

# **Efeito do desbaste no desenvolvimento de um povoamento de pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.) na Mata Nacional do Escaroupim**

**Rafael Rodrigues Jorge**

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

Orientadores: Ana Paula Soares Marques de Carvalho  
Maria Margarida Branco de Brito Tavares Tomé

**Júri:**

Presidente: Doutora Maria da Conceição Brálio de Brito Caldeira, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Ana Paula Soares Marques de Carvalho, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Joana Amaral Paulo, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais, por me terem educado segundo bons princípios e valores, por me terem apoiado ao longo do meu percurso, mesmo quando havia coisas que pouco sentido faziam, e por me terem proporcionado uma vida cheia de diferentes pontos de vista, opiniões e crenças. Sinceramente, obrigado por me ajudarem no caminho que até aqui fiz, ajudando-me a não perder o Norte sem nunca me empurrarem.

Às professoras Paula Soares e Margarida Tomé gostaria de agradecer não terem desistido de mim, principalmente quando “desaparecia” do mapa, por todo o conhecimento que partilharam comigo, tanto dentro como fora das salas de aula, e por, além de terem sido professoras, terem sido pessoas exemplares, amigas e referências a nível pessoal, académico e profissional.

Por último gostaria de agradecer à minha namorada, que me apoiou nos piores momentos, me disse as verdades que eram necessárias ouvir e me deu energia para prosseguir.

## Resumo

O controlo da densidade de árvores num povoamento é um dos mecanismos usados desde há muito na silvicultura como ferramenta de controlo e alteração das características de um povoamento.

O estudo do efeito do desbaste na espécie *Pinus pinea* é apresentado neste trabalho. Para tal, utilizou-se um ensaio instalado na Mata Nacional do Escaroupim, com um compasso de plantação de 4x4 m. Em 2007, instalou-se ensaio de desbaste que resultou em quatro parcelas com densidades diferentes. Essas parcelas ficaram então com as plantas a compassos de 12x8 m, 8x8 m, 8x4 m e 4x4 m.

Foram realizados inventários de 3 em 3 anos, onde se mediram as variáveis ao nível da árvore: diâmetro; altura; altura da base da copa; altura da base verde da copa; raios de copa. A partir destas medições e de variáveis calculadas para a árvore e o povoamento, como o volume, o volume médio, a área basal, o diâmetro quadrático médio, a área de copa, a taxa relativa de crescimento, o coeficiente de adelgaçamento e um índice de competição, foi possível analisar o desenvolvimento das árvores e do povoamento.

Um voo realizado em 2020, com um veículo aéreo não tripulado (VANT) equipado com um sensor RGB, permitiu estimar a altura de todas as árvores, as suas áreas de copa e obter as suas coordenadas geográficas.

Com este trabalho chegou-se à conclusão de que existem variáveis que são afetadas pela densidade, como o diâmetro. Por norma, o aumento de densidade leva a uma diminuição das dimensões dos indivíduos do povoamento e ao desenvolvimento de árvores com fustes mais cilíndricos; no entanto aumentam os valores das variáveis que descrevem o povoamento, como o volume ou a área basal, visto estas estarem positivamente relacionadas com o número de árvores que ocupa uma determinada área.

**Palavras-chave:** Densidade, desbaste, índices de competição, variáveis da árvore, variáveis do povoamento

## Abstract

Controlling the density of trees in a stand is one of the oldest technics used in forestry as a tool to control and change the characteristics of a stand.

The study of the effects of thinning in *Pinus pinea* specie is presented in this work. To do it, it was used a thinning trial installed in Mata Nacional do Escaroupim, with a spacing of 4x4 m. In 2007, a thinning was applied creating four plots with different densities. The plots were then kept with the spacing between plants of 12x8 m, 8x8 m, 8x4 m and 4x4 m.

An inventory was carried out every 3 years, were it was measured variables at tree level: diameter; height; height of the crown base; height of the green crown base; crown radius. From these measures and estimated tree and stand variables - as total volume, mean tree volume, basal area, quadratic mean diameter, crown area, relative growth rate, slenderness coefficient (height/diameter ratio), and a competition index - it was possible to analyze the development of the trees and the stand.

One flight done in 2020, by an unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with an RGB sensor, allowed the measure of all tree height, their crown area and their geographic coordinates.

With this work it was concluded that some variables are affected by the density, like the diameter. As a rule, the increase in density leads to a decrease in the dimensions of the individuals of the stand and the development of trees with a more cylindrical trunk; however it increases the values of the variables that characterizes the stand, as the volume or the basal area, as these are positively related with the number of trees that occupy a certain area.

**Key-words:** Stand density, thinning, competition indices, tree variables, stand variables

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Lista de figuras.....	vi
Lista de tabelas .....	viii
Introdução .....	1
Área de estudo.....	10
Metodologia.....	15
Resultados e Discussão.....	21
Conclusão .....	41
Bibliografia .....	43
Anexos .....	47

## Lista de figuras

Figura 1 - Intensidade de ocupação do pinheiro-manso (ICNF, 2016).....	2
Figura 2 - Mata Nacional do Escaroupim, com a divisão dos seus talhões (Google, 2020) ..	10
Figura 3 - Diagrama ombrotérmico da região do Ribatejo (DGRF, 2006).....	11
Figura 4 - Bloco 1 / Talhão 4 (Terradrone, 2020).....	12
Figura 5 - Bloco 2 / Talhão 8 (Terradrone, 2020).....	13
Figura 6 - Acréscimo da área basal para os diferentes tratamentos no bloco 1 .....	21
Figura 7 - Acréscimo da área basal para os diferentes tratamentos no bloco 2.....	21
Figura 8 - Altura dominante aos 27 anos dos diferentes tratamentos nos dois blocos .....	24
Figura 9 - Diâmetro quadrático médio para os diferentes tratamentos do bloco 1 .....	25
Figura 10 - Diâmetro quadrático médio para os diferentes tratamentos do bloco 2.....	25
Figura 11 - Volume médio para os diferentes tratamentos do bloco 1.....	26
Figura 12 - Volume médio para os diferentes tratamentos do bloco 2.....	26
Figura 13 – Média do acréscimo da altura da base da copa para os diferentes tratamentos do bloco 1 .....	27
Figura 14 – Média do acréscimo da altura da base da copa para os diferentes tratamentos do bloco 2 .....	27
Figura 15 – Média da taxa relativa de crescimento para os diferentes tratamentos do bloco 1 .....	28
Figura 16 – Média da taxa relativa de crescimento para os diferentes tratamentos do bloco 2 .....	28
Figura 17 - Caixa de bigodes F do bloco 1 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	29
Figura 18 - Caixa de bigodes N do bloco 1 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	29
Figura 19 - Caixa de bigodes L do bloco 1 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	29
Figura 20 - Caixa de bigodes T do bloco 1 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	29
Figura 21 - Caixa de bigodes F do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	30
Figura 22 - Caixa de bigodes N do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	30
Figura 23 - Caixa de bigodes L do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	30

Figura 24 - Caixa de bigodes T do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro .....	30
Figura 25 - Grau de cobertura para os diferentes tratamentos do bloco 1.....	33
Figura 26 - Grau de cobertura para os diferentes tratamentos do bloco 2.....	33
Figura 27 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2007 - Bloco 1.....	36
Figura 28 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2010 - Bloco 1.....	36
Figura 29 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2013 - Bloco 1.....	36
Figura 30 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2016 - Bloco 1.....	36
Figura 31 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2019 - Bloco 1.....	36
Figura 32 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2007 - Bloco 2.....	37
Figura 33 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2010 - Bloco 2.....	37
Figura 34 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2013 - Bloco 2.....	37
Figura 35 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2016 - Bloco 2.....	37
Figura 36 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2019 - Bloco 2.....	37
Figura 37 – Nuvem de pontos do bloco 1 – DAP/índice de competição Hegyi.....	40
Figura 38 – Nuvem de pontos do bloco 2 – DAP/índice de competição Hegyi.....	40

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela resumo das variáveis calculadas ao nível povoamento para os diferentes tratamentos no bloco 1.....	22
Tabela 2 – Tabela resumo das variáveis calculadas ao nível povoamento para os diferentes tratamentos no bloco 2.....	23
Tabela 3 – Média do coeficiente de adelgaçamento para as diferentes classes de diâmetro nos diferentes tratamentos do bloco 1.....	31
Tabela 4 – Média do coeficiente de adelgaçamento para as diferentes classes de diâmetro nos diferentes tratamentos do bloco 2.....	32
Tabela 5 – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 1.....	34
Tabela 6 – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 2.....	34
Tabela 7 – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 3.....	34
Tabela 8 – Grau de coberto resultante do da aplicação do método (a).....	34
Tabela 9 – Melhores equações ajustadas para o diâmetro da copa.....	35
Tabela 10 – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e o DAP .....	39
Tabela 11 – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e a altura .....	39
Tabela 12 – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e o TRC .....	39
Tabela I – Equações ajustadas para o diâmetro da copa.....	46

# 1 - Introdução

No âmbito de um projeto de investigação foi instalado um ensaio de desbaste de pinheiro-manso na Mata Nacional do Escaroupim, com o objetivo de avaliar a densidade na produção de pinha. Os povoamentos foram instalados em 1992 e 1993 com compasso de 4x4 m, a operação de desbaste ocorreu em 2007, criando 2 bloco com 4 tratamentos, correspondendo a compassos de 12x8 m, 8x8 m, 8x4 m e 4x4 m.

Em 2020 foi realizado um inventário com recurso a um veículo aéreo não-tripulado equipado com um sensor RGB, que permitiu construir um modelo digital de superfície. As imagens captadas foram analisadas permitindo recolher informação relativa à altura total, dimensão da copa e posição das árvores.

Este trabalho apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica sobre o desbaste em pinheiro-manso, em que primeiro é feito um enquadramento da espécie e da sua silvicultura, depois fala-se sobre a operação de desbaste e os seus efeitos. De seguida é feita uma caracterização do local. Na metodologia está descrito como foram processados os dados e quais as equações usadas. São depois apresentados os resultados e feita a sua discussão. Na conclusão apresenta-se um resumo dos efeitos do desbaste em povoamentos de pinheiro-manso.

O pinheiro-manso, *Pinus pinea* L., é uma árvore gimnospérmica que se encontra distribuída ao longo de toda a zona mediterrânica. Em Portugal encontra-se principalmente a sul do rio Tejo, contudo também está presente no centro e em algumas regiões do Norte, como se pode verificar na figura 1.

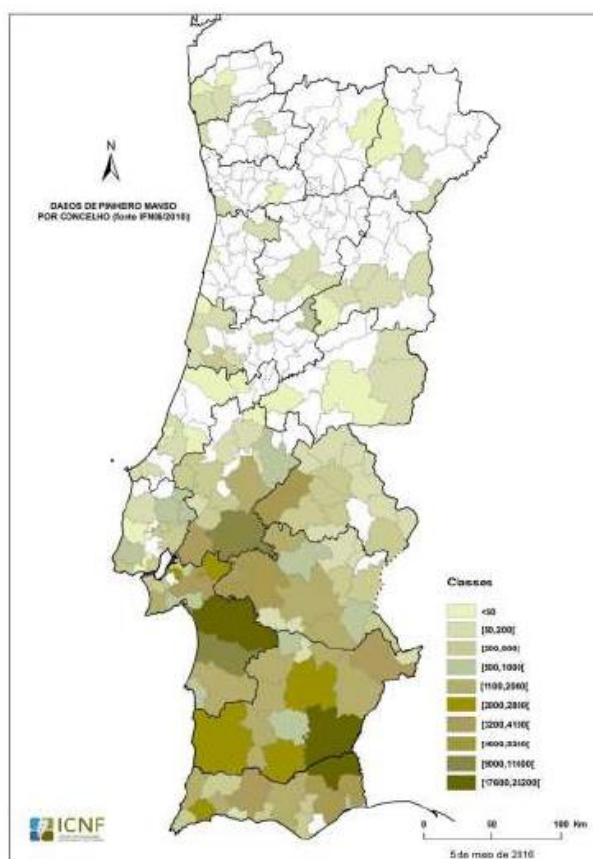


Figura 1 - Intensidade de ocupação do pinheiro-manso (ICNF, 2016)

Esta árvore produz madeira de boa qualidade com uso principalmente em estruturas, construção naval e materiais derivados de madeira (ex.: aglomerados) (Carvalho, 1997), mas é principalmente conhecida por produzir uma semente comestível de alto valor comercial, o pinhão.

Desde 1995 que se observou uma clara expansão da área ocupada por esta espécie, passando, de acordo com o 6º Inventário Florestal Nacional (IFN), de 120,2 mil ha em 1995 para 193,6 mil ha em 2015 (ICNF, 2019). Esta espécie é, no estado adulto, conduzida em povoamentos puros (74,2% área da espécie, em 2015) de baixa densidade (de acordo com o IFN, cerca de 60,4% da área de pinheiro-manso estava, em 2015, localizada em povoamentos com menos de 80 árv/ha). O forte investimento que se deu a esta espécie nas últimas décadas, reflete a existência maioritária de povoamentos jovens (79,4% dos povoamentos puros regulares têm idade inferior a 20 anos) (ICNF, 2019). Nos dias de hoje, esta espécie tem vindo a ser usada pelos proprietários como uma substituta do sobreiro, sendo plantada nas clareiras criadas pela morte dos sobreiros, pois permite ao proprietário retirar receitas em poucos anos e não é muito afetada por agentes patogénicos, ao contrário do que tem acontecido com o sobreiro e o pinheiro-bravo. Tal pode-se verificar no 6ºIFN com o aumento

de 14.900 ha de pinheiro-manso, no período entre 2005 e 2015, que tiveram origem em antigas áreas ocupadas por sobreiros. Este valor é bastante diferente do anterior período de tempo, entre 1995 e 2005, em que apenas houve um aumento de 300 ha de pinheiro-manso com origem em antigas áreas de sobreiro.

Este pinheiro é uma espécie heliófila, que suporta temperaturas médias mínimas de 2 a 7°C, médias máximas de 27 a 32°C, dois a quatro meses de seca e uma pluviosidade anual que varia de 300 a 1500 mm, prosperando em zonas com pluviosidade anual entre os 400 e os 800 mm. Tem uma preferência por solos de textura franco-arenosa frescos, mas adapta-se a outras situações (Alves, 1988; Alves et al., 2019).

Os modelos de silvicultura do pinheiro-manso que serão descritos têm como base o PROF de Lisboa e Vale do Tejo (ICNF, 2018). Os modelos a utilizar podem ter como objetivo a produção conjunta de lenho e fruto ou apenas se focar na produção de fruto, em povoamentos puros, mistos de pinheiro-manso e sobreiro ou mistos de pinheiro-manso e azinheira.

A instalação dos indivíduos no local, pode ser feita recorrendo à regeneração natural, sementeira ou plantação. Diferentes densidades iniciais devem ser tidas em conta consoante o modelo de silvicultura a seguir. No caso de ser um povoamento puro com o objetivo de produção de fruto e lenho, a densidade inicial deve ser entre 625 a 1100 indivíduos por ha. No caso em que apenas se pretende a produção de fruto, a densidade inicial deve ser entre 200 e 300 indivíduos por ha, ou até mesmo uma densidade menor de 165 indivíduos por ha quando se pretende que esse seja o compasso definitivo (Costa et al., 2008). Quando o povoamento é misto, a densidade inicial deve ser entre 400 a 625 indivíduos por ha. A sementeira e plantação devem ocorrer entre outubro e novembro, e, em povoamentos de regeneração natural, a plantação deve ser usada como suplemento à regeneração natural, caso esta não seja suficiente.

O controlo da vegetação, inicialmente, deve ser apenas feito em redor das plantas, reduzindo a competição por luz, água e nutrientes. Mais tarde deve ser realizado, periodicamente, nas entrelinhas com o objetivo de reduzir o risco de incêndio e a competição com as árvores. Este tipo de operação não deve ser realizada com recurso à mobilização do solo, pois estas árvores dependem de um vasto sistema radicular que lhes permite sobreviver aos meses quentes de verão.

Devem ser aplicadas duas desramações ao povoamento. A primeira quando ainda jovem, de maneira a eliminar bifurcações e criar um fuste sem ramos. A segunda desramação, deve eliminar os ramos inferiores, principalmente os que não produzam flores, permitindo a redistribuição de fotoassimilados para os ramos produtores de fruto. Estas desramações visam a criação de um fuste direito e sem ramos até aos 3 metros de altura, aumentar a

produção de fruto, com a eliminação dos ramos não produtivos, e diminuir o risco de fogos de copa (ICNF, 2018).

Devem-se aplicar desbastes pelo alto misto ao povoamento, o primeiro a ocorrer entre os 10 e os 15 anos (Costa et al., 2008; Pique-Nicolau et al., 2011; Loewe et al., 2013), tendo como critério de seleção a qualidade do fuste, a forma da copa, a produção de pinha e a distribuição dos indivíduos. Contudo o mais usual é o primeiro desbaste ser sistemático, retirando uma de cada duas filas de árvores, pois tem menores custos para o proprietário e cria uma distribuição homogénea das árvores pela área do povoamento. A intensidade do desbaste aplicado ao modelo de silvicultura, com os objetivos de produção de lenho e pinha, é inferior aos restantes, sendo aconselhado um grau de coberto de copas após desbaste de 60% a 80%. Nos modelos onde a produção de pinha é de maior relevância a intensidade de desbaste será superior, para permitir o desenvolvimento da copa o que leva a uma maior produção de pinha, visto esta estar positivamente relacionada com o diâmetro da copa (Gonçalves e Pommerening, 2012).

