00	663,00	1,50	NO	SURFACE
Eucalipto	0,80	9286,00	122,00	0,70	NO	SURFACE
Pinheiro	0,30	10909,00	48,00	0,50	NO	SURFACE
Folhosas	0,00	4462,00	2,00	0,10	NO	SURFACE

Na probabilidade de ocorrência de fogo de copas, foram identificados 8 transectos com potencial para evoluir para esse tipo de fogo, dos quais 5 estão associados a povoamentos de pinheiro, e os restantes estão relacionados a povoamentos de eucalipto. Na Tabela 4 ilustra-se o potencial de fogo desses transectos.

*Tabela 4 Potencial de fogo dos transectos com potencial para evoluir para fogo de copas*

Povoamentos	Taxa de propagação do fogo (m/min)	Calor do fogo por unidade de área (kJ/m <sup>2</sup> )	Intensidade do fogo (kW/m)	Comprimento de chama (m)	Transição para fogo de copas	Tipo de fogo de copas
Pinheiro	44,30	52972,00	39146,00	10,00	YES	ATIVO
Pinheiro	31,40	45657,00	23893,00	8,00	YES	ATIVO
Pinheiro	24,00	27127,00	10850,00	5,60	YES	PASSIVO
Pinheiro	22,70	39313,00	14862,00	6,40	YES	ATIVO
Eucalipto	21,30	26242,00	9304,00	5,20	YES	ATIVO
Eucalipto	19,90	23963,00	7940,00	4,80	YES	ATIVO
Pinheiro	15,50	38249,00	9854,00	5,30	YES	ATIVO
Eucalipto	9,60	27125,00	4343,00	3,70	YES	PASSIVO

### 3.2. Conteúdo dos resultados da análise de componentes principais (ACP)

A realização desta análise de componentes principais tem como objetivo visualizar com maior detalhe as semelhanças e diferenças entre povoamentos e parâmetros analisados, identificando padrões. Para isso, foram analisados cinco parâmetros distintos: ambientais, estruturais, de combustível, de humidade e de comportamento do fogo. Os parágrafos seguintes apresentam os resultados obtidos da análise para cada parâmetro.

#### 3.2.1. Parâmetros Ambientais

Este parâmetro consiste na análise dos povoamentos em três diferentes variáveis: humidade relativa do ar, temperatura do ar e velocidade do vento. Conforme evidenciado pela Figura 7, a primeira componente da Análise de Componentes Principais (ACP) explica 67.7% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda componente explica 29.3%. Observa-se que, os povoamentos amostrados de folhosas estão associados a uma menor velocidade do vento em comparação com os restantes povoamentos analisados. Também se verifica uma correlação negativa entre as variáveis de temperatura e humidade. Essa correlação era esperada, já que o aumento da temperatura geralmente resulta em uma redução inversa da humidade relativa do ar.

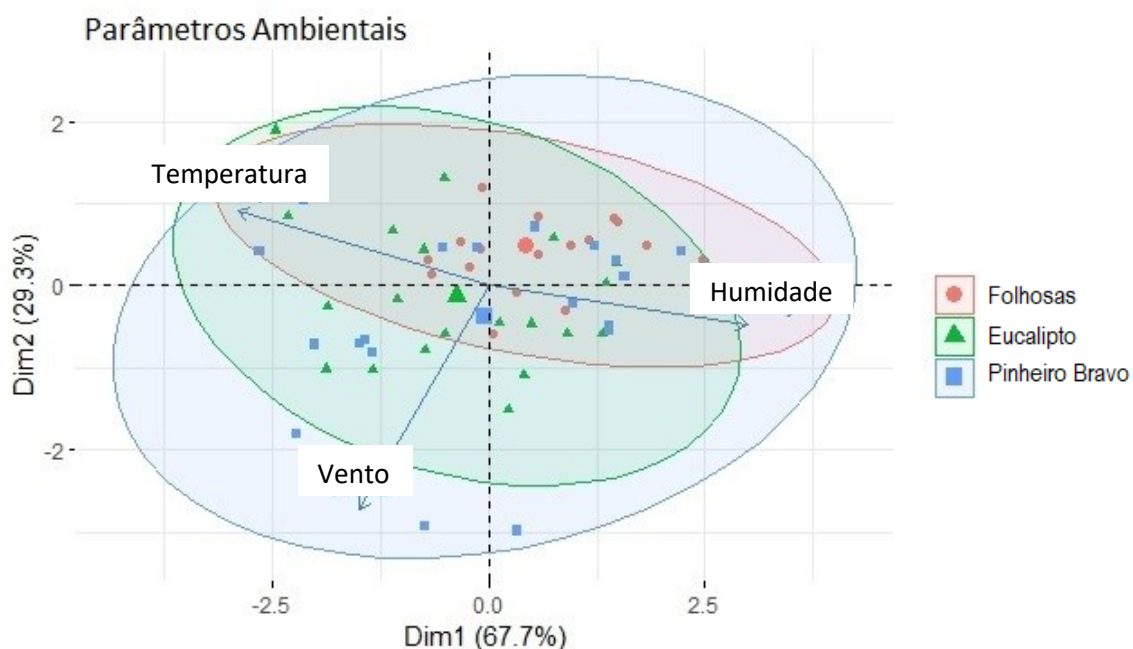


Figura 7 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro Ambiental para cada tipo de povoamento.

### 3.2.2. Parâmetros de estrutura

Este parâmetro consiste na análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: área basal, altura da árvore, cobertura da copa e densidade de copa. Conforme observado pela Figura 8, a primeira componente da Análise de Componentes Principais (ACP) explica 44.5% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda componente explica 31.3%. Observa-se que, os povoamentos amostrados de folhosas estão associados a uma maior cobertura de copa e a um agrupamento mais coeso dos dados, em comparação com os demais povoamentos analisados. Também se verifica uma correlação negativa entre a variável de cobertura de copas e as demais variáveis.

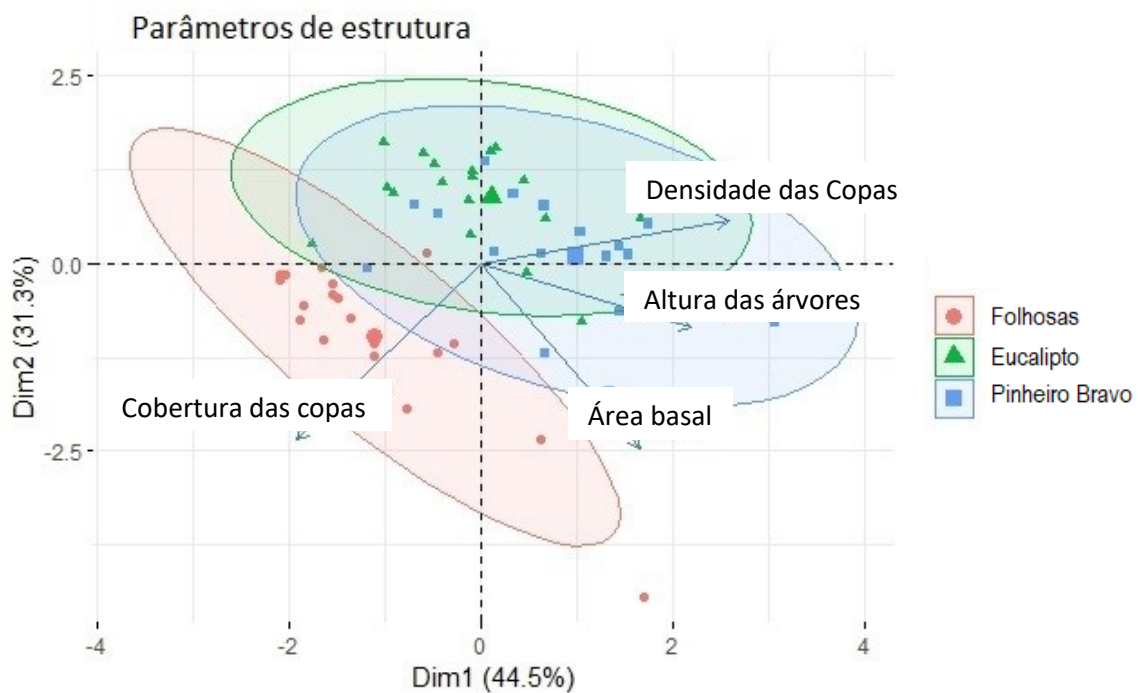


Figura 8 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Estrutura para cada tipo de povoamento.

