

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Ecologia e relação diâmetro-densidade em povoamentos
de sobreiro (*Quercus suber* L.)**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal

Luísa Raquel Ribeiro Monteiro

Orientadores: **Professora Doutora Teresa Fonseca**

Professora Doutora Adelaide Cerveira



Vila Real, 2015

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Ecologia e relação diâmetro-densidade em povoamentos
de sobreiro (*Quercus suber* L.)**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal

Luísa Raquel Ribeiro Monteiro

Orientadores: Professora Doutora Teresa Fonseca
Professora Doutora Adelaide Cerveira

Composição do júri:

Vila Real, 2015

As doutrinas expostas neste trabalho
são da exclusiva responsabilidade do autor.

Agradecimentos

Esta dissertação não teria sido desenvolvida, sem o repto feito pela Corticeira Amorim, a esta universidade quanto à necessidade de obter uma maior quantidade de matéria-prima. Um muito obrigado pelo desafio do tema da investigação!

Ao Professor Nuno Ribeiro da Universidade de Évora, pelo fornecimento de dados e prontidão em esclarecer dúvidas.

À Professora Doutora Teresa Fidalgo Fonseca do Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista (CIFAP), da UTAD, orientadora deste trabalho, pela sua prontidão, disponibilidade, paciência, pela grande ajuda que me deu, pelas sugestões, livros emprestados e pela enorme simpatia.

À Professora Doutora Maria Adelaide Cerveira do Departamento de Matemática, da UTAD, co-orientadora pelas chamadas de atenção, pelo perfeccionismo, sugestões e disponibilidade.

Ao Professor João Bento, pelos dados disponibilizados, tão essenciais a este trabalho.

À Engenheira Teresa Enes, por dúvidas esclarecidas, pela simpatia e cooperação.

Aos meus amigos, Daniela Martins, Marta Carvalho, André Chaves, André Rosas, Cláudio Marques, Nuno Novais, Óscar Cardoso, Pedro Carvalho, um muito obrigado por estes dois anos fantásticos, pelo tempo bem passado, pelos jantares, pelas gargalhadas, pela força, o incentivo, a coragem, a ajuda sempre muito prestável e pela boa amizade!

Ao Pedro Cabral, o meu suporte de vida, pelas tardes perdidas, pela presença, o amor incondicional e muito mais... Obrigada!!!

Aos meus tios Rosa, Bernardino e ao meu primo João Monteiro, a ajuda incondicional, pela alegria contagiosa e pelos bons conselhos!

Ao meu irmão Jorge Monteiro, cunhada Sofia Costeira e à minha sobrinha Sara Monteiro pelos momentos alegres, a força, os bons conselhos e o incentivo a seguir o meu futuro no que mais gosto!

Ao meu pai Paulo Monteiro, por tudo, obrigada! À minha mãe Maria Assunção Ribeiro...

Resumo

O sobreiro é uma espécie comum no sul de Portugal, em povoamentos conhecidos por montados, já a norte do rio Tejo, os povoamentos de sobreiro são denominados de sobreirais, caracterizados por densidades mais elevadas.

Esta é a espécie mais importante da floresta portuguesa daí ser considerada como símbolo nacional dando refúgio a espécies faunísticas e florísticas mais características destes povoamentos.

A produção de cortiça é uma fonte muito importante de receitas, nestes ecossistemas, os quais se situam, maioritariamente, na região do Mediterrâneo. Em Portugal, estes ecossistemas ocupam cerca de 32% da área florestal de sobreiro do mundo (Costa et al. 2008; González-García et al. 2013). Por isso a importância em aumentar a densidade de ocupação desta espécie no País.

Este estudo procurou colmatar a falta de informação sobre qual deverá ser o valor adequado de densidade do sobreiro por unidade de área, para responder à necessidade de matéria-prima para a indústria corticeira. Em termos de procedimento, recorreu-se à análise da relação alométrica entre número de árvores por hectare e diâmetro quadrático médio para povoamento de sobreiro. A análise teve como suporte dados do Inventário Florestal Nacional 4 e 5, e ainda parcelas de estudo cedidas pelo Professor Nuno Ribeiro da Universidade de Évora.

Este é um trabalho inovador na área da modelação para o sobreiro, pois é o primeiro estudo para a espécie, em Portugal, acerca da linha de máxima densidade.

Palavras-chave: sobreiro, densidade, ecologia, modelação, alometria, e linha de auto desbaste.

Abstract

Quercus suber, commonly called the cork oak is a common species in southern Portugal, in stands known as “montados”, but while in locations north of the Tejo river, the cork oak stands are called “sobreirais”, characterized by higher densities.

This is the most important species of the Portuguese forest then be considered as a national symbol and giving a home to faunal and floristic species most characteristic of these stands.

The production of cork is a very important source of revenue in these ecosystems, which are located mainly in the Mediterranean region. In Portugal, these ecosystems occupy about 32% of the total forest area of cork oak in the world (Costa et al 2008; González-García et al 2013). Hence the importance of increasing the occupation density of this species in the country.