O corte de realização nunca deve ser realizado antes dos 40/50 anos, pois a produção de pinha aumenta até essa idade, só decaindo a partir dos 80 anos (Carneiro et al., 2007; Pasalodos-Tato et al., 2016). Caso se pretenda conduzir o futuro povoamento numa estrutura regular devem ser aplicados cortes sucessivos, desta maneira também se promove a regeneração natural. Nos povoamentos mistos, ou quando se pretende um coberto contínuo, devem ser realizados cortes salteados, promovendo assim uma estrutura irregular.

Hoje em dia pode-se realizar a enxertia dos pinheiros-mansos entre o final do mês de abril e o início do mês de maio, quando estes têm 2 a 3 anos de idade e desde que se encontrem num bom estado de vigor e sanitário. Devido ao facto das flores masculinas aparecerem mais tarde na vida da árvore que as flores femininas, é necessário assegurar que existem indivíduos adultos junto do povoamento que se pretende enxertar, assim garantindo a polinização das flores femininas nos primeiros anos pós enxertia. Outro fator a ter em atenção é a presença dos ramos laterais, após a enxertia, porque têm tendência a ganhar dominância apical, pelo que é necessário desramar a árvore eliminando estes ramos, assegurando assim o crescimento do ramo enxertado. A prática da enxertia garante várias vantagens ao produtor como: antecipar a produção rentável de pinha para os 8/10 anos em vez dos normais 15/20 anos; aumentar a qualidade e quantidade de pinha produzida, devido à utilização de garfos provenientes de árvores que tenham uma produção de pinha superior à produção média das árvores dessa região. Toda a informação relativa à operação da enxertia foi retirada do “Manual Ilustrado de Enxertia do Pinheiro Manso” (Carneiro et al., 2007).

O desbaste é uma operação silvícola comum em modelos de silvicultura para pinheiro-manso. No desbaste retira-se do povoamento um número de indivíduos, com determinadas características. Nos povoamentos de produção conduzidos em alto-fuste regular, um dos objetivos do desbaste é garantir que as árvores de futuro (ou seja, as árvores não removidas nos desbastes) apresentem melhor qualidade e vigor permitindo-se que cresçam mais devido à redução da competição; os indivíduos que permanecem no povoamento adquirem uma maior superfície de produção de fotoassimilados (copa) e têm maior disponibilidade de água e nutrientes (Alves, 1975).

Segundo Alves et al. (2019), o regime de desbaste é definido por diversos fatores. Começando pelo critério de seleção das árvores a serem removidas. Este critério pode ter como base a distribuição das árvores por classes de diâmetro, podendo realizar-se um desbaste pelo alto (remoção das árvores pertencentes às maiores classes de diâmetro), um desbaste pelo baixo (remoção das árvores pertencentes às menores classes de diâmetro) ou um desbaste misto (remoção de árvores pertencentes a qualquer classe de diâmetro). Os critérios de seleção consideram como base para a escolha de árvores a sua posição no coberto, o estado fitossanitário, o vigor, a ausência de defeitos e o apresentarem uma copa equilibrada.

Após se ter escolhido qual o critério de seleção, deve ser definido o grau de desbaste. O grau de desbaste é o quociente entre o peso do desbaste (volume, área basal ou número de árvores saído em desbaste) e o inventário existente pré-desbaste, sendo este valor depois multiplicado por 100 de forma a ser reportado em percentagem.

O grau de desbaste pode ser caracterizado como:

- Forte – superior a 60%
- Moderado – entre 60% e 30%
- Fraco – inferior a 30%

Por último deve-se escolher qual a periodicidade com que os desbastes devem ser efetuados. O período temporal entre desbastes deve ser tanto menor quanto mais rápido for o crescimento dos indivíduos, tendo em conta a qualidade da estação e o material genético usado, assim evitando que a competição reduza o crescimento potencial. É possível identificar visualmente a necessidade de desbastar o povoamento, pois quando as copas das árvores se tocam é sinal de que estas já se encontram em competição pelos recursos.

A densidade de indivíduos num povoamento influencia não só o crescimento e desenvolvimento das copas, mas também a quantidade de recursos disponíveis e o modo como estes são usados pelos indivíduos.

Quanto ao impacto da aplicação de desbastes na qualidade e estrutura do lenho das árvores de um povoamento, segundo Zobel e Buijtenen (1989), pode-se afirmar que a redução da competição leva a um aumento do período de crescimento, o câmbio entra em atividade mais cedo e o lenho de final de estação é produzido mais tarde, levando a uma alteração da densidade do lenho. Tal redução da proporção de lenho de final de estação também foi observada por Jyske et al. (2010). Ocorre uma redução significativa da densidade da madeira apenas quando o desbaste é forte e pelo baixo; quando o desbaste é pelo alto, ocorre um aumento da densidade da madeira, pois as árvores de futuro foram as que até à data se encontravam com anéis pouco desenvolvidos (Pape, 1999); no final da rotação de um povoamento desbastado, a proporção de lenho juvenil é menor quando comparado a um povoamento que não tenha sido desbastado, tal como confirmado por Pape (1999). Este demonstrou que o desbaste pelo alto gera uma maior redução da proporção de lenho juvenil que o desbaste pelo baixo e que o crescimento em diâmetro é favorecido em relação ao crescimento em altura, pois não existe necessidade de competir por luz.

Contudo não é certo que irá ocorrer um impacto no crescimento em altura, pois Mechergui et al. (2017), ao analisarem o efeito dos desbastes num ensaio, confirmaram que houve um aumento do crescimento em diâmetro, tal como era previsto, mas não houve uma diferença significativa no crescimento da altura média do povoamento.

A forma do fuste é também alterada, devido a mudança na distribuição de fotoassimilados. Quando as árvores têm mais espaço para crescer desenvolvem um fuste mais cónico e uma copa mais larga (Alves, 1975; Pape, 1999; Loewe et al., 2013; Mechergui et al., 2017). Para densidades superiores existe maior competição inibindo o desenvolvimento da copa e o crescimento em diâmetro.

Quanto ao efeito do desbaste na grossura dos ramos existem resultados diferentes. Pape (1999) observou que as parcelas desbastadas possuíam ramos menos grossos que as parcelas não desbastadas, enquanto Mechergui et al. (2017) observaram o oposto.

Sobre tais resultados temos de ter uma opinião crítica. Na minha opinião, o mais lógico seria as parcelas desbastadas apresentarem ramos de maior dimensão, pois quando as árvores se encontrarem mais distantes umas das outras há um maior investimento na formação da copa, que levará ao aumento do tamanho dos ramos tanto em comprimento como em diâmetro.

Importa também falar sobre a lei de Eichhorn (1904) que afirma que a produção de biomassa/volume total de um povoamento é exclusivamente dependente da altura dominante do povoamento. Sendo assim os desbastes não têm qualquer efeito na biomassa/volume total do povoamento, apenas interferindo nas características individuais das árvores do povoamento (isto é para um determinado índice de qualidade da estação menores densidades

são sinónimo de um pequeno número de árvores mas de grandes dimensões e no caso de densidades elevadas existem um grande número de árvores mas de pequenas dimensões, assim tendo ambos os exemplos o mesmo valor de biomassa/volume total). Contudo esta lei só pode ser aplicada aos desbastes quando estes são realizados dentro do campo de reação do povoamento, definido como “zona entre densidades excessivas, onde se verifica um prejuízo direto, mútuo e intenso das árvores, e de densidades, de muito deficiente ocupação da estação” (Alves, 1975).

A taxa relativa de crescimento (TRC) (Evans, 1972), é definida como “o acréscimo em biomassa por unidade de biomassa já existente e por unidade de tempo e representa a eficiência da planta como produtora de novo material.”. Esta variável é considerada um bom instrumento para avaliar a competição, pois reflete as alterações da eficiência produtiva da planta provocadas pela competição (Evans, 1972; Perry, 1985; Larocque e Marshall, 1988; Carvalho, 1995). Segundo Perry (1985), e tal como observado por Soares e Tomé (1999), a TRC, nos primeiros anos após a plantação, é superior nas plantas menores. Numa fase intermédia esta variável tem um valor semelhante entre as diferentes classes de diâmetro, e numa fase final existe uma clara diminuição da TRC das classes de diâmetro menores, visto o crescimento destas ser suprimido pelas plantas de maior dimensão.

A competição entre plantas é definida segundo dois critérios, se esta é simétrica ou assimétrica e se a competição é unilateral ou bilateral (Weiner, 1990). A competição simétrica verifica-se quando a partilha de recursos entre plantas é proporcional à dimensão das mesmas, quando a competição é assimétrica leva a um aumento da dispersão dos indivíduos por diferentes classes de diâmetro quando a densidade do povoamento aumenta (Weiner e Thomas, 1986). A competição ser unilateral supõe que o crescimento dos indivíduos de maiores dimensões não é afetado por plantas de menores dimensões; tal verifica-se quando a taxa relativa de crescimento das plantas de menor diâmetro for diminuindo com o tempo, e não sofrer alterações nas plantas que se encontrem nas classes de diâmetro maiores (Ford e Diggle, 1991). Para avaliar a competição é necessário primeiro escolher um método de seleção dos competidores e depois escolher qual o índice de competição a aplicar (Burkhardt e Tomé, 2012).

No caso específico do pinheiro-manso, os desbastes têm um efeito positivo no crescimento em diâmetro e altura; no entanto, Moreno-Fernández et al. (2013) não encontraram diferenças significativas para as diferentes intensidades de desbaste. Num outro ensaio não foram observadas diferenças no crescimento em altura e observaram-se diferenças no crescimento em diâmetro para as parcelas desbastadas e não desbastadas; contudo apenas foram detetadas diferenças entre os desbastes “forte” e “muito forte”, que teve como explicação dos autores o facto do pinheiro-manso ser uma espécie intolerante à sombra, o que leva ao

crescimento deste ser maioritariamente definido pela quantidade de luz interceptada pela copa (Mechergui et al., 2017). A produção de pinha por árvore, visto ser dependente do DAP e da área da copa, é influenciada também pelas operações de desbaste, pois estas permitem que as árvores atinjam maiores dimensões e conferem mais área para o desenvolvimento da copa (Gonçalves and Pommerening, 2012; Loewe et al., 2013; Moreno-Fernández et al., 2013; Mechergui et al., 2017). Os desbastes devem então ser aplicados o mais cedo possível ao povoamento, tirando proveito do facto do crescimento das árvores de pequenas e médias dimensões ser mais afetado pela quebra de competição; desta maneira rapidamente se obterão indivíduos de grandes dimensões (Moreno-Fernández et al., 2013). Segundo Mechergui et al. (2017), a resposta das árvores para uma intensidade de desbaste crescente começa por afetar o crescimento da copa, para desbastes “médios”, seguido do crescimento em diâmetro e, por fim, o crescimento em diâmetro dos ramos, no caso de desbastes “muito fortes”. Tal está em consonância com o facto do pinheiro-manso ser muito dependente da luz, tentando assim maximizar a sua captação quando tem oportunidade. Quando se encontra “isolado”, caso dos desbastes “muito fortes”, investe na copa, mesmo nos andares mais baixos pois não há ensombramento por árvores vizinhas. Porém Loewe et al. (2013) afirmam que, em situações em que as árvores se encontrem menos vigorosas, observa-se prioridade no crescimento em diâmetro face ao desenvolvimento da copa, de maneira a estas solidificarem a sua estrutura primeiro.

Outra particularidade da aplicação de desbastes estudada por Mazza et al. (2011) é a diminuição da precipitação interceptada pelas copas, que leva a um aumento da quantidade de água que efetivamente chega ao solo e é usada pelas árvores. Este facto é mais evidente no período de Verão dos climas mediterrâneos, em que os eventos de precipitação são caracterizados por serem de menor quantidade e, no caso de eventos de precipitação abundante, as diferenças entre a água que efetivamente chega ao solo para parcelas desbastadas e não desbastadas não é significativamente diferente, facto explicado pela precipitação ultrapassar a capacidade de retenção de água por parte da copa. A diferença observada que ocorre no Verão leva a um maior crescimento por parte das árvores de parcelas desbastadas quando comparadas com parcelas não desbastadas.

O objetivo principal desta tese de mestrado é conhecer o efeito da densidade no desenvolvimento do pinheiro-manso, tendo-se avaliado o impacto, de diferentes densidades, em variáveis relativas às árvores e ao povoamento. Como objetivo secundário, foram ajustadas equações, para a árvore, através do uso de uma regressão linear, com o objetivo de saber qual o diâmetro de copa esperado, segundo variáveis de fácil medição, como a altura ou o diâmetro medido a 1,30 m de altura (DAP).

O impacto dos desbastes na produção de pinha, apesar de ser de grande relevância, não é possível estudar, pois o povoamento ainda não atingiu uma produção significativa. No entanto os resultados deste trabalho podem ser interligados com outros estudos e assim, criar hipóteses de como a produção de pinha pode ser afetada por esta operação.

## 2 - Área de estudo

Os dados que são usados neste trabalho foram obtidos num ensaio de desbastes de pinheiro-manso instalado na Mata Nacional do Escaroupim (figura 2), propriedade do Estado e gerida pelo Instituto de Conservação da Natureza e Florestas. Este ensaio foi instalado pelo Instituto Superior de Agronomia no âmbito do projeto “Gestão multifuncional do pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.) para a produção de fruto, diminuição de riscos de incêndio, utilização de biomassa e recuperação ambiental - FFP nº 2006.09.001077.5”, coordenado pela Investigadora Isabel Carrasquinho do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Os povoamentos de pinheiro manso foram instalados nos talhões 4 e 8, que correspondem, respectivamente, ao bloco 1 e bloco 2.



Figura 2 – Mata Nacional do Escaroupim, com a divisão dos seus talhões (Google, 2020)

A Mata Nacional do Escaroupim tem uma área de 438 ha, dos quais 346 ha são arborizados. Esta mata foi criada em 1907 com a implementação do seu primeiro plano de ordenamento e primeira operação de arborização dividindo assim a mata em 20 talhões. Esta mata está localizada no concelho de Salvaterra de Magos, no distrito de Santarém e está inserida no

PROF de Lisboa e Vale do Tejo. Cerca de 32% da área é ocupada por pinheiro-manso, 27% por pinheiro-bravo e 7% por eucalipto. A gestão desta mata é feita tendo como principal objetivo a produção, tanto de material lenhoso proveniente do pinheiro-bravo e eucalipto como de fruto do pinheiro-manso. A gestão da mata tem também como objetivos secundários assegurar atividades de caça, lazer e de investigação (AFN, 2012).

A caracterização edafoclimática deste local é feita com base nos dados do IPMA (2020) observados durante o período 1971-2000, tendo em conta a estação meteorológica da Lezíria do Tejo. A média da temperatura mínima anual é 10°C, a média da temperatura máxima anual é 22°C, a média da temperatura anual é 16°C; em média, o número de dias em que a temperatura mínima é inferior a 0°C é 4 dias; em média o número de dias em que a temperatura máxima é superior a 30°C é 45 dias; a média da precipitação total anual é 600 mm e a média de precipitação total durante o Verão é 30 mm.

Segundo a classificação de Köppen Geiger, o clima é do tipo Csa, ou seja, clima mediterrânico (a precipitação ocorre no Inverno e a média da temperatura do mês mais frio é superior a 0°C) com verão quente (pelo menos um mês apresenta temperatura média superior a 22°C). Tal como é possível observar na figura 3.

Toda a mata se encontra a menos de 50 m de altitude, sendo o declive em toda a sua área próximo de zero (DGT, 2020).

Os solos, segundo a nomenclatura do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, são classificados como regossolos (DGADR, 1999), com uma elevada proporção de areia grossa, que leva a uma fraca capacidade de retenção de água.

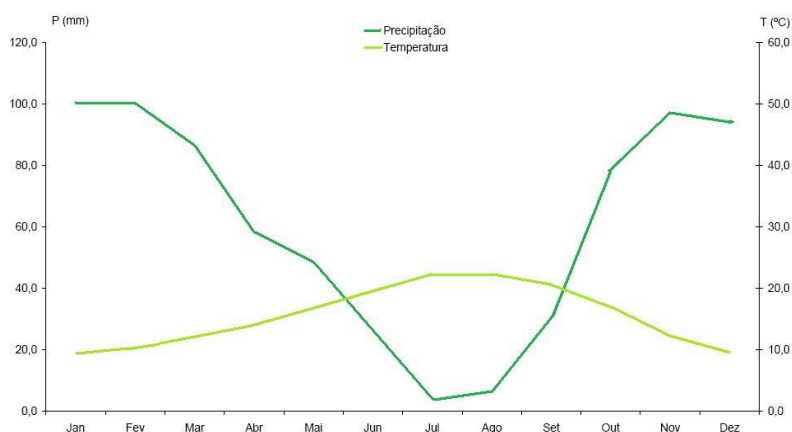


Figura 3 – Diagrama ombrotérmico da região do Ribatejo (DGRF, 2006)

O ensaio é constituído por dois blocos e cada bloco por 4 parcelas, onde, para além de um controlo não desbastado, foram ensaiados 3 tratamentos de desbaste - forte, normal e ligeiro.

