

# **Adaptação do simulador da floresta StandsSIM para a Gestão de Faixas de Redução de Combustível**

**Carlos Manuel Matias Dias**

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

**Orientadores:** Doutora Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé  
Doutor José Miguel Cardoso Pereira

## **Júri**

**Presidente:** Doutora Maria da Conceição Brálio de Brito Caldeira, Professora auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

**Vogais:** Doutora Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé, Professora Catedrática do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutora Ana Paula Soares Marques de Carvalho, Professora auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

**Dedico esta tese aos meus tios, obrigado por tudo...**

## **Agradecimentos**

Durante a realização do trabalho aqui apresentado tive do meu lado o apoio e compreensão de diversas pessoas. Gostaria de apresentar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Margarida Tomé, como orientadora, gostaria de agradecer por todo o seu apoio, disponibilidade, paciência e compreensão que teve para comigo ao longo destes meses.

Ao Professor José Miguel, como orientador, agradeço pelo incentivo que transmite nas suas aulas, pelas suas ideias que levaram à escolha deste tema e pela sua compreensão durante a elaboração deste trabalho.

À Professora Paula Soares, pela sua preocupação, incentivo e apoio.

Aos meus pais, sem os quais nada disto seria possível, não tenho como vos agradecer por todos os sacrifícios que passaram para eu poder estar aqui. Tenho um enorme orgulho por ser vosso filho.

Aos meus amigos Rafael Pedrico e Filipa Filipe, por todo o apoio que me deram ao longo de toda esta etapa na minha vida.

Ao meu grande amigo Fábio Pereira, por poder contar com o seu apoio sempre que foi preciso, nunca me deixando baixar os braços.

À Cátia, por estar ao meu lado, pela sua paciência, carinho e força que me transmitiu, não me deixando baixar os braços nas alturas mais complicadas.

A toda a minha restante família e amigos, na impossibilidade de me poder referir a todos individualmente, agradeço pelo apoio, carinho e compreensão por não poder estar presente em muitos momentos.

## Resumo

A ocorrência de incêndios de elevada intensidade transformou drasticamente a floresta portuguesa. Devido a acontecimentos severos, como os ocorridos no verão de 2017, verificou-se a necessidade de intervenção numa floresta muito fragmentada e com sérios problemas de abandono.

A implementação da Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustíveis tem como objetivo diminuir a ocorrência de incêndios de grande intensidade, procurando defender as pessoas, os seus bens e o ambiente.

Um dos constrangimentos da gestão florestal é o longo período de tempo desde a tomada de uma decisão até à obtenção dos seus resultados. O recurso a simuladores de crescimento permite fazer uma previsão da evolução da floresta, limitando, em certa medida, a importância desse tempo de espera e servindo de suporte a uma gestão mais eficaz sobre a floresta.

No decorrer deste trabalho modificou-se a ferramenta standsSIM.md, para permitir a sua utilização na tomada de decisão na gestão de Faixas de Gestão de Combustível (FGC), neste caso para a região do Pinhal Interior e para a espécie pinheiro bravo, assim como na produção das variáveis necessárias para a utilização de simuladores de fogo. Utilizou-se o simulador para fazer a comparação da produção e rentabilidade de um povoamento de produção com diferentes modelos de silvicultura desenvolvidos segundo as regras de implementação de uma FGC.

O resultado é um simulador capaz de apoiar a decisão na gestão das FGC, na estimação da perda de rendimento por instalação de FGC e que permite também a obtenção de informação (*outputs*) que possibilitam a utilização de simuladores de fogo, permitindo verificar a eficácia das FGC na eventual ocorrência de um incêndio.

**Palavras chave:** Faixas de Gestão de combustível (FGC), Incêndios, modelos de silvicultura, SIMFLOR, standsSIM.md.

## **Abstract**

The occurrence of high-intensity fires during the last decades has drastically transformed the Portuguese forest. Due to severe events, such as those occurring in the summer of 2017, there is a need to redesign and organize a very fragmented forest with serious problems of abandonment.

The implementation of the Primary Network of Fuelbreaks allows reducing the occurrence of fires of great intensity, trying to defend the people, their assets and the environment.

One of the constraints of forest management is the long period of time from making a decision to getting its results. The use of forest growth simulators allows a forecast of the evolution of the forest, thus limiting the importance of this waiting time and supporting a more effective management of the forest.

In the course of this work, the forest simulator standsSIM.md was modified to allow its use in decision-making in the management of Fuelbreaks (FGC), in this case for the inland region of Portugal and for the maritime pine, as well as in the estimation of the variables needed as input for the use of fire simulators. The simulator was used to compare the production and profitability of a production stand with different silvicultural models developed according to the rules established by legislation for the implementation of an FGC.

The result is a simulator able to support the decision in the management of FGC, in the estimation of the loss of income by FGC installation and also allowing to obtain the outputs need as input for the fire simulators, allowing to verify the effectiveness of the FGC in the event of a fire occurrence.

**Keywords:** Firebreak, Wild fires, Forest models, SIMFLOR, standsSIM.md

# Índice

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>ii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>iii</b>
<b>Siglasiv</b>	
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. O Pinhal Interior</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Delimitação e caracterização do Pinhal Interior</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. Pinheiro bravo no Pinhal Interior</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3. Gestão florestal no Pinhal Interior</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Fogo</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. Área ardida e número de fogos em Portugal, em 2017</b> .....	<b>9</b>
<b>3.2. A combustão</b> .....	<b>10</b>
<b>4. Faixas de Gestão de Combustível</b> .....	<b>11</b>
<b>5. Métodos</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1. O simulador da floresta standsSIM.md e a sua adaptação para incluir as variáveis importantes para a simulação do fogo</b> .....	<b>14</b>
<b>5.2. Modelos de silvicultura testados</b> .....	<b>19</b>
<b>5.2.1. Modelo para povoamento de produção</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2.2. Modelos para FGC</b> .....	<b>24</b>
<b>5.3. Estimação da perda de rendimento devido à implementação de uma FGC</b> .....	<b>26</b>
<b>6. Resultados e discussão</b> .....	<b>27</b>
<b>7. Conclusão e considerações finais</b> .....	<b>38</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>40</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Distribuição dos usos do solo em Portugal continental em 2010 (Fonte: ICNF, 2013).....	1
<b>Figura 2</b> - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (Fonte: ICNF, 2013).2	
<b>Figura 3</b> - Região do Pinhal Interior (adaptado de INE, 2015). .....	4
<b>Figura 4</b> - Esquemática do Triângulo do Fogo, adaptado de Pereira et al., (2006). .....	11
<b>Figura 5</b> - Representação esquemática de um povoamento puro regular. Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2008 (CV controlo de vegetação, DR desramação, LD limpeza e/ou desbaste, t – tempo (i, k, n) ou seja, os momentos em que se identifica a necessidade de intervenção).....	20
<b>Figura 6</b> – Crescimento da altura dominante (hdom) ao longo dos anos de simulação para um índice de qualidade da estação de 24 m (idade padrão de 50 anos).....	29
<b>Figura 7</b> - Desenvolvimento do diâmetro quadrático médio (dg) para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2. ....	29
<b>Figura 8</b> – Crescimento da área basal (G) para os diferentes modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.....	30
<b>Figura 9</b> - Número de árvores por hectare (N), para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2. .	31
<b>Figura 10</b> - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo Prod-1.....	31
<b>Figura 11</b> - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo FGC-1.....	32
<b>Figura 12</b> - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo FGC-2.....	32
<b>Figura 13</b> – Biomassa no subcoberto para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.....	33
<b>Figura 14</b> - Altura da vegetação espontânea do subcoberto para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2. ....	34
<b>Figura 15</b> - Crescimento do diâmetro de copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2. ..	34
<b>Figura 16</b> - Distância média entre copas para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.....	35
<b>Figura 17</b> - Altura da base da copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2, obtidos a partir da equação de Vázquez et al. (2013), tendo em conta as desramações consideradas na prescrição.....	36
<b>Figura 18</b> - Altura da base da copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2, obtidos a partir da equação ajustada de Alegria (2011), tendo em conta as desramações consideradas na prescrição.....	37
<b>Figura 19</b> - Volume Total por categoria de aproveitamento. ....	38

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Número de ocorrências e área ardida em Portugal Continental, por ano, entre 1 de janeiro e 31 de outubro (adaptado de ICNF, 2017 [1]). .....	10
<b>Tabela 2</b> - Descrição do modelo de silvicultura Prod-1, modelo de Produção. ....	24
<b>Tabela 3</b> - Descrição do modelo de silvicultura FGC-1. ....	25
<b>Tabela 4</b> - Descrição do modelo de silvicultura FGC-2. ....	26
<b>Tabela 5</b> - Destinos do material segundo as suas dimensões. ....	27
<b>Tabela 6</b> - Comparação da rentabilidade entre os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.....	37

## **Siglas**

**DFCI** – Estratégia Regional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

**DGF** – Direção Geral das Florestas

**FGC** – Faixa de Gestão de Combustíveis

**FIC** – Faixa de Interrupção de Combustíveis

**FRC** – Faixa de Redução de Combustíveis

**ICNF** – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

**NUT** – Nomenclatura das Unidades Territoriais

**RDFCI** - Redes Regionais de Defesa da Floresta contra Incêndios

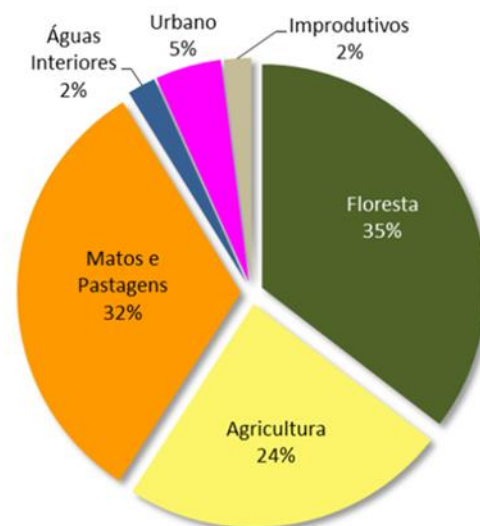
**RPFGC** – Rede Primária das Faixas de Gestão de Combustível

**ZIF** – Zona de Intervenção Florestal

## 1. Introdução

O clima Mediterrânico sob o qual está sujeito o território Português apresenta características muito próprias, nomeadamente a sobreposição da época estival com a estação quente, resultando em verões muito quentes e secos (Pereira e Santos, 2003). Estas condições são propícias à ocorrência de incêndios, originando uma adaptação das plantas tanto na sua resistência (Catry et al., 2012) como nos seus métodos reprodutivos (Fernandes e Rigolot, 2007; Moreira e Pausas, 2018). Nas últimas décadas, o aumento do número de ocorrências fez com que os incêndios deixassem de ser considerados apenas uma parte do processo natural dos ecossistemas mediterrânicos para se tornarem também um dos principais causadores de tragédia e devastação. Consultando os dados dos anos de 2003 (DGF, 2003), 2005 (DGRF, 2006) e mais recentemente 2017 (ICNF, 2017 [1]), verifica-se que, até à data, 2017 foi o pior ano em termos de área ardida, prejuízos e vidas perdidas, verificando-se a necessidade de implementação de medidas rápidas e eficazes para que acontecimentos destes não se voltem a repetir, para bem das pessoas e do ambiente.

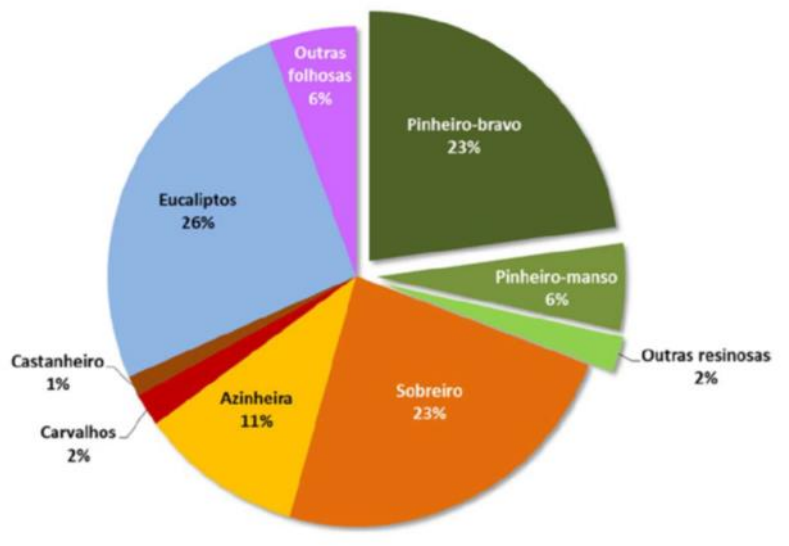
Segundo dados do IFN6 (ICNF, 2013), o uso florestal representa o uso do solo dominante em Portugal continental, cerca de 35% da área total do país (Figura 1), seguido da classe matos e pastagens com cerca de 32%.



**Figura 1** - Distribuição dos usos do solo em Portugal continental em 2010 (Fonte: ICNF, 2013).

A nível nacional, relativamente às espécies florestais e sua ocupação em termos de área, verifica-se que cerca de 72% da área florestal é ocupada por 3 espécies, sendo elas o Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), o Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e o Sobreiro (*Quercus*

*suber*), com uma representatividade de 26%, 23% e 23%, respetivamente, da área total florestal do país (Figura 2). As condições edafoclimáticas do país, contudo, resultam numa grande heterogeneidade espacial na distribuição florestal, a nível de espécies, produção e extensão de coberto florestal.



**Figura 2** - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (Fonte: ICNF, 2013).

Em Portugal continental a floresta privada ocupa 86% da área florestal, correspondendo aproximadamente a uma área de 3135 mil hectares (ha) (ICNF, 2013). Existem cerca de 400 mil propriedades, das quais 84.8% são proprietários de uma área total inferior a 3 ha (Coelho, 2003), números que elucidam sobre o padrão de distribuição socioeconómico, mostrando o quão fragmentada é a floresta portuguesa e o quão difícil é desenvolver medidas para melhorar a gestão da mesma e, conseqüentemente, a sua resiliência face aos incêndios.