This study sought to address the lack of information on what should be the appropriate value of cork oak density per unit area, to meet the need for raw material for the cork industry. In terms of procedure, it was done an analysis of the allometric relation between the number of trees per hectare and mean square diameter for the stands of cork oak. The analysis was supported by data from the National Forest Inventory 4 and 5, and study plots assigned by Professor Nuno Ribeiro of the University of Évora.

This is a groundbreaking work in the field of modelling for the cork oak as it is the first study for the species, in Portugal, on the maximum density line.

Keywords: cork oak, density, ecology, modelling, allometry, and self-thinning line.

Índice Geral

Índice Geral	I
Índice de Figuras	III
Índice de Quadros	V
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 Caraterização da espécie	3
2.2 Silvicultura da espécie	9
2.3 Migração da espécie	11
2.4 Lotação e distribuição espacial	14
2.4.1 Densidade	14
2.4.2 Área de crescimento	19
2.4.3 Competição	21
2.4.4 Padrão espacial.....	21
3 Material e Métodos	23
3.1 Material disponível	23
3.2 Preparação da base de dados	25
3.2.1 Seleção de casos limite para as variáveis N e d_g	26
3.2.2 Seleção dos pontos fronteira	31
3.3 Desenvolvimento de modelos	34
4 Resultados	37
4.1 Subamostra 1	37
4.2 Subamostra 1A	39

4.3 Subamostra 1B	40
4.4 Subamostra 1C	42
4.5 Subamostra 2	44
4.6 Linha de auto desbaste	46
5 Discussão	49
6 Conclusões	53
7 Referências Bibliográficas	55

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição do sobreiro no mundo e respetiva produção média anual de cortiça	5
Figura 2 - Principais fatores associados ao declínio do montado de sobreiro em Portugal	7
Figura 3 - Distribuição do sobreiro em Portugal no presente e futuro	12
Figura 4 – Linhas de máxima densidade, propostas por Natividade, Lamey e Mexia	17
Figura 5 - Determinação da área disponível para crescimento através de polígonos	20
Figura 6- Padrões de distribuição das árvores	22
Figura 7 – Medição de diâmetros numa árvore cuja secção não é circular, mas elíptica	24
Figura 8 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha) das 2181 parcelas.....	25
Figura 9 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 120 parcelas (subamostra 1).....	26
Figura 10 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 102 parcelas (subamostra 1A).....	28
Figura 11 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 61 parcelas (subamostra 1B).....	29
Figura 12 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 49 parcelas (subamostra 1C).....	30
Figura 13 – Representação gráfica do conceito de pontos dominados	32
Figura 14 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e N (árv/há): 2181 parcelas com os 14 pontos fronteira destacados a azul	32
Figura 15 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e N (árv/ha): 14 parcelas (subamostra 2)	33
Figura 16 – Multicolinearidade	36
Figura 17 – Diagrama de dispersão das 120 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências	37
Figura 18 – Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 1	38

Figura 19 - Diagrama de dispersão das 102 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências	39
Figura 20 – Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 1A	40
Figura 21 - Diagrama de dispersão das 61 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências	41
Figura 22 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 1B	42
Figura 23 - Diagrama de dispersão das 61 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências	42
Figura 24 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 1C	43
Figura 25 - Diagrama de dispersão das 14 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências	44
Figura 26 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 2	45
Figura 27 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha) da subamostra 1, com as suas linhas de tendência majoradas, dos modelos linear (a verde) e quadrático (a azul)	46
Figura 28 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha) da subamostra 1, com as linhas de tendência, do modelo linear (a verde linha não majorada e a azul com a linha majorada) da subamostra 2	47
Figura 29 – Estimativas do número de árvores por classe de diâmetro conforme indicado por Natividade, Lamey e Mexia e estimativas baseadas na relação alométrica desenvolvida neste estudo (Equação 19, modelo não majorado e Equação 21, modelo majorado)	52

Índice de Quadros

Quadro 1 - Principais agentes bióticos com impacto nos povoamentos de sobreiro.....	8
Quadro 2 – Densidades (N) propostas pelos autores Natividade, Lamey e Mexia, para cada valor de circunferência avaliada a 1,30m de altura (CAP)	16
Quadro 3 – Média e desvio padrão de N e d_g , para as 2181 parcelas.....	26
Quadro 4 - Média e desvio padrão de N e d_g , para a subamostra 1	27
Quadro 5 – Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto de 102 parcelas (subamostra 1A).....	28
Quadro 6 - Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto de 61 parcelas (subamostra 1B).....	30
Quadro 7 - Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto de 49 parcelas (subamostra 1C).....	30
Quadro 8 - Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto das 14 parcelas fronteira	33
Quadro 9 – Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a subamostra 1	38
Quadro 10 – Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a subamostra 1A	39
Quadro 11 - Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a subamostra 1B	41
Quadro 12 - Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a subamostra 1C	43
Quadro 13 - Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a subamostra 2	45
Quadro 14 – Densidades (N) propostas pelos autores Natividade, Lamey e Mexia, para cada valor de circunferência avaliada a 1,30m de altura (CAP). [Adaptado de Natividade (1950)]. Estimativas dos valores de N segundo Monteiro	51