### 3.2.3. Parâmetro combustível

Este parâmetro consiste na análise dos povoamentos em seis diferentes variáveis: carga 1H, carga 10H, carga arbustiva, carga herbácea, carga da folhada e profundidade do leito de combustíveis. Conforme observado na Figura 9, a primeira componente da Análise de Componentes Principais (ACP) explica 33.6% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda componente explica 21.8%. Observa-se que, os povoamentos amostrados de eucaliptos estão

associados a uma menor carga de 10H em comparação com os demais povoamentos analisados. Também se verifica uma correlação negativa entre a variável carga 10H e as demais variáveis, especialmente com carga herbácea e profundidade do leito de combustíveis.

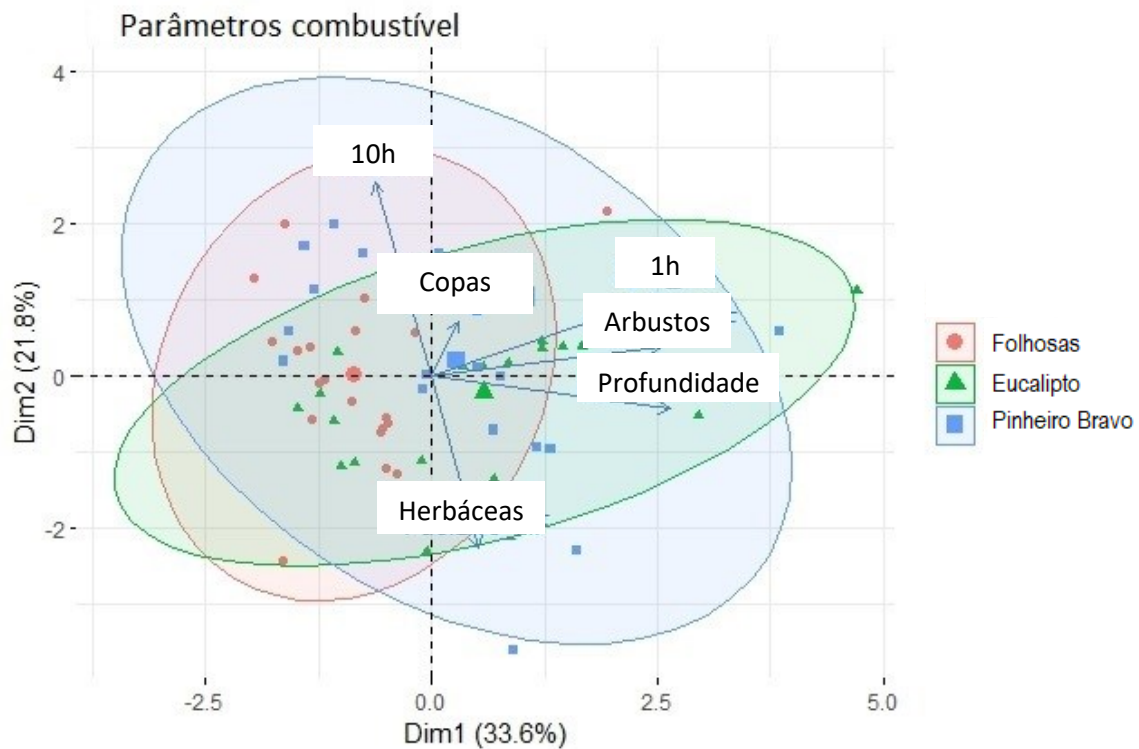


Figura 9 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Combustível para cada tipo de povoamento.

#### 3.2.4. Parâmetros humidade

Este parâmetro consiste na análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: arbustos vivos, herbáceas vivas, folhada da copa e carga 1H, 10H e 100H. Conforme observado pela Figura 10, a primeira componente da Análise de Componentes Principais (ACP) explica 52% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda componente explica 19.2%. Observa-se que, os povoamentos amostrados de folhosas estão associados a uma maior percentagem de humidade em todas as variáveis em comparação com os demais povoamentos analisados. Também é notório que todas as variáveis possuem correlação positiva entre si.

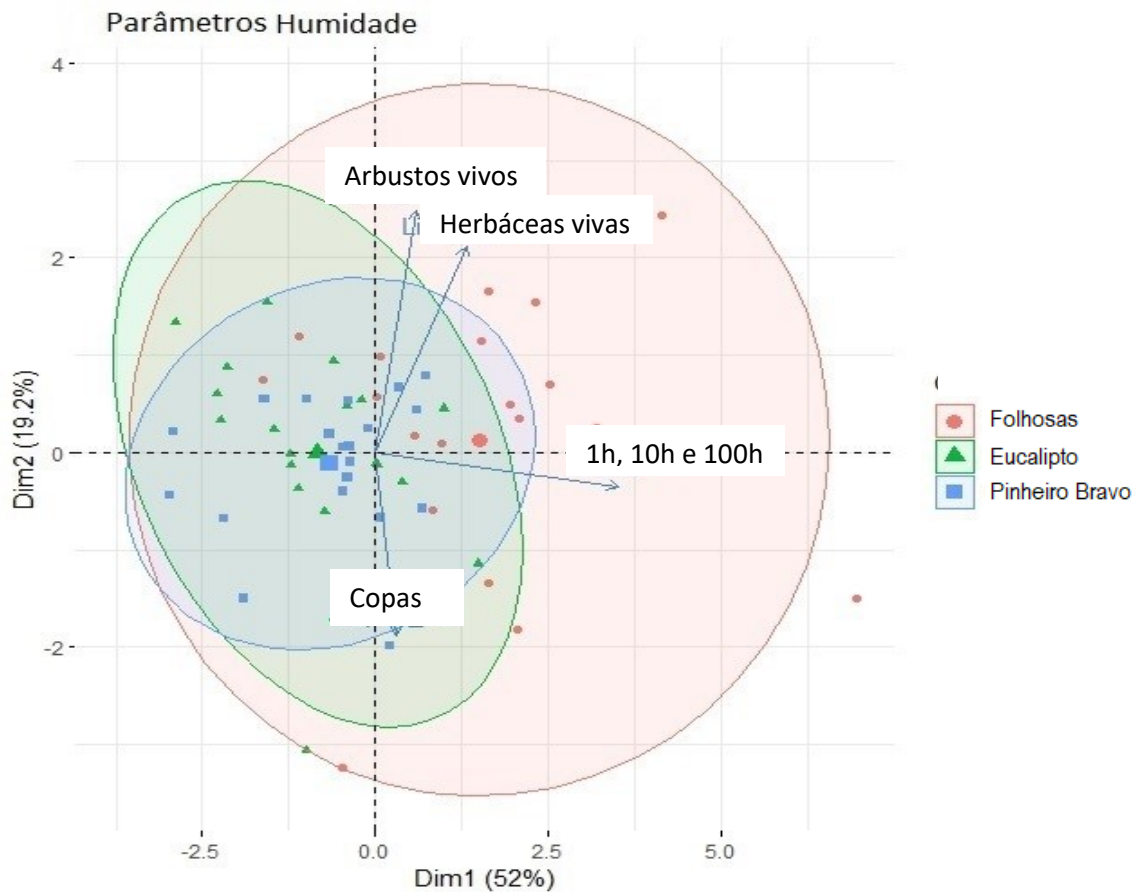


Figura 10 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro de Humidade para cada tipo de povoamento.