A fragmentação da floresta acarreta consigo um outro problema crucial – a falta de informação relativamente à identidade dos proprietários. Este problema tem vindo a ser gradualmente resolvido com o avanço dos trabalhos relativos ao cadastro predial, embora em muitas zonas ainda se encontre muito incompleto. Deve aproveitar-se a janela de oportunidade que surge com a ocorrência de incêndios para levar estes trabalhos a bom termo, tanto pela facilidade nos acessos como pela facilidade de deslocação na própria propriedade. O conhecimento da identidade dos proprietários permite recorrer a uma outra estratégia florestal que passa pela gestão agrupada das propriedades, para a qual já se justifica a contratação de profissionais com conhecimento técnico superior, facilitando a obtenção dos resultados pretendidos para uma determinada área. Um exemplo desta gestão agrupada é o caso das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF).

A gestão agrupada permite que sejam consideradas políticas de ordenamento do território com o objetivo de desenvolver uma floresta resistente face à ocorrência de grandes incêndios. Um exemplo destas políticas é a Rede Primária das Faixas de Gestão de Combustível (RPFGC). Esta rede de faixas é sub-dividida em três níveis que vão desde a escala regional à escala local, e para que seja obtido o resultado que se espera com a implementação destas estruturas é necessário que estas estruturas sejam geridas por entidades com conhecimento e com acesso às ferramentas certas de apoio à tomada de decisão.

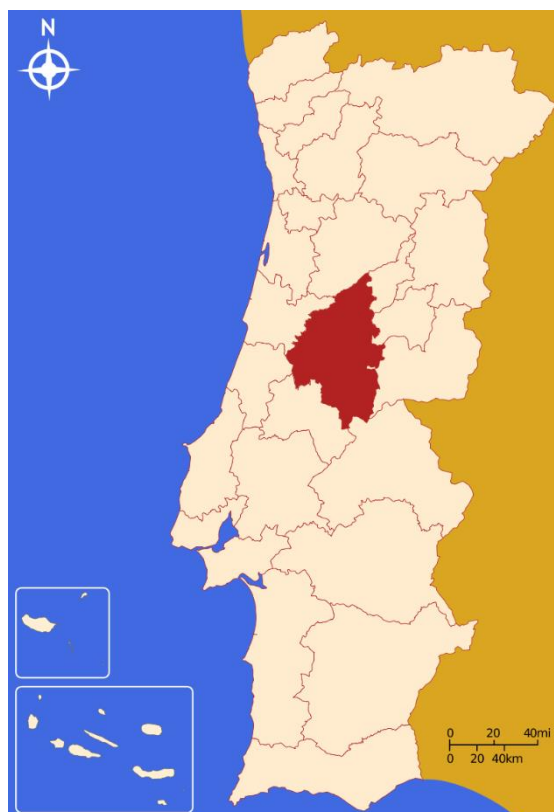
As FGC são estruturas com uma gestão muito distinta dos povoamentos de produção, nomeadamente no que respeita à densidade do povoamento e ao controlo do sub-bosque. Embora haja muita informação de como tornar os povoamentos florestais mais resistentes aos incêndios, o mesmo não se verifica explicitamente para a gestão de estruturas como as FGC. A avaliação da decisão na gestão florestal no campo é uma tarefa muito morosa, podendo o recurso a ferramentas como os simuladores providenciar hoje, embora sob a forma de previsão, a informação necessária para interpretar os resultados da influência de uma decisão tomada hoje no futuro de um povoamento.

O trabalho aqui apresentado, para a espécie pinheiro bravo, no Pinhal Interior, tem como objetivo modificar as ferramentas de simulação desenvolvidas pelo ISA (e disponíveis em <http://www.isa.ulisboa.pt/cef/forchange/fctools>) e testar a sua potencialidade para comparar a rentabilidade de povoamentos de produção com vários modelos propostos para as FRC, procurando dar resposta a como e quando intervir na FGC de maneira a que o resultado final seja uma estrutura que promova a defesa da floresta contra incêndios ao mesmo tempo que garante a obtenção de algum rendimento na mesma área. Este estudo serve também como base para o cálculo da perda de rendimento pela instalação de uma FRC. Os resultados fornecidos pelo simulador são ainda os necessários para a utilização como *input* em modelos de simulação do fogo de forma a testar a eficiência das FGC, geridas de acordo com um determinado modelo de silvicultura, na resistência ao fogo.

## 2. O Pinhal Interior

### 2.1. Delimitação e caracterização do Pinhal Interior

O território designado por Pinhal Interior (Figura 3) contempla 19 municípios da região Centro: Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Pedrógão Grande, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Penela, Tábua e Vila Nova de Poiares, pertencentes à ex-NUT III do “Pinhal Interior Norte”, e Oleiros, Proença-a-Nova, Mação, Sertã e Vila de Rei, da ex-NUT III do “Pinhal Interior Sul”, abrangendo uma área de cerca de 452 mil hectares (INE,2015).



**Figura 3** - Região do Pinhal Interior (adaptado de INE, 2015).

O Pinhal Interior, região para a qual este trabalho foi desenvolvido, enfrenta graves problemas a nível demográfico, socioeconómico e ambiental. Desde meados do século XX que as zonas do interior têm tido uma forte redução no número de habitantes (UMVI, 2017), devido a emigração e à deslocação das pessoas para os grandes centros urbanos do litoral, em busca de formação académica, trabalho e de melhores condições de vida. A emigração ocorreu principalmente em faixas etárias mais jovens, a principal força de trabalho da região. Em

resultado, muitas das terras que outrora foram cultivadas estão agora ao abandono, sem qualquer tipo de gestão, dando-se a longo prazo a proliferação de espécies invasoras e vegetação espontânea, sem qualquer tipo de controlo, consequência da falta de mão de obra capaz de gerir e trabalhar estas áreas.

O tecido empresarial apresenta-se pouco diversificado e competitivo, assente em atividades de baixo valor. Muita da atividade económica ainda se encontra centrada na fileira da madeira, caracterizada pelo predomínio de pequenas unidades empresariais com baixos níveis de produtividade, desenvolvendo atividades de baixo valor acrescentado e com reduzida incorporação de inovação. Uma das razões que explica esta falta de inovação é o baixo nível de formação da população ativa, muito inferior à média nacional, o que constitui um estrangulamento ao próprio processo de desenvolvimento económico e social do território. Assim, verifica-se que a fileira florestal se encontra insuficientemente explorada e valorizada, claramente influenciada pelo sistema de micro propriedade, factos que levam à inexistência de um ordenamento e gestão profissionalizados (UMVI, 2017).

A falta de uma gestão adequada das propriedades florestais permitiu que após os grandes incêndios de 2003 e 2005 ocorresse uma proliferação de vegetação espontânea e de espécies arbóreas invasoras, como a acácia, em áreas onde anteriormente se encontravam povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, assim como em terras que eram utilizadas para a agricultura ou pastoreio. A falta de cuidado por parte das entidades que gerem as propriedades permitiu que a floresta pós fogo se tenha desenvolvido de uma forma desordenada e com uma enorme acumulação de combustível no subcoberto. O mesmo se aplica aos caminhos florestais, não só essenciais ao acesso por parte dos meios de combate no caso de incêndio, como também como descontinuidade do coberto vegetal, funcionando como pequenos aceiros que podem diminuir a intensidade do incêndio.

As características da região, em conjunto com a falta de gestão apropriada, permitiram que em 2017 a região fosse novamente alvo da ocorrência de grandes incêndios, como se veio a observar, de maiores dimensões, intensidade e prejuízos.

Em resultado desta área ter sido gravemente afetada pela ocorrência de um elevado número de incêndios num curto espaço de tempo, a estrutura florestal tem sofrido algumas alterações, nomeadamente a redução da área de pinheiro bravo a favor do aumento da área de eucalipto e de vegetação espontânea.

O coberto florestal da região do Pinhal Interior não se distingue muito do que se verifica na maioria da região norte de Portugal, à exceção da área de sobreiro que nalgumas regiões tem uma área razoável, que nesta zona não tem uma presença muito significativa, ou seja, a maioria da área florestal da região encontra-se ocupada por pinheiro-bravo e eucalipto.

Seria importante, no processo de recuperação das áreas aridas e no melhoramento do ordenamento do território, contrariar o aumento das áreas de monoculturas que se tem verificado nos últimos anos, tentando aplicar nas faixas de gestão de combustível espécies folhosas autóctones e com menor inflamabilidade, como seria o caso dos carvalhos ou do castanheiro ou mesmo o sobreiro. Contudo, a escolha das espécies deve também ter em conta a importância económica das espécies para a região, particularmente para os proprietários e para a indústria local, de modo a garantir a gestão sustentável da florestal e a continuidade das empresas e, conseqüentemente, a fixação de população nestas zonas mais desfavorecidas. Por outro lado, as espécies folhosas autóctones são muito mais exigentes em termos de solo do que o pinheiro bravo e eucalipto, o que dificulta, muitas vezes, a sua utilização.

## **2.2. Pinheiro bravo no Pinhal Interior**

Quando se fala da região do Pinhal Interior e da sua floresta é impossível não se falar no pinheiro bravo, da sua importância socio económica, da sua silvicultura e dos problemas que envolvem esta cultura.

A área de distribuição atual do pinheiro bravo em Portugal corresponde a uma faixa litoral que se estende desde as bacias dos rios Sado e Tejo até à do rio Minho, penetrando no interior Norte e Centro até altitudes de 700 – 900 metros, em particular em exposições Sudoeste a Norte, onde ainda se faz sentir a influencia marítima (Alves et al., 2007).

Para o tema deste trabalho é importante referir que o pinheiro bravo possui algumas características que podem ser consideradas como adaptação ao fogo. Ao nível da árvore individual, as mais proeminentes são a grande espessura da casca, que lhe confere alguma proteção contra incêndios de superfície de baixa intensidade, e a presença de pinhas serôdias, associada à regeneração após fogos de elevada intensidade (Fernandes e Rigolot, 2007).

A elevada ocorrência de fogos florestais em pinhal constitui atualmente uma das mais sérias ameaças à continuidade da sua importância em Portugal, mas deve-se salientar que esta incidência não se deve apenas à sua inflamabilidade, mas também ao facto desta espécie continuar a ser uma das espécies florestais mais abundantes em Portugal e a aspetos ligados com a sua gestão (Alves et al., 2007). A outra ameaça que tem afetado gravemente os povoamentos de pinheiro bravo é a proliferação da doença da murchidão do pinheiro, provocada pelo nemátodo da madeira do pinheiro, *Bursaphelenchus xylophilus*. A presença

deste nemátodo em Portugal foi inicialmente detetada na península de Setúbal (Sousa et al., 2001), mas, apesar dos esforços de contenção realizados, hoje já se pode verificar a sua presença por todo o país, com perdas de rendimento avultadas.

### **2.3. Gestão florestal no Pinhal Interior**

O regime de propriedade do Pinhal interior é na sua grande maioria o minifúndio (UMVI, 2017). Este regime de propriedade levanta alguns entraves sempre que se pretendem implementar medidas sobre a floresta. De maneira a ultrapassar estes problemas, e dada a dificuldade de chegar a todos os proprietários, deve ser considerada a possibilidade de tentar chegar junto das associações de produtores florestais ou das entidades gestoras das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), de maneira a que as medidas que venham a ser preconizadas para a gestão agrupada das florestas na zona de pequena propriedade, nomeadamente no Pinhal Interior (objeto deste trabalho), consigam cobrir a maior área possível.

O Decreto-Lei n.º 15/2009 de 14 de janeiro, o qual define a implementação das ZIF, é um instrumento de política florestal que visa garantir uma gestão eficiente dos espaços florestais à escala da paisagem e uma aplicação coerente dos apoios públicos ao desenvolvimento florestal.

A “silvicultura para a prevenção de incêndios”, parte essencial da silvicultura preventiva, é um conjunto de ações articuladas ao nível dos espaços florestais que, partindo do estudo dos fenómenos de ignição e propagação do fogo e dos fatores que os controlam, visa evitar a sua ocorrência e diminuir as suas consequências (Silva e Páscoa, 2002). No caso dos incêndios rurais, a maior ou menor resistência à propagação do fogo está diretamente relacionada com as continuidades horizontal e vertical dos combustíveis, as quais, por sua vez, estão relacionadas com a estrutura da ocupação do espaço e com a estrutura e composição dos povoamentos florestais. No planeamento da ocupação do espaço, há que procurar garantir um mosaico diversificado, com alternância de talhões com diferente inflamabilidade e combustibilidade e garantindo, sempre que possível, a existência de ruturas: faixas de gestão de combustível, linhas de água ou cortinas corta-fogo. Ao nível da composição dos povoamentos, o objetivo será incluir na área de gestão, sempre que possível e particularmente nas zonas mais sensíveis, alguns talhões com espécies (ou misturas de espécies) menos inflamáveis e menos combustíveis ou que resistam melhor à passagem do fogo, sendo a dimensão dos talhões menor nas situações de maior perigo de incêndio (vertentes viradas a barlavento ou a sul/leste, encostas com declives superiores a 45%, espécies inflamáveis e/ou

pouco resistentes ao fogo, áreas com intensa utilização humana – parques de recreio, entre outros); o desenho e localização dos talhões deverá ser realizado tendo em atenção o previsível comportamento do fogo (ICNF,2019).

A silvicultura preventiva ao nível do povoamento atua sobre:

- A estrutura – que respeita à forma do seu arranjo interno, ligada à distribuição etária das árvores, à arquitetura das copas, à existência e distribuição de diferentes estratos do sub-bosque e os horizontes do solo;
- A composição – que respeita à variedade e natureza das espécies que compõem os povoamentos (Moreira e Coelho, 2008).