Capítulo 1

Introdução

Segundo Pereira *et al.* (2008) especula-se que as primeiras árvores identificadas como sobreiros tenham surgido há cerca de 1,8 milhões de anos no Plistocénico, caracterizado por uma alternância entre épocas glaciais de frio extremo com estágios interglaciares mais quentes. Desde então, ocorreram outros episódios de alterações climáticas que afetaram esta espécie. Estes acontecimentos influenciaram decisivamente a distribuição geográfica e a diversidade genética do sobreiro. O frio obrigou-o a refugiar-se em áreas de climas mais adequados à espécie, enquanto a amenidade interglaciária final do último período glacial, há cerca de 10 mil anos, permitiu ao sobreiro colonizar a sua área de distribuição atual (Pereira *et al.* 2008).

Existem ainda dúvidas quanto ao local exato da origem do sobreiro, mas especula-se que possa ter sido no norte de África, na Península Ibérica ou mesmo na área que atualmente está coberta pelo mar Tirreno (DGDR 2000). A espécie, da família das Fagáceas, tem como nome científico *Quercus suber* L., sendo conhecida em Portugal, em linguagem comum, também como “sobreiro”. Em Espanha é designada por “alcornoque” e em França por “chêne liège”. Na língua inglesa é conhecida como “cork oak”, devido à importância, em termos económicos, que a casca (cortiça) assume, nomeadamente na produção de rolha como vedante, entre outras diversas utilizações possíveis.

De toda a área florestal que Portugal contém, o sobreiro ocupa mais de 730 mil hectares, a que corresponde 23% da área florestal nacional (ICNF 2013). Um fator importante para o seu bom desenvolvimento é a influência do clima mediterrâneo que fornece características ecológicas essenciais (temperatura, humidade), requeridas pela espécie.

O sobreiro é uma espécie comum no sul de Portugal, em povoamentos conhecidos por montados, caracterizando-se por terem baixa densidade de árvores, onde a produção de cortiça se alia à prática agro-silvo-pastoril. Nestes sistemas pode coexistir com um outro género de carvalho, a azinheira (Barros *et al.* 2006; Correia e Oliveira 2002; Costa e Pereira 2007 b). A norte do rio Tejo, os povoamentos de sobreiro são denominados de sobreirais, caracterizados por densidades mais elevadas, nos quais além da produção de cortiça se promove a cinegética e a

apicultura (Correia e Oliveira 2002), em zonas onde dominam o castanheiro (*Castanea sativa*), carvalho alvarinho ou roble (*Quercus robur*), carvalho cerquinho ou português (*Quercus faginea*) e o carvalho negral (*Quercus pyrenaica*), podendo também na zona norte estar associado à azinheira (*Quercus rotundifolia*). Em outros locais pode ainda coabitar com o pinheiro manso (*Pinus pinea*), pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e oliveira (*Olea europaea*) (Costa e Pereira 2007 b; González-García *et al.* 2013; Pereira *et al.* 2008, Natividade 1950).

Os sobreirais são conhecidos pela sua enorme longevidade, a qual com uma exploração silvícola ativa, potencia a estabilidade do ecossistema, fazendo com que contenha muita fauna devido à disponibilidade de alimento durante todo o ano e à baixa presença humana (DGDR 2000). São também uma referência pela sua resistência ao fogo, exploração silvícola, mas principalmente pela exploração da cortiça, que pode ser feita por 120 a 150 anos (Natividade 1950), a qual é presumida como sustentável pois a árvore não morre, não há degradação dos solos, ou outras perdas. Quer pela sua elevada importância ecológica quer económica, sendo Portugal o maior produtor mundial de cortiça, com cerca de 52,5%, da qual 68% é transformada em rolhas, torna-se importante aumentar a área de ocupação no País (Pereira *et al.* 2008).

Os objetivos desta investigação pretendem responder a um desafio proposto pela Corticeira Amorim à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), visando averiguar acerca da possibilidade de aumento da taxa de ocupação (número de árvores) por unidade de área por conseguinte da quantidade de matéria-prima para as bastas fileiras da cortiça. Em termos metodológicos, a investigação inclui o estudo da densidade e da lotação ótima em sobreiral, de forma a permitir maximizar a ocupação do espaço com a espécie. O estudo desenvolvido respeita, na essência, os sobreirais, por serem povoamentos onde para igual área florestada existe uma maior ocupação arbórea, traduzida num maior número de árvores por hectare, do que em montados.