A instalação do povoamento ocorreu em 1992 no bloco 1 (figura 4) e em 1993 no bloco 2 (figura 5), numa área de 16,6 ha e 23,76 ha, respetivamente. O compasso de plantação dos povoamentos instalados foi de 4x4 m, ou seja, 625 árv/ha. A operação de desbaste ocorreu em 2007, resultando em parcelas com densidades diferentes consoante a intensidade do desbaste. As parcelas F (Forte), N (Normal), L (Ligeiro) e T (Testemunha) correspondem, respetivamente, a densidades de 104 (8x12), 156 (8x8), 313 (4x8) e 625 (4x4) árv/ha, que foram obtidas removendo duas colunas e uma linha, uma coluna e uma linha, uma linha e, no caso da testemunha, não ocorreu corte de árvores.



*Figura 4 - Bloco 1 / Talhão 4, ortofotomapa (Terradrone, 2020)*



*Figura 5 - Bloco 2 / Talhão 8, ortofotomapa (Terradrone, 2020)*

Em 2007 foi realizado o primeiro inventário, mas só depois da realização do desbaste, o que levou a ser necessário estimar as características iniciais do povoamento, através do uso de uma regressão linear simples para o diâmetro a 1,30 m de altura da árvore em função do diâmetro do cepo (15 cm). Nesta data foi também recolhida informação da altura total e da base das copas das árvores. Posteriormente foi realizado outro inventário, em 2010, em que se mediu as mesmas variáveis, excluindo o diâmetro do tronco aos 15 cm que não foi mais necessário medir.

Neste trabalho utilizou-se a informação dos inventários realizados em 2013, 2016 e 2019 onde se mediu, para além das variáveis anteriormente medidas, o raio das copas das árvores modelo, segundo os quatro pontos cardeais. A partir de 2016 começou também a ser medida a altura da base da copa verde (diferente da altura da base da copa, pois esta mede a altura à qual os ramos da copa se inserem no tronco da árvore, enquanto que a altura da base da copa verde, mede a altura à qual as folhas surgem na copa).

Em 2020, foi realizado um voo com um Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), com um sensor RGB, com o objetivo de capturar imagens e criar um Modelo Digital da Superfície do terreno, possibilitando medir a altura das árvores e a área da projeção das copas. Até hoje não existem dados relativos à produção de pinha pois o povoamento ainda não atingiu uma produção significativa.

### 3 - Metodologia

Para ser possível avaliar o impacto dos diferentes graus de desbaste no crescimento e desenvolvimento das árvores, foram analisadas variáveis ao nível da árvore e do povoamento, obtidas através de inventário, repetido de 3 em 3 anos (2007, 2010, 2013, 2016 e 2019). A escolha desta periodicidade torna possível obter uma série contínua de dados, onde se podem observar diferenças significativas entre medições consecutivas. Caso as medições fossem anuais o incremento seria de tão pequena dimensão que o erro das medições teria grande impacto nos valores observados.

As parcelas dos blocos foram definidas inicialmente em 2007, antes da operação de desbaste, o que levou a que a sua marcação tenha sido de difícil realização, pois a elevada densidade de árvores bloqueava quase todo o campo de visão. Resultando desta dificuldade pequenos erros na limitação das parcelas, assim criando parcelas não retangulares. As parcelas foram corrigidas no inventário seguinte, em 2010, o que levou à remoção ou adição de algumas árvores.

De maneira a se eliminar o efeito de bordadura, não se teve em conta nos inventários as árvores que se encontravam na primeira e última linha, bem como na primeira e última coluna de cada parcela. Sendo que, no caso do tratamento Testemunha, não se teve em conta as duas primeiras e últimas linhas e colunas.

Nos inventários anteriormente realizados foi medido, em todas as árvores, o diâmetro à altura do peito segundo duas orientações perpendiculares entre si, possibilitando fazer uma média dos valores para se obter um diâmetro que tenha em conta as irregularidades do tronco. Apenas nas árvores úteis (árvores que não pertencem à bordadura) foi medida a altura total, altura da base da copa e a altura da base verde da copa, à exceção de 2007, em que se mediu a altura total e a altura da base da copa apenas num conjunto de árvores representantes de cada classe de diâmetro, e à exceção também de 2010, em que foi medida a altura total e a altura da base da copa de todas as árvores.

Dado em 2007 apenas se ter medido a altura num conjunto reduzido de árvores, foi necessário ajustar uma equação para estimar as alturas das árvores não medidas. No trabalho de Cardoso (2010) foi ajustado o modelo de Prodan (1968), respetivamente, para o bloco 1 e o bloco 2:

$$h \text{ (m)} = \frac{d \text{ (cm)}}{1,4976 + 0,0955 \times d \text{ (cm)}}, R^2 \text{ ajustado} = 0,71 \text{ (Cardoso, 2010)}$$

$$h \text{ (m)} = \frac{d \text{ (cm)}}{1,0036 + 0,1162 \times d \text{ (cm)}}, R^2 \text{ ajustado} = 0,70 \text{ (Cardoso, 2010)}$$

O diâmetro a 15 cm foi apenas medido no primeiro inventário, em 2007, num conjunto reduzido de árvores representantes de cada classe de diâmetro nos vários tratamentos. Como não havia nenhum inventário antes da operação de desbaste esta variável foi usada, no trabalho de Cardoso (2010), para ajustar uma regressão linear que tinha como variável dependente o diâmetro à altura do peito em função do diâmetro do cepo (15 cm). A equação ajustada foi:

$$d \text{ (cm)} = 0,6559 \times d_{15} \text{ (cm)} - 2,1455, R^2 \text{ ajustado} = 0,55 \text{ (Cardoso, 2010)}$$

A medição dos raios de copa foi realizada a partir do inventário de 2013, numa amostra menor de árvores úteis dos diferentes tratamentos. Foi medido o raio da copa segundo os 4 pontos cardeais. As medições dos quatro raios de copa foram usadas para calcular o diâmetro médio da copa, que permitiu calcular a área da copa de cada árvore.

Os dados inventariados permitiram calcular variáveis para a árvore média e para o povoamento. O diâmetro médio foi usado para agrupar as árvores segundo a sua classe de diâmetro, [2,5-7,4] cm, [7,5-12,4] cm e assim sucessivamente. O diâmetro foi também usado para calcular a área seccional de cada árvore, usando a equação:

$$g \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\pi}{4} \times \left[ \frac{d \text{ (cm)}}{100} \right]^2$$

As variáveis, ao nível do povoamento, usadas para analisar o efeito das diferentes intensidades de desbaste foram:

- Densidade (número de árvores vivas) ( $\text{ha}^{-1}$ )
- altura dominante (m)
- altura da base da copa média (m)
- altura média (m)
- área basal ( $\text{m}^2/\text{ha}$ )
- diâmetro quadrático médio (cm)
- volume total ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )
- volume da árvore média ( $\text{m}^3$ )
- grau de cobertura (%).

Para calcular a altura dominante foi primeiro necessário escolher as árvores dominantes, que teve como critério de seleção as 25 árvores por hectare com maior DAP; posteriormente foi feita a média da altura dos indivíduos assim selecionados. A escolha de apenas 25 árvores por hectare (e não das habituais 100 árvores de maior DAP por hectare), teve como base as

parcelas terem, nalguns tratamentos, baixa densidade o que levaria ao número de indivíduos dominantes poder ser muito semelhante ao número de árvores medidas, como por exemplo no tratamento forte (F) do bloco 1, o número de árvores úteis amostradas é 23 e, caso fossem escolhidas como dominantes as 100 árvores mais grossas por hectare, o número de árvores dominantes desta parcela seria 20; isto levaria ao resultado da altura dominante ser na realidade a altura média da parcela.

O cálculo do volume teve por base diferentes equações, que foram escolhidas segundo o diâmetro da árvore:

árvores com diâmetro médio < 5 cm:

$$v (m^3) = 0,025^2 \times h (m) \times 0,6 \text{ (ICNF, 2019)}$$

árvores de diâmetro médio < 7,5 cm e > 5 cm:

$$v (m^3) = 0,0625^2 \times h (m) \times 0,5 \text{ (ICNF, 2019)}$$

para as restantes dimensões:

$$v (m^3) = 0,000094 \times d (cm)^{1,9693} \times h (m)^{0,653} \text{ (Tomé et al., 2007)}$$

Destas equações apenas a última foi ajustada à espécie em causa, as duas primeiras são usadas para descrever o volume de qualquer espécie, desde que o DAP se encontre dentro dos limites indicados.

A altura da base da copa média e a altura média foram calculadas fazendo simples médias dos correspondentes valores obtidos nos inventários de cada parcela. O volume da árvore média foi também calculado através da média dos valores de volume calculados para cada indivíduo.

As variáveis densidade, área basal, diâmetro quadrático médio e volume foram calculadas usando as equações:

$$N (ha^{-1}) = n^{\circ} \text{ arv} * \frac{10000}{A (m^2)}$$

$$G (m^2/ha) = \sum g (m^2) \times \frac{10000}{A (m^2)}$$

$$dg (cm) = 100 \times \sqrt{\frac{4 * G (m^2 ha^{-1})}{\pi * N (ha^{-1})}}$$

$$V (m^3/ha) = \sum v (m^3) \times \frac{10000}{A (m^2)}$$

Sendo, A, área da parcela; N, número de árvores vivas por hectare; G, área basal por hectare; g, área seccional da árvore, dg, diâmetro quadrático médio; V, volume total do povoamento; v, volume total da árvore.

O grau de cobertura (CC) foi calculado de duas maneiras diferentes:

(a) usando a média da área de copa para cada classe de diâmetro. Como houve classes de diâmetro sem amostras do raio de copa, principalmente na classe de menor e maior diâmetro dos diferentes tratamentos, houve a necessidade de se realizar pequenos ajustes. Os indivíduos de classes sem medição do raio de copa foram colocados nas classes mais próximas. O cálculo do grau de cobertura foi feito segundo a equação:

$$CC (\%) = \frac{\sum n_{cl.d} * ac.med_{cl.d} (m^2)}{A (m^2)} * 100$$

onde  $n_{cl.d}$  representa o número de indivíduos que pertencem a determinada classe de diâmetro e  $ac.med_{cl.d}$  representa a área de copa média dessa mesma classe de diâmetro.

(b) ajustando uma regressão (linear, visto que a análise gráfica mostrou este tipo de relação entre as duas variáveis), que permite estimar o diâmetro da copa (dc) de cada indivíduo em função do diâmetro à altura do peito (d) e/ou altura total (h). Esta regressão foi ajustada aos dados de cada tratamento em todos os anos que houve medições. Algumas transformações foram feitas, tanto para a variável resposta como para as variáveis independentes, com o objetivo de aumentar o coeficiente de determinação. Depois de testadas várias transformações, num pequeno conjunto de dados, foram escolhidas três equações, tendo em conta apresentarem um elevado coeficiente de determinação e uma distribuição homogênea dos resíduos, para serem ajustadas ao conjunto total dos dados. Estas foram:

$$\text{Eq. (1)} \quad dc (m) = \beta_1 + \beta_2 \times d (cm)$$

$$\text{Eq. (2)} \quad \frac{1}{dc (m)} = \beta_2 + \frac{\beta_1}{d (cm) \times h (m)} \Leftrightarrow dc (m) = \frac{d (cm) \times h (m)}{\beta_1 + \beta_2 \times (d (cm) \times h (m))}$$

$$\text{Eq. (3)} \quad dc (m) = \beta_1 + \beta_2 \times (d (cm) \times h (m))^2$$

A variável TRC, taxa relativa de crescimento, foi calculada a partir do diâmetro, visto esta ser uma boa variável descritiva da dimensão do indivíduo e ser de fácil medição, ficando assim a equação:

$$TRC (cm/(cm * ano)) = \left[ \frac{\ln d_2 - \ln d_1}{Idade_2 - Idade_1} \right]$$

Para se quantificar o efeito da competição dependente da distância foi necessário, primeiro escolher um método para selecionar os competidores de cada indivíduo e depois escolher qual o índice de competição a usar. Foi escolhido um número fixo de competidores, tal como

feito por Soares e Tomé (1999) e Rivas et al. (2005) - foram selecionadas como competidoras as 8 árvores mais próximas do indivíduo em causa.

O índice de competição escolhido foi o de Hegyi (1974), onde  $d$  é o diâmetro da árvore em causa,  $d_i$  é o diâmetro do competidor  $i$  e  $L_{0,i}$  é a distância da árvore em causa ao competidor  $i$ :

$$IC \text{ Hegyi} = \sum \left( \frac{d_i}{d} \right) * \left( \frac{1}{L_{0,i}} \right)$$

Depois de calculado o índice de competição, para cada indivíduo, foi calculado o coeficiente de determinação entre o índice de competição e diferentes variáveis ao nível da árvore como o DAP, altura e a TRC, tendo em conta os diferentes tratamentos, assim sendo possível analisar quanto da variação observada nestas variáveis pode ser descrita pela variação do índice de competição. Foi também calculado o índice de determinação entre o índice de competição e o acréscimo em diâmetro para o conjunto total de dados dos diferentes blocos, sendo assim possível quantificar quanto da variação do crescimento em diâmetro pode ser explicado pela variação do índice de competição.

As imagens recolhidas no voo feito com o VANT, em março de 2020, foram captadas a uma altura de 60/80 metros usando uma câmara RGB. Na definição do plano de voo, considerou-se sobreposição lateral e frontal de 75% permitindo assim criar, por bloco, um ortofotomapa, um modelo digital de superfície (MDS) e um *shapefile* com as coordenadas de cada árvore. Este material foi depois trabalhado num sistema de informação geográfica, neste caso, o QGIS 3.12.3.

Para se começar o tratamento de imagem, foi primeiro necessário transformar o MDS num ficheiro tipo vetor, o que originou alguns problemas, pois os polígonos criados nesta operação tinham erros, impossibilitando qualquer outra operação sem antes corrigir os polígonos defeituosos. Para se associar as coordenadas das árvores às suas respetivas alturas foi necessário intercalar a camada vetor (criada do MDS) com a camada dos pontos (*shapefile* das coordenadas).

A área de projeção das copas (diferente do grau de cobertura por não ter em conta a sobreposição de copas e não ser expressa em percentagem) podia ser obtida automaticamente, realizando um comando que nos desse a área de um conjunto de camadas, selecionadas no vetor com origem no MDS, como sendo as camadas em que apenas se encontrasse inserida as copas das árvores. Contudo, tal não foi possível, pois houve parte de copas que não foram inseridas na camada correta do MDS, devido principalmente a duas circunstâncias: (1) as árvores se encontrarem muito juntas e não se detetar no MDS o pequeno “buraco” que se encontra na intersecção das copas de quatro árvores vizinhas; e (2)

haver parte da copa de algumas árvores que foi detetada no MDS como sendo parte da camada referente ao nível do solo; este caso foi encontrado principalmente nos tratamentos com compassos mais largos.

O elevado erro do processo automático levou a ser necessário delimitar as copas através de uma abordagem mista. Através do processo automático foi criada uma camada, que depois foi corrigida manualmente, adicionando as partes das copas que não tinham sido detetadas e removendo partes detetadas como copa, que na realidade não o eram, principalmente na intersecção de copas adjacentes. Apenas nos tratamentos Forte e Normal, os de menor densidade de árvores, foi possível associar a cada árvore a sua respetiva área de copa. Nos restantes tratamentos devido às copas das árvores adjacentes estarem em contacto, foi apenas possível obter a área de projeção de copa do tratamento e não a área de copa de cada individuo contido nos tratamentos.

No final intercetou-se a camada dos pontos (com os valores das coordenadas e alturas) com a camada em que as áreas das copas foram calculadas, obtendo-se desta maneira um único ficheiro com toda a informação possível de retirar das imagens captadas.

## 4 - Resultados e Discussão

Os resultados obtidos do tratamento dos dados inventariados estão resumidos para o bloco 1 na Tabela 1 e para o bloco 2 na Tabela 2.

Nestas tabelas é possível verificar que a área basal aumenta com a densidade de indivíduos, tal como era de esperar e segundo Smith e Strub (1991), pois esta variável está intrinsecamente dependente do número de indivíduos no povoamento. Pode-se também afirmar que a competição se iniciou mais cedo para o tratamento T visto o acréscimo de área basal começar a diminuir a partir de 2013, em ambos os blocos, antes dos outros tratamentos terem a mesma reação, como se pode ver nas figuras 6 e 7.