Segundo Moreira et al. (2010), do ponto de vista espacial, a operacionalização dos princípios e estratégias de gestão de combustíveis é redutível a duas opções, respetivamente intervenção linear ou em área. Em Portugal, as Redes Regionais de Defesa da Floresta contra Incêndios (RDFCI) foram conceptualizadas em torno destas duas opções. Estas RDFCI, propostas pelo Conselho Nacional de Reflorestação na sequência dos grandes incêndios de 2003 e 2005, e traduzidas em lei pelo Decreto-Lei nº 124/2006 de 28 de Junho (posteriormente alterado pelo Decreto-Lei nº 14/2019, de 21 de janeiro), têm como função primordial concretizar territorialmente, de forma coordenada, a estratégia regional de defesa da floresta contra incêndios (DFCI), a qual tem por finalidade a redução da taxa anual de incidência de fogos florestais para níveis social e ecologicamente aceitáveis. Esta estratégia aborda de forma integrada 3 áreas fundamentais:

1. Prevenção da eclosão do fogo, visando diminuir o número de ocorrências;
2. Planeamento do território, visando dotar os espaços florestais das características e infraestruturas necessárias para a minimização da área ardida e consequentes danos ecológicos e patrimoniais, bem como gerir as interfaces floresta/agricultura e floresta/zonas edificadas;
3. Combate aos incêndios, visando a redução da área de cada incêndio e a salvaguarda de pessoas e bens, incluindo não só a primeira intervenção como também toda a atividade de combate estendido.

As RDFCI são constituídas por um conjunto de redes e ações sectoriais, designadamente, (i) Rede de faixas de gestão de combustível; (ii) Mosaico de parcelas de gestão de combustível; (iii) Rede viária; (iv) Rede de pontos de água e de outros materiais retardantes; (v) Rede de vigilância e deteção de fogos; (vi) Rede de infraestruturas de combate (Moreira et al., 2010).

### **3. Fogo**

#### **3.1. Área ardida e número de fogos em Portugal, em 2017**

Se verificarmos os dados do 10º relatório provisório sobre incêndios florestais (ICNF, 2017 [1]) pode-se constatar que houve um total de 16.981 ocorrências entre 1 de janeiro e 31 de outubro de 2017, valor abaixo da média do número de ocorrências nos 10 anos anteriores (Tabela 1). Do total de ocorrências, 214 fazem parte da categoria de grandes incêndios, ou seja, do total de ocorrências apenas aproximadamente 1,2% atingiram uma área superior a 100 hectares, mas estes mesmos 1,2% foram responsáveis por cerca de 93% do total de área ardida para o mesmo período. Mais detalhadamente, verificamos que dos 214 incêndios de grandes dimensões, 32 tiveram 1º alerta num único dia, dia 15 de outubro. Estes 32 incêndios foram responsáveis por uma área total ardida de aproximadamente 202 mil hectares, cerca de 45% do total de área ardida. Ou seja, apesar das forças de combate aos incêndios conseguirem terminar 99% dos incêndios antes que estes atinjam os 100 hectares, os restantes 1% não só são os responsáveis por grande maioria de área ardida como também a sua ocorrência se resume a poucos dias, o que dificulta imenso o trabalho das entidades de comando dos meios de combate.

Da análise por distrito, destacam-se com maior número de ocorrências, e por ordem decrescente, os distritos de Porto (4.336), Braga (1.743) e Viseu (1.698) e, mais afetados em área ardida, os distritos de Coimbra com 113.839 hectares, cerca de 26% da área total ardida até àquela data, seguido da Guarda com 60.038 hectares (14% do total) e de Castelo Branco com 52.721 hectares (12% do total). Conclui-se que as zonas com maior número de ocorrências não são necessariamente as zonas mais afetadas em área ardida, pois estas ocorrências nas zonas com maior número de população residente são maioritariamente fogachos – fogos com dimensão inferior a 1 hectare. No caso específico do distrito do Porto, da totalidade de ocorrências, 87% inserem-se na categoria de fogachos.

**Tabela 1** - Número de ocorrências e área ardida em Portugal Continental, por ano, entre 1 de janeiro e 31 de outubro (adaptado de ICNF, 2017 [1]).

Anos	Ocorrências (nº)			Área ardida (ha)		
	Fogachos (área<1ha)	Incêndios florestais	Total	Povoamentos	Matos	Total
2007	12.204	2.286	14.490	7.658	15.140	22.798
2008	11.564	2.391	13.955	5.335	11.116	16.451
2009	20.172	5.828	26.000	24.092	63.216	87.308
2010	17.924	3.942	21.866	46.064	86.924	132.988
2011	19.953	5.008	24.961	20.028	53.687	73.715
2012	16.694	4.418	21.112	48.063	62.155	110.218
2013	14.859	3.536	18.395	54.922	94.816	149.738
2014	5.947	1.066	7.013	8.726	11.193	19.919
2015	12.217	3.276	15.493	23.685	40.524	64.209
2016	10.089	2.693	12.782	77.442	83.016	160.458
<b>2017</b>	<b>13.324</b>	<b>3.653</b>	<b>16.977</b>	<b>264.951</b>	<b>177.467</b>	<b>442.418</b>
Média 2007-2016	14.162	3.444	17.607	31.601	52.179	83.780

### 3.2. A combustão

Para que um fogo comece e se propague é necessário que haja vegetação combustível, condições meteorológicas apropriadas e fontes de ignição (Figura 4), Pereira et al., (2006).

A propagação decorrente de cada ignição depende da existência de um volume de combustíveis finos com continuidade espacial e grau de secura adequados a uma combustão sustentável.

O volume de combustível disponível para arder é o resultado da acumulação de biomassa no local. Esta acumulação depende da produtividade primária sendo primeiramente controlada pelo balanço hídrico e em seguida pela fertilidade do solo (Powers, 1999). Em zonas demasiado áridas o fogo não tem expressão, pois apesar das condições de secura propícias, não existe combustível suficiente para a queima. Ao contrário, em zonas de floresta húmida há um grande volume de biomassa acumulada; no entanto os fogos são também raros pois as condições de humidade elevada não permitem a sua ocorrência. Assim, os fogos são frequentes em ecossistemas onde existem simultaneamente combustíveis acumulados e períodos de secura. É o caso das savanas tropicais e dos ecossistemas arbustivos do

Mediterrâneo, onde períodos sazonais secos e quentes facilitam a ocorrência de fogos que consomem a biomassa acumulada em períodos de crescimento anteriores.



**Figura 4** - Esquemática do Triângulo do Fogo, adaptado de Pereira et al., (2006).

#### **4. Faixas de Gestão de Combustível**

A Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível (RPFGC) funciona como um elemento estruturante da paisagem rural, planeado e desenhado a uma escala distrital, a fim de desempenhar um conjunto de funções assentes na defesa de pessoas e bens e do espaço rural, tais como:

- a. Função de diminuição da superfície percorrida por grandes incêndios, permitindo e facilitando uma intervenção direta de combate ao fogo;
- b. Função de redução dos efeitos da passagem de incêndios, protegendo de forma passiva vias de comunicação, infraestruturas e equipamentos sociais, zonas edificadas e povoamentos florestais de valor especial;
- c. Função de isolamento de potenciais focos de ignição de incêndios (ICNF, 2014).

Foi concebida em Portugal uma rede de FGC a nível regional, descrita no DL nº 124/2006, de acordo com a funcionalidade e responsabilidade de manutenção: (i) rede primária, de nível sub-regional, delimitando compartimentos paisagísticos com determinada dimensão e sendo implementada nos espaços rurais; (ii) rede secundária, de nível municipal ou local, desenvolvida sobre redes viárias e ferroviárias, linhas elétricas, envolventes aos aglomerados populacionais e a todas as edificações, aos parques de campismo, às infraestruturas e parques de lazer e de recreio, aos parques e polígonos industriais, às plataformas logísticas

e aos aterros sanitários; (iii) rede terciária, de nível local e apoiada nas redes viária, ferroviária, elétrica e divisional das unidades de gestão florestal ou agroflorestal (vulgarmente designados como “aceiros”, “arrifes” ou “aceiros perimetrais”). É importante salientar que a rede primária não é desenhada para parar, por si só, um incêndio, mas sim para conferir às forças responsáveis pelo combate uma maior probabilidade de sucesso no ataque e contenção de um grande fogo florestal, ou seja, toda a RPFGC deve garantir uma rede viária fundamental que permita a circulação segura dos meios de combate, devendo assim ser avaliada a existência de declives, pedregosidade, ou outros elementos que se apresentam como obstáculo à circulação, facilitando o acesso a pontos favoráveis para o combate de incêndios.

O traçado de uma RPFGC deve contemplar a utilização de informação diversa, como:

- histórico de incêndios;
- comportamento do fogo (se disponível ter em conta simulações do comportamento do fogo);
- presença de Regime Florestal ou ZIF;
- ocupação do solo;
- RPFGC já executada;
- património natural e cultural.

Do ponto de vista técnico, as FGC subdividem-se em:

- **Faixas de Interrupção de Combustível (FIC):** procede-se à remoção total dos estratos de combustível (arbóreo, arbustivo, herbáceo, outro material lenhoso, musgos, líquenes e folhada, e ainda húmus).
- **Faixas de Redução de Combustível (FRC):** procede-se à remoção parcial do combustível de superfície, à supressão da parte inferior das copas e à abertura dos povoamentos.

Agee (2000) definiu as características de uma FRC pela alteração dos combustíveis de superfície, aumentando a altura da base de copa e abrindo o copado pela remoção de árvores. A implementação deste tipo de estrutura exige um amplo conhecimento em relação às técnicas de gestão de combustíveis e manipulação de fogo. A calendarização das operações é também um fator muito importante, pois a eficácia da FGC varia muito de acordo com a

frequência com que são efetuadas as operações de gestão de combustíveis (Fernandes et al., 2004).

A implementação de FGC é difícil por razões técnicas e socioeconómicas. Do ponto de vista técnico, não estão ainda definidos os sistemas e modelos de silvicultura (densidades do povoamento, calendarização de operações florestais) mais adequados para cada espécie, de forma a garantir uma menor velocidade de propagação do fogo. Do ponto de vista socioeconómico, sendo a floresta portuguesa predominantemente privada e com propriedades de pequena dimensão, há que encontrar formas de gestão agrupada (ou outras soluções) que permitam compensar os proprietários cujas propriedades sejam atravessadas por FGC.

A implementação de uma FGC não deve impedir que haja alguma produção naquela área, pelo contrário, deve-se procurar intercalar as FGC com a floresta ou outras atividades (como por exemplo agricultura, pastorícia ou produção de cogumelos), de modo a reduzir a necessidade de intervenção na gestão de combustíveis e a garantir algum rendimento (Moreira e Coelho, 2008).

## **5. Métodos**

Entenda-se por modelo de silvicultura a definição do sistema de silvicultura, assim como do conjunto de técnicas e respetiva calendarização a considerar na gestão de um povoamento florestal para alcançar os objetivos de produção ou proteção pretendidos, garantindo a perpetuidade do povoamento e dos seus serviços (Gonçalves et al., 2008).

A eficácia das FGC está dependente não só das características do arvoredo instalado, mas também das condições do subcoberto, nomeadamente as cargas de combustível.

A seleção dos modelos de silvicultura adequados a cada unidade de gestão é uma ferramenta essencial na otimização do potencial produtivo dos povoamentos. A sua definição é essencial no apoio ao planeamento das atividades de uma exploração florestal (Gonçalves et al., 2008).

## **5.1. O simulador da floresta standsSIM.md e a sua adaptação para incluir as variáveis importantes para a simulação do fogo**

Sendo o objetivo principal das FGC dificultar a propagação dos incêndios, verifica-se que os métodos de gestão a adotar para estes casos distinguem-se da gestão dirigida para a maximização da produção lenhosa. Para além do planeamento necessário para a instalação das faixas é necessário ter uma base sólida de conhecimento acerca da gestão das mesmas após a sua implementação e recorrer a ferramentas que permitam prever o resultado futuro das decisões de gestão a tomar.

Com o objetivo de definir os modelos de gestão a adotar para as FGC deve-se recorrer a ferramentas como os simuladores de crescimento, simuladores estes que contemplam diretamente um módulo de gestão florestal, onde podem ser integradas diversas praticas de gestão, e que têm um módulo de crescimento que permite estimar as características dos povoamentos, assim como os respetivos produtos, num determinado horizonte de planeamento.

Nesse sentido recorreu-se à plataforma SIMFLOR (Faias et al., 2012), plataforma desenvolvida com a intenção de agrupar diferentes modelos de crescimento sob uma única interface, mais simples de utilizar e interpretar, de maneira a que esta ferramenta de apoio à decisão esteja disponível para todos os possíveis interessados. Na plataforma SIMFLOR está integrado o simulador standsSIM.md (Barreiro et al., 2016), um simulador desenvolvido para assistir à decisão da entidade gestora da floresta na tomada de decisão entre diferentes opções de gestão. O standsSIM.md está organizado por módulos, o que torna a programação mais simples, uma vez que o código se encontra dividido em unidades lógicas com funcionalidades separadas. Estas permitem a alteração ou desenvolvimento de sub-unidades separadamente. Esta característica do simulador é particularmente relevante para este trabalho uma vez que foram integradas novas equações, que permitem obter valores para a acumulação de folhada, largura de copa e altura da base da copa, dentro do modelo PINASTER, um dos modelos de crescimento integrados no simulador standsSIM.md. De maneira a serem obtidos valores para a carga de combustível e altura da vegetação espontânea foi também integrado um modelo para simular o crescimento da vegetação espontânea (Botequim et al., 2014).

O standsSIM.md tem como módulos principais o módulo de crescimento, responsável por simular o crescimento do povoamento, e o módulo de gestão, que permite que a simulação siga um determinado cenário de gestão decidido pelo utilizador. É ainda importante o módulo de estimação e cálculo que estima e/ou calcula, a partir das variáveis que fazem parte do

módulo de crescimento (variáveis principais do modelo), todas as variáveis relevantes para os utilizadores.