### 3.2.5. Parâmetros comportamento do fogo

Este parâmetro consiste na análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: velocidade de propagação (ROS), calor por área (HPA), intensidade da chama (FLI) e comprimento da chama (FMI). Conforme observado pela Figura 11, a primeira componente da Análise de Componentes Principais (ACP) explica 91.8% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda componente explica 6.6%. Observa-se que, os povoamentos amostrados de folhosas estão correlacionados negativamente com todas as variáveis em comparação com os demais povoamentos analisados. Também é notório que todas as variáveis possuem correlação positiva entre si.

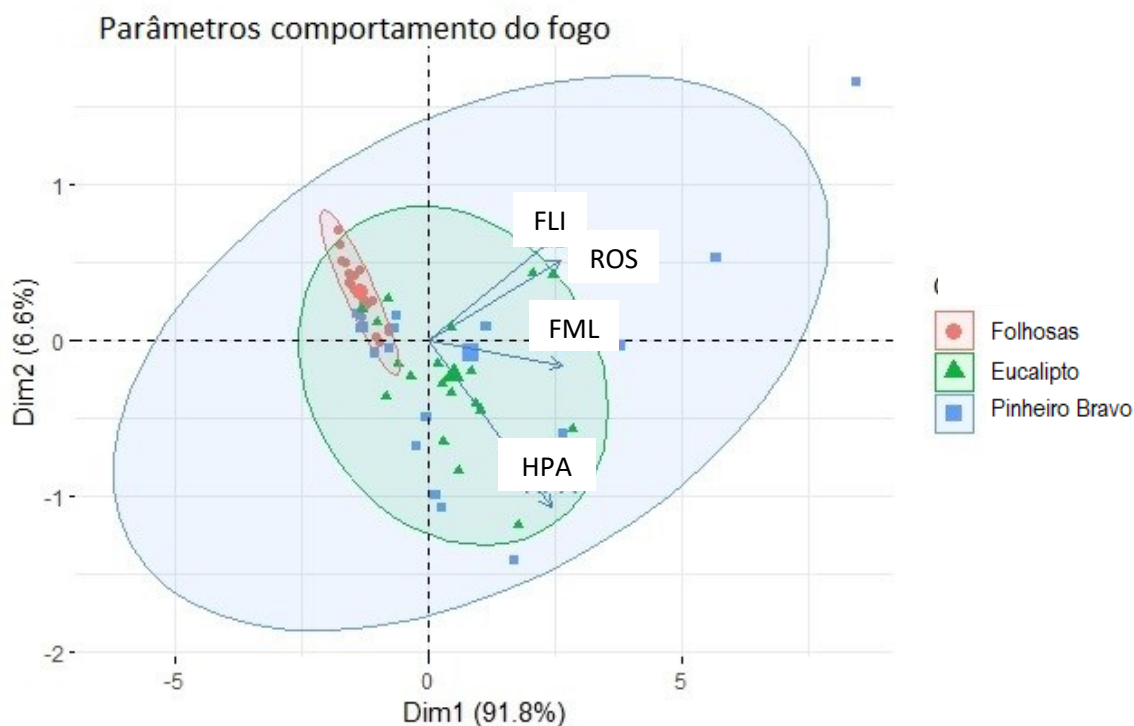


Figura 11 Análise de Componentes Principais para o Parâmetro comportamento do fogo para cada tipo de povoamento

### 3.3. Conteúdo da análise estatística Kruskal-Wallis e Teste Dunn (Comparações Múltiplas)

O objetivo desse teste estatístico foi identificar diferenças entre os parâmetros analisados, e se confirmadas, determinar quais povoamentos apresentam essas diferenças. Para isso, foram avaliados cinco parâmetros distintos: parâmetros ambientais, de estrutura, de combustível, de humidade e de comportamento do fogo. Nas tabelas a seguir, são destacadas as diferenças significativas entre os povoamentos e os resultados da significância para o conjunto de povoamentos em cada parâmetro. As figuras imediatamente abaixo das tabelas demonstram graficamente a existência de diferenças estatísticas. É importante ressaltar que, no caso de povoamentos que compartilham a mesma letra nos gráficos, não são considerados estatisticamente diferentes.

### 3.3.1. Parâmetros Ambientais

Este parâmetro envolve a análise dos povoamentos em três diferentes variáveis, humidade do ar, temperatura do ar e velocidade do vento. Conforme ilustrado na Tabela 5, identificado a negrito, observa-se diferença apenas na variável de velocidade do vento, destacando a distinção dos povoamentos de folhosas em relação aos demais. A figura 12 ilustra de que maneira essa diferença ocorre.

Tabela 5 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros Ambientais para cada tipo de povoamento.

Parâmetros Ambientais							
Variáveis	Teste Dunn (comparações múltiplas)				Análise Kruskal-Wallis		
	Composições	Dif. Obs	Dif. Crítica	Diferença significativa	chi-squared	df	p-value
Humidade do Ar (%)	FOL-EUC	7,15	13,22119	FALSO	1,7315	2	0,4207
	FOL-PIN	2,45	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	4,7	13,22119	FALSO			
Temperatura do Ar (°C)	FOL-EUC	5,85	13,22119	FALSO	1,4961	2	0,4733
	FOL-PIN	0	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	5,85	13,22119	FALSO			
Velocidade do Vento (km/h)	FOL-EUC	17,925	13,22119	<b>VERDADE</b>	12,483	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	15,6	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	2,325	13,22119	FALSO			