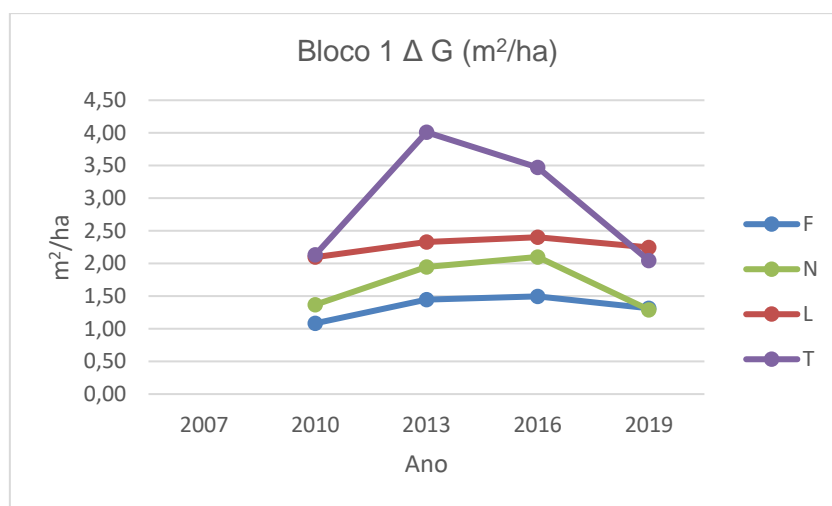


Figura 6 - Acréscimo da área basal para os diferentes tratamentos no bloco 1

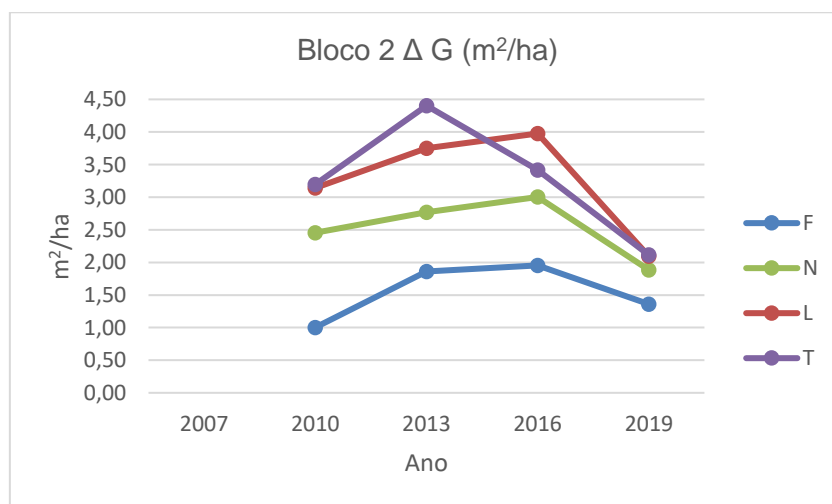


Figura 7 - Acréscimo da área basal para os diferentes tratamentos no bloco 2

Tabela 1 – Tabela resumo das variáveis calculadas ao nível povoamento para os diferentes tratamentos no bloco 1; Parc–Tratamento; N–densidade; hdom–altura dominante; G–área basal; dg–diâmetro quadrático médio; V–volume total; vmed–volume médio; hbcmed–altura base da copa média; hmed–altura média; TRCmed–Taxa relativa de crescimento média; coef.adelg.med–coeficiente adelgaçamento médio; CC–grau de cobertura; ΔG–acrésimo área basal; Δdg–acrésimo diâmetro quadrático médio; ΔV–acrésimo volume total; Δvmed–acrésimo volume médio; Δhbcmed–acrésimo altura da base copa média; Δhmed–acrésimo altura média; ΔTRC–acrésimo taxa relativa crescimento; ΔCC–acrésimo grau de cobertura.

Parc	Idade (anos)	N (ha <sup>-1</sup> )	hdom (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	dg (cm)	V (m <sup>3</sup> /ha)	vmed (m <sup>3</sup> )	hbc med (m)	hmed (m)	TRC med	coef. adelg. med	CC (%)	ΔG (m <sup>2</sup> /ha)	Δdg (cm)	ΔV (m <sup>3</sup> /ha)	Δv med (m <sup>3</sup> )	Δhbc med (m)	Δh med (m)	ΔTRC (cm cm <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	ΔCC (%)
<b>Pré-desbaste 2007</b>																				
F	15,5	591	-	7,5	12,7	23,39	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	15,5	605	-	6,9	12,1	30,30	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	15,5	571	-	7,3	12,8	22,28	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	15,5	634	-	12,7	16,0	41,32	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Pós-desbaste 2007</b>																				
F	15,8	103	4,86	1,36	12,99	4,03	0,04	1,70	4,05	-	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	15,8	157	4,97	3,04	15,69	8,30	0,05	2,07	5,01	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	15,8	316	5,03	3,41	11,73	9,27	0,03	1,51	3,88	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	15,8	634	5,62	12,66	15,94	41,52	0,07	1,89	5,47	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2010</b>																				
F	18,0	103	5,42	2,45	17,40	7,61	0,07	1,84	4,79	0,11	0,28	-	1,08	4,41	3,58	0,04	0,13	0,73	-	-
N	18,0	157	6,16	4,41	18,90	15,04	0,10	2,06	5,65	0,06	0,30	-	1,37	3,21	6,73	0,04	-0,01	0,63	-	-
L	18,0	312	5,68	5,51	15,00	16,84	0,05	1,61	4,48	0,09	0,33	-	2,10	3,27	7,57	0,02	0,10	0,61	-	-
T	18,0	634	6,66	14,79	17,24	53,33	0,08	1,94	6,04	0,03	0,37	-	2,14	1,29	11,82	0,02	0,05	0,58	-	-
<b>2013</b>																				
F	21,0	103	6,68	3,89	21,94	13,63	0,13	1,84	5,86	0,08	0,27	19,05	1,45	4,54	6,02	0,06	0,00	1,08	-0,03	-
N	21,0	157	7,56	6,35	22,70	24,42	0,16	2,06	6,83	0,06	0,30	31,57	1,95	3,80	9,38	0,06	0,00	1,19	0,00	-
L	21,0	312	6,83	7,84	17,89	27,23	0,09	1,61	5,61	0,07	0,33	57,13	2,33	2,89	10,39	0,03	0,00	1,13	-0,02	-
T	21,0	634	8,42	18,80	19,43	77,25	0,12	1,94	7,44	0,04	0,40	99,78	4,01	2,20	23,92	0,04	0,00	1,40	0,01	-
<b>2016</b>																				
F	24,0	103	7,50	5,39	25,81	20,69	0,20	1,84	6,85	0,06	0,27	26,16	1,50	3,87	7,07	0,07	0,00	0,99	-0,02	7,11
N	24,0	157	8,94	8,45	26,18	35,70	0,23	2,05	7,95	0,05	0,31	43,41	2,10	3,48	11,28	0,07	-0,01	1,12	-0,01	11,84
L	24,0	312	8,17	10,24	20,44	39,86	0,13	1,62	6,78	0,05	0,34	59,23	2,40	2,56	12,63	0,04	0,01	1,17	-0,02	2,10
T	24,0	634	9,62	22,27	21,15	101,22	0,16	2,57	8,72	0,03	0,43	88,32	3,47	1,72	23,97	0,04	0,63	1,28	-0,01	-11,46
<b>2019</b>																				
F	27,0	103	8,40	6,70	28,79	27,98	0,27	1,89	7,87	0,04	0,27	45,37	1,31	2,97	7,29	0,07	0,05	1,01	-0,02	19,20
N	27,0	157	9,54	9,75	28,11	43,63	0,28	2,17	8,75	0,02	0,31	59,97	1,29	1,93	7,92	0,05	0,12	0,80	-0,02	16,56
L	27,0	312	8,90	12,49	22,57	52,98	0,17	1,77	7,84	0,04	0,36	83,88	2,25	2,13	13,12	0,04	0,15	1,06	-0,01	24,65
T	27,0	629	10,36	24,32	22,19	117,15	0,19	3,36	10,26	0,02	0,44	113,66	2,05	1,04	15,93	0,03	0,79	1,53	-0,01	25,34

Tabela 2 – Tabela resumo das variáveis calculadas ao nível povoamento para os diferentes tratamentos no bloco 2; Parc–Tratamento; N–densidade; hdom–altura dominante; G–área basal; dg–diâmetro quadrático médio; V–volume total; vmed–volume médio; hbcmed–altura base da copa média; hmed–altura média; TRCmed–Taxa relativa de crescimento média; coef.adelg.med–coeficiente adelgaçamento médio; CC–grau de cobertura; ΔG–acréscimo área basal; Δdg–acréscimo diâmetro quadrático médio; ΔV–acréscimo volume total; Δvmed–acréscimo volume médio; Δhbcmed–acréscimo altura da base copa média; Δhmed–acréscimo altura média; ΔTRC–acréscimo taxa relativa crescimento; ΔCC–acréscimo grau de cobertura.

Parc	Idade (anos)	N (ha <sup>-1</sup> )	hdom (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	dg (cm)	V (m <sup>3</sup> /ha)	vmed (m <sup>3</sup> )	hbc med (m)	hmed (m)	TRC med	coef. adelg. med	CC (%)	ΔG (m <sup>2</sup> /ha)	Δdg (cm)	ΔV (m <sup>3</sup> /ha)	Δv med (m <sup>3</sup> )	Δhbc med (m)	Δh med (m)	ΔTRC (cm cm <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	ΔCC (%)
<b>Pré-desbaste 2007</b>																				
F	14,5	491	-	6,5	13,0	21,1	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	14,5	557	-	7,8	13,4	25,9	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	14,5	523	-	8,0	14,0	26,4	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	14,5	518	-	7,3	13,4	24,0	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Pós-desbaste 2007</b>																				
F	14,8	100	5,50	1,52	13,92	3,82	0,04	1,55	4,30	-	0,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	14,8	162	5,16	2,23	13,25	7,04	0,04	1,51	4,74	-	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	14,8	312	5,12	4,47	13,51	15,10	0,05	1,83	5,30	-	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	14,8	514	5,50	7,26	13,41	23,58	0,05	1,82	4,99	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2010</b>																				
F	17,0	100	6,26	2,52	17,93	8,71	0,09	1,76	5,55	0,10	0,33	-	1,00	4,00	4,89	0,05	0,21	1,25	-	-
N	17,0	171	7,16	4,69	18,69	17,07	0,10	1,82	5,88	0,13	0,35	-	2,46	5,44	10,03	0,06	0,31	1,14	-	-
L	17,0	312	6,59	7,61	17,63	27,09	0,09	1,86	5,93	0,09	0,34	-	3,14	4,12	11,99	0,04	0,03	0,62	-	-
T	17,0	514	6,80	10,46	16,10	36,79	0,07	1,81	5,60	0,07	0,38	-	3,20	2,68	13,21	0,03	-0,01	0,62	-	-
<b>2013</b>																				
F	20,0	100	7,59	4,38	23,63	16,93	0,17	1,76	6,75	0,10	0,29	21,21	1,86	5,70	8,22	0,08	0,00	1,20	0,00	-
N	20,0	171	9,01	7,46	23,57	31,67	0,19	1,82	7,63	0,09	0,34	35,34	2,77	4,88	14,60	0,09	0,00	1,75	-0,04	-
L	20,0	312	8,31	11,36	21,53	46,56	0,15	1,86	7,47	0,07	0,35	63,38	3,75	3,91	19,46	0,06	0,00	1,55	-0,03	-
T	20,0	514	8,29	14,86	19,19	59,69	0,12	1,81	7,09	0,07	0,40	55,48	4,40	3,09	22,90	0,05	0,00	1,48	0,00	-
<b>2016</b>																				
F	23,0	100	9,51	6,34	28,41	27,95	0,28	1,79	8,41	0,07	0,30	37,32	1,95	4,78	11,02	0,11	0,02	1,66	-0,03	16,10
N	23,0	171	10,91	10,46	27,91	49,71	0,29	1,83	9,29	0,06	0,34	54,78	3,00	4,34	18,04	0,11	0,01	1,66	-0,02	19,44
L	23,0	312	9,79	15,34	25,02	71,86	0,23	1,95	9,30	0,05	0,38	97,95	3,98	3,49	25,31	0,08	0,09	1,83	-0,02	34,58
T	23,0	514	9,55	18,28	21,28	82,41	0,16	2,14	8,51	0,04	0,43	78,82	3,42	2,09	22,72	0,04	0,34	1,43	-0,03	23,34
<b>2019</b>																				
F	26,0	100	10,11	7,70	31,31	36,46	0,37	1,89	9,51	0,03	0,31	49,23	1,36	2,90	8,51	0,09	0,10	1,10	-0,03	11,92
N	26,0	171	11,45	12,35	30,32	62,51	0,37	2,44	10,36	0,03	0,36	72,93	1,89	2,41	12,80	0,08	0,61	1,08	-0,04	18,16
L	26,0	312	10,76	17,43	26,67	86,54	0,28	2,75	10,22	0,02	0,39	112,36	2,09	1,65	14,68	0,05	0,80	0,92	-0,03	14,40
T	26,0	511	10,40	20,40	22,54	97,74	0,19	3,10	9,51	0,02	0,46	105,95	2,11	1,26	15,33	0,03	0,96	1,00	-0,02	27,13

Ao contrário da área basal, o diâmetro quadrático médio diminui com o aumento de densidade. A diferença do diâmetro quadrático médio para os tratamentos F e N não é grande nos dois blocos, e existe uma diferença evidente entre o tratamento L e T apenas no bloco 2. A semelhança dos valores nos tratamentos F e N pode ser atribuída a dois fatores: (1) o tratamento F ter uma deficiente ocupação da estação, quer isto dizer que na prática a mesma quantidade de recursos estão disponíveis para as árvores dos dois tratamentos, pois para o tratamento F apesar de haver mais recursos disponíveis por indivíduo, as árvores não os conseguem captar pois estão para além da sua área de copa/sistema radicular; (2) a parcela N ter um índice de qualidade de estação evidentemente superior ao da parcela F, em ambos os blocos, tal como se pode verificar na figura 8 (na legenda é possível observar a letra representante do tratamento seguida de “B1” ou “B2”, que representa respetivamente o bloco 1 ou o bloco 2). A semelhança dos valores do diâmetro quadrático médio para o tratamento L e T no bloco 1 pode ser devida à parcela T ter um índice de qualidade de estação superior à parcela L. Quando os valores do índice de qualidade da estação entre os tratamentos L e T são semelhantes, como acontece no bloco 2, a diferença entre o diâmetro quadrático médio dos dois tratamentos já é significativa, obedecendo à norma da dimensão da árvore individual aumentar com a diminuição da densidade do povoamento.

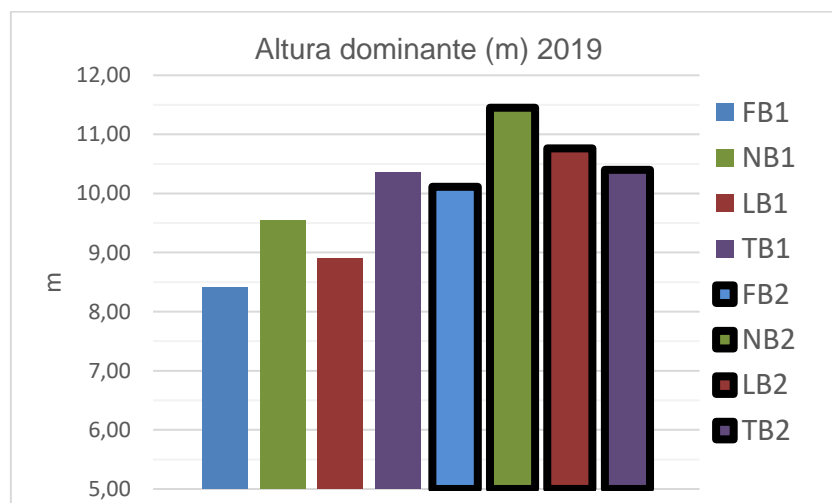


Figura 8 - Altura dominante aos 27 anos dos diferentes tratamentos nos dois blocos

Nas figuras 9 e 10 é possível observar a evolução do diâmetro quadrático médio para os diferentes tratamentos nos dois blocos. Note-se que a semelhança dos valores de diferentes tratamentos acontece quando existe uma diferença grande do índice de qualidade de estação; no caso do bloco 1, o índice de qualidade da estação do tratamento N é superior ao tratamento F e o índice do tratamento T é superior ao do tratamento N, no bloco 2 apenas se verifica esta diferença entre os tratamentos F e N.

Também é importante dizer que, no bloco 1, logo após a aplicação do desbaste, o diâmetro quadrático médio das parcelas T e N eram os que apresentavam maior valor, correspondendo às parcelas com um índice de qualidade da estação superior. Com a redução da competição, as árvores dos outros tratamentos conseguiram atingir dimensões semelhantes, como é possível observar em 2019.

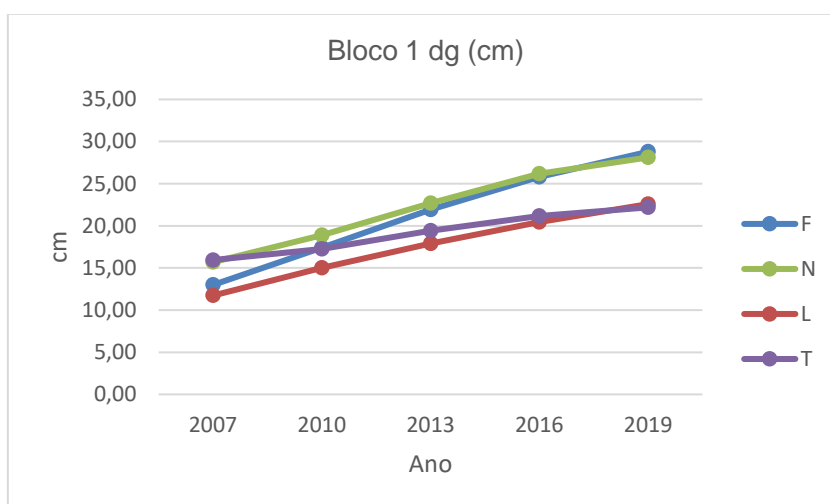


Figura 9 - Diâmetro quadrático médio para os diferentes tratamentos do bloco 1

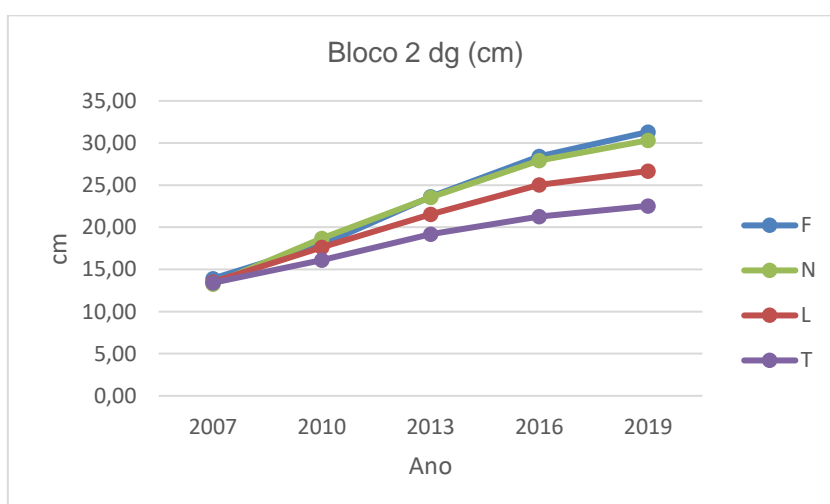


Figura 10 - Diâmetro quadrático médio para os diferentes tratamentos do bloco 2

À semelhança da área basal, o volume total é também dependente do número de indivíduos no povoamento, aumentando com a densidade, tal como se pode verificar nas tabelas 1 e 2. A mesma semelhança também se encontra entre o diâmetro quadrático médio e o volume médio - valores superiores para densidades menores. E tal como referido anteriormente para o diâmetro quadrático médio, não foram encontradas diferenças no volume médio entre os

tratamentos F e N e os tratamentos L e T do bloco 1 e, no bloco 2, entre os tratamentos F e N. A razão para tal é, novamente, a diferença de qualidade da estação das parcelas dos diferentes tratamentos. Pode-se observar nas figuras 11 e 12, a evolução do volume médio dos diferentes tratamentos para os blocos 1 e 2, respetivamente.