A simulação visa a obtenção de valores como a densidade final e o volume, total e por categorias de aproveitamento, obtido no final da revolução e nos desbastes. Este tipo de *output* é essencial para a posterior análise da diferença de volume e, portanto, de rendimento entre um povoamento de produção e uma FGC.

Para que seja possível realizar as simulações e obter valores para todas as variáveis necessárias para testar os modelos com o simulador de fogo, para o caso do pinheiro bravo, foi necessário introduzir no simulador equações para o diâmetro de copa e utilizar os resultados das equações de biomassa de ramos e de folhas de modo a conseguir obter a densidade aparente do copado (uma vez fixada a forma da copa como um cone com a base igual à largura da copa e a altura igual à profundidade da copa). Outras variáveis muito relevantes para a simulação de fogos são a quantidade de folhada e a “carga” de matos no sub-bosque, os quais foram também adicionados ao modelo PINASTER. Resumindo, após esta tese, este modelo, para além das variáveis usuais nos modelos de crescimento da floresta, estima também as variáveis que influenciam o comportamento do fogo e que são essenciais para a utilização de simuladores de comportamento do fogo: altura da base da copa, largura da copa, distância média entre copas, densidade aparente da copa, biomassa e altura de matos e biomassa de folhada.

O diâmetro e a área projetada da copa são variáveis importantes que descrevem a eficiência no crescimento e a competição em povoamento (Condés e Sterba, 2005). No contexto deste trabalho, é importante saber o diâmetro médio das copas em povoamentos de modo a calcular a distância entre copas e a densidade aparente do copado.

Condés e Sterba (2005), desenvolveram equações de diâmetro de copa para árvores inseridas em povoamentos ou isoladas, que posteriormente foram comparadas com os valores reais obtidos em inventário. Das equações testadas, selecionou-se para utilizar no simulador standsSIM.md, a que apresentou melhores resultados ao nível geral.

Diâmetro de copa *Pinus pinaster* (Condés e Sterba, 2005):

$$\ln(cw) = -1.292 + 0.978 * \ln(d) - 0.208 * \ln(h)$$

*cw* – diâmetro de copa (m); *d* – diâmetro a altura do peito, em centímetros; *h* – altura total da árvore (m).

O diâmetro das copas é muito influenciado pela densidade dos povoamentos, pelo que seria de esperar que esta equação incluísse, como variável regressora, o número de árvores por

hectare, o que não se verifica. Assim, a influência da densidade do povoamento é tida em conta de forma indireta através da relação h/d.

É importante ter em atenção, do ponto de vista da gestão para a prevenção contra incêndios, que existe um *trade-off* entre diâmetro de copa e crescimento de vegetação espontânea no subcoberto. Pode-se justificar esta característica dos povoamentos pela necessidade de se efetuar intervenções de limpeza e gestão de vegetação espontânea nas idades mais jovens dos povoamentos, porque nestas idades o copado ainda permite a chegada de muita luz ao solo o que promove o desenvolvimento de vegetação espontânea. Quando o copado fecha, a quantidade de luz a chegar ao subcoberto é muito menor, ou seja, o desenvolvimento de espécies arbustivas será muito inferior. Resumindo, à medida que se permite a chegada de mais luz ao solo, maior será o desenvolvimento de espécies no subcoberto do povoamento e, conseqüentemente, a necessidade de intervenção para gestão dos combustíveis.

No caso dos povoamentos de pinheiro bravo, como se trata de uma espécie intolerante ao ensombramento, o nível inferior, à medida que os ramos mais baixos recebem menos luz tornam-se gradualmente menos produtivos e, conseqüentemente, mais dispendiosos para a árvore, pelo que ocorre a desrama natural, ou seja, a árvore abdica dos ramos inferiores a favor dos ramos superiores, que a nível fotossintético são mais produtivos. É, portanto, importante ter alguma noção de como esta desrama natural ocorre ao longo dos anos. Vázquez et al., 2013, desenvolveram um estudo com o objetivo de encontrar modelos para estimar o perfil vertical e a biomassa disponível na copa para as espécies *Pinus pinaster* e *Pinus radiata*. Das equações testadas, a que se representa de seguida foi a que obteve melhor resultados para a altura da base de copa média ( $\overline{hcb}$ ), e que foi selecionada para ser acrescentada ao modelo PINASTER do standsSIM.md:

Altura da base de copa média (Vázquez et al., 2013):

$$\overline{hcb} = 0.1213 * hmed^{1.596}$$

$\overline{hcb}$  - Altura da base de copa média (m);  $hmed$  – altura média (m).

Verifica-se em relação a esta equação, um problema idêntico ao que já foi apontado para a largura da copa, ou seja, a não inclusão da densidade do povoamento como variável preditora. Neste caso, o problema é maior, visto que a equação também não inclui a altura total da árvore, pelo que a influência da densidade não está tida em conta de forma indireta, como se verificava na equação para a largura da copa.

Dada a relevância da densidade do povoamento para a altura da base de copa procurou-se chegar à altura de base de copa a partir de uma segunda equação, que incluísse diretamente

a densidade do povoamento como variável preditora e comparar os resultados entre as duas equações de maneira a verificar qual seria a mais adequada a manter no modelo PINASTER.

Foi desenvolvido, por Alegria (2004), uma equação que calcula a proporção de copa da árvore média ( $\bar{c}r$ ) para povoamentos irregulares.

Proporção de copa da árvore média (Alegria, 2004):

$$\bar{c}r = 1 - e^{-(1.1414 + 0.000629 * hdom + 0.000048 * N - 0.00148 * G + 0.00933 * \bar{h} + 0.00164 * \bar{t})^{10}}$$

$\bar{c}r$  – Proporção de copa da árvore média;  $hdom$  – altura dominante (m);  $N$  - número de árvores por hectare;  $G$  - área basal do povoamento, em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;  $\bar{h}$  - altura média (m);  $\bar{t}$  – idade média do povoamento, em anos.

A equação acima permite calcular a proporção de copa, mas pode ser alterada de maneira a se obter a altura da base de copa, para tal multiplica-se o valor da proporção de copa pela altura média e subtrai-se este resultado da altura média, resultando na seguinte equação:

$$\overline{hcb} = hmed - hmed * \bar{c}r = hmed * (1 - \bar{c}r)$$

$\overline{hcb}$  – Altura média de base de copa (m);  $hmed$  – altura média (m);  $\bar{c}r$  – proporção de copa da árvore média.

Embora a equação se aplique a povoamentos irregulares, a observação dos histogramas das distribuições de diâmetros apresentados em Alegria(2004) (Figura 4.4, nas páginas 132 a 155) permite concluir que os povoamentos estão longe de apresentar uma estrutura jardinada, muitos têm mesmo uma estrutura próxima da de um povoamento regular, razão pela qual se optou por testar também esta equação.

Nos povoamentos de pinheiro bravo, a queda da agulha origina um manto contínuo de combustível que cobre o solo do povoamento. Desta característica dos pinhais há duas considerações a ter em conta: 1) a acumulação de agulhas de pinheiro aumenta a acidez do solo, inibindo o aparecimento de muitas espécies de subcoberto, que são mais suscetíveis a solos ácidos; 2) a acumulação de agulhas no solo cria um contínuo de combustível bastante inflamável que permite a continuidade de chamas de incêndios de baixa intensidade. Assim, é importante ter em conta a acumulação de folhada, neste caso em forma de agulhas, pois é uma característica do povoamento que facilita a passagem de incêndios, mesmo para os

casos de reduzida intensidade. Para ter este efeito em conta, acrescentou-se ao modelo PINASTER do simulador standsSIM.md uma equação de acumulação de folhada.

Folhada *Pinus pinaster* (Fernandes et al., 2002):

$$W_{litt} = 2.025 * G^{0.677} * (1 - e^{-0.276*t})$$

$W_{litt}$  – biomassa de folhada, ton.ha<sup>-1</sup>; G – área basal, m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>; t – tempo de acumulação, anos.

Para a elaboração de modelos de gestão para as FGC é essencial ter conhecimento do crescimento da vegetação espontânea no subcoberto do povoamento, principalmente quais as espécies presentes e como é o seu crescimento. A resistência de um povoamento florestal à passagem de um incêndio é em grande parte explicado pela gestão que é efetuada sobre os combustíveis. Ou seja, a eficácia das FGC está dependente não só das características do arvoredo instalado, mas também das condições do subcoberto, nomeadamente as cargas de combustível. De maneira a serem obtidos valores para a carga de combustível foi também acrescentado ao simulador standsSIM.md um modelo para simular o crescimento da vegetação espontânea (Botequim et al., 2014).

Biomassa do Subcoberto (Botequim et al., 2014):

$$W_{shrub} = (32.72 - 0.239 * resp - 0.1528 * G) * (1 - e^{-(0.00108*resp+0.00249*T)*t})$$

$W_{shrub}$  – biomassa do subcoberto (vegetação espontânea), Mg ha<sup>-1</sup>; G – área basal, m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; t – idade do combustível, anos; resp – percentagem de espécies rebrotadoras; T – temperatura média anual, °C.

A introdução das condições do povoamento no simulador de fogo faz-se através de modelos de combustível. Para definir estes modelos de combustível é preciso determinar o valor da diferença entre a altura dos combustíveis de subcoberto e a altura de base de copa. O modelo de crescimento de combustível no subcoberto dá valores para a biomassa (peso seco), ou seja, será necessário um ajustamento ou a introdução de cálculos secundários de modo a se obter a altura dos combustíveis. Neste sentido, e não existindo outro modelo alternativo, assumiu-se uma altura máxima do subcoberto de 2 m e um crescimento linear da altura da vegetação do subcoberto com o correspondente crescimento em biomassa, assumindo-se,

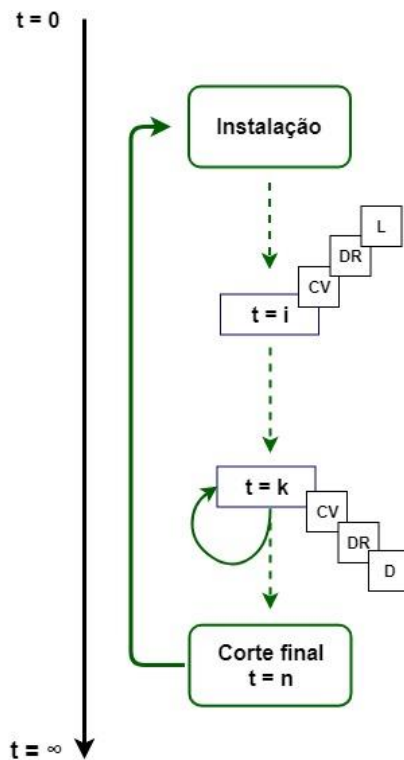
tendo em conta os dados apresentados em Botequim et al. (2014) um máximo para a biomassa do subcoberto de 18 Mg ha<sup>-1</sup>.

Os simuladores de crescimento projetam o futuro do arvoredo da FGC e fornecem todos os dados para que um simulador de fogo possa ser utilizado para testar a eficácia da FGC na possibilidade de ocorrência de incêndio e na sua progressão. Como já foi dito, uma FGC não é uma estrutura que consiga conter um incêndio, o seu principal objetivo será reduzir a intensidade do incêndio e, deste modo, facilitar e promover a eficácia da intervenção dos meios de combate. Assim, numa simulação de incêndio deve-se procurar obter valores para probabilidade de: 1) um incêndio ascender às copas e 2) ocorrer um fogo de copas ativo.

A utilização do simulador de fogo, a diferentes idades desde a implementação da FGC, permite determinar a idade a partir da qual será possível utilizar o fogo controlado como método de gestão dos combustíveis. Sendo o fogo controlado um dos métodos mais eficazes e com menos custos para a redução dos combustíveis, (ICNF, 2017 [2]), é de todo o interesse chegar a essa conclusão, análise que é possível com a versão do simulador standsSIM.md que resulta deste trabalho.

## **5.2. Modelos de silvicultura testados**

Para o delineamento dos modelos a simular foi considerado como base a estrutura desenvolvida por Gonçalves et al. (2008) para povoamentos puros regulares. A esquematização destes modelos está apresentada na Figura 5, onde CV significa controlo de vegetação, DR desramação, LD limpeza e/ou desbaste, t – tempo (i, k, n), ou seja, os momentos em que se identifica a necessidade de intervenção.



**Figura 5** - Representação esquemática de um povoamento puro regular. Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2008 (CV controlo de vegetação, DR desramação, LD limpeza e/ou desbaste, t – tempo (i, k, n) ou seja, os momentos em que se identifica a necessidade de intervenção).

Descrevem-se em seguida as operações florestais que foram consideradas na Figura 5, ou seja, na prescrição dos modelos utilizados nas simulações, com algumas adaptações a partir de Alves et al. (1988); Alves et al. (2012); Alves et al. (2018), Gonçalves et al. (2008) e Pereira et al., (2006).

### Instalação

Após o trabalho de delineamento da RPFGC, deve-se proceder à instalação do arvoredado que irá constituir a FRC. A fase inicial não difere da que se verifica para a instalação de povoamentos de produção, que contempla operações como controlo da vegetação concorrente, preparação da estação, escolha dos compassos e tipo de instalação.

Para os objetivos da implantação de uma FGC serão simulados os crescimentos de acordo com diferentes compassos de instalação e regimes de desbaste do arvoredado. Do ponto de

vista da gestão de uma FGC é mais interessante manter um povoamento com estrutura equiética homogénea, em que as árvores formam um só andar de vegetação, facilitando assim a descontinuidade vertical dos combustíveis. Tendo como espécie deste trabalho o pinheiro-bravo, será considerado o regime em alto fuste para as FGC.

### **Operações culturais**

Nas operações culturais que aqui são referidas consideram-se as ações necessárias à prossecução dos objetivos da implementação das FGC.