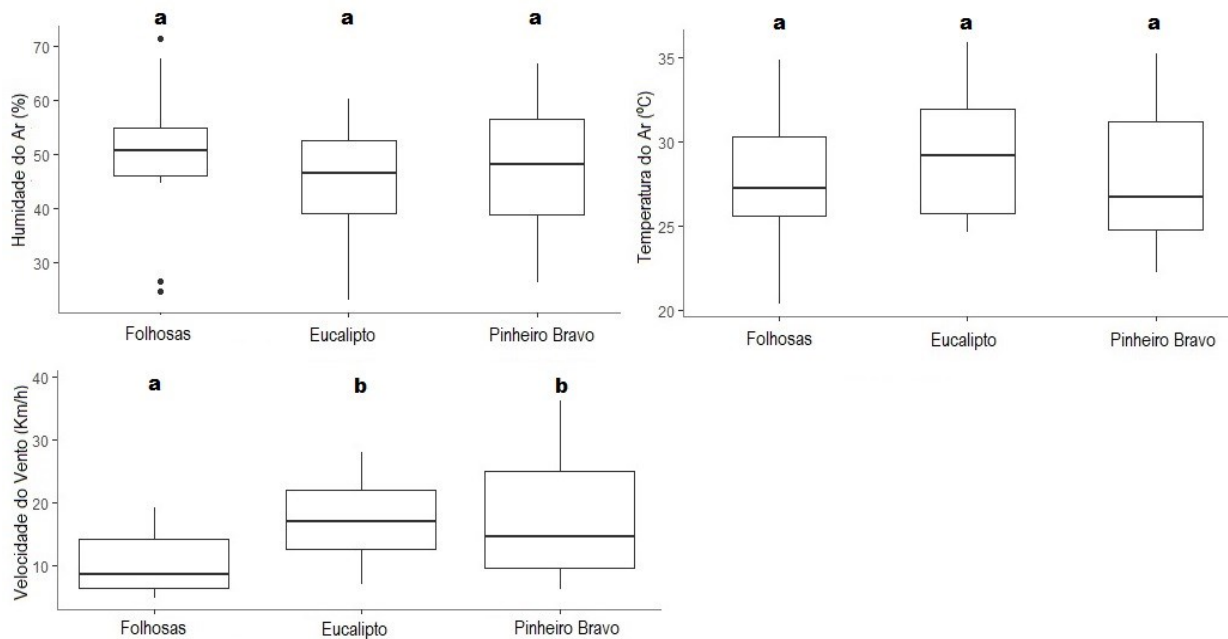


Figura 12 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros Ambientais para cada tipo de povoamento.

Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p > 0.05$ ).

### 3.3.2. Parâmetros de Estrutura

Este parâmetro envolve a análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: área basal, altura da árvore, cobertura de copa e densidade de copa. Conforme ilustrado na Tabela 6, identificado a negrito, observa-se que a única variável onde não existe diferença significativa é na variável da altura da árvore. Isso evidencia que os povoamentos de folhosas se diferenciam dos demais nas variáveis de cobertura e densidade de copas, enquanto os povoamentos de Eucalipto se distinguem nos valores de área basal. A Figura 13 mostra como essas diferenças se manifestam.

Tabela 6 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros Estruturais para cada tipo de povoamento

Parâmetros Estruturais							
Variáveis	Teste Dunn (comparações múltiplas)				Análise Kruskal-Wallis		
	Composições	Dif. Obs	Dif. Critica	Diferença significativa	chi-squared	df	p-value
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	FOL-EUC	15,05	13,22119	<b>VERDADE</b>	21,238	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	10,25	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	25,3	13,22119	<b>VERDADE</b>			
Altura da árvore (m)	FOL-EUC	3,4	13,22119	FALSO	3,4638	2	0,1769
	FOL-PIN	10,1	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	6,7	13,22119	FALSO			
Cobertura da copa (%)	FOL-EUC	29,9	13,22119	<b>VERDADE</b>	36,348	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	27,55	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	2,35	13,22119	FALSO			
Densidade da copa (Kg/m <sup>3</sup> )	FOL-EUC	20,1	13,22119	<b>VERDADE</b>	30,385	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	29,85	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	9,75	13,22119	FALSO			

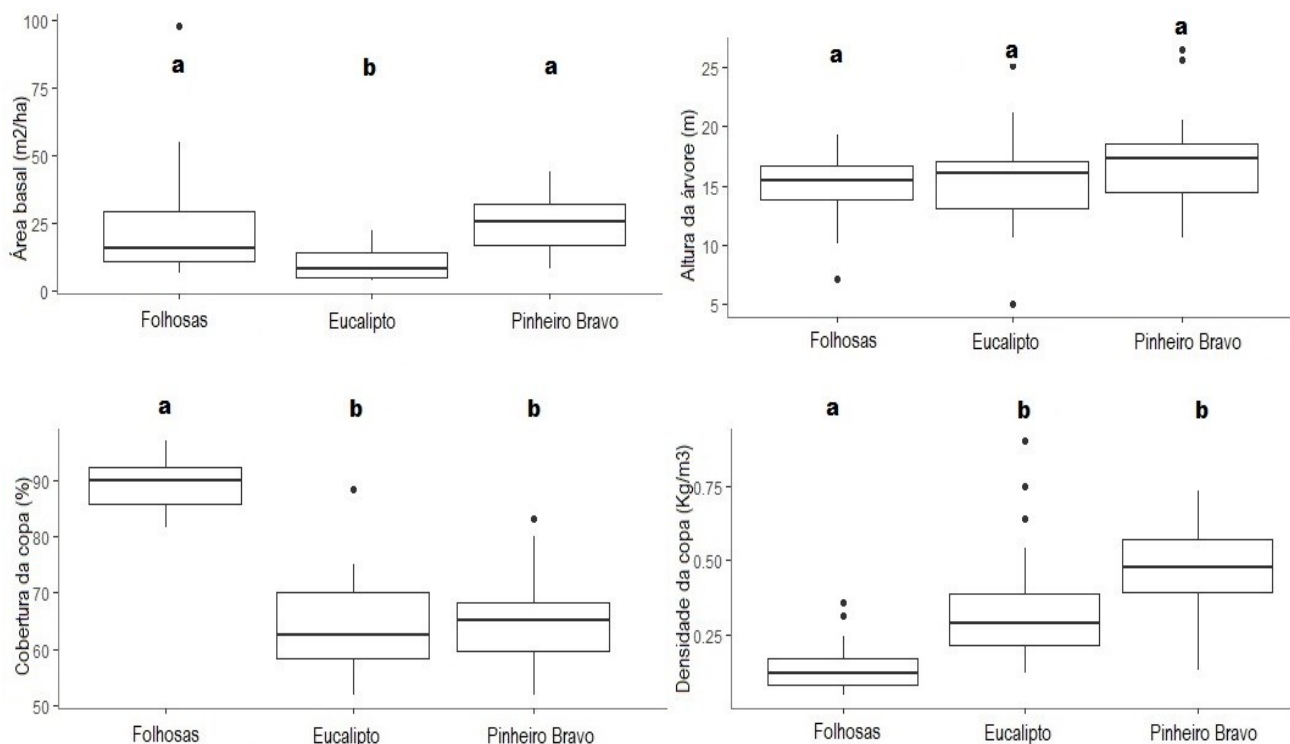


Figura 13 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros Estruturais para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p > 0.05$ ).

### 3.3.3. Parâmetros de Combustível

Este parâmetro envolve a análise dos povoamentos em seis diferentes variáveis: carga 1H, carga 10H, carga arbustiva, carga herbácea, carga da folhada e profundidade do leito de combustíveis. Conforme ilustrado na Tabela 7, identificado a negrito, observa-se que não existe diferença nos parâmetros de carga 10H e carga herbácea. Isso evidencia que os povoamentos de folhosas se distinguem dos demais na variável de carga da folhada e profundidade, enquanto se diferenciam isoladamente dos povoamentos de pinheiro e eucalipto nas variáveis de carga de 1H e carga de arbustos, respetivamente. A Figura 14 mostra como essas diferenças são representadas.