Esta dissertação está constituída por 7 capítulos. Após o capítulo introdutório faz-se a revisão bibliográfica, Capítulo 2. A revisão tem início com a descrição da ecologia da espécie, à qual se segue a caracterização quantitativa de variáveis biométricas, nomeadamente a densidade e a lotação. O material e os métodos são descritos no Capítulo 3 onde se efetua também a preparação da base de dados, obtendo-se várias subamostras. No Capítulo 4 efetua-se o tratamento estatístico de cada uma das subamostras e no Capítulo 5 apresentam-se os resultados quanto ao estudo da lotação e procede-se à respetiva análise. No Capítulo 6 apresentam-se as considerações finais e no Capítulo 7 as referências bibliográficas.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Caraterização da espécie

O sobreiro (*Quercus suber* L.), também conhecido como sobro, sobreira ou chaparro, pertence à ordem *Fagales*, família *Fagaceae* e género *Quercus* (Costa e Pereira 2007 a; Hidalgo *et al.* 2008). É um carvalho autóctone, perene de crescimento lento, que pode atingir uma altura média de 15-20 metros, podendo viver cerca de 200-250 anos, embora existam registos de exemplares com 500 anos. É uma espécie caracterizada pela sua casca espessa e enrugada com uma camada contínua de cortiça, na sua parte exterior (Caetano 2007; Costa e Pereira 2007 a; Correia e Oliveira 2002; González-García *et al.* 2013; Hidalgo *et al.* 2008; Natividade 1950; Rives *et al.* 2012).

Esta cortiça é um material natural valioso para a indústria, podendo ser retirado do tronco sem pôr em perigo a árvore (Rives *et al.* 2012), o que dá ao sobreiro uma relevância económica e ambiental, com caraterísticas únicas no mundo. A produção de cortiça é a mais importante fonte de receitas nestes ecossistemas, os quais se situam, maioritariamente, na região do Mediterrâneo. Em Portugal, estes ecossistemas ocupam cerca de 32% da área florestal de sobreiro do mundo (Costa *et al.* 2008; González-García *et al.* 2013).

Sánchez-González *et al.* (2006) apresentam valores de intervalo de crescimento em diâmetro para o sobreiro, compilados a partir de diversos estudos referidos na literatura. Nessa síntese, os valores de crescimento situam-se entre 1,9 a 8 milímetros por ano (de acordo com Montero 1987 e Caro 1914, respetivamente).

O sobreiro cresce em zonas com invernos frios e húmidos e verões quentes a partir do nível do mar até aos 2000 metros de altitude, sendo normalmente encontrado a 300-600 metros de altitude, em regiões com uma precipitação média anual de 600-800 milímetros, embora consiga sobreviver com valores de precipitação muito baixa (menos de 400 milímetros). Está adaptado a solos graníticos, porfíricos, feldspáticos, xistosos e arenosos, de preferência profundos, bem

arejados e drenados (Costa e Pereira 2007 a; González-García *et al.* 2013; Loureiro 1994; Rives *et al.* 2012). A temperatura média anual ótima ronda os 15-19°C (Correia e Oliveira 2002).

Tendo como referência Rodrigues (1988), a floresta natural primitiva onde o sobreiro estava inserido (era terciária, surgindo no final do Miocénico, instalando-se a partir do Pliocénico) na zona ocidental da bacia mediterrânica, sofreu graves alterações, através dos fenómenos telúricos e climáticos que decorreram. Nas formações miocénicas e pliocénicas, das bacias hidrográficas do Tejo e Sado, o autor refere que grande percentagem de sobreiros existentes nestas zonas tiveram origem espontânea sob proteção de pinhais. Já mais recentemente, no período antropozóico, o homem, sentiu a necessidade de abater exemplares desta espécie para o alargamento dos espaços de caça, pastorícia, agricultura e ainda para construção naval (Natividade 1950). Entretanto, nos finais do século XIII, no reinado de D. Dinis, eram proibidas e punidas práticas de exploração maléficas sobre o sobreiro e a azinheira, como: as queimadas, varejamento indiscriminado do fruto, colheita abusiva de rama verde para penso de gado e sobretudo o corte indevido das árvores mencionadas. Todas estas recriminações tinham por objetivo a defesa do meio ambiente, mais propício à manutenção da caça grossa: urso, veado, corço, o gamo e por vezes o javali. Os povoamentos de sobreiro só começaram a ser reconhecidos como um bem valioso para a produção de rolhas, em meados do século XVIII.

É considerada uma árvore sustentavelmente ecológica, uma vez que a exploração da cortiça pode ser feita sem que a árvore morra, com consequente manutenção do solo (impedindo a sua desertificação), dos recursos hídricos e preservação da biodiversidade (Costa e Pereira 2007 b; Rives *et al.* 2012).

As florestas de sobreiro estão espalhadas pela zona ocidental da região mediterrânea, em países como Portugal, Espanha, França, Itália, Tunísia e ilhas de Córsega, Sardenha, Sicília, mas também no noroeste de África (Figura 1) na Argélia e em Marrocos (Correia e Oliveira 2002; González-García *et al.* 2013; Loureiro 1994; Natividade 1950; Souza 2012) onde se faz sentir a influência atlântica, a qual é essencial, climaticamente, para diminuir as elevadas amplitudes térmicas e a secura estival, características do clima mediterrâneo.