A condução ou gestão de povoamentos florestais pressupõe um conjunto de operações, e a respetiva calendarização, devendo ser aplicadas em função do desenvolvimento do povoamento, e por isso, serem flexíveis e abertas, de modo a que alterações de crescimento ou de mercado possam ser acompanhadas pela adaptação da gestão dos povoamentos. Na gestão de uma FGC, assumem particular importância as operações que reduzem o risco de incêndios, nomeadamente o controlo de vegetação espontânea, as limpezas, os desbastes e as desramações.

- **Controlo de vegetação espontânea**

O objetivo do controlo de vegetação espontânea é controlar a competição (em luz, água e nutrientes, em particular na fase mais jovem do povoamento) e, função essencial no caso das FGC, diminuir a massa combustível, reduzindo o risco de incêndio.

As diferentes técnicas de controlo de vegetação espontânea em povoamentos florestais devem ser adaptadas às características da estação e da espécie, tendo em conta principalmente a sua tolerância ao ensombramento. Esta operação pode ser efetuada por meios manuais e moto manuais; mecânicos através de corta-matos, destroçadores e grades de disco; fogo controlado ou pastoreio. Pode ser utilizado um método ou a combinação de vários, permitindo jogar com as vantagens de cada um, e adaptando-os às características do povoamento e da estação.

- **Limpezas e desbastes**

As limpezas são indicadas nos povoamentos jovens com o objetivo de reduzir a pressão de competição entre indivíduos, a primeira na fase inicial dos povoamentos de uma forma indiferenciada e as restantes já com alguma seletividade com o objetivo de promover uma

maior eficiência produtiva. Têm de ser cuidadosamente planeadas, dado o seu custo e reduzido valor comercial, uma vez que normalmente produzem material de pequenas dimensões. Podem, contudo, tornar-se rentáveis caso se consiga colocar o material retirado para a produção de biomassa para energia.

Os desbastes têm como objetivo controlar a pressão de competição, promovendo uma redistribuição do potencial produtivo dum sítio, que é diferentemente aproveitado consoante o número e dimensão das árvores que estão presentes em cada momento. Têm lugar quando o espaço de crescimento está totalmente ocupado ou sempre que necessário de acordo com os objetivos de gestão. A realização de um desbaste implica não só a decisão sobre a sua aplicação, mas também sobre o tipo de desbaste, o seu peso e as regras para a seleção dos indivíduos a cortar (ver por ex., Alves et al. (2018)). Podem ser consideradas diferentes técnicas de eleição dos indivíduos a manter no povoamento, que podem ser alterados ao longo do tempo de acordo com os objetivos definidos e o desenvolvimento do povoamento.

Apesar de se tratar da instalação de uma FGC, deve-se procurar utilizar um compasso inicial que permita a ocorrência de alguma competição vertical, não só pelos mesmos objetivos dos povoamentos de produção, mas também com a intenção de se obter indivíduos com pouca ramificação e cuja copa se distancie do solo o mais rapidamente possível, dando assim origem à descontinuidade vertical dos combustíveis. As limpezas e desbastes são, portanto, operações essenciais na gestão das FGC.

- **Desramações**

As desramações têm como objetivo principal promover a qualidade do material lenhoso, retirando uma certa proporção de andares de ramos vivos e, sempre que haja, os ramos mortos, conduzindo assim o fuste com o menor número possível de nós. A promoção da desramação natural, pelo ensombramento do fuste, é a forma mais económica. A desramação artificial, dado o seu custo, e baixa receita por produzir material de reduzido valor comercial, incide, normalmente, nos indivíduos com melhores características produtivas, ou seja, aqueles que permanecem até ao termo de explorabilidade. Considera-se a sua aplicação (Alves, 1988; Timbal et al., 1994), em dois casos: 1) na produção de material lenhoso com fustes altos sem defeitos, indicando-se valores de pelo menos 4 a 6 m; e 2) na prevenção de incêndios florestais, pela promoção da descontinuidade entre os estratos inferiores e os das copas, efetuando-se neste caso até aos 2 m de altura (CEMAGREF (1987) cit in Correia e Oliveira (2003)). Pressupõe-se: a sua execução a partir do solo; a desramação no cedo, de modo a valorizar o lenho; desramar apenas até cerca de 30% do volume da copa, de modo a não originar reduções de crescimento; desramar, preferencialmente, quando os ramos ainda

apresentem reduzidas dimensões para minimizar a dimensão das feridas provocadas por esta operação, promover a cicatrização das feridas e reduzir a dimensão dos nós, de maneira a aumentar o valor do lenho.

- **Cortes**

Em cortes incluem-se tanto os cortes sanitários como os de realização. Relativamente aos últimos deverá ser tida em conta principalmente a extração do material lenhoso. Assim, serão mais indicados os cortes de realização que promovam a manutenção do coberto, conferindo maior proteção do solo e conservação da água, em zonas em que o declive e as características do solo sejam restritivos.

Considera-se que os cortes de realização se efetuam quando se atinge o termo de explorabilidade, ou seja, o momento em que os objetivos encontram o ótimo de explorabilidade biológica e/ou económica, seja em volume total ou principal, máximo acréscimo médio anual ou determinados resultados económico-financeiros (Alves, 1988). Os cortes de realização podem ser levados a cabo de diferentes formas, as quais podem ser consultadas, por exemplo, em Alves et al. (2018).

Os cortes sanitários permitem o controlo da propagação de pragas e doenças, devendo, por isso, ser efetuados sempre que existam indivíduos afetados.

### **5.2.1. Modelo para povoamento de produção**

Para exemplificar como o simulador standsSIM.md pode ser utilizado para verificar a diferença da rentabilidade entre povoamentos instalados para produção e povoamentos instalados como FGC, foi simulado o desenvolvimento de um modelo de produção de lenho destinado à indústria com base no modelo de silvicultura para pinheiro bravo de Oliveira et al. (2000) (Tabela 2).

**Tabela 2** - Descrição do modelo de silvicultura Prod-1, modelo de Produção.

<b>Tipo de Operação</b>	<b>Idade</b>	<b>Detalhe da Operação</b>
Plantação	1	Compasso 4x1,5m $\approx$ 1670 arv/ha
Limpeza	2	Limpeza de vegetação espontânea e redução de densidade (aos 10 anos deve-se ter entre 1000 – 1200 arv/ha)
	5	
	8	
Desramação	10	Até 2 metros de altura, em todas as árvores
	15	Até 3 – 4 metros de altura, realizar apenas nas árvores de futuro
Desbaste	15	Realizar a operação com um grau de desbaste definido pelo Fator de Wilson (0.4, 0.3 e 0.27, respectivamente)
	25	
	35	
Corte Final	50	Corte raso

### 5.2.2. Modelos para FGC

A implementação e gestão de uma FGC tem de cumprir determinados critérios presentes no anexo do Decreto Lei (DL) n.º 124/2006, de 28 de junho. De acordo com este DL, os critérios que podem influenciar diretamente os modelos para as FGC com pinheiro bravo são os seguintes:

- a) No estrato arbóreo a distância entre as copas das árvores deve ser no mínimo de 10 m nos povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, devendo estar desramadas em 50% da sua altura até que esta atinja os 8 m, altura a partir da qual a desramação deve alcançar no mínimo 4 m acima do solo;
- b) (...)
- c) No estrato arbustivo a altura máxima da vegetação não pode exceder 50 cm;

d) No estrato subarbustivo a altura máxima da vegetação não pode exceder 20 cm.

Com base nos critérios do DL, foram definidos 2 modelos de silvicultura, FGC-1 e FGC-2, cujas operações estão descritas nas Tabela 3 e

**Tabela 4.**

**Tabela 3** - Descrição do modelo de silvicultura FGC-1.

<b>Tipo de Operação</b>	<b>Idade</b>	<b>Detalhe da Operação</b>
Plantação	1	Compasso 4x4m $\approx$ 625 arv/ha
Limpeza	2	Limpeza de vegetação espontânea e redução de densidade (aos 10 anos deve-se ter cerca de 500 arv/ha)
	5	
	8	
Desramação	10	Realizar em todas as árvores
	15	
Desbaste	15	Grau de desbaste definido pelo Fator de Wilson (0.8, 0.7 e 0.7, respetivamente)
	25	
	35	
Controlo de vegetação	Realizado sempre que a biomassa de subcoberto atinja a altura de 50 cm	
Corte Final	50	Corte raso

**Tabela 4** - Descrição do modelo de silvicultura FGC-2.

<b>Tipo de Operação</b>	<b>Idade</b>	<b>Detalhe da Operação</b>
Plantação	1	Compasso 2x4m $\approx$ 1250 arv/ha
Limpeza	2	Limpeza de vegetação espontânea e redução de densidade (aos 10 anos deve-se cerca de 500 arv/ha)
	5	
	8	
Desramação	10	Realizar em todas as árvores
	15	
Desbaste	15	Grau de desbaste definido pelo Fator de Wilson (0.7, 0.7, 0.65, 0.65, 0.65, 0.65, respetivamente)
	20	
	25	
	30	
	35	
	40	
Controlo de vegetação	Realizado sempre que a biomassa de subcoberto atinja a altura de 50 cm	
Corte Final	50	Corte raso

### 5.3. Estimação da perda de rendimento devido à implementação de uma FGC

O valor de uma FGC não se resume apenas ao valor do volume de material que se consegue produzir, mas também pela importância da presença desta estrutura para os povoamentos que lhe estão adjacentes, pela redução do risco de incêndio, o que dificulta o cálculo do valor real de uma FGC.

Tal como já foi referido, a implementação destas estruturas não impede que esta área não seja produtiva, não só porque a implementação de uma FRC permite a produção de algum volume, como permite intercalar a produção de material lenhoso com outras atividades (como a silvopastorícia, por exemplo). Para os objetivos deste trabalho o valor atribuído a estas atividades secundárias não será considerado, ou seja, para se poder comparar a perda de rendimento pela implementação da FGC procedeu-se apenas à comparação dos resultados das simulações para o valor atual líquido (VAL) e volume total (Vtot) retirado do povoamento.

O material lenhoso que se obtém a partir de um povoamento tem diferente destino de mercado definido pelas dimensões do material obtido (Tabela 5), pelo que foi também calculado o volume obtido, para cada um dos modelos de silvicultura, por categorias de aproveitamento.

**Tabela 5** - Destinos do material segundo as suas dimensões.

<b>Características do material lenhoso para as categorias de aproveitamento consideradas</b>	<b>Destino – categorias de aproveitamento</b>
Diâmetro > 30 cm	Serração (madeira com maior valor atribuído)
Diâmetro > 15 cm < 30 cm	Serração (tábuas para caixotaria)
Diâmetro < 15 cm	Trituração (aglomerados, pasta para papel, Impregnação)
Diâmetro < 7 cm	Produção energética

## 6. Resultados e discussão

Para ser possível comparar os resultados entre os diferentes modelos de silvicultura simulados foram analisadas algumas variáveis do povoamento, nomeadamente o diâmetro quadrático médio (dg), a área basal (G), o número de árvores por hectare (N), os volumes,

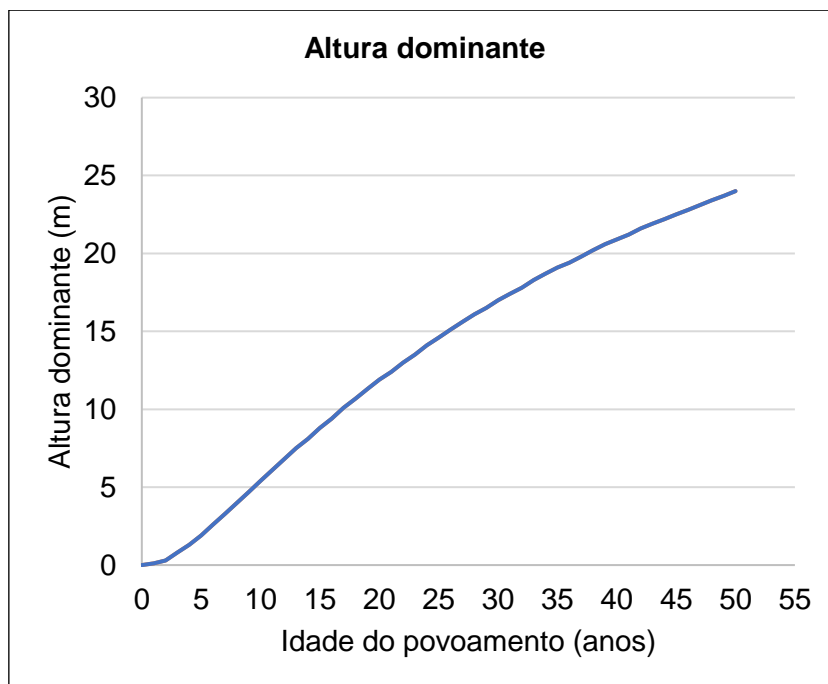
principal e total ( $V$  e  $V_{tot}$ , respetivamente), variáveis que dizem respeito à produção do povoamento. Foram também analisados os resultados das equações implementadas no simulador para o diâmetro de copa ( $cw$ ) e a biomassa e altura do subcoberto ( $W_{shrub}$  e  $h_{shrub}$ ).

Há muitos métodos para avaliar a produtividade de um local (vejam-se as revisões de Carmean 1975, Hägglund 1981, Vanclay 1992 ou Skovsgaard e Vanclay 2008). O índice de qualidade da estação ( $S$ ), definido como a altura dominante do povoamento a uma idade geralmente próxima do corte, designada por idade padrão, é, contudo, o método mais utilizado em modelos de crescimento de povoamentos regulares (Burkhardt e Tomé, 2012). Para a simulação do povoamento com o `standsSIM.md` é necessário como variável input o índice de qualidade da estação ( $S$ ). Neste caso, e para a região de estudo em causa, considerou-se um  $S=24$  (ICNF, 2019) aos 50 anos, idade de fim da rotação. Mas a mesma análise pode ser repetida para qualquer valor de  $S$ , pretende-se aqui apenas apresentar a utilização do simulador para a comparação dos diferentes modelos de silvicultura num mesmo povoamento.