Tabela 7 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Combustível para cada tipo de povoamento

Parâmetros de Combustível							
Variáveis	Teste Dunn (comparações múltiplas)				Análise Kruskal-Wallis		
	Composições	Dif. Obs	Dif. Critica	Diferença significativa	chi-squared	df	p-value
Carga de 1H (ton/ha)	FOL-EUC	10,7	13,22119	FALSO	6,9499	2	0,03096
	FOL-PIN	13,9	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	3,2	13,22119	FALSO			
Carga de 10H (ton/ha)	FOL-EUC	9,8	13,22119	FALSO	5,1017	2	0,07801
	FOL-PIN	1,775	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	11,575	13,22119	FALSO			
Carga de Arbustos (ton/ha)	FOL-EUC	14,3	13,22119	<b>VERDADE</b>	6,7843	2	0,03364
	FOL-PIN	5,8	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	8,5	13,22119	FALSO			
Carga de Herbáceas (ton/ha)	FOL-EUC	3,275	13,22119	FALSO	0,86076	2	0,6503
	FOL-PIN	5,05	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	1,775	13,22119	FALSO			
Carga da Folhada (ton/ha)	FOL-EUC	16,8	13,22119	<b>VERDADE</b>	29,368	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	29,85	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	13,05	13,22119	FALSO			
Profundidade(m)	FOL-EUC	17,25	13,22119	<b>VERDADE</b>	11,291	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	14,55	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	2,7	13,22119	FALSO			

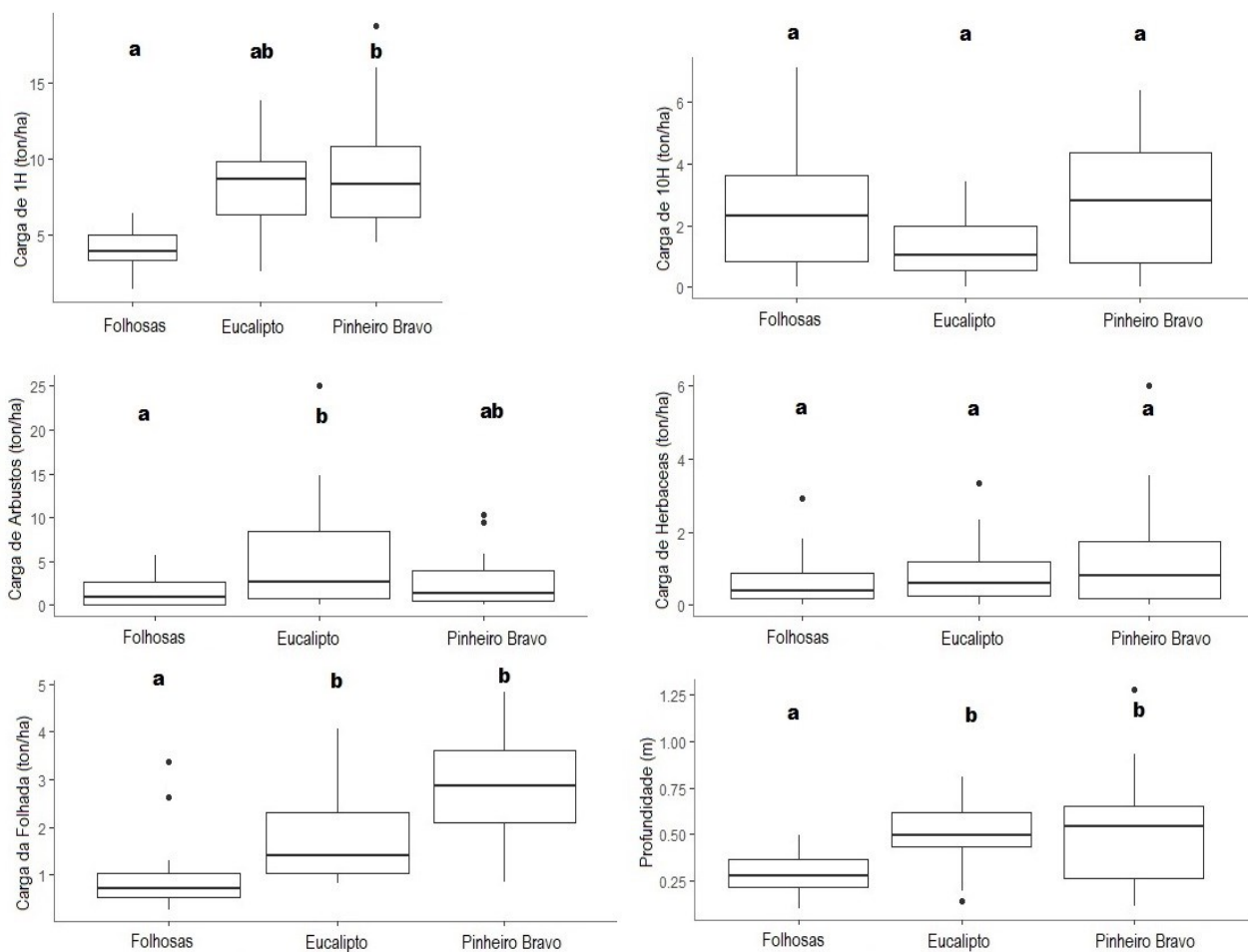


Figura 14 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Combustível para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p > 0.05$ ).

### 3.3.4. Parâmetros de Humidade

Este parâmetro envolve a análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: arbustos vivos, herbáceas vivas, folhada da copa e carga de 1H. Conforme ilustrado na Tabela 8 e destacado em negrito, ocorrem diferenças significativas em todas as variáveis analisadas. Isso indica que os povoamentos de folhosas diferem dos demais nas variáveis de herbáceas vivas e carga de 1H, e isoladamente do povoamento de eucalipto na variável de arbustos vivos. Além disso, os povoamentos de eucalipto se distinguem das demais composições na variável de folhada de copa. A Figura 15 ilustram como essas diferenças se manifestam.

Tabela 8 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Humidade para cada tipo de povoamento

Parâmetros de Humidade							
Variáveis	Teste Dunn (comparações múltiplas)				Análise Kruskal-Wallis		
	Composições	Dif. Obs	Dif. Critica	Diferença significativa	chi-squared	df	p-value
Arbustos vivos (%)	FOL-EUC	13,284	12,8802	<b>VERDADE</b>	6,2554	2	0,0438
	FOL-PIN	5,35	13,03501	FALSO			
	EUC-PIN	7,935	12,5084	FALSO			
Herbáceas vivas (%)	FOL-EUC	21,2895	12,9512	<b>VERDADE</b>	18,931	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	19,6842	13,1162	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	1,6052	12,95121	FALSO			
Folhada da Copa (%)	FOL-EUC	15,65	13,22119	<b>VERDADE</b>	13,787	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	3,65	13,22119	FALSO			
	EUC-PIN	19,3	13,22119	<b>VERDADE</b>			
Carga de 1H (%)	FOL-EUC	23,45	13,22119	<b>VERDADE</b>	21,059	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	20,05	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	3,4	13,22119	FALSO			