As condições específicas para o crescimento da espécie, já mencionados, tais como a temperatura média anual ótima rondar os 15-19°C e existir uma precipitação entre 600-800 milímetros, podem ser encontrados em quase todo o território nacional, pelo que o continente

é um ótimo local ecológico para o sobreiro (Correia e Oliveira 2002). Embora existam algumas exceções onde não existe o sobreiro, como em zonas de maior altitude do norte e centro, zonas excessivamente húmidas e salgadas no litoral e em vales de grandes rios (Correia e Oliveira 2002; Costa e Pereira 2007 b; Loureiro 1994; Natividade 1950).

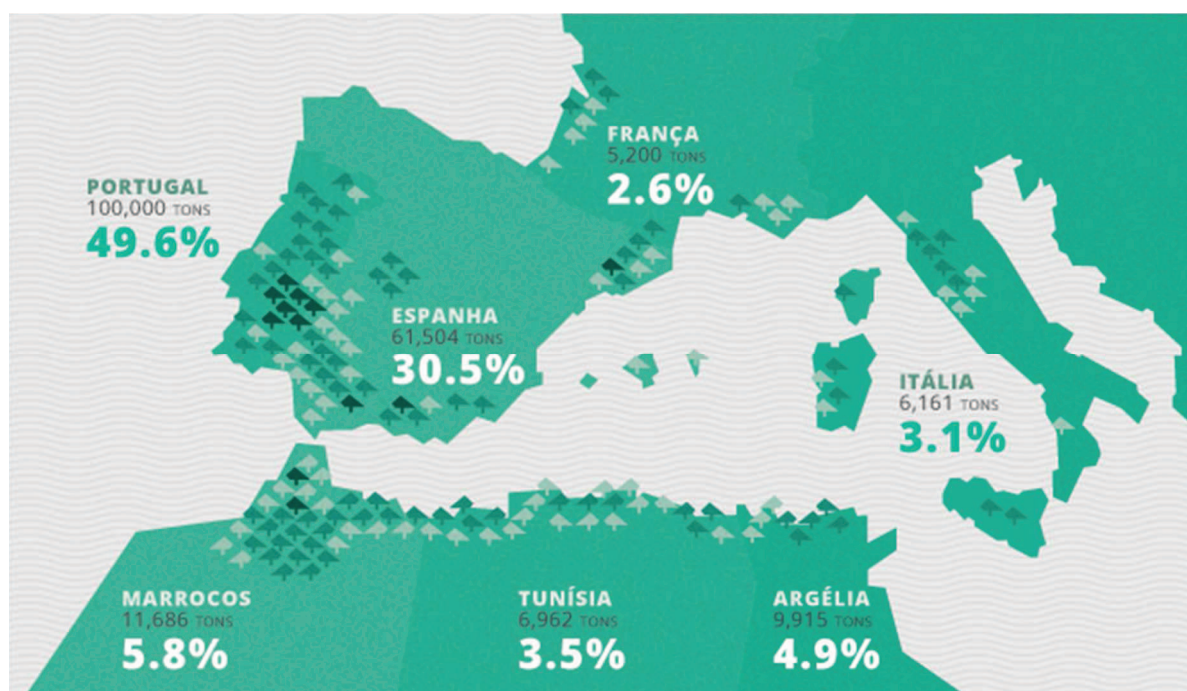


Figura 1 – Distribuição do sobreiro no mundo e respetiva produção média anual de cortiça. (Adaptado de Corticeira Amorim 2015).

Esta é a espécie mais importante da floresta portuguesa daí ser considerada como símbolo nacional dando refúgio a espécies faunísticas que só conseguem ter condições mais indicadas para viverem nestas florestas, podendo ainda retirar-se, no caso dos montados, um aproveitamento agro-silvo-pastoril.

A flora também é muito característica nestes ecossistemas. Segundo Costa e Pereira (2007b) e Rives *et al.* (2012) pode encontrar-se cerca de 140 espécies aromáticas, medicinais e melíferas, como a alfazema (*Lavandula angustifolia*), a lavanda (*Lavandula latifolia*), o rosmaninho (*Rosmarinus officinalis*), o tomilho (*Thymus vulgaris*), o alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e uma grande variedade de cogumelos silvestres, como: mísscaros (*Tricholoma equestre*), silarcas (*Amanita ponderosa*), boletos (*Boletus chrysenteron* e *Boletus aereus*), que desenvolvem importantes simbioses com os sobreiros (DGDR 2000; Rives *et al.* 2012, Natividade 1950).