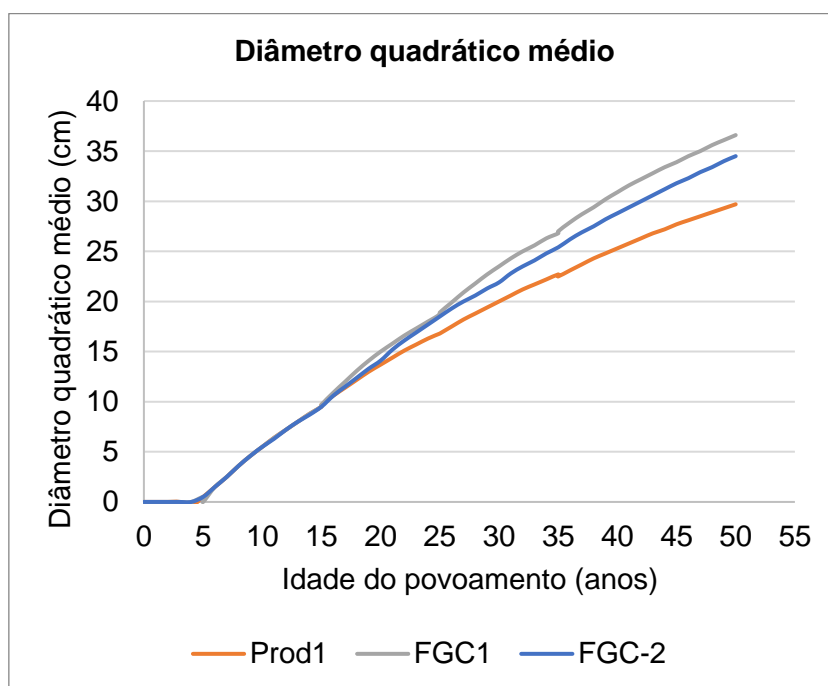
O gráfico da Figura 6 representa o desenvolvimento da altura dominante ( $h_{dom}$ ) ao longo dos anos de simulação, para o valor de  $S=24$ , num povoamento sujeito às condições climáticas características da região em estudo.

Os resultados das simulações para o crescimento do diâmetro quadrático médio ( $dg$ ) ao longo do período de simulação, permite verificar que, como seria de esperar, aos povoamentos com maior densidade de árvores correspondem menores valores de  $dg$  (Figura 7).

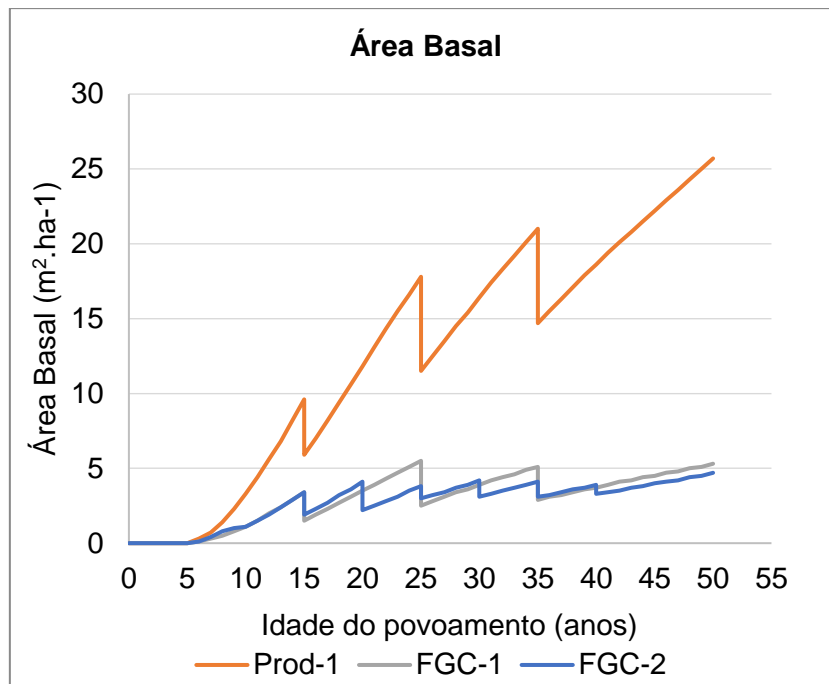
Relativamente à área basal dos povoamentos ( $G$ ), (Figura 8), verifica-se que o modelo Prod1 apresenta, obviamente, valores mais altos para esta variável. Apesar de este modelo apresentar menores valores de  $dg$  em relação aos outros modelos, o maior número de árvores por hectare que se verifica no modelo Prod1 compensa essa diferença.



**Figura 6** – Crescimento da altura dominante (hdom) ao longo dos anos de simulação para um índice de qualidade da estação de 24 m (idade padrão de 50 anos).



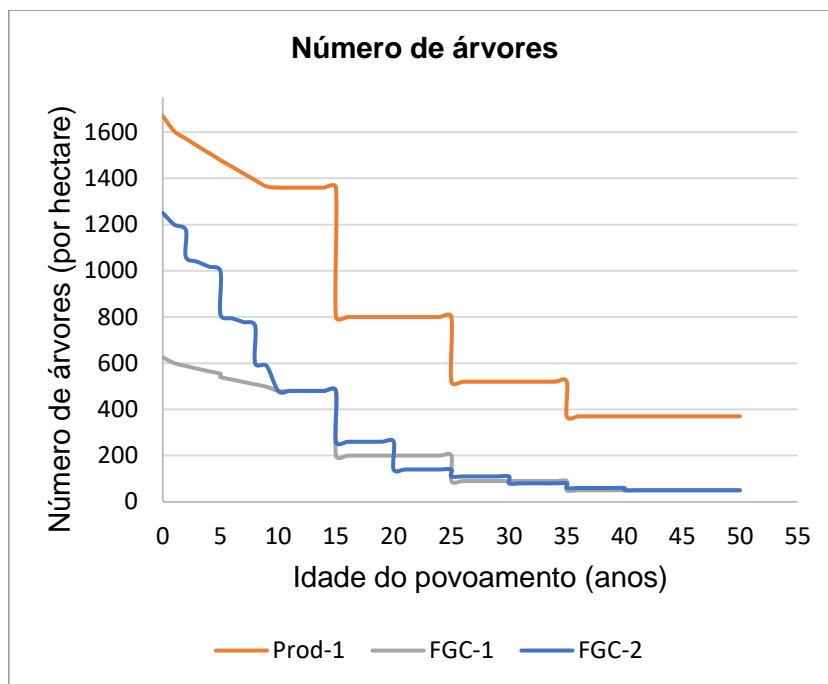
**Figura 7** - Desenvolvimento do diâmetro quadrático médio (dg) para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.



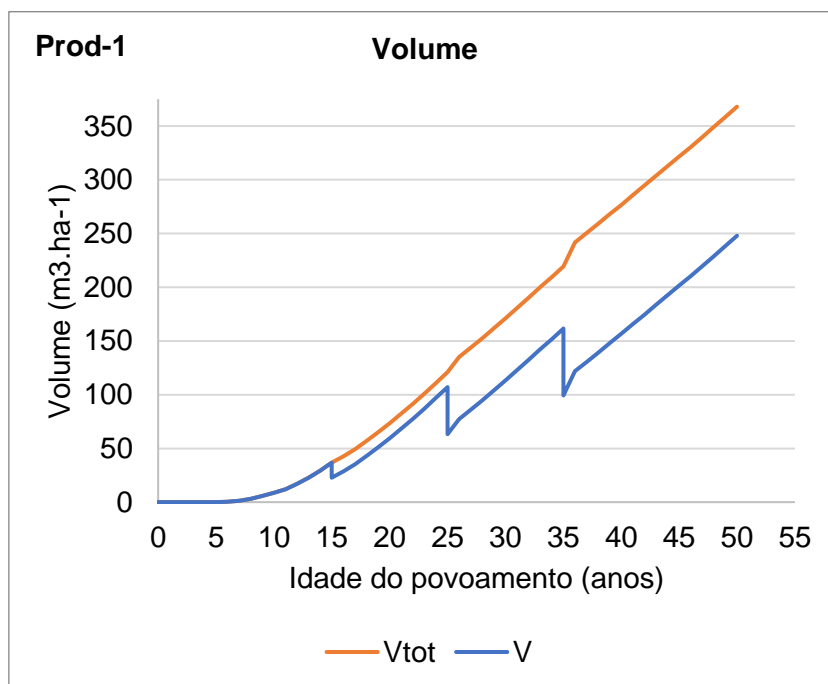
**Figura 8** – Crescimento da área basal (G) para os diferentes modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.

Os modelos de silvicultura que foram considerados apresentam uma grande diferença no número de árvores a instalar e no número e intensidade dos desbastes a realizar. É por esta razão que se verifica a grande diferença entre as curvas do número de árvores por hectare (N), apresentada na Figura 9.

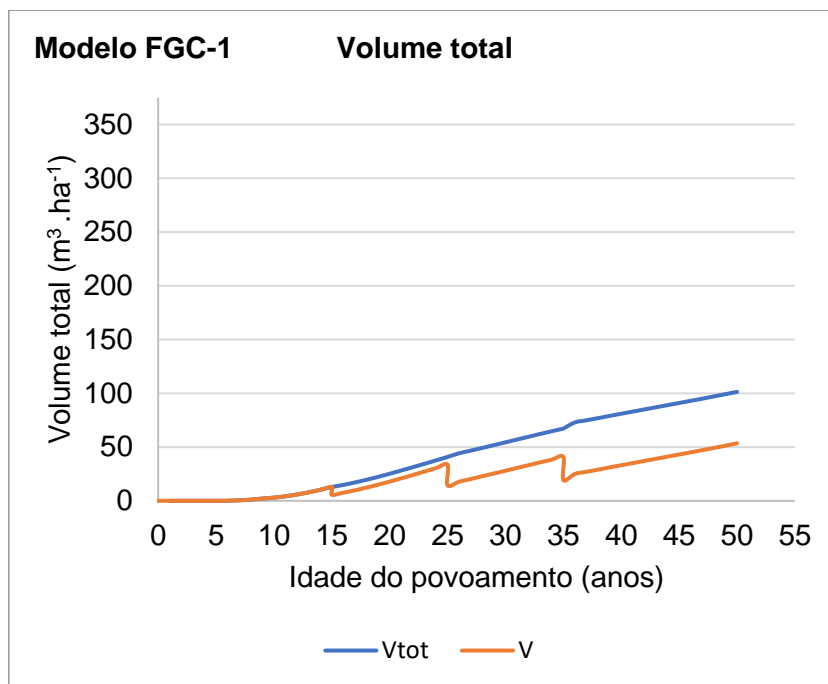
Nos gráficos apresentados nas Figuras 10, 11 e 12, que correspondem aos volumes principais (V) e totais (Vtot), respetivamente, verifica-se a grande diferença que seria de esperar entre os povoamentos implementados como faixa de redução de combustível e os povoamentos de produção. Comparando as curvas de Vtot, verifica-se que o modelo Prod1 apresenta valores superiores ao dobro dos que se verificam no modelo FGC-2, modelo que apresenta os valores mais baixos de volume total no fim da revolução. Tendo em conta a lei de Eichorn, esta constatação permite concluir que os modelos selecionados para as FRC correspondem a uma situação de sub-lotação.



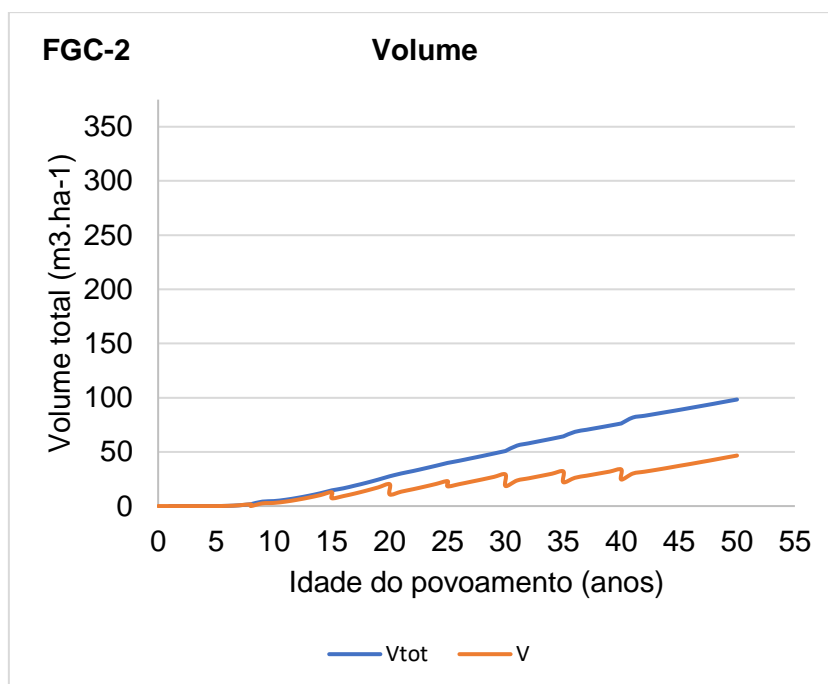
**Figura 9** - Número de árvores por hectare (N), para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.