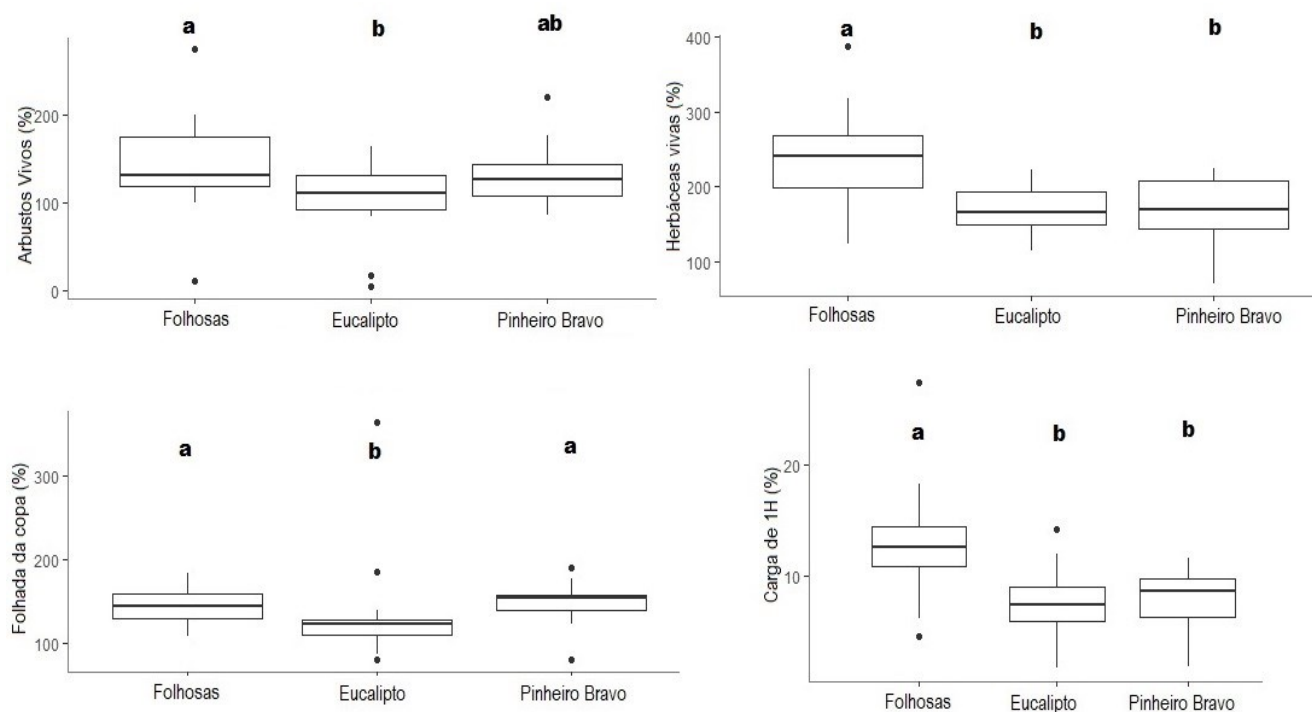


Figura 15 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Humidade para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p > 0.05$ ).

### 3.3.5. Parâmetros do comportamento do fogo

Este parâmetro envolve a análise dos povoamentos em quatro diferentes variáveis: velocidade de propagação, calor por área, intensidade da chama e comprimento da chama. Conforme ilustrado na Tabela 9 e destacado em negrito, observa-se diferença significativa em todas as variáveis analisadas, indicando que os povoamentos de folhosas se distinguem dos demais em todos esses aspectos. A Figura 16 ilustram como essas diferenças se manifestam.

Tabela 9 Análise de Kruskal-Wallis e teste de Dunn para os Parâmetros de Comportamento do Fogo para cada tipo de povoamento

Parâmetros de Comportamento do Fogo							
Variáveis	Teste Dunn (comparações múltiplas)				Análise Kruskal-Wallis		
	Composições	Dif. Obs	Dif. Critica	Diferença significativa	chi-squared	df	p-value
Velocidade propagação (m/min)	FOL-EUC	26,425	13,22119	<b>VERDADE</b>	24,754	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	19,7	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	6,725	13,22119	FALSO			
Calor por área ( $Kj/m^2$ )	FOL-EUC	27,15	13,22119	<b>VERDADE</b>	31,191	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	26,25	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	0,9	13,22119	FALSO			
Intensidade chama ( $Kw/m$ )	FOL-EUC	27,1	13,22119	<b>VERDADE</b>	27,055	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	21,8	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	5,3	13,22119	FALSO			
Comprimento chama (m)	FOL-EUC	27,075	13,22119	<b>VERDADE</b>	27,069	2	<b>&lt;0,01</b>
	FOL-PIN	21,825	13,22119	<b>VERDADE</b>			
	EUC-PIN	5,25	13,22119	FALSO			

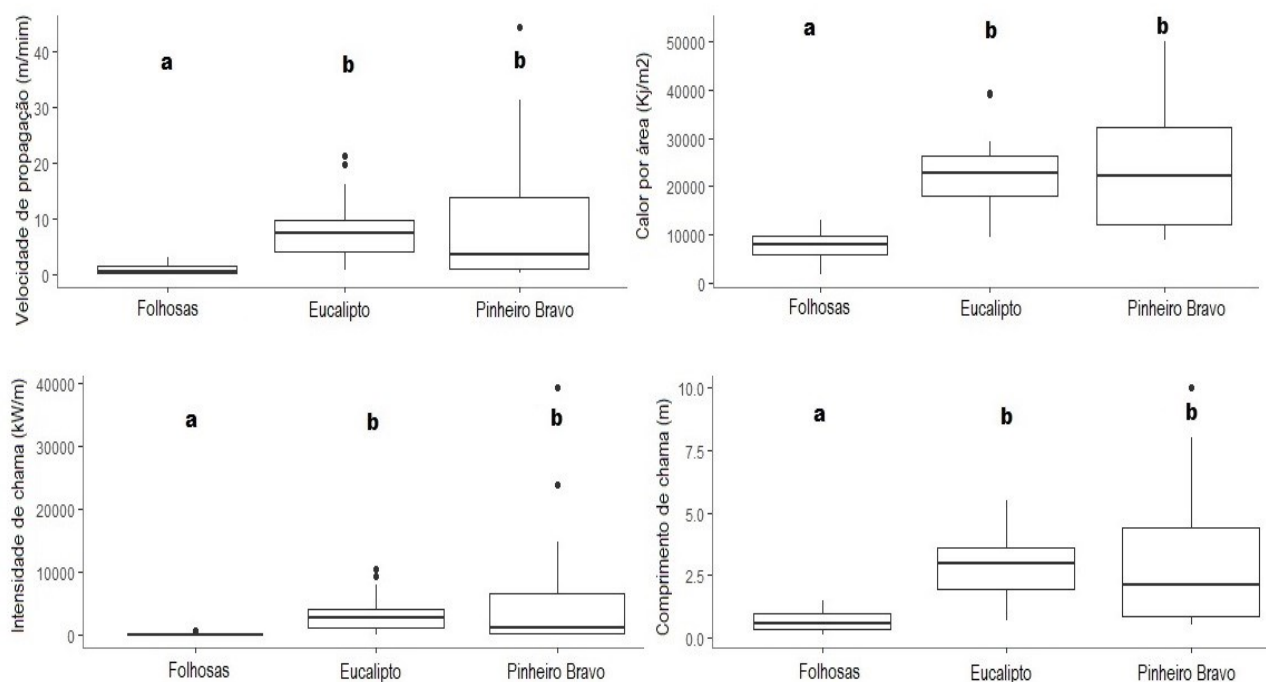


Figura 16 Boxplots (mediana e quartis) com as variáveis dos Parâmetros de Comportamento do Fogo para cada tipo de povoamento. Povoamentos que partilhem a mesma letra nos gráficos não são estatisticamente diferentes. ( $p > 0.05$ ).