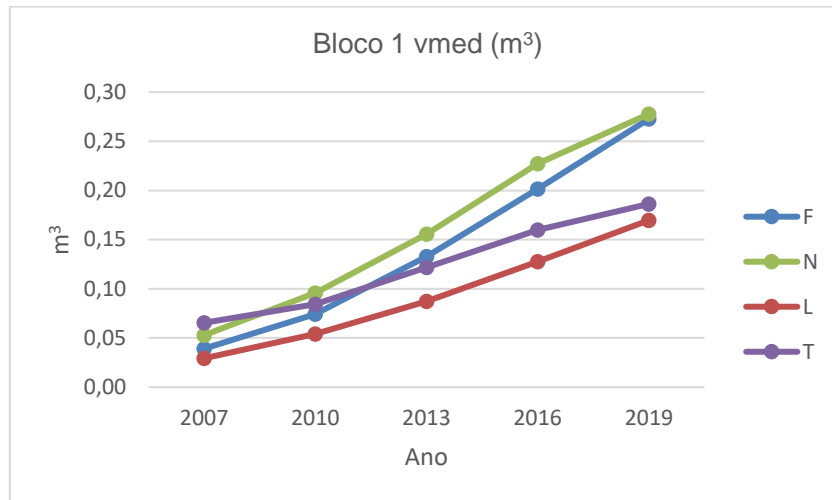


Figura 11 - Volume médio para os diferentes tratamentos do bloco 1

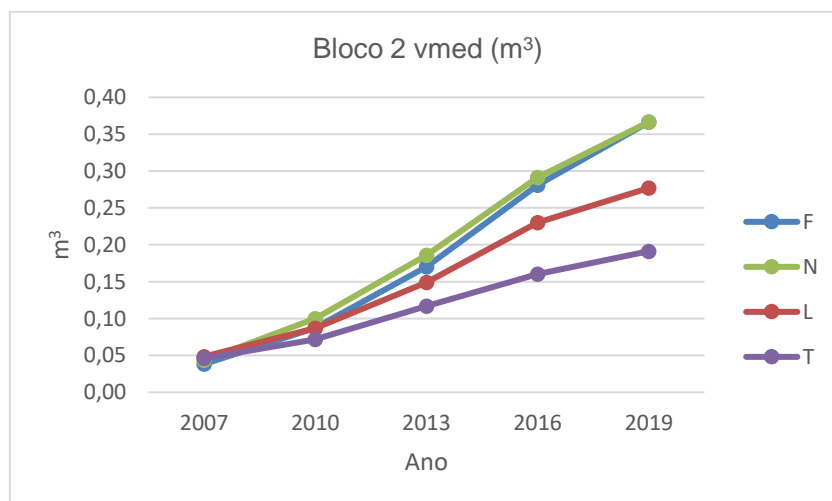


Figura 12 - Volume médio para os diferentes tratamentos do bloco 2

A variável altura da base da copa, alterou-se ao longo do tempo, apesar de se suspeitar que houve uma desramação durante os anos de estudo do ensaio. Esta operação não foi identificada no capítulo “Área de estudo” pois não ocorreu nenhum registo dela quando realizada. Nas figuras 13 e 14 é possível observar as subidas da base da copa.

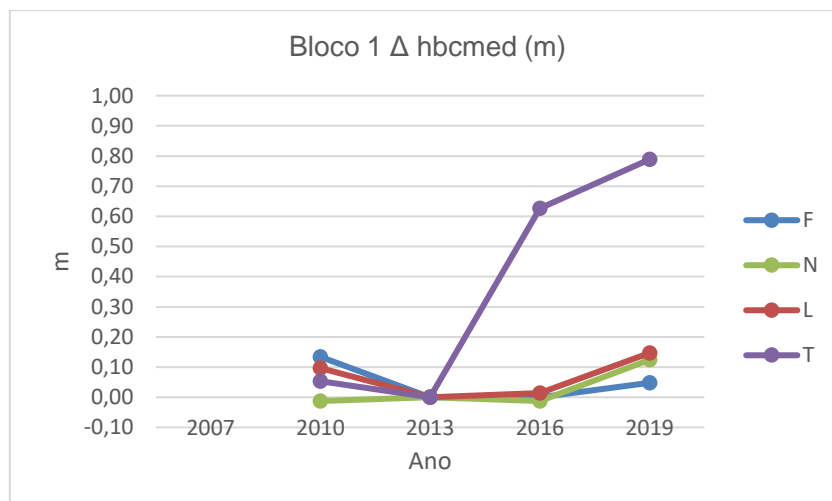


Figura 13 – Média do acréscimo da altura da base da copa para os diferentes tratamentos do bloco 1

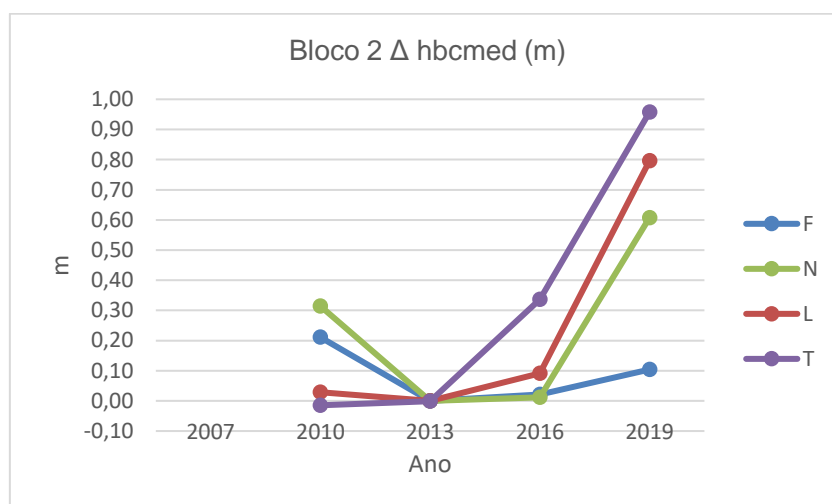


Figura 14 – Média do acréscimo da altura da base da copa para os diferentes tratamentos do bloco 2

A altura média das árvores é uma variável afetada principalmente pelo índice de qualidade da estação. Tal conclusão é possível de afirmar pois, como se pode verificar nas tabelas 1 e 2, os maiores valores de altura média são observados nos tratamentos que possuem uma altura dominante superior aos restantes. Apesar da densidade do povoamento, por vezes, ser apontada como um fator que influencia a altura média das árvores (Moreno-Fernández et al., 2013), tal relação não foi encontrada neste trabalho.

A taxa relativa de crescimento diminui com a idade do povoamento e diminui com o aumento de densidade. Tal é possível de se observar nas figuras 15 e 16, onde também se destaca para o bloco 1 uma falha em relação à afirmação acima com o tratamento N a ter uma taxa relativa de crescimento inferior à do tratamento L.

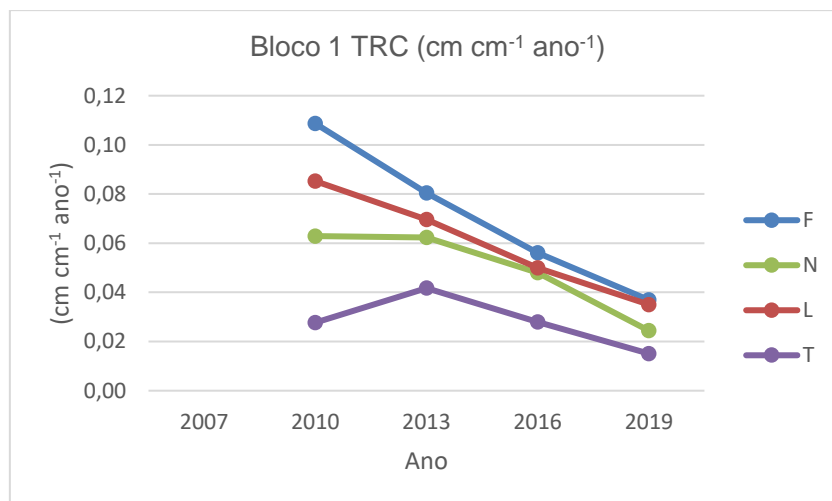


Figura 15 – Média da taxa relativa de crescimento para os diferentes tratamentos do bloco 1

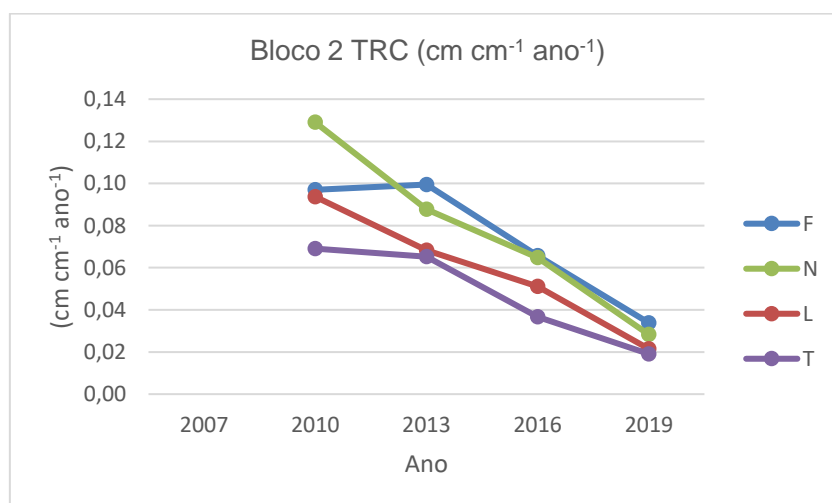


Figura 16 – Média da taxa relativa de crescimento para os diferentes tratamentos do bloco 2

É importante também analisar a taxa relativa de crescimento dentro das parcelas para uma mesma idade. Como se pode observar nas figuras 17 a 20 relativas ao bloco 1 e nas figuras 21 a 24 relativas ao bloco 2, a TRC diminui com o aumento de dimensão dos indivíduos, quer isto dizer que indivíduos de classes de diâmetro menores têm uma maior eficiência de crescimento. As árvores de maiores dimensões podem armazenar e usar os fotoassimilados produzidos noutras funções, como a produção de substâncias de defesa, pois já possuem uma posição dominante, sendo menos afetadas pela competição. Nestas figuras é possível observar novamente que a TRC diminui com a idade, contudo é possível detetar alguns casos que fogem à regra como o ano de 2013 nas figuras 20, 21 e 24. Podemos também afirmar que a variação da TRC diminui com a idade, como se pode observar em todas as figuras, quando se compara a variação da TRC de 2010 com a variação presente na TRC de 2019. A

diferença entre as TRC inicial e final, é superior nas classes de diâmetro inferiores, quando comparada com a mesma diferença nas classes de diâmetro superiores, levando assim a concluir que existe um certo grau de unilateralidade na competição (ainda que não absoluto), visto estar de acordo com o afirmado por Ford e Diggle (1981).

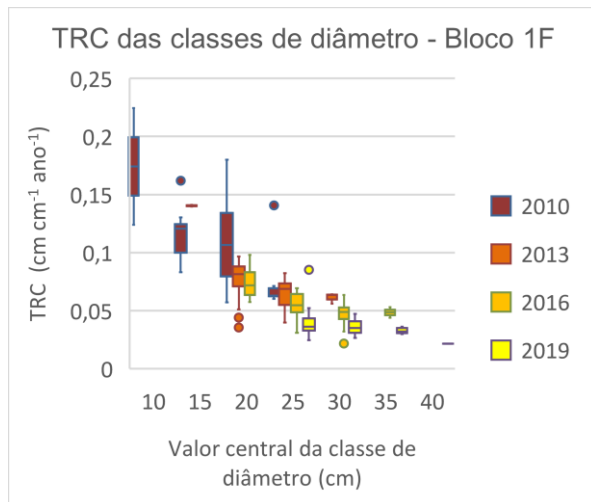


Figura 17 – Caixa de bigodes do tratamento F do bloco 1 - TRC por diferentes classes de diâmetro

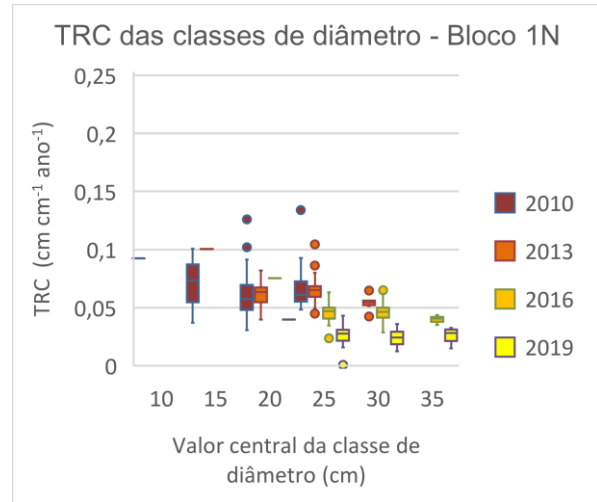


Figura 18 – Caixa de bigodes do tratamento N do bloco 1 - TRC por diferentes classes de diâmetro

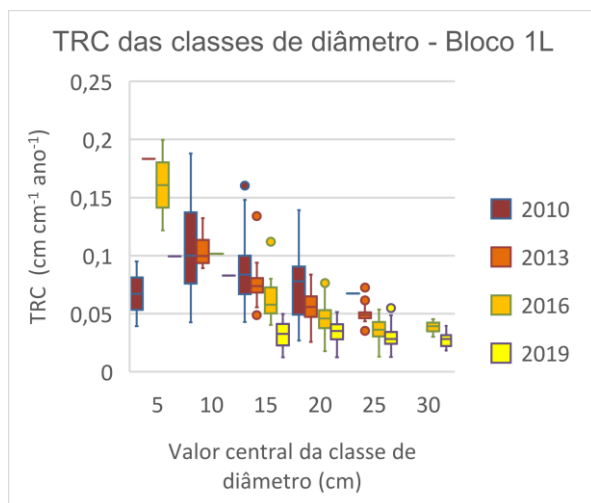


Figura 19 – Caixa de bigodes do tratamento L do bloco 1 - TRC por diferentes classes de diâmetro

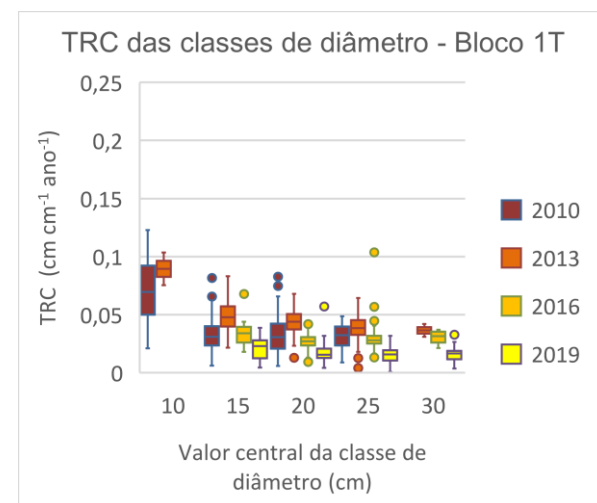


Figura 20 – Caixa de bigodes do tratamento T do bloco 1 - TRC por diferentes classes de diâmetro

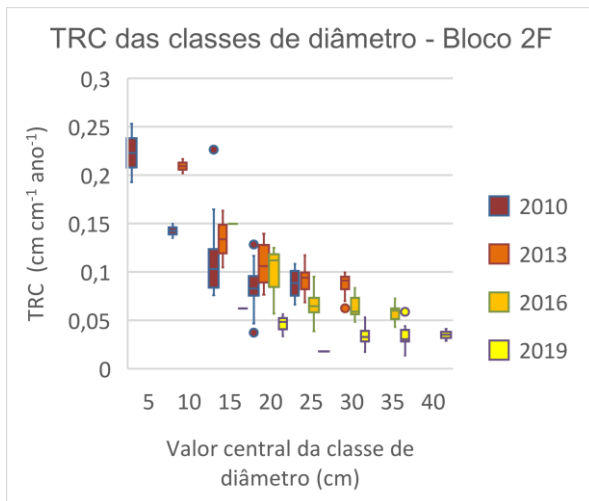


Figura 21 – Caixa de bigodes do tratamento F do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro

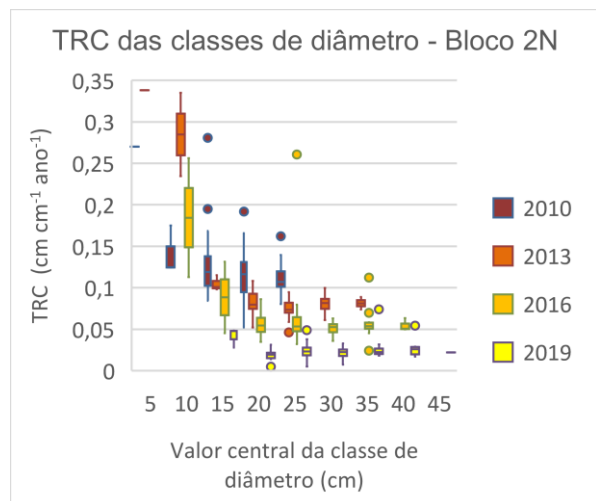


Figura 22 – Caixa de bigodes do tratamento N do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro

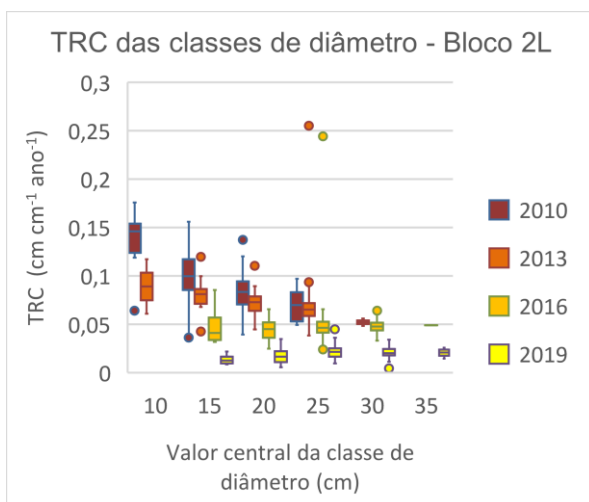


Figura 23 – Caixa de bigodes do tratamento L do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro

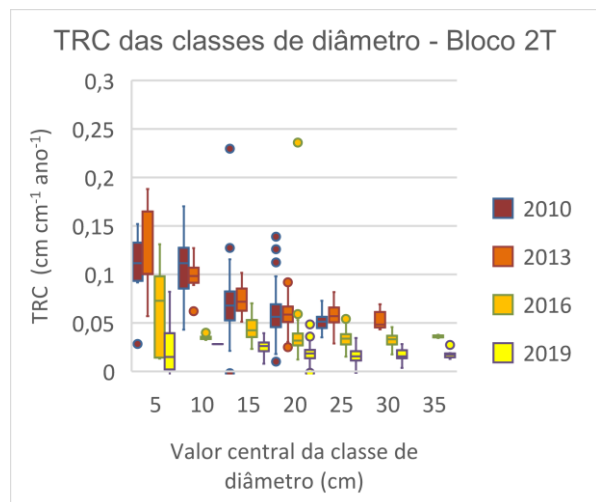


Figura 24 – Caixa de bigodes do tratamento T do bloco 2 - TRC das diferentes classes de diâmetro

O coeficiente de adelgaçamento, como esperado, aumenta com o aumento de densidade, pois árvores em situações de maior competição tendem a investir os fotoassimilados produzidos no desenvolvimento da copa, de maneira a conseguirem uma posição dominante no estrato das copas, e o seu crescimento em diâmetro será inferior visto terem menor quantidade de recursos disponíveis enquanto o crescimento em altura não é afetado por essa escassez. Tal verifica-se em ambos os blocos, como se pode observar na tabela 1 e 2. Esta variável é também interessante de analisar dentro dos tratamentos segundo as classes de diâmetro. Na tabela 3 e 4, que correspondem respetivamente ao bloco 1 e 2, pode-se observar

que o coeficiente de adelgaçamento diminui com o aumento da dimensão das árvores, e que com o passar do tempo o coeficiente de adelgaçamento para cada classe de diâmetro aumenta, pois todas as classes de diâmetro ainda que inicialmente possam ser as maiores existentes, com o passar do tempo classes de diâmetro superior surgiram, fazendo com que as plantas que permaneçam na mesma classe se encontrem futuramente sobre condições de maior competitividade. É possível detetar algumas exceções, principalmente nas classes de menor dimensão, onde por vezes se assiste a uma diminuição inicial do coeficiente de adelgaçamento.

Tabela 3 – Média do coeficiente de adelgaçamento para as diferentes classes de diâmetro nos diferentes tratamentos do bloco 1

Parc.	Valor central da classe de diâmetro (cm)	Med. coef. Adelg_2010	Med. coef. Adelg_2013	Med. coef. Adelg_2013	Med. coef. Adelg_2019
F	10	0,282857	-	-	-
F	15	0,280857	0,256579	-	-
F	20	0,278971	0,271688	0,249246	-
F	25	0,242826	0,269458	0,268837	0,268161
F	30	-	0,240876	0,265224	0,277825
F	35	-	-	-	0,241888
N	10	0,392694	-	-	-
N	15	0,302623	0,351351	-	-
N	20	0,303426	0,308797	0,355795	0,358852
N	25	0,253956	0,297813	0,308104	0,321551
N	30	-	0,276978	0,295267	0,306889
N	35	-	-	-	0,30261
L	5	0,981481	0,715686	0,593418	0,69697
L	10	0,336259	0,371253	0,423729	0,505495
L	15	0,305424	0,334843	0,360333	0,409124
L	20	0,290783	0,309279	0,336178	0,364152
L	25	-	0,293861	0,326531	0,339889
L	30	-	-	-	0,314944
T	5	1,650000	1,600000	2,080000	-
T	10	0,437875	0,454545	-	-
T	15	0,366696	0,41633	0,474712	0,517727
T	20	0,344044	0,386242	0,421825	0,455903
T	25	0,293523	0,352949	0,401503	0,422452
T	30	-	-	0,365089	0,366494

Tabela 4 – Média do coeficiente de adelgaçamento para as diferentes classes de diâmetro nos diferentes tratamentos do bloco 2

Parc.	Valor central da classe de diâmetro (cm)	Med. coef. Adalg_2010	Med. coef. Adalg_2013	Med. coef. Adalg_2013	Med. coef. Adalg_2019
F	5	0,553191	-	-	-
F	10	0,417178	0,377778	-	-
F	15	0,324243	0,353383	0,382979	0,400000
F	20	0,308547	0,297113	0,349462	0,386047
F	25	0,291221	0,284989	0,304896	-
F	30	-	0,274431	0,291763	0,310101
F	35	-	-	0,294419	0,293577
N	5	0,765065	0,549024	-	-
N	10	0,339536	0,528577	0,478458	-
N	15	0,332335	0,356499	0,438242	0,533939
N	20	0,31915	0,338433	0,387474	0,417329
N	25	0,313322	0,329079	0,343201	0,364792
N	30	-	0,311054	0,331104	0,352146
N	35	-	-	0,327191	0,324395
N	40	-	-	-	0,302564
L	10	0,402706	0,439024	-	-
L	15	0,354589	0,425029	0,473688	0,522293
L	20	0,330342	0,356802	0,424759	0,468668
L	25	0,290362	0,335752	0,374273	0,395763
L	30	-	0,314487	0,343021	0,365371
L	35	-	-	0,306748	0,328053
T	5	1,048433	0,868772	1,024828	1,974102
T	10	0,414999	0,535966	0,711937	0,837838
T	15	0,372582	0,411082	0,486912	0,563034
T	20	0,332441	0,375192	0,419997	0,456634
T	25	0,291646	0,335824	0,380586	0,404561
T	30	-	0,316364	0,333474	0,354587

O grau de cobertura do bloco 1 apresentou os resultados esperados, com maiores valores para os tratamentos com maior densidade. A ligeira diminuição do grau de cobertura no tratamento T do bloco 1 no ano de 2016, como se pode observar na figura 25, teve origem na operação de corte de ramos. A remoção dos ramos leva ao aumento da altura da base da copa ao mesmo tempo diminui a área de copa, visto os ramos mais baixos serem os de maior comprimento.

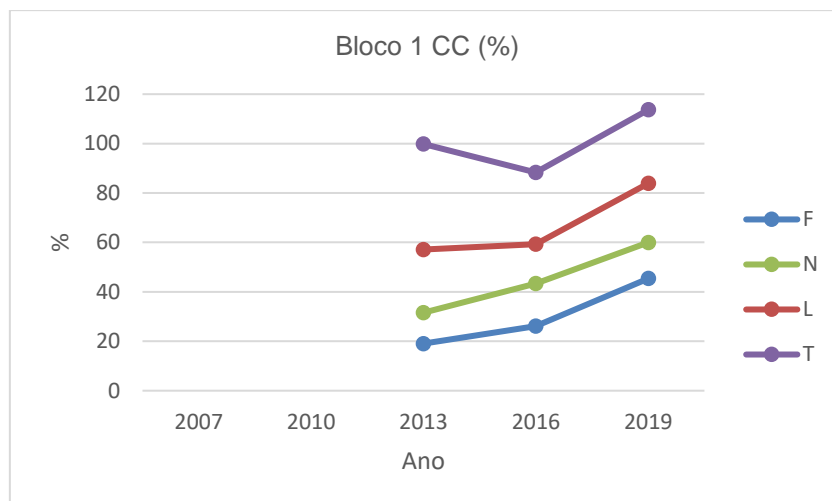


Figura 25 - Grau de cobertura para os diferentes tratamentos do bloco 1

O grau de cobertura do bloco 2, apresentou valores para o tratamento L que não eram esperados. O tratamento L apresentou em todos os anos valores de grau de cobertura superiores ao tratamento T, como se pode observar na figura 26. Várias razões poderiam ser apontadas para tal acontecimento, como a subida da altura da base da copa, que ocorreu no tratamento T, enquanto no tratamento L só ocorreu uma vez. Outra razão para o tratamento L possuir um grau de cobertura superior ao tratamento T, poderia ser o facto de não haver amostras do raio de copa, no ano de 2016, para as árvores pertencentes à classe de diâmetro 5 (cerca de 20% do total de indivíduos do tratamento), contudo tal não explica os restantes anos.

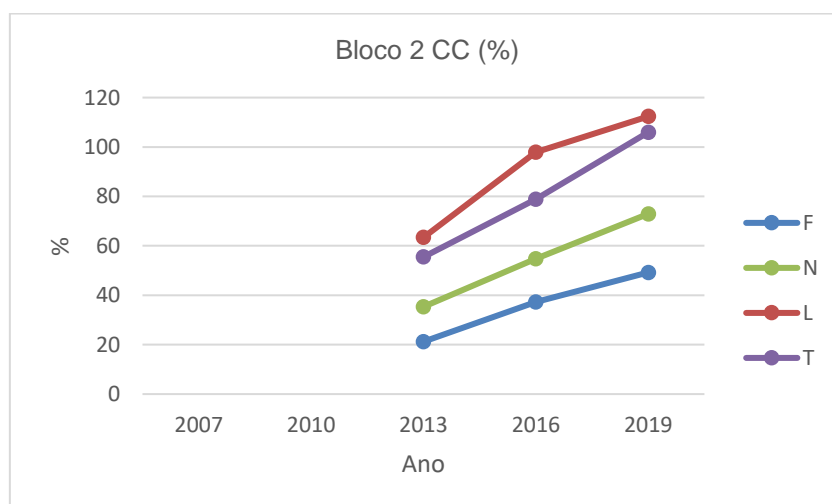


Figura 26 - Grau de cobertura para os diferentes tratamentos do bloco 2

Os resultados obtidos para o grau de coberto através do ajuste das equações 1, 2 e 3 descritas no método (b) são apresentados nas tabelas 5, 6, 7 e a tabela 8 apresenta os resultados expostos anteriormente nas figuras 25 e 26, obtidos pelo método (a), de maneira a ser fácil a comparação entre os diferentes resultados.

*Tabela 5* – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 1

BI	T	CC_2013 (%)	CC_2016 (%)	CC_2019 (%)
1	F	18,9	44,6	26,5
1	L	54,8	84,9	60,1
1	N	31,5	59,0	43,5
1	T	99,6	110,5	84,6
2	F	21,3	48,7	36,9
2	L	59,2	115,2	93,6
2	N	35,8	71,0	56,2
2	T	52,7	100,7	78,5

*Tabela 6* – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 2

BI	T	CC_2013 (%)	CC_2016 (%)	CC_2019 (%)
1	F	18,5	26,3	44,8
1	L	55,3	60,4	83,5
1	N	37,9	42,4	58,5
1	T	100,0	83,5	107,9
2	F	20,8	35,9	47,3
2	L	61,2	97,4	122,8
2	N	32,5	50,3	62,4
2	T	52,4	72,6	98,5

*Tabela 7* – Grau de coberto resultante do ajuste da Eq. 3

BI	T	CC_2013 (%)	CC_2016 (%)	CC_2019 (%)
1	F	18,4	26,6	45,6
1	L	52,8	59,2	82,2
1	N	30,8	41,9	58,7
1	T	97,7	82,1	105,3
2	F	20,7	35,9	46,8
2	L	59,4	94,2	118,6
2	N	34,6	53,2	70,5
2	T	52,7	75,5	97,3

*Tabela 8* – Grau de coberto resultante do da aplicação do método (a)

BI	T	CC_2013 (%)	CC_2016 (%)	CC_2019 (%)
1	F	19,0	26,2	45,4
1	L	57,1	59,2	83,9
1	N	31,6	43,4	57,9
1	T	99,8	88,3	113,7
2	F	21,2	37,3	49,2
2	L	63,4	98,0	112,4
2	N	35,3	54,8	72,9
2	T	55,5	78,8	106,0

Na tabela I, presente nos anexos, encontram-se os coeficientes das diferentes equações ajustadas e os seus respetivos coeficientes de determinação. Das equações ajustadas, as que melhores desempenhos tiveram, ou seja, aquelas que apresentaram um coeficiente de correlação mais elevado, encontram-se expostas na tabela 9. Como se pode observar a equação 2 é a que melhor descreve a relação do diâmetro da copa com a dimensão da árvore, para o tratamento F. As parcelas T e L podem usar ambas as equações 1 e 2, pois ambas as equações tiveram bons ajustes. A equação 3 é considerada a melhor equação ajustada apenas em alguns casos do tratamento N.

Tabela 9 – Melhores equações ajustadas para o diâmetro da copa; Bl – bloco; Parc – tratamento da parcela; Eq – número da equação (descrita nos métodos); coef.  $\beta_1$  – estimativa do coeficiente  $\beta_1$ ; coef.  $\beta_2$  - estimativa do coeficiente  $\beta_2$ ;  $r^2$  – coeficiente de determinação; st.EE – erro padrão da estimativa

Ano	Bl	Parc	Eq	coef. $\beta_1$	coef. $\beta_2$	p-value	$r^2$	st.EE
2013	1	F	2	0,102	13,672	0,00	0,90	0,02
2016	1	F	2	0,078	17,142	0,00	0,88	0,01
2019	1	F	2	0,045	20,175	0,00	0,87	0,01
2019	1	F	3	4,171	0,000062	0,00	0,89	0,38
2013	2	F	2	0,125	10,584	0,00	0,95	0,02
2016	2	F	2	0,069	18,710	0,00	0,95	0,01
2019	2	F	2	0,039	26,767	0,00	0,90	0,02
2013	1	N	3	3,460	0,000054	0,00	0,90	0,22
2016	1	N	3	3,983	0,000038	0,00	0,97	0,15
2019	1	N	1	1,612	0,190	0,00	0,94	0,19
2019	1	N	2	0,074	17,369	0,00	0,93	0,00
2013	2	N	2	0,164	6,282	0,00	0,94	0,03
2016	2	N	1	-0,391	0,245	0,00	0,92	0,47
2016	2	N	2	0,102	15,283	0,00	0,91	0,02
2019	2	N	1	-0,867	0,268	0,00	0,79	0,94
2019	2	N	3	3,726	0,000031	0,00	0,79	0,94
2013	1	L	1	1,166	0,200	0,00	0,94	0,31
2016	1	L	1	1,465	0,171	0,00	0,96	0,23
2019	1	L	1	0,724	0,230	0,00	0,96	0,31
2013	2	L	2	0,100	15,877	0,00	0,95	0,01
2016	2	L	2	0,026	30,995	0,00	0,94	0,01
2019	2	L	1	-0,525	0,277	0,00	0,87	0,57
2013	1	T	1	1,105	0,174	0,00	0,83	0,50
2016	1	T	1	0,121	0,189	0,00	0,86	0,54
2019	1	T	2	0,100	24,227	0,00	0,81	0,02
2013	2	T	1	1,403	0,116	0,00	0,79	0,40
2013	2	T	2	0,184	12,032	0,00	0,79	0,03
2016	2	T	1	1,160	0,153	0,00	0,70	0,68
2019	2	T	2	0,005	43,132	0,00	0,89	0,02

A distribuição de diâmetros nos diferentes tratamentos pode ser observada, para o bloco 1 nas figuras 27, 28, 29, 30, 31 e para o bloco 2 nas figuras 32, 33, 34, 35 e 36.