Este *habitat* suberícola suporta um enorme número de espécies de fauna ibérica de vertebrados (quase 400 vertebrados), tais como algumas espécies cinegéticas como a perdiz (*Alectoris rufa*), rola (*Streptopelia turtur*), pombo torcaz (*Columba polumbus*), coelho (*Oryctolagus cuniculus*), lebre (*Lepus granatensis*), javali (*Sus scrofa*) e o veado (*Cervus elaphus*). Estão também presentes espécies protegidas como a abetarda (*Otis tarda*), a águia imperial (*Aquila heliaca*), cegonha negra (*Ciconia nigra*), entre outras como a gineta (*Genetta genetta*), a marta (*Martes martes*), a doninha (*Mustela nivalis*), o texugo (*Meles meles*) e uma grande variedade de aves (Costa e Pereira 2007 b; DGDR 2000; Rives *et al.* 2012).

Sousa *et al.* (2007), defendem que entre os finais do século XIX e a primeira metade do século XX foram tidos em consideração vários surtos que estavam a dar origem à mortalidade que se fazia sentir nos montados de Portugal, apesar de só ter sido no início dos anos 80 do século XX que estes fenómenos foram encarados com preocupação.

Após esta constatação da mortalidade dos sobreiros, foram assinalados dois tipos de síndromas. Um destes caracteriza-se pela seca da folhagem o que lhe dá um tom acastanhado, que leva à morte da árvore num espaço de 2 a 4 semanas (“morte súbita”). A síndrome que é mais comum leva à desfolha da árvore, rebentação anormal de ramos epicórmicos (ramos ladrões), presença de manchas inicialmente escuras e húmidas no tronco e ramos mais grossos, que tornam o descortiçamento impraticável, que leva a uma “morte lenta” da árvore (Sousa *et al.* 2007).

Segundo Sousa *et al.* (2007) o declínio dos montados de sobreiro pode ser explicado pelos vários fatores apresentados na Figura 2. Estes fatores, incluem os efeitos das propriedades físicas e químicas do solo, fatores climáticos (nomeadamente secas prolongadas), pragas (Souza 2012), mas também a ação do Homem sobre estes ecossistemas, tal como a poluição atmosférica e os incêndios florestais, como atividades humanas extra-florestais, as quais têm um papel determinante para o declínio, uma vez que deixam as árvores suscetíveis ao ataque das pragas.

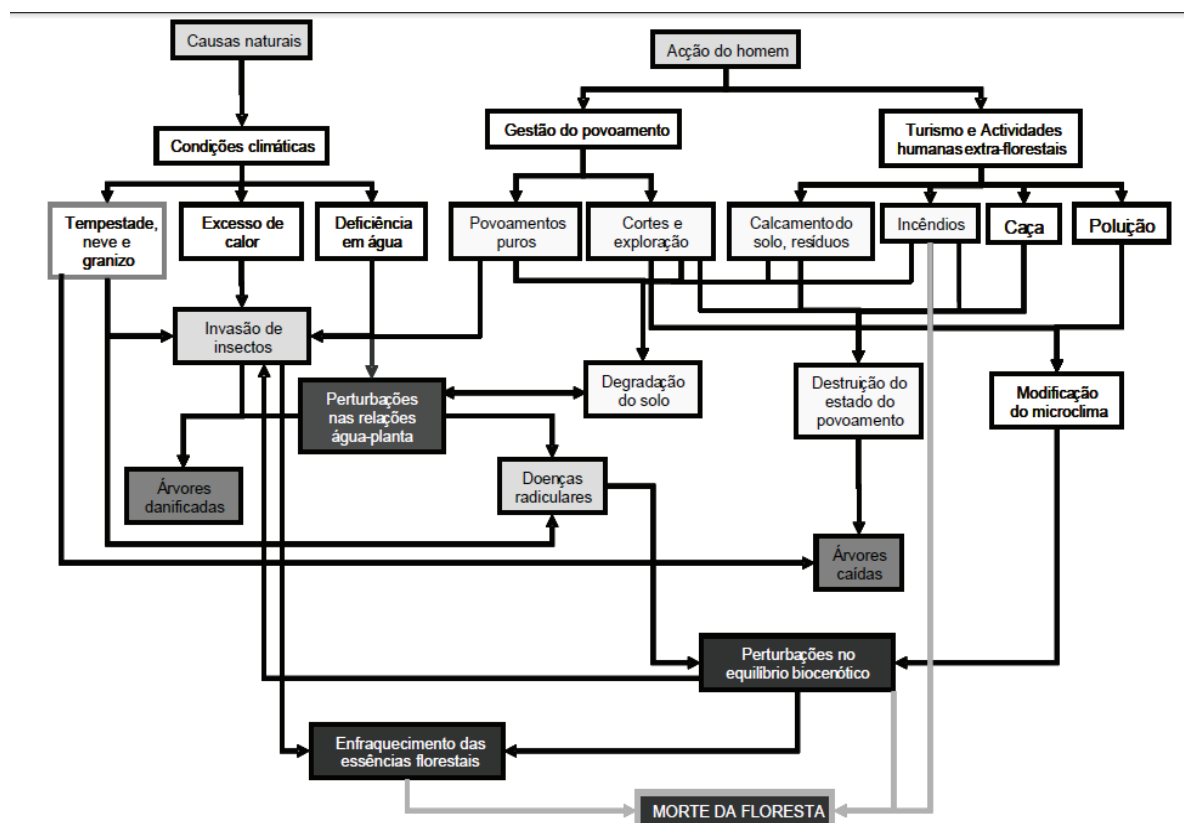


Figura 2 - Principais fatores associados ao declínio do montado de sobreiro em Portugal. Adaptado de Sousa *et al.* (2007).