**Figura 10** - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo Prod-1.



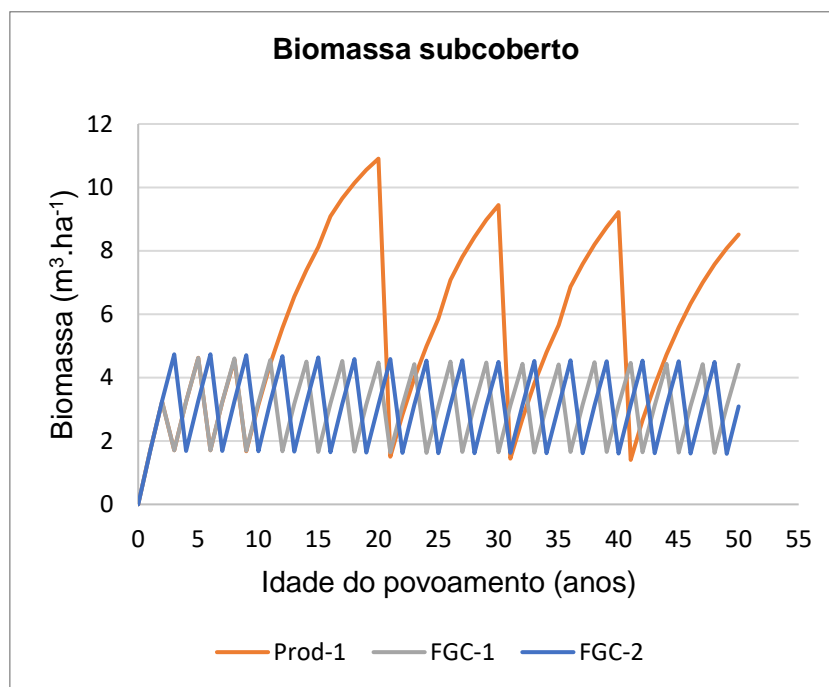
**Figura 11** - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo FGC-1.



**Figura 12** - Volume principal (V) e volume total (Vtot), para o modelo FGC-2.

O período mais curto entre as operações de limpeza nas prescrições para os modelos FGC resulta numa carga de combustível no subcoberto muito inferior à que seria de esperar para um povoamento de produção. Os resultados para os modelos FGC1 e FGC2 são semelhantes

entre si, mas distintos dos resultados do modelo Prod1, tal como era esperado (Figura 13). Esta diferença também se pode verificar no gráfico da Figura 14 onde os resultados se descrevem em termos dos valores de altura da vegetação do subcoberto, de acordo com a relação linear considerada para este caso. Os resultados destas simulações permitem verificar a diferença que uma gestão mais severa sobre o controlo de vegetação espontânea pode ter na redução do risco de incêndio para o povoamento, tanto na propagação do fogo como na ascensão do fogo às copas.

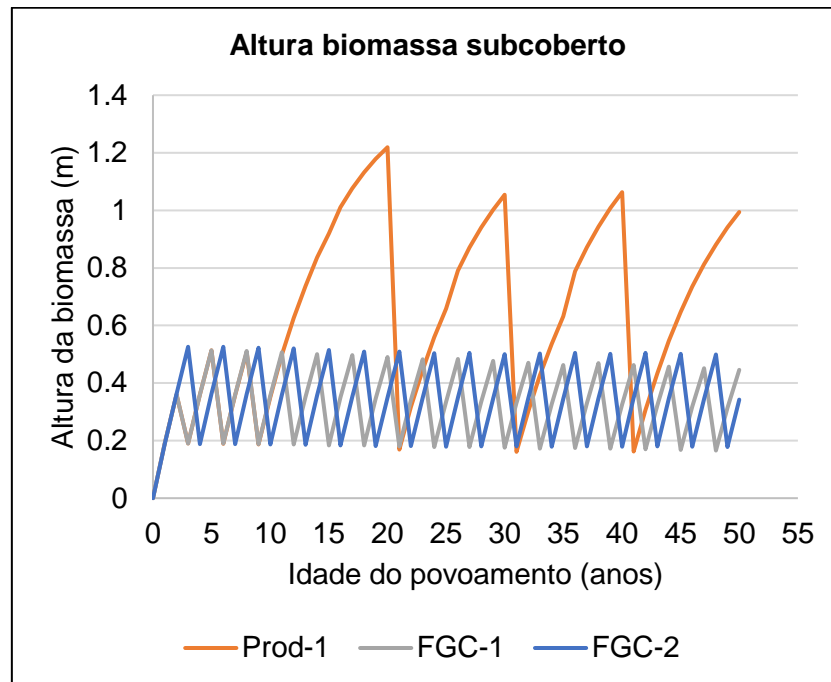


**Figura 13** – Biomassa no subcoberto para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.

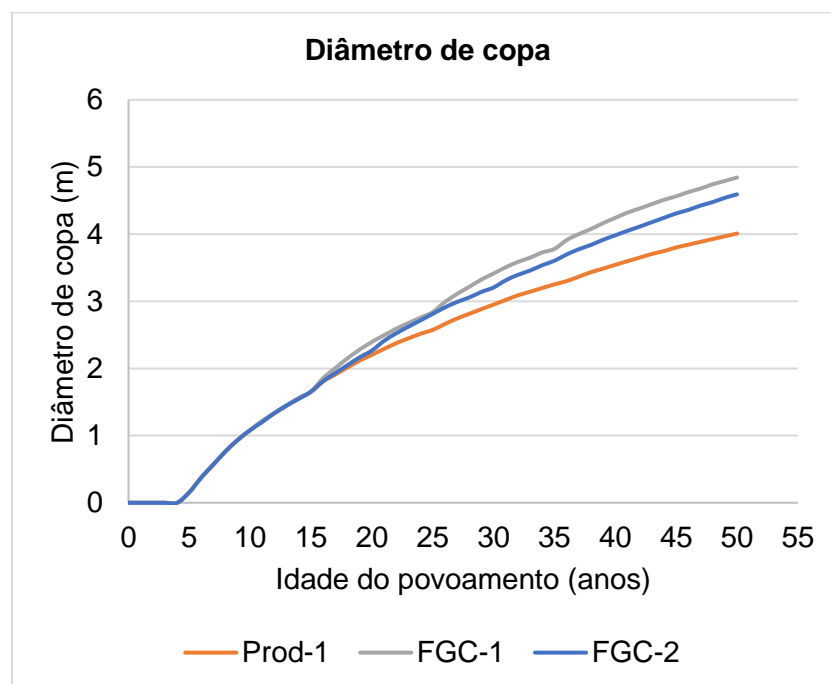
O diâmetro de copa ( $cw$ ) é calculado com base na altura e no diâmetro da árvore, obtendo-se o valor do diâmetro da copa para uma determinada árvore. Ao nível do povoamento, o interesse recai sobre o  $cw$  médio para o povoamento, pelo que nestas simulações se calculou o  $cw$  com base no diâmetro quadrático médio ( $dg$ ) e na altura da árvore média ( $hmed$ ), altura obtida a partir da relação hipsométrica, ou seja, os resultados apresentados na Figura 15 correspondem ao  $cw$  da árvore média do povoamento e não o  $cw$  médio do povoamento.

Os modelos de silvicultura simulados apresentam uma grande diferença na densidade, por esse motivo seria de esperar uma grande diferença entre os valores de  $cw$  para cada modelo. Contudo, os resultados obtidos para o  $cw$  não apresentam uma diferença grande entre os modelos, esta situação pode ter como origem o facto de estar a projetar o  $cw$  para a árvore

média do povoamento mas também pelo facto da densidade do povoamento não ser uma variável regressora no modelo utilizado para estimar a largura da copa.

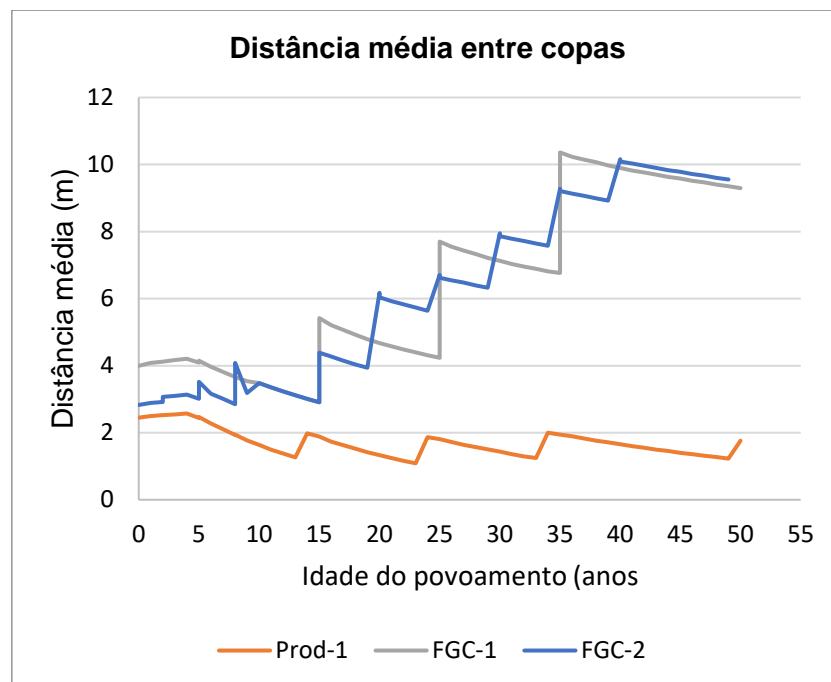


**Figura 14** - Altura da vegetação espontânea do subcoberto para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.



**Figura 15** - Crescimento do diâmetro de copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.

A partir dos valores e da densidade dos povoamentos procurou-se verificar a distância média entre copas das árvores para os 3 modelos de silvicultura. Para calcular esta distância foi calculada a distância média entre árvores a partir do número de árvores por hectare (N) e posteriormente foi descontado o valor de cw. Pelos resultados (Figura 16) é possível verificar que ao modelo com maior número de operações de desbaste corresponde o povoamento com maior distância entre copas, neste caso o modelo FGC-2.



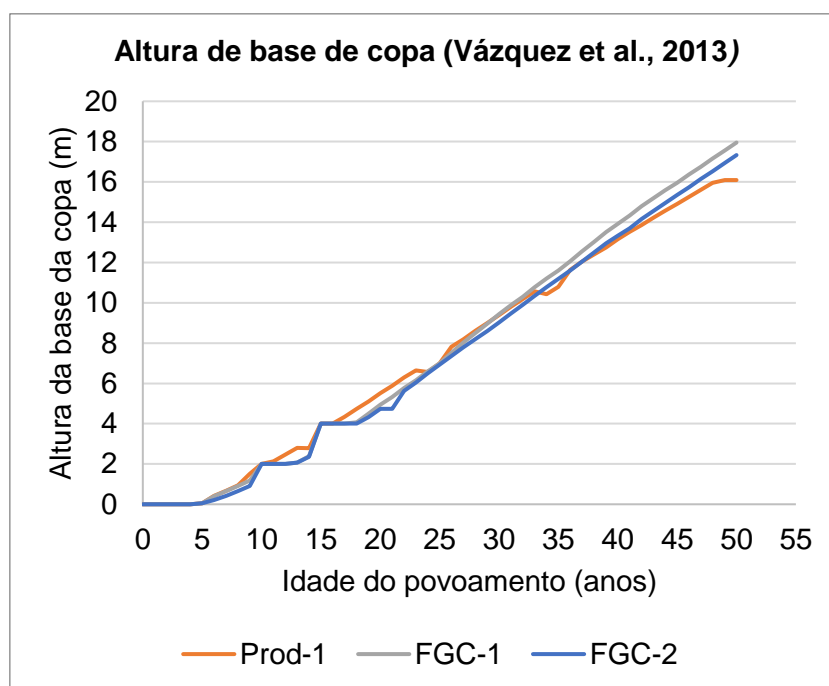
**Figura 16** - Distância média entre copas para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.

A Figura 17 representa o desenvolvimento da altura de base de copa média ( $\overline{hcb}$ ) de acordo com a equação testada por Vázquez et al. (2013), tendo em conta as desramações consideradas na prescrição. Esta equação apresenta valores muito próximos para os diferentes modelos aqui testados. É importante referir que a altura média foi calculada a partir do diâmetro quadrático médio, ou seja, não é altura média do povoamento, mas sim a altura estimada, pela relação hipsométrica, para a árvore média do povoamento; por outro lado, a densidade do povoamento não é incluída na equação utilizada para estimar a  $\overline{hcb}$ , o que pode justificar os valores que se verificam no gráfico.

Ainda referente a  $\overline{hcb}$ , a Figura 18 apresenta os resultados das simulações, utilizando a equação de Alegria (2004). Neste caso verifica-se uma diferença maior entre os modelos FGC e o modelo de produção. Apesar desta equação já entrar com a densidade do povoamento, a diferença entre os valores é menor do que seria de esperar, embora estes resultados não

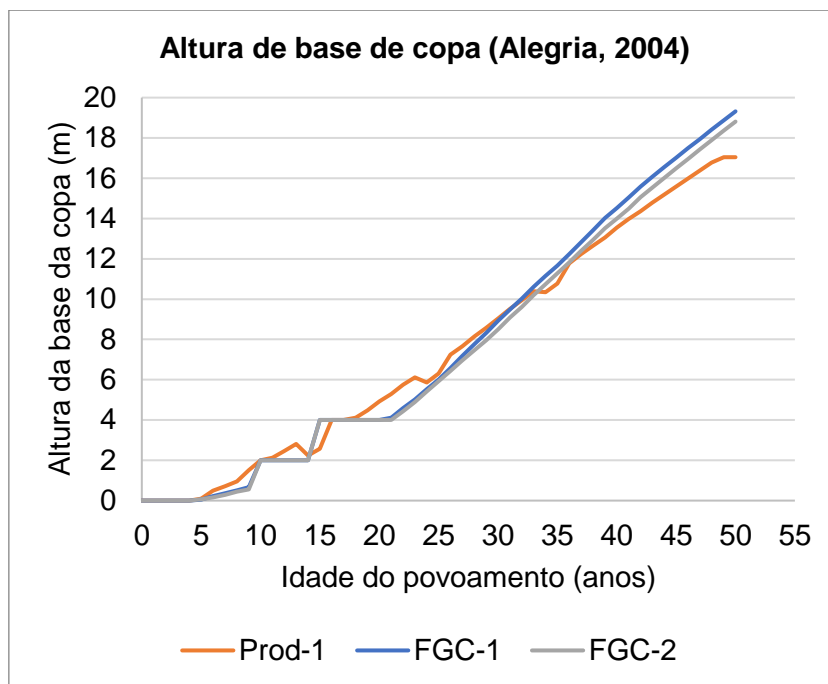
tenham sido comparados com medições de campo para confirmar qual das equações é mais eficaz na simulação de  $\overline{hcb}$ .