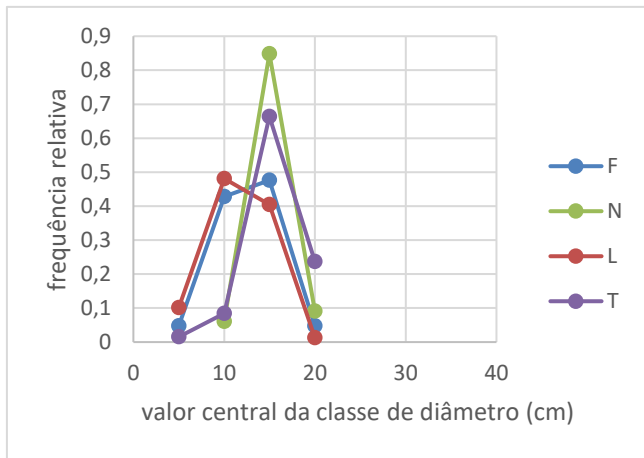


Figura 27 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2007 - Bloco 1

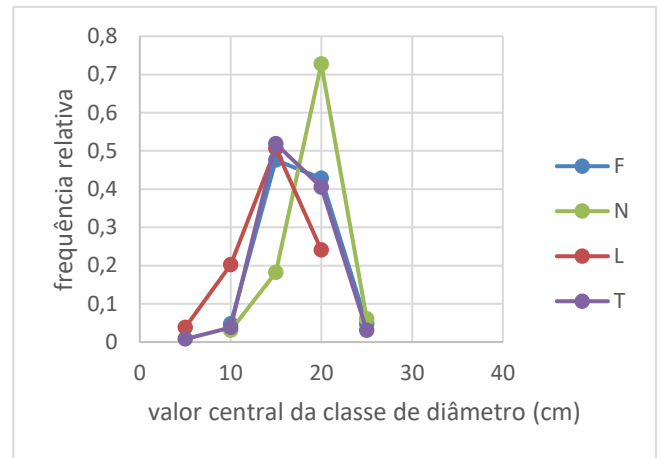


Figura 28 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2010 - Bloco 1

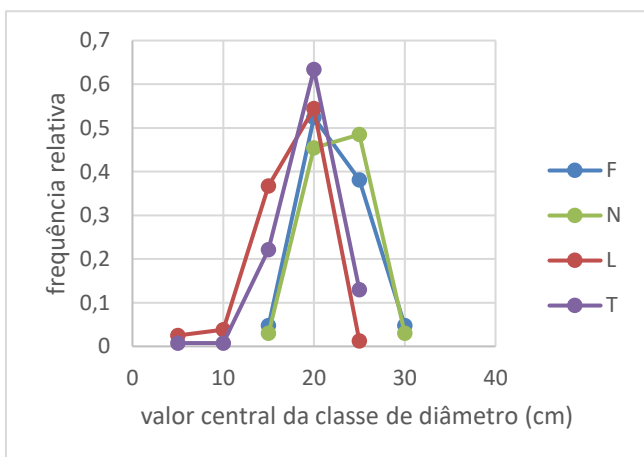


Figura 29 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2013 - Bloco 1

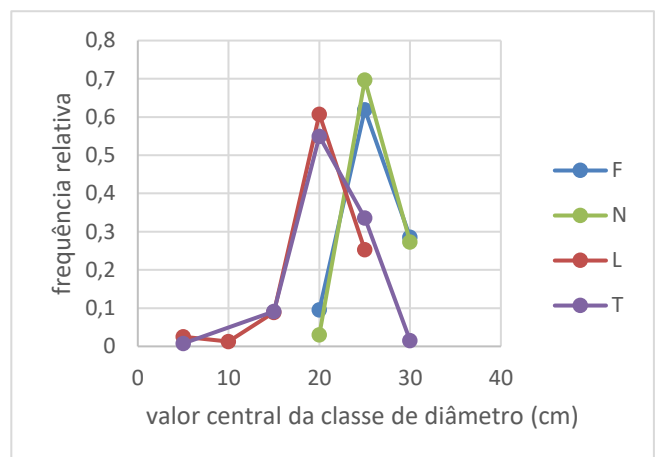


Figura 30 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2016 - Bloco 1

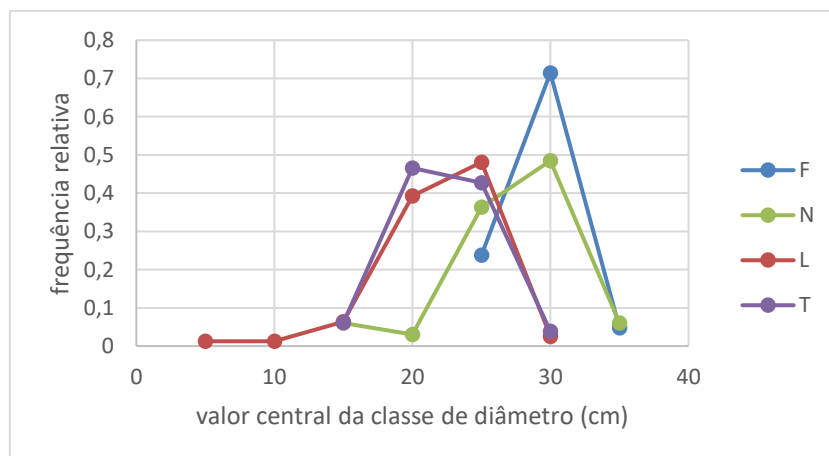


Figura 31 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2019 - Bloco 1

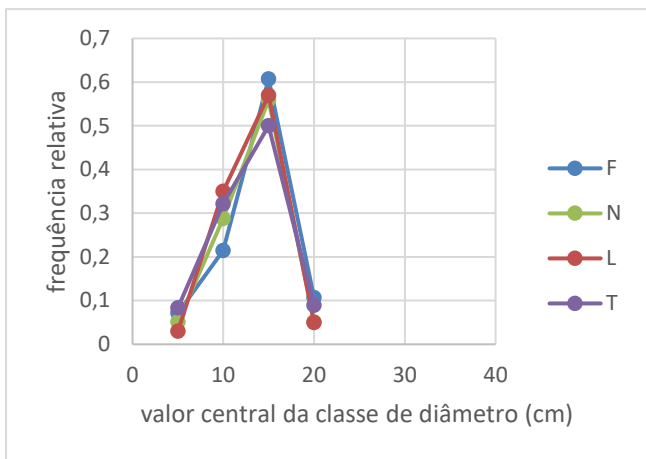


Figura 32 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2007 - Bloco 2

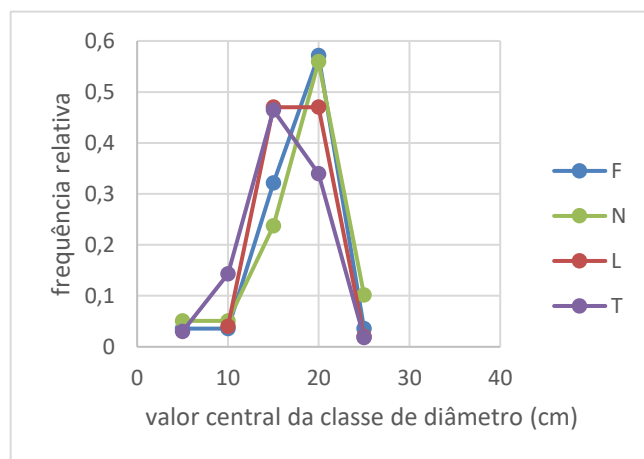


Figura 33 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2010 - Bloco 2

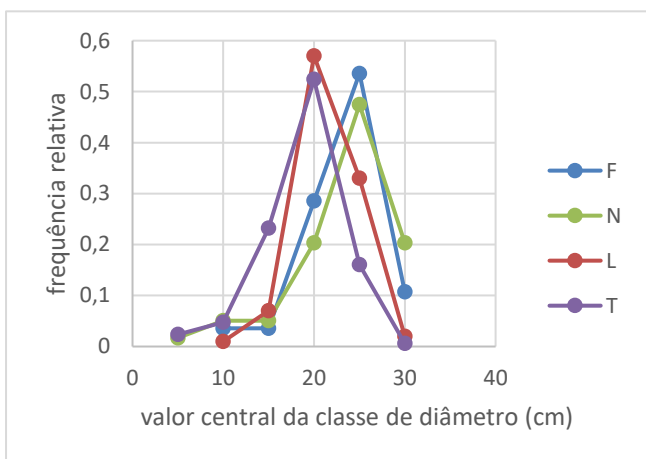


Figura 34 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2013 - Bloco 2

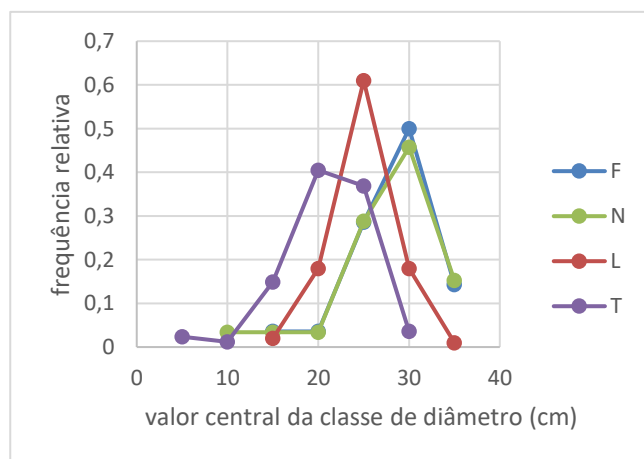


Figura 35 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2016 - Bloco 2

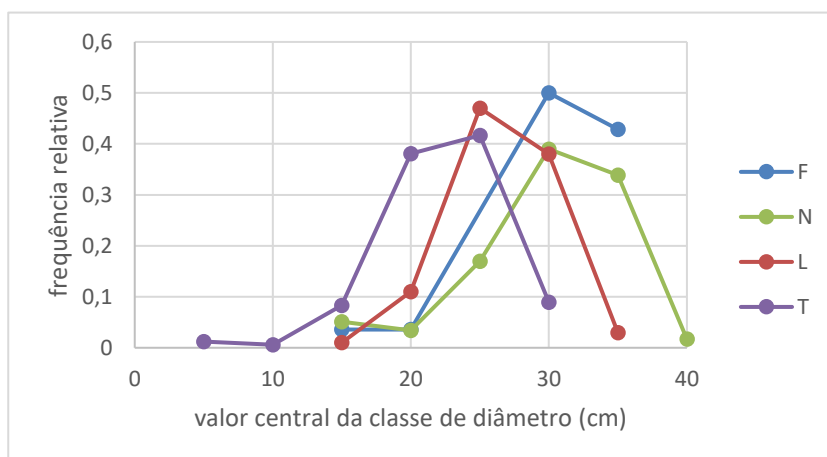


Figura 36 - Distribuição da frequência relativa por classe de diâmetro para o ano de 2019 - Bloco 2

A distribuição dos indivíduos pelas classes de diâmetros no bloco 2 é um excelente exemplo de como a densidade pode afetar a distribuição de diâmetros. Pois, em todos os tratamentos, a distribuição inicial das árvores pelas classes de diâmetro é muito semelhante, como se pode observar na figura 32. O efeito mais visível é a distribuição dos indivíduos por classes de diâmetro superiores em tratamentos onde existe menor densidade de árvores, como se pode observar na figura 36. Essa diferenciação ocorre devido à competição, que se inicia mais cedo nos tratamentos de maior densidade, como se pode observar na figura 34, onde já é perceptível a diferença na distribuição das classes de diâmetro, entre o conjunto de tratamentos L e T e os tratamentos F e N. Com o passar do tempo a curva de distribuição de classes de diâmetro tende a achatar, isto é, existe uma distribuição mais homogênea dos indivíduos pelas diferentes classes de diâmetro. Este efeito tem início mais cedo no tratamento T, como se pode observar na figura 35, devido às árvores nesta parcela entrarem em situação de *stress*/competição mais cedo que os indivíduos dos outros tratamentos. A distribuição de diâmetros inicialmente apresenta um desenvolvimento gráfico correspondente a uma distribuição simétrica, como se pode observar na figura 32, que posteriormente adquire uma “cauda” à esquerda.

No bloco 1, não existem condições iniciais semelhantes, como se pode observar na figura 27, possivelmente devido ao facto das parcelas F e L terem um índice de qualidade baixo, o que leva à distribuição de diâmetros ter um comportamento semelhante ao que acontece sob o efeito da competição - uma distribuição mais homogênea dos indivíduos por diferentes classes de diâmetro. Os efeitos descritos para o bloco 2 foram semelhantes aos que ocorreram no bloco 1. As diferenças a mencionar foram os tratamentos T e L terem uma distribuição de diâmetros semelhante, como se pode observar nas figuras 30 e 31. Tal pode acontecer devido ao índice de qualidade da estação do tratamento T ser superior ao índice de qualidade da estação do tratamento L; se assim for, podemos assumir que a quantidade de recursos disponível para cada indivíduo, em ambos os tratamentos, é semelhante, visto um dos tratamentos ter “grande” quantidade de recursos para um “pequeno” número de indivíduos e o outro tratamento ter uma “pequena” quantidade de recursos disponível para um “grande” número de indivíduos. Outra diferença entre os resultados dos dois blocos é o tratamento F do bloco 1 em 2019 não apresentar nenhuma “cauda” à esquerda, como se pode observar na figura 31.

Podemos também afirmar que o diâmetro tem maior amplitude, ou seja, existe um maior número de classes de diâmetro nos tratamentos com maior densidade de árvores (N, L, T) quando comparado ao tratamento F, como se pode ver nas figuras 31 e 36. Este facto levamos a descrever a competição como assimétrica, visto estar de acordo com Weiner e Thomas

(1986), que afirmam que este tipo de competição leva a uma maior dispersão dos diâmetros dos indivíduos à medida que a densidade do povoamento vai aumentando.

O índice de competição de Hegyi depois de calculado, foi correlacionado com o DAP, altura e TRC de cada indivíduo. Através do seu coeficiente de determinação foi possível saber se o índice de competição tinha alguma influência nas variáveis descritas. Nas tabelas 10, 11 e 12 encontram-se o coeficiente de determinação entre o índice de competição Hegyi e as variáveis DAP, altura e TRC, para os diferentes tratamentos dos dois blocos.

*Tabela 10* – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e o DAP

Bl	Parc	r <sup>2</sup>
1	F	0,35
1	N	0,71
1	L	0,65
1	T	0,38
<hr/>		
2	F	0,59
2	N	0,49
2	L	0,53
2	T	0,53

*Tabela 11* – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e a altura

Bl	Parc	r <sup>2</sup>
1	F	0,12
1	N	0,02
1	L	0,47
1	T	0,02
<hr/>		
2	F	0,50
2	N	0,28
2	L	0,14
2	T	0,14

*Tabela 12* – Coeficiente de determinação entre o IC Hegyi e a TRC

Bl	Parc	r <sup>2</sup>
1	F	0,34
1	N	0,01
1	L	0,31
1	T	0,00
<hr/>		
2	F	0,41
2	N	0,00
2	L	0,03
2	T	0,03

Tal com é possível verificar nas tabelas anteriores, o índice de competição pode explicar cerca de 50% da variação do DAP nos diferentes tratamentos, contudo é necessário lembrar que o DAP dos diferentes indivíduos é usado na criação do índice de competição. A influência do índice de competição foi menor nas variáveis altura e TRC, como se pode observar nos pequenos valores do coeficiente de determinação nas tabelas 11 e 12.

Ao criarmos uma nuvem de pontos com o valor do índice de competição no eixo das abcissas e o valor do DAP no eixo das ordenadas, ficamos com a figura 37, correspondente ao bloco 1, e a figura 38, correspondente ao bloco 2. Nestas figuras é possível observar que o declive das retas ajustadas diminui com a densidade, quer isto dizer que o impacto do índice de competição na variável DAP diminui com o aumento de densidade. Podemos também afirmar que o aumento da densidade leva ao aumento da variação do índice de competição, sendo que os únicos casos que falham à regra são o tratamento L do bloco 1 (pois tem uma variação dos valores do índice de competição superior ao tratamento T do bloco 1) e, no bloco 2, o tratamento L (por ter uma variação dos valores do índice de competição inferior à variação existente no tratamento N).