Uma das razões da ocorrência deste declínio, são os fatores bióticos que atacam, qualquer parte, do sobreiro (gomos, sementes, folhas, ramos, tronco, e raiz) e até a cortiça. As pragas estão descritas no Quadro 1, o qual foi elaborado tendo como suporte informação apresentada por Barros *et al.* (2006), ICNF (2013), Sousa *et al.* (2007) e Souza (2012).

Os incêndios florestais são frequentes em ecossistemas mediterrânicos, pois fazem parte da sua dinâmica natural (Hidalgo *et al.* 2008), especialmente durante a época de verão, onde as condições meteorológicas são caracterizadas por temperaturas mais elevadas e baixa humidade relativa (Pereira *et al.* 2011).

Segundo Pereira *et al.* (2011) desde a última metade do século XX, tem havido uma tendência crescente no número de incêndios e área ardida na bacia do Mediterrâneo. As causas deste aumento são atribuídas, pelos autores, a mudanças em fatores socioeconómicos, como a modificação do uso da terra que advém do êxodo rural e das alterações climáticas.

Os incêndios são vistos na sociedade de hoje como um fenómeno catastrófico que pode afetar substancialmente bens e vidas humanas e ter impactos desastrosos sobre os ecossistemas. No entanto, o fogo é um elemento natural de muitos ecossistemas terrestres, que podem ser adaptados em caso de incêndio ou no caso de dependerem deste elemento para regenerarem. É também uma ferramenta que tem sido utilizada pelos seres humanos para gerir vários ecossistemas naturais em todo o mundo (Pereira *et al.* 2011).

Quadro 1 - Principais agentes bióticos com impacto nos povoamentos de sobreiro. Adaptado de ICNF 2014.

Órgãos afetados	Organismo nocivo	Nome científico	Nome comum
Folhas	Insetos	<i>Archips xylosteana</i>	Archips
		<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	Portésia
		<i>Lymantria dispar</i>	Lagarta do sobreiro
		<i>Malocosoma neustria</i>	Lagarta de libré
		<i>Orchestes spp.</i>	Orchestes
		<i>Periclistta andrei</i>	Lagarta verde
		<i>Phalera bucephala</i>	Falera
		<i>Tortrix viridana</i>	Burgo
Frutos	Insetos	<i>Curculio elephas</i>	Balanino
		<i>Cydia splendana</i>	Lagarta da bolota
Cortiça	Inseto	<i>Crematogaster scutellaris</i>	Formiga da cortiça
Tronco e ramos	Insetos	<i>Cerambix cerdo</i>	Capricórnio das quercíneas
		<i>Coroebus undatus</i>	Cobrilha da cortiça
		<i>Coroebus florentinus</i>	Cobrilha dos ramos
		<i>Platypus cylindrus</i>	Plátipo
		<i>Xyleborus dispar</i>	Xileboro
		<i>Zeuzera pyrina</i>	Borboleta leopardo
	Fungos	<i>Armillaria spp.</i>	Podridão agárica
		<i>Biscogniauxia mediterranea</i>	Carvão do entrecasco
		<i>Diplodia mutila</i>	Seca dos ramos
		<i>Phytophthora spp</i>	Fitóftora

A cortiça é um material tão singular em termos adaptativos que pensa-se pode ter sido uma resposta evolutiva do sobreiro, num meio em que o fogo seria um fator ecológico importante. A casca do sobreiro deverá ter contribuído para melhorar a sobrevivência da espécie ao longo da sua evolução e aumentar a capacidade de resposta ao fogo (Pereira *et al.* 2008). Admite-se que as propriedades físicas da cortiça, nomeadamente as de bom isolamento térmico, poderão proteger os sobreiros dos efeitos dos fogos. Após um incêndio, enquanto muitas das outras espécies de árvores apenas regeneram a partir de sementes (como por exemplo o pinheiro bravo) ou de rebentos existentes na base do tronco (como a azinheira), no sobreiro os ramos protegidos pela cortiça mantêm-se viáveis e rapidamente novos rebentos reconstróem a copa. Esta rápida reconstituição da árvore parece ter uma vantagem relativamente a outras espécies que, após o incêndio, retornam a um estado inicial de desenvolvimento (Pereira *et al.* 2008).

Natividade (1950) afirmava que “só a partir do século XVIII a valorização da cortiça revelou que imprevista riqueza constituíam os montados de sobreiro, e só então a subericultura portuguesa, verdadeiramente nasceu”.