## 4. Discussão

As simulações realizadas pelo BehavePlus indicam uma maior probabilidade de ocorrência de fogo de copas nos povoamentos de pinheiro e eucalipto. Essa probabilidade é explicada pela presença de uma maior carga de combustível, nomeadamente arbustiva e de 1H, o que poderá contribuir para a continuidade vertical dos combustíveis (Castro, et al. 2002). Esses fatores, conjugados com a velocidade do vento, resultam numa propagação mais intensa da chama, levando a uma dessecação extrema da base das copas (Moreira, et al. 2010).

Nas restantes simulações de fogo de superfície, a discrepância apresentada entre valores máximos e mínimos nos povoamentos de pinheiros e eucaliptos, deve-se em suma, à aplicação de medidas de silvicultura no controlo de vegetação espontânea verificado em determinados transectos que foram analisados. Essas medidas favorecem a redução da intensidade da chama através da redução da carga ou altura dos combustíveis arbustivos e de 1H (Moreira, et al. 2010). Por outro lado, os povoamentos de folhosas apresentam valores mais uniformes e tendencialmente mais reduzidos. Esses resultados podem ser explicados, por apresentar uma cobertura de copas maior, favorecendo na redução da velocidade dos ventos locais e numa maior

retenção de humidade nos combustíveis (Fernandes, et al. 2010; Pinto & Fernandes, 2014), influenciando dessa forma negativamente na propagação e intensidade do fogo.

Na análise de componentes principais, identificamos diferenças e semelhanças nos padrões entre os povoamentos de Folhosas, Eucaliptos e Pinheiros. No que diz respeito aos parâmetros ambientais, os povoamentos de folhosas, como já referido, demonstram menor velocidade do vento em comparação aos demais. Quanto ao parâmetro de combustível, os povoamentos de Eucaliptos apresentaram maior carga de combustível de 1H, arbustos e profundidade do leito, enquanto os de Pinheiros exibiram maior carga de herbáceas e juntamente com as folhosas, uma maior carga de combustível de 10H. No parâmetro de humidade e comportamento do fogo, destaca-se com evidência a capacidade dos povoamentos de folhosas em reter a humidade dos combustíveis e a proporcionar um ambiente menos favorável a propagação do fogo em comparação com os demais.

A análise ao teste de Kurskal-Wallis juntamente com o teste de Dunn demonstrou que o povoamento de folhosas apresenta diferenças significativas em quase todos os parâmetros analisados.

Ao analisar o conjunto dos povoamentos em relação às suas características de combustível, é possível observar diferenças significativas nas variáveis: carga de 1H, carga de arbustos, carga da folhada e profundidade. Essas diferenças ocorrem entre folhosas e pinheiro na variável carga de 1H, entre folhosas e eucalipto na variável carga de arbustos, e entre folhosas e ambos os povoamentos nas variáveis carga de folhada e profundidade. Para todos esses parâmetros as folhosas apresentaram menores cargas e menor profundidade em relação aos demais povoamentos. Esses resultados favoráveis em relação às florestas de folhosas, já eram esperados, pois a carga de combustível nesse tipo de floresta tende a ser menor e a folhada é mais compactada num leito de combustível mais raso em comparação com as florestas de Eucaliptos e Pinheiros (Oliveira, et al., 2023).

Na componente micrometeorologia, cuja análises se referem aos parâmetros ambientais e de humidade, revelam que os povoamentos de folhosas se diferenciam com uma menor velocidade do vento e com uma maior retenção de humidade nos combustíveis em comparação aos restantes povoamentos. Esses resultados eram esperados considerando que as folhosas possuem uma maior cobertura de copas, como mencionado anteriormente. Embora não tenha ocorrido diferença significativa na variável humidade do ar, é perceptível na Figura 12 uma concentração maior em comparação aos restantes povoamentos.

Na avaliação do comportamento do fogo, é possível verificar que os povoamentos de folhosas estão associados a uma menor magnitude do poder do fogo, diferenciando-se de todas as outras variáveis em valores muito inferiores aos comparados com os povoamentos de pinheiros e eucaliptos. Esses resultados podem ser explicados pelas condições de menor carga de combustível, menor profundidade do leito de combustíveis, maior cobertura de copas, que, por sua vez, resulta em menor velocidade do vento e maiores índices de humidade nos combustíveis e no ar. Estes são fatores que reduzem a intensidade e a progressão do fogo nas florestas de folhosas.

## 5. Conclusão

Pretendeu-se, com a realização deste estudo, caracterizar as diferenças entre três tipos de povoamentos: folhosas, eucaliptos e pinheiros, no que diz respeito à micrometeorologia e ao comportamento do fogo. Os resultados evidenciam que os povoamentos de folhosas estão associados a uma menor probabilidade de ocorrência de incêndios de grande intensidade. Além disso, não foram encontradas diferenças significativas no comportamento do fogo entre os povoamentos de eucaliptos e pinheiros, demonstrando comportamentos semelhantes. Esses resultados, obtidos por simulações e recolha de dados em campo, corroboram estudos anteriores realizados por diferentes autores, incluindo (Azevedo, 2013; Fernandes. et al, 2010; Pinto & Fernandes, 2014 e Silva, et al. 2009), comprovando que, povoamentos de folhosas são mais resilientes ao fogo mesmo em condições meteorológicas extremas.

Quanto à probabilidade de fogo de copas, os resultados indicam claramente que os povoamentos de folhosas têm uma baixa suscetibilidade à ocorrência de fogo de copas. No entanto, é importante destacar que existem outras questões igualmente ou mais importantes do que a composição dos povoamentos que influenciam essa probabilidade. Fatores como descontinuidade vertical, redução dos combustíveis de 1H e altura da base da copa desempenham um papel importantíssimo na minimização da ocorrência de fogo de copas.

Este estudo, portanto, representa mais uma tentativa de reforçar a necessidade crucial de repensar na melhor utilização dos povoamentos de folhosas e como é importante aproveitar, não apenas suas características para usos recreativos e produtivos, mas também como uma ferramenta eficaz na minimização e redução de grandes incêndios em áreas de Interface Urbano-Florestal, oferecendo uma alternativa mais sustentável e ecológica que a atual medida de remoção do combustível nessas áreas.

## Bibliografia

- Andrews, P. L. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System. *International Journal of Wildland Fire*, 23, 21. doi:10.1071/wf12167
- Arya, P. S. (2001). *Introduction to Micrometeorology*. ACADEMIC PRESS.
- Azevedo, J., Possacos, A., Aguiar, C., Amado, A. M., Miguel, L., Dias, R., Loureiro, C., Fernandes, P. (2013). The role of holm oak edges in the control of disturbance and conservation of plant diversity in fire-prone landscapes. *Forest Ecology and Management*, 297, 37-48. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.007
- Barbosa, S. (2020). *Comparação das causas reais dos Incêndios em Portugal*. Lisboa.
- Barros, A. M., & Pereira, J. M. (13 de janeiro de 2014). Wildfire Selectivity for Land Cover Type: Does Size Matter? (G. Bohrer, Ed.) *PLoS ONE*. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084760
- Bigelow, S. W., & North, M. P. (2012). Microclimate effects of fuels-reduction and group-selection silviculture: Implications for fire behavior in Sierran mixed-conifer forests. *Forest Ecology and Management*, pp. 51–59.
- Castro, C., Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., & Correia, S. (2002). *Combate a Incêndios Florestais* (Vol. Vol. XIII do Manual de Formação Inicial do Bombeiro). Escola Nacional de Bombeiros.
- Cohen, M., Cuiñas, P., Diez, C., Fernandes, P., Guijarro, M., & Moro, C. (2003). *Wildland fuel particles characterization database content*. Contract No. EVG1-CT-2001-00041, Fire Star: A Decision Support System for Fuel Management and Fire Hazard Reduction in Mediterranean Wildland—Urban Interfaces. Deliverable D6-03-A1.
- Cruz, M. G. (2005). Guia Fotográfico para Identificação de Combustíveis Florestais - Região Centro de Portugal. Centro de Estudos Sobre Incêndios Florestais.
- Fernandes, P. (2009). Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science*, 66, 415.
- Fernandes, P., Luz, A., & Loureiro, C. (2010). Changes in wildfire severity from maritime pine woodland to contiguous forest types in the mountains of northwestern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 260, 883-892. doi:https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.008