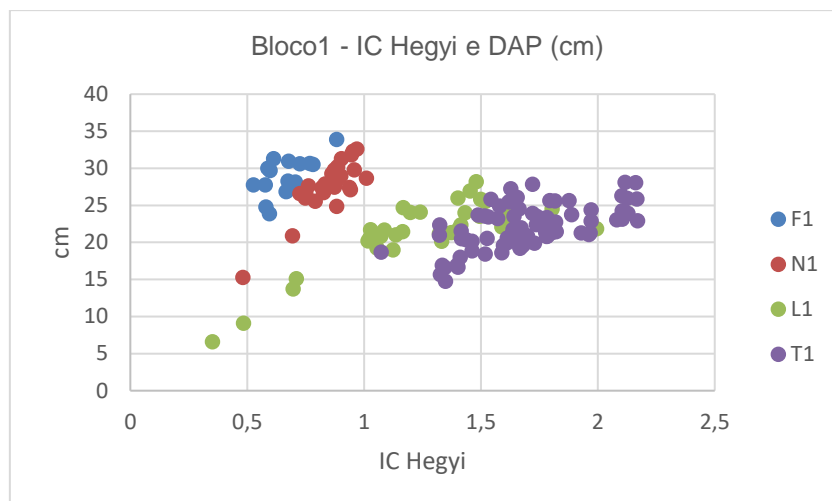


Figura 37 – Nuvem de pontos do bloco 1 – DAP/índice de competição Hegyi

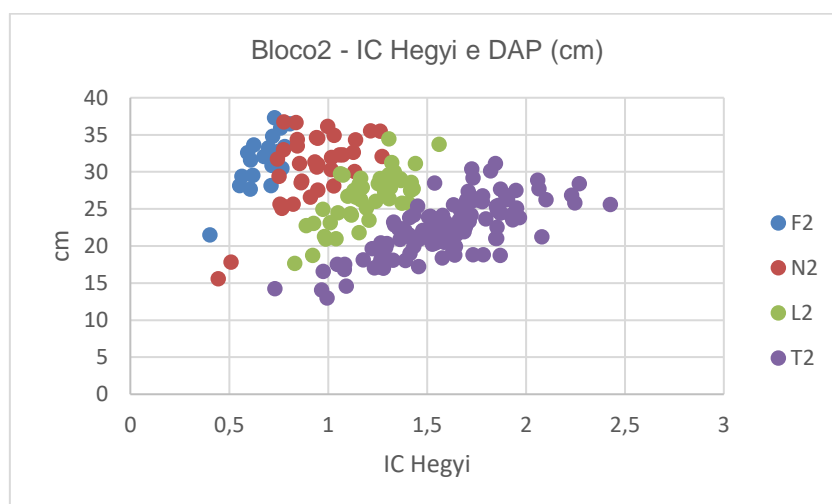


Figura 38 – Nuvem de pontos do bloco 2 – DAP/índice de competição Hegyi

Os valores do coeficiente de determinação, entre o índice de competição e o acréscimo em diâmetro, para o conjunto total de dados de cada bloco, teve como resultados para o bloco 1 um  $r^2 = 0,38$  e para o bloco 2 um  $r^2 = 0,21$ .

## Conclusão

Este trabalho mostra que a densidade afecta não só o desenvolvimento das árvores como também o povoamento como um todo. As principais conclusões foram:

- O volume e a área basal do povoamento aumentam com a densidade;
- O volume médio e o diâmetro quadrático médio são afectados pela densidade, aumentando quando a densidade diminui;
- A altura dominante e a altura média, não foram alteradas pela densidade, mas estão sim relacionadas com a qualidade da estação;
- O coeficiente de adelgaçamento aumenta directamente com a densidade;
- O grau de cobertura do povoamento aumenta com a densidade, apesar da área de copa de cada indivíduo diminuir;
- A estrutura do povoamento, ou seja, a distribuição de diâmetros dos indivíduos, é afetada tanto pela densidade como pela qualidade da estação. Existe uma maior dispersão dos indivíduos pelas classes de diâmetro com o aumento de densidade e os indivíduos atingem classe de diâmetro superiores para densidades do povoamento inferiores. Quando o índice de qualidade da estação é baixo, a resposta da estrutura do povoamento é semelhante ao aumento de densidade;
- A competição afeta principalmente o crescimento em diâmetro, não alterando de modo evidente o crescimento em altura.

É possível afirmar que os dados permitem detetar sinais de competição assimétrica porque, ao se aumentar a densidade do povoamento, existe uma maior dispersão dos indivíduos pelas classes de diâmetro. Também se verifica que a competição é bilateral, visto que a taxa relativa de crescimento, em qualquer classe de diâmetro, diminui sempre com o passar do tempo, ainda que esta redução seja menor nas classes de diâmetro superiores quando comparadas com as classes de diâmetro inferiores.

Quando se compara o efeito da densidade nas variáveis volume médio e diâmetro quadrático médio, nos tratamentos F e N, é possível afirmar que o tratamento F tem uma deficiente ocupação da estação, visto as características dos indivíduos de ambos os tratamentos serem muito semelhantes.

Das equações ajustadas ao diâmetro da copa a que melhor descreveu esta variável, para as diferentes densidades, foi a equação 2, sendo esta a sugerida quando se pretende estimar o diâmetro da copa em função da altura e do diâmetro da árvore, podendo-se usar as estimativas dos coeficientes conforme a densidade do povoamento em causa. Porém o mais correcto seria ajustar esta equação aos dados do povoamento em que vai ser usada. A

equação 1 pode também ser usada, mas só é aconselhada para densidade semelhantes às do tratamento L e T. A vantagem da equação 1 é a variável independente ser só o diâmetro, de mais fácil medição que a altura.

## Bibliografia

AFN (2012). Estratégia para a gestão das matas nacionais. Autoridade Florestal Nacional. Lisboa.

Alves, A.A.M. (1975). Teoria geral da intervenção produtiva. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.

Alves, A.M. (1988). Técnicas de produção florestal. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica.

Alves, A.M., Pereira, J.S., Correia, A.V. (2019). Silvicultura: a gestão dos ecossistemas florestais. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Burkhardt, H.E., Tomé, M. (2012). Modelling forest trees and stands. Dordrecht: Springer.

Cardoso, S.C.G. (2010). Quantificação de biomassa residual em povoamentos de pinheiro manso (*Pinus pinea* L.) (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal).

Carneiro, A.N., d'Alpuim, M.D.S.H., Carvalho, M.A.V. (2007). Manual ilustrado de enxertia do pinheiro manso. Lisboa: Estação Florestal Nacional.

Carvalho, A. (1997). Madeiras portuguesas - estrutura anatómica, propriedades e utilizações. Lisboa: Direção-Geral das Florestas.

Carvalho, A.P.S.M. (1995). Competição intraespecífica em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. Uma aplicação a índices de competição dependentes da distância (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal)

Costa, R., Evaristo, I., Batista, D., Afonso, S., Carrasquinho, I, Sousa, E., d'Alpuim, M.D.S.H. (2008). Condução de povoamentos de pinheiro manso e características nutricionais do pinhão. Lisboa: Instituto Nacional dos Recursos Biológicos.

DGADR (1999). Carta dos Solos de Portugal. Lisboa: Direção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural.

DGRF (2006). Programa Regional de Ordenamento Florestal: Ribatejo. Direcção-Geral dos Recursos Florestais. Lisboa.

DGT (2020). Disponível em: <http://mapas.dgterritorio.pt/>. Direcção-Geral do Território. 06/2020.

Eichhorn, F. (1904). Beziehungen zwischen Bestandshöhe und Bestandsmasse. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 80: 45-49.

Evans, G.C. (1972). The quantitative analysis of plant growth. Los Angeles: Blackwell Scientific Publications.

Ford, E.D., Diggle, P.J. (1981). Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Annals of Botany* 48(4):481-500. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a086152

Gonçalves, A.C., Pommerening, A. (2012). Spatial dynamics of cone production in Mediterranean climates: A case study of *Pinus pinea* L. in Portugal. *Forest Ecology and Management* 266: 83–93. doi: 10.1016/j.foreco.2011.11.007.

Google (2020). 39°07'98.46"N e -8°75'16.01"E. Google Earth. 12/2020. 02/2021.

Hegyi, F. (1974). A simulation model for managing jack pine stands. In: Fries, J. (Ed.), *Growth models for tree and stand simulation* (pp. 74-90). Stockholm, Sweden: Royal College of Forestry.

ICNF (2016). Regime Jurídico da pinha de pinheiro-manso (outubro de 2015 a agosto de 2016). Nota Informativa nº2. Divisão de Apoio à Produção Florestal e Valorização de Recursos Silvestres, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

ICNF (2018). Programa Regional de Ordenamento Florestal: Lisboa e Vale do Tejo. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

ICNF (2019). 6º Inventário florestal nacional. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

IPMA (2020). Portal do clima – Alterações climáticas em Portugal. Disponível em: <http://portaldoclima.pt/>. 06/2020.

Jyske, T., Kaakinen, S., Nilsson, U., Saranpää, P., Vapaavuori, E. (2010). Effects of timing and intensity of thinning on wood structure and chemistry in Norway spruce. *Holzforschung*, 64(1). doi: 10.1515/hf.2010.013.

Larocque, G., Marshall, P.L. (1988). Improving single-tree distance-dependent growth models. In: Ek, A.R., Shifley, R., Burk, T.E. (Eds.), *Forest Growth Modelling and Prediction*. Minneapolis, USA: USDA Forest Services.

Loewe, V.M., Venegas-Gonzalez, A., Delard, C., González, M. (2013). Thinning effect in two young stone pine plantations (*Pinus pinea* L.) in central southern Chile. In: Mutke, S., Piqué, M., Calama, R. (Eds.), *Mediterranean Stone Pine for Agroforestry* (pp. 49-55). Zaragoza, Espanha.

- Mazza, G., Amorini, E., Cutini, A., Manetti, M.C. (2011). The influence of thinning on rainfall interception by *Pinus pinea* L. in Mediterranean coastal stands (Castel Fusano-Rome). *Annals of Forest Science* 68:1323-1332. doi: 10.1007/s13595-011-0142-7
- Mechergui, T., Boussaidi, N., Pardos, M. (2017). Short-term effect of early thinning on growth in stone pine in Tunisia. *Journal of New Sciences* 46(2):2509-2516.
- Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., Calama, R., Gordo, J., Sánchez-González, M. (2013). Thinning increases cone production of stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Annals of Forest Science* 70(8): 761-768. doi: 10.1007/s13595-013-0319-3.
- Pape, R. (1999). Effects of thinning regime on the wood properties and stem quality of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(1):38-50.
- Pasalodos-Tato, M., Pukkala, T., Calama, R., Cañellas, I., Sánchez-González, M. (2016). Optimal management of *Pinus pinea* stands when cone and timber production are considered. *European Journal of Forest Research* 135(4):607-619. doi: 10.1007/s10342-016-0958-7.
- Perry, D.A. (1985). The competition process in forest stands. In: Cannell, M.G.R., Jackson, J.E (Eds.), *Attributes of trees as crop plants*. Huntingdon, England: Institute of Terrestrial Ecology.
- Pique-Nicolau, M., del Río, M., Calama, R., Montero, G. (2011). Modelling silviculture alternatives for managing *Pinus pinea* L. forest in North-East Spain. *Forest Systems* 20(1): 3–20. doi: 10.5424/fs/2011201-8464.
- Prodan, M. (1968). *Forest biometrics*. Oxford: Pergamon Press
- Rivas, J.J.C., González, J.G.Á., Aguirre, O., Hernández, F. (2005). The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research* 124:133-142.
- Smith, W.D., Strub, M.R. (1991). Initial spacing: how many trees to plant. In: Duryea M.L., Dougherty P.M. (Eds.), *Forest Regeneration Manual*. Forestry Sciences, vol 36. Dordrecht, Nederland: Springer. doi: 10.1007/978-94-011-3800-0\_15
- Soares, P., Tomé, M. (1999). Distance-dependent competition measures for eucalyptus plantations in Portugal. *Annals of Forest Science* 56(4):307-319. doi: 10.1051/forest:19990405
- 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. Publicações FORCHANGE PT 9/2007. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa.

Weiner, J. (1990). Asymmetric competition in plant populations. *Trends in Ecology & Evolution* 5(11):360-364. doi: 10.1016/0169-5347(90)90095-U

Weiner, J., Thomas, S. (1986). Size variability and competition in plant monocultures. *Oikos* 47(2):211-222. doi:10.2307/3566048

Zobel, B. J., van Buijtenen, J.P. (1989). *Wood variation: its causes and control*. Dordrecht: Springer.

## Anexos

*Tabela I* – Equações ajustadas para o diâmetro da copa; Bl – bloco; Parc – tratamento da parcela; Eq – número da equação (descrita nos métodos); coef.  $\beta_1$  – coeficiente de  $\beta_1$ ; coef.  $\beta_2$  - coeficiente de  $\beta_2$ ;  $r^2$  – coeficiente de determinação; st.EE – erro padrão da estimativa

Ano	Bl	Parc	Eq	coef. b1	coef. b2	p-value	$r^2$	st.EE
2013	1	F	1	-0,473	0,242	0,13	0,75	0,42
2013	1	F	2	0,102	13,672	0,00	0,90	0,02
2013	1	F	3	3,162	0,000090	0,00	0,76	0,42
2016	1	F	1	-2,087	0,302	0,17	0,84	0,36
2016	1	F	2	0,078	17,142	0,00	0,88	0,01
2016	1	F	3	3,709	0,000061	0,01	0,72	0,47
2019	1	F	1	-4,070	0,398	0,24	0,87	0,42
2019	1	F	2	0,045	20,175	0,00	0,87	0,01
2019	1	F	3	4,171	0,000062	0,00	0,89	0,38
2013	2	F	1	0,482	0,200	0,00	0,87	0,44
2013	2	F	2	0,125	10,584	0,00	0,95	0,02
2013	2	F	3	3,169	0,000069	0,00	0,75	0,61
2016	2	F	1	-0,605	0,262	0,00	0,90	0,49
2016	2	F	2	0,069	18,710	0,00	0,95	0,01
2016	2	F	3	4,031	0,000043	0,00	0,82	0,66
2019	2	F	1	-1,129	0,287	0,00	0,83	0,74
2019	2	F	2	0,039	26,767	0,00	0,90	0,02
2019	2	F	3	4,714	0,000031	0,00	0,67	1,04
2013	1	L	1	1,166	0,200	0,16	0,94	0,31
2013	1	L	2	0,127	8,094	0,00	0,83	0,02
2013	1	L	3	3,592	0,000090	0,00	0,81	0,42
2016	1	L	1	1,465	0,171	0,14	0,96	0,23
2016	1	L	2	0,142	7,914	0,00	0,85	0,01
2016	1	L	3	4,106	0,000037	0,00	0,80	0,31
2019	1	L	1	0,724	0,230	0,00	0,96	0,31
2019	1	L	2	0,093	13,655	0,00	0,88	0,01
2019	1	L	3	4,131	0,000048	0,00	0,92	0,28
2013	2	L	1	0,520	0,204	0,00	0,86	0,37
2013	2	L	2	0,100	15,877	0,00	0,95	0,01
2013	2	L	3	3,500	0,000051	0,00	0,69	0,56
2016	2	L	1	0,060	0,245	0,00	0,85	0,49
2016	2	L	2	0,026	30,995	0,00	0,94	0,01
2016	2	L	3	3,764	0,000043	0,00	0,79	0,59
2019	2	L	1	-0,525	0,277	0,00	0,87	0,57
2019	2	L	2	-0,009	41,468	0,00	0,81	0,02
2019	2	L	3	3,849	0,000040	0,00	0,78	0,70
2013	1	N	1	1,140	0,166	0,00	0,84	0,27
2013	1	N	2	0,139	10,195	0,00	0,79	0,01
2013	1	N	3	3,460	0,000054	0,00	0,90	0,22

Ano	Bl	Parc	Eq	coef. b1	coef. b2	p-value	r <sup>2</sup>	st.EE
2016	1	N	1	0,534	0,204	0,00	0,86	0,34
2016	1	N	2	0,095	16,122	0,00	0,88	0,01
2016	1	N	3	3,983	0,000038	0,00	0,97	0,15
2019	1	N	1	1,612	0,190	0,00	0,94	0,19
2019	1	N	2	0,074	17,369	0,00	0,93	0,00
2019	1	N	3	5,313	0,000025	0,00	0,78	0,36
2013	2	N	1	1,380	0,162	0,00	0,82	0,55
2013	2	N	2	0,164	6,282	0,00	0,94	0,03
2013	2	N	3	3,299	0,000046	0,00	0,70	0,72
2016	2	N	1	-0,391	0,245	0,00	0,92	0,47
2016	2	N	2	0,102	15,283	0,00	0,91	0,02
2016	2	N	3	3,779	0,000032	0,00	0,78	0,79
2019	2	N	1	-0,867	0,268	0,00	0,79	0,94
2019	2	N	2	0,084	19,349	0,00	0,77	0,03
2019	2	N	3	3,726	0,000031	0,00	0,79	0,94
2013	1	T	1	1,105	0,174	0,00	0,83	0,50
2013	1	T	2	0,133	12,794	0,00	0,69	0,03
2013	1	T	3	3,532	0,000040	0,02	0,47	0,63
2016	1	T	1	0,121	0,189	0,00	0,86	0,54
2016	1	T	2	0,154	16,164	0,01	0,58	0,04
2016	1	T	3	3,119	0,000026	0,01	0,59	0,57
2019	1	T	1	0,401	0,195	0,00	0,77	0,46
2019	1	T	2	0,100	24,227	0,00	0,81	0,02
2019	1	T	3	3,203	0,000029	0,00	0,75	0,48
2013	2	T	1	1,403	0,116	0,00	0,79	0,40
2013	2	T	2	0,184	12,032	0,00	0,79	0,03
2013	2	T	3	3,090	0,000025	0,04	0,40	0,48
2016	2	T	1	1,160	0,153	0,00	0,70	0,68
2016	2	T	2	0,142	16,536	0,01	0,51	0,04
2016	2	T	3	3,264	0,000029	0,02	0,45	0,78
2019	2	T	1	0,637	0,194	0,00	0,88	0,52
2019	2	T	2	0,005	43,132	0,00	0,89	0,02
2019	2	T	3	3,109	0,000036	0,00	0,72	0,65