As equações, de Vázquez et al (2013) e Alegria (2004), foram definidas para povoamentos regulares e irregulares, respetivamente. Nos povoamentos de produção, sejam eles equiênicos ou não, é esperado que a densidade afete a disposição e dimensão das copas, contudo, quando se trata de árvores dispersas, com uma densidade muito baixa, como é o caso das FGC, aqui exemplificada pelos modelos FGC-1 e FGC-2 a densidade pode deixar de apresentar um papel limitante no desenvolvimento da copa, ou seja, o crescimento da árvore se aproximar do crescimento de uma árvore isolada. A verificar-se isto, os valores apresentados pelas equações podem ser inferiores à realidade, resultando na necessidade de efetuar desbastes com maior intensidade, com o objetivo de atingir os valores para distância entre copas definido pela lei.



**Figura 17** - Altura da base da copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2, obtidos a partir da equação de Vázquez et al. (2013), tendo em conta as desramações consideradas na prescrição.

A Tabela 6 apresenta os valores da produção em volume e do rendimento dos povoamentos cuja gestão seja a sugerida por estes modelos. Os resultados permitem verificar que existe uma clara perda de rendimento num povoamento sujeito a uma gestão que corresponda a uma FGC face a um povoamento dirigido para a produção.

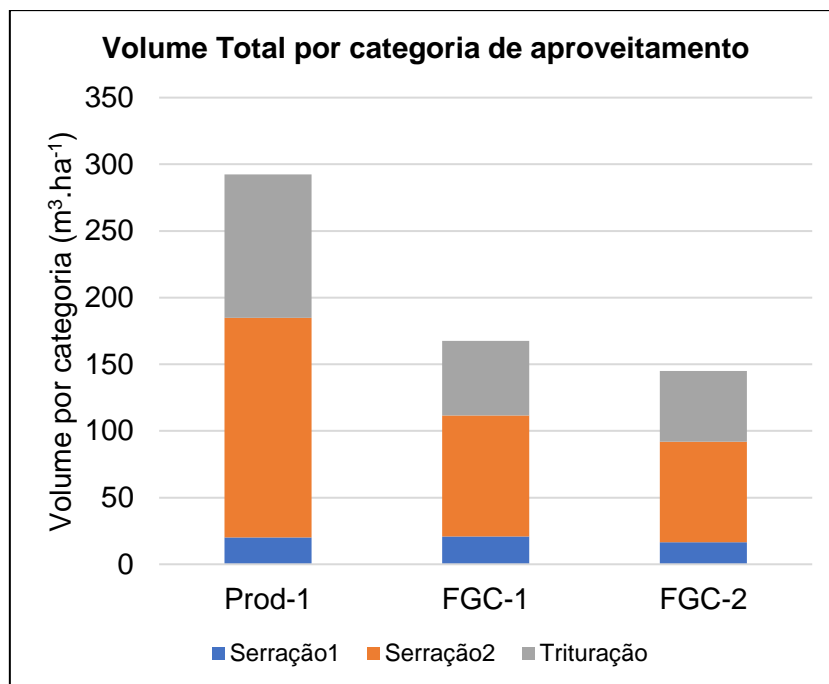


**Figura 18** - Altura da base da copa para os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2, obtidos a partir da equação ajustada de Alegria (2004), tendo em conta as desramações consideradas na prescrição.

Na Figura 19 está representado o volume total obtido no povoamento por classe de aproveitamento. Não foi contabilizado o volume para produção de energia (biomassa para queima) pois geralmente o custo/receita de todas as operações para este tipo de material é nulo.

**Tabela 6** - Comparação da rentabilidade entre os modelos Prod-1, FGC-1 e FGC-2.

	PROD-1	FGC-1	FGC-2
<b>VOLUME TOTAL (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)</b>	324.8	88.8	82
<b>VOLUME MÉDIO ANUAL (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)</b>	6.5	1.8	1.6
<b>VALOR ATUAL LÍQUIDO</b>	-2483.4	-3904.9	-3995.2



**Figura 19** - Volume Total por categoria de aproveitamento.

## 7. Conclusão e considerações finais

Este trabalho mostrou a capacidade do simulador da floresta standsSIM.md para simular diferentes modelos de silvicultura, em particular alguns que se adaptam aos critérios definidos por lei para as FGC. Mostrou ainda a importância que será, no seguimento deste trabalho, integrar a simulação do crescimento da floresta com a simulação do fogo.

Um dos problemas que se detetou foi a falha das equações disponíveis para estimar a largura da copa e a altura da base da copa em fazer realçar as diferenças esperadas em consequência da variação da distância média entre árvores (densidade do povoamento). Este deverá ser um assunto a resolver no curto prazo, de forma a ultrapassar este problema.

Os trágicos resultados dos grandes incêndios que têm ocorrido nos últimos anos, para além do cenário de destruição, trazem também consigo uma janela de oportunidade que deve ser aproveitada para reestruturar a floresta, aumentando a sua resiliência aos incêndios, de modo a prevenir a destruição da mesma e proteger as comunidades.

Dado que a prevenção é a melhor forma de defender a floresta da ocorrência de grandes incêndios, a reestruturação das áreas florestais será um dos principais passos a ter em conta para alcançar esse objetivo. Neste sentido, devem ser tomadas medidas como a elaboração

de planos de ação e de sensibilização a todos os intervenientes do setor florestal, tendo em especial atenção os proprietários, para que as estratégias de gestão desenvolvidas passem do “papel” à prática.

A modificação do simulador standsSIM.md para a realidade das FGC permite potenciar a sua gestão, tornando esta estrutura mais eficaz no apoio ao combate aos incêndios. Deve também ser utilizado em ações de sensibilização junto dos proprietários para mostrar, por um lado, a perda de rendimento, mas por outro, qual a eficiência deste tipo de estruturas no apoio ao combate aos incêndios. Para este último objetivo o standsSIM.md terá que ser utilizado em conjunto com simuladores de fogo.

A implementação de uma FRC é uma opção que se deve considerar sempre que for possível tomar esta decisão face à FIC, pois o impacto visual é menor e permite ter alguma produção de material lenhoso até que cumpre as suas funções de proteção, que pode ser fundamental na viabilidade da manutenção destas estruturas.

Este trabalho pretende ser um ponto de arranque para a utilização dos simuladores no apoio à tomada de decisão na silvicultura preventiva. Seria interessante colocar os *outputs* destes simuladores num simulador de fogo e ajustar os modelos de silvicultura em relação aos resultados da simulação de fogo.

Neste trabalho foi utilizado o pinheiro bravo como espécie a simular, principalmente pela sua importância económica para a região na qual este trabalho se focou. No seguimento deste trabalho pode-se também procurar adaptar os simuladores a outras regiões do país, principalmente a zona Norte, também muito afetada pelos incêndios e para a qual as espécies com maior importância são outras que não o pinheiro bravo. Para o Pinhal Interior, seria de considerar a utilização de espécies mais resilientes aos incêndios, como por exemplo o castanheiro, procurando combater a grande extensão das monoculturas e deste modo fragmentar a floresta em mosaicos com métodos de silvicultura e de espécies distintos.

## Bibliografia

Agee, J., Bahro, B., Finney, M., Omi, P., Sapsis, D., Skinner, C., van Wagtendonk, J., Weatherspoon, C., 2000. The use of fuel breaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*. 127: 55-66.

Alegria, C., 2004. Estudo da dinâmica do crescimento e produção dos povoamentos naturais de pinheiro bravo na região de Castelo Branco. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal, 534 pp.

Alves, A. M., 1988. Técnicas de produção florestal. 2ª edição. Instituto Nacional de Investigação Científica. Lisboa, Portugal, 331 pp.

Alves, A. M., Correia, A. V., Pereira, J. S., 2012. *Silvicultura: a Gestão dos Ecossistemas Florestais*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 597pp.

Alves, A. M., Almeida, M. H., Goes, A., 2018. *Plantações Florestais*. ISAPress, Lisboa, Portugal.

Barreiro, S., Rua, J., Tomé, M., 2016. StandsSIM-MD: a management driven forest simulator *Forest Systems* 25(2). URL: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016252-08916>

Botequim, B., Zubizarreta-Gerendiain, A., Garcia-Gonzalo, J., Silva, A., Marques, S., Fernandes, P., Pereira, J. M. C., Tomé, M., 2014. A model of shrub biomass accumulation as a tool to support management of Portuguese forests. *iForest- Biogeosciences and Forestry*, 8:114-125. URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor0931-008>.

Burkhart, H. E., Tomé, M., 2012. Tree-Stem Volume Equations. In: *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Carmean, W. H., 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv Agron* 27:209–269.

Catry F., Moreira F., Pausas J. G., Fernandes P.M., Rego F., Cardillo E. & Curt T., 2012. Cork Oak vulnerability to fire: the role of bark harvesting, tree characteristics and abiotic factors. *PLoS ONE* 7(6): e39810. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039810>

Condés, S., Sterba, H., 2005. Derivation of compatible crown width equations for some important tree species of Spain. *Forest Ecology and Management*. 217. 203-218.

Correia, A. V., Oliveira, A. C., 2003. Principais espécies florestais com interesse para Portugal: zonas de influência atlântica. Direcção-Geral das Florestas. *Estudos e Informação* 322: 187 pp. Lisboa, Portugal.

DGF, 2003. Incêndios florestais, 2003 – Relatório Provisório. Divisão de Protecção e Conservação Florestal, Direcção Geral das Florestas. Lisboa, Portugal.

DGRF, 2006. Incêndios florestais - Relatório de 2005. Divisão de Defesa da Floresta Contra Incêndios, Direcção Geral dos Recursos Florestais. Lisboa, Portugal.

Faias, S. P., Palma J. H. N., Barreiro S., Paulo J.A., Tomé M., 2012. Resource communication. SIMfLOR – platform for the Portuguese forest simulators. *Forest Systems* 21(3): 543 – 548. URL: <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2012213-02951>

Fernandes, P., Loureiro, C., Botelho, H., Ferreira, A., Fernandes, M., 2002. Avaliação Indirecta da Carga de Combustível em Pinhal Bravo. *Silva Lusitana*, 10(1), 73-90.

Fernandes, P., Loureiro, C., Botelho, H., 2004. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. *Annals of Forest Science* 61(6): 537-544.

Fernandes, P., Rigolot, E., 2007. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management* 241 (1-3): 1 – 13.

Gonçalves, A. C., Dias, S. S., Ferreira, A. G., 2008. Definição de Modelos de Silvicultura à Escala dos Planos de Ordenamento Florestal. *Silva Lusitana* (n. especial)16: 97-110.

Hagglund B., 1981. Evaluation of forest site productivity. *For Abstr* 42: 515–527.

ICNF, 2013. IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

ICNF, 2014. Manual de Rede Primária. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. URL: [http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/cartografia-dfci/manual\\_RPFGC\\_20052014.pdf](http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/cartografia-dfci/manual_RPFGC_20052014.pdf) (consultado a 12 de janeiro de 2018).

ICNF, 2017 [1]. 10º Relatório Provisório de Incêndios Florestais 2017. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Protecção Florestal. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa, Portugal.

ICNF, 2017 [2]. Plano Nacional de Fogo Controlado. Divisão de Protecção Florestal e Valorização de Áreas Públicas (DPFVAP). Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa, Portugal.

ICNF, 2019. Programa Regional de Ordenamento Florestal do Centro Interior. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa, Portugal.

INE, 2015. NUTs 2013 - As novas unidades territoriais para fins estatísticos. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa, Portugal.

- Moreira, M., Coelho, I., 2008. A silvopastorícia na prevenção dos fogos rurais. Lisboa: ISAPress. 229 pp.
- Moreira, F., Catry, F., Silva, J., Rego, F., 2010. Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas. ISAPress, Lisboa, Portugal. 323 pp.
- Moreira, B., Pausas J. G., 2018. Shedding light through the smoke on the germination of Mediterranean Basin flora. South African Journal of Botany. 115: 244-250. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.008>.
- Oliveira, A. C., Pereira, J. S., Correira, A. V., 2000. A silvicultura do pinheiro bravo. Centro Pinus, Porto, Portugal. 12 pp.
- Pereira, J. M. e Santos, M. T., 2003. Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal. Direção Geral das Florestas, Lisboa, Portugal. 64 pp.
- Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., Silva, T. P., 2006. Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção. ISAPress. Lisboa, Portugal. 515 pp.
- Powers, R. F., 1999. On the sustainable productivity of planted forests. In: J. R. Boyle, J. K. Winjum, K. Kavanagh and E. C. Jensen (eds), Planted Forests: Contributions to the Quest for Sustainable Societies. Kluwer Academic Publishers, 263-306.
- Silva, J., Páscoa, F., 2002. Manual de Silvicultura para a Prevenção de Incêndios. Direção Geral das Florestas. Lisboa, Portugal.
- Silva, J. S., Sequeira, E., Catry, F., Aguiar, C., 2007. Os contras. In Árvores e florestas de Portugal: pinhais e eucaliptais, a floresta cultivada. Lisboa: Jornal Público, Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Liga para a Protecção da Natureza, Lisboa, Portugal.
- Skovsgaard J. P., Vanclay J. K., 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. Forestry 81: 13–31.
- Sousa, E., Bravo, M., Pires, J., Naves, P., Penas, A., Bonifácio, L., Mota, M., 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda; Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. Nematology 3: 89-91.
- Timbal, J., Kremer, A., Goff, N., Nepveu, G., 1994. *Le chêne rouge d'amerique*. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris. France. 564 pp.
- UMVI, 2017. Programa de revitalização do Pinhal Interior. Unidade de Missão para a Valorização do Interior. Portugal. 108 pp.

Vanclay, J. K., 1992. Assessing site productivity in tropical moist forests: a review. *Forest Ecology and Management* 54:257–287.

Vázquez, G. I., Crecente-Campo, F., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., 2013. Modelling canopy fuel variables in *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus radiata* D. Don stands in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*. 70(2): 161-172.