- Fernandes, P., Monteiro-Henriques, T., Guiomar, N., Loureiro, C., & Barros, A. M. (2016). Bottom-Up Variables Govern Large-Fire Size in Portugal. *Ecosystems*, 19, 1362–1375. doi:10.1007/s10021-016-0010-2
- Hongyu, K., Sandanielo, V. L., & Junior, G. J. (2016). Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, 5, 83.
- ICNF. (2015). *6º Inventário Florestal Nacional*.
- Mendes, A. C. (2011). *Equações de biomassa para Pinus pinaster Aiton, e Quercus pyrenaica na região Norte de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Moreira, F., Fernandes, P., Silva, J. S., Pinho, J., & Bugalho, M. (2010). *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas: Princípios de gestão para minimizar o impactos de incêndios florestais*. ISAPress.
- Nunes, M. C., Pereira, J. M., Vasconcelos, M. J., & Rego, F. (Setembro de 2005). Land Cover Type and Fire in Portugal: Do Fires Burn Land Cover Selectively? *Landscape Ecology*. doi:10.1007/s10980-005-0070-8
- Oliveira, A. S., Silva, J. S., Guiomar, N., Fernandes, P., Nereu, P., Gaspar, J., Lopes, R., Rodrigues, J. P. (2023). The effect of broadleaf forests in wildfire mitigation in the WUI – A simulation study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 103788.
- Pinto, A., & Fernandes, P. M. (2014). Microclimate and Modeled Fire Behavior Differ Between Adjacent Forest Types in Northern Portugal. *forests*, 2490-2504.
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. Em *United States Department of Agriculture*. Forest Service: Rocky Mountain Research Station.
- Silva, J. S., Fernandes, P., Catry, F. X., Moreira, F., & Rego, F. (2010). *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas: Perigo, incidência e severidade do fogo nas florestas portuguesas*. ISAPress.
- Silva, J. S., Vaz, P. G., Moreira, F., & Catry, X. F. (3 de Novembro de 2009). FIRE REGIMES IN SOUTHERN EUROPE. *Assessing the relative fire proneness of different forest types in Portugal*, 143, pp. 597–608. doi:10.1080/11263500903233250

Silva, T. P., Pereira, J. M., Paúl, J. C., Santos, M. T., & Vasconcelos, M. J. (2006). Estimativa de Emissões Atmosféricas Originadas por Fogos Rurais em Portugal. Lisboa. Portugal: Silva Lusitana.

Tomé, M., Barreiro, S., Paulo, J. A., & Faias, S. P. (2007). *Seleção de equações para estimação de variáveis da árvore em inventários florestais a realizar em Portugal*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais. FORCHANGE PT. Obtido de [https://www.isa.ulisboa.pt/cef/forchange/fctools/sites/default/files/pub/docs/equacoes-if\\_em\\_portugal.pdf](https://www.isa.ulisboa.pt/cef/forchange/fctools/sites/default/files/pub/docs/equacoes-if_em_portugal.pdf)

Wallis, W. H. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583-621.

## Anexo I



*Figura 17 Caixa para recolha de combustível de 1H nos transectos correspondente ao tamanho da sua tampa.*



*Figura 18 Caixa hermética para a recolha de amostras de arbustos, herbáceas e folhada vivo para a determinação da percentagem de humidade dos combustíveis.*

## Anexo II

Inputs: SURFACE, CROWN	
Description	02_PINHEIRO_VNP_MPIN
<b>Fuel/Vegetation, Surface/Understory</b>	
<b>Initialize from a Fuel Model</b>	
Fuel Model Number	227
Fuel Model Code	M_PIN
Fuel Model Type	S
1-h Fuel Load	tonne/ha 10.83
10-h Fuel Load	tonne/ha 3.18
100-h Fuel Load	tonne/ha 0.00
Live Herbaceous Fuel Load	tonne/ha 0.36
Live Woody Fuel Load	tonne/ha 7.31
1-h Fuel SA/V	m2/m3 5500
Live Herbaceous Fuel SA/V	m2/m3 8000
Live Woody Fuel SA/V	m2/m3 7721
Fuel Bed Depth	m 0.63
Dead Fuel Moisture of Extinction	% 39
Dead Fuel Heat Content	kJ/kg 20942
Live Fuel Heat Content	kJ/kg 20424.04
<b>Fuel/Vegetation, Overstory</b>	
Canopy Cover	% 65
Canopy Height	m 6.67
Canopy Base Height	m 8.56
Canopy Bulk Density	kg/m3 0.09
<b>Fuel Moisture</b>	
1-h Fuel Moisture	% 8.70
10-h Fuel Moisture	% 9.70
100-h Fuel Moisture	% 10.70
Live Herbaceous Fuel Moisture	% 100.45
Live Woody Fuel Moisture	% 124.66
Foliar Moisture	% 80.60
<b>Weather</b>	
10-m Wind Speed (upslope)	km/h 37
<b>Terrain</b>	
Slope Steepness	% 0
<b>Fire</b>	
Elapsed Time	h 8

(continued on next page)

Figura 19 Variáveis de entrada para a simulação do comportamento do fogo no Software BehavePlus

## 02\_PINHEIRO\_VNP\_MPIN

### Head Fire

Surface Fire Rate of Spread	24.0	m/min
Surface Fire Heat per Unit Area	27127	kJ/m <sup>2</sup>
Surface Fireline Intensity	10850	kW/m
Surface Fire Flame Length	5.6	m
Critical Surface Fireline Intensity	3220	kW/m
Critical Surface Fire Flame Length	3.2	m
Transition Ratio	3.37	
Transition to Crown Fire ?	Yes	
Active Ratio	0.41	
Active Crown Fire?	No	
Crown Fire Type	Torching	
Crown Fire Length-to-Width Ratio	3.5	
Active Crown Fire Rate of Spread	13.8	m/min
Active Crown Fire Heat per Unit Area	23959	kJ/m <sup>2</sup>
Active Crown Fireline Intensity	5518	kW/m
Active Crown Fire Flame Length	8.3	m
Active Crown Fire Spread Distance	6633	m
Active Crown Fire Area	987.6	ha
Active Crown Fire Perimeter	13397	m
Crown Fuel Load	-1.70	tonne/ha
Canopy Heat per Unit Area	-3168	kJ/m <sup>2</sup>

Figura 20 Informação do resultado da simulação do comportamento do fogo no Software BehavePlus