2.2 Silvicultura da espécie

Os sobreiros estão presentes no Alentejo e no vale do Tejo, em povoamentos pouco densos, denominados por montados, que serão cerca de 72% e 21%, respetivamente (APCOR 2011), da área de floresta ocupada por sobreiro. Segundo vários autores (Correia e Oliveira 2002; Costa e Pereira 2007b; González-García *et al.* 2013; Rives *et al.* 2012) representam-se por:

- ✓ Serem um sistema caracterizado pela sua multifuncionalidade, ou seja, que associa uma cultura arbórea em povoamentos abertos de baixa densidade e organizado, com uma cultura agrícola em sub-coberto e uma exploração de gado (sistema agro-silvo-pastoril).

Mas também existem noutras regiões do País onde o aspeto destes povoamentos difere dos descritos anteriormente, designados por sobreirais. Estas formações são, segundo Correia e Oliveira 2002 e Costa e Pereira 2007b, caracterizados por:

- ✓ Serem um sistema monofuncional com uma marcada utilização florestal, com uma floresta densa, medianamente alta, com estrato arbustivo que pode ser dominado por

espécies esclerofilas (espécies arbóreas e arbustivas adaptadas a longos períodos de seca e calor) que não chega a atingir o porte arbóreo, sem componentes de pecuária e agrícola, onde a produção de cortiça se alia à cinegética e à apicultura.

Um sobreiral é um povoamento de sobreiro com origem em regeneração natural, com densidades elevadas, estrutura irregular ou jardinada. A sua exploração resume-se às podas para lenhas e ao descortiçamento. Devido às densidades elevadas destes povoamentos, o que afeta o crescimento em diâmetro das árvores e da cortiça, a produção da cortiça é reduzida quando comparada com a sua produção nos montados (Costa e Pereira 2007b).

Como norma o descortiçamento é feito de nove em nove anos (Natividade 1950) (tempo necessário para que a cortiça atinja um calibre rolhável, sendo esta a utilização mais nobre da cortiça), quando o sobreiro atinge uma circunferência de 70 centímetros aos 1,30 metros (Decreto-Lei nº 172/88; Loureiro 1994), mas isto aplica-se aos montados, nos sobreirais é necessário mais tempo para que se consiga este calibre, procedendo-se ao descortiçamento entre 12 a 14 anos (Costa e Pereira 2007b; Rives *et al.* 2012). A primeira vez que o sobreiro é descortiado dá cortiça virgem o que acontece aproximadamente aos 25 anos, 9 anos depois é retirada a cortiça secundeira, a cortiça amadia já será recolhida pelos 43-45 anos.

Os habitats da espécie estão em declínio devido à atividade humana intensa, como a prática da agricultura intensiva, o stresse hídrico, modificações no uso do solo (Souza 2012) e mobilizações mal feitas que levam à destruição dos sistemas radiculares (Correia e Oliveira 2002), aos incêndios florestais (por falta de gestão) que danificam as árvores e as tornam suscetíveis ao ataque de pragas. O descortiçamento feito fora da lei, ou seja, antes do aconselhável (de nove em nove anos), pode levar à morte do sobreiro; se feito por trabalhadores não qualificados pode levar à ocorrência de feridas na árvore, as quais impedem a regeneração de cortiça e conduzem à morte prematura da árvore (Hidalgo *et al.* 2008; Loureiro 1994; Oliveira e Costa 2012; Souza 2012).

Para que haja continuidade na regeneração natural para o rejuvenescimento dos montados, Oliveira (1986, *in* Marques 1988) defende a cessação de qualquer atividade agro-silvo-pastoril, até que a regeneração esteja assegurada.

Todavia se assim acontecer, os solos dos montados tornar-se-ão esqueletizados com a baixa fertilidade e capacidade de retenção de água, facilitando o aparecimento de espécies xerófitas

(plantas competitivas por água e elementos minerais), fornecedoras de material combustível, que elevam o risco de incêndio. Só com ordenamento florestal é que se torna possível o rejuvenescimento dos sobreiros e que consequentemente estes deem origem a mais rendimentos do que prejuízos. Caso todas as atividades sejam suprimidas, para além das plantas xerófitas invadirem os montados, aumenta o risco de incêndio, e obriga-se a que haja um dispêndio monetário para o corte do mato sempre que se vá fazer o descortiçamento (Marques 1988).

2.3 Migração da espécie

Um dos principais problemas que a espécie enfrenta respeita às más práticas agrícolas na gestão de alguns montados, nomeadamente com fortes intervenções como a gradagem debaixo das copas com grades de discos pesados que cortam as raízes superficiais, podendo originar propagações de insetos. Esta técnica cultural da gradagem, a qual é utilizada com alguma frequência, também destrói a regeneração natural dos sobreiros que nascem sob coberto do montado, comprometendo a renovação e perenidade do mesmo. Também as podas excessivas provocam feridas nos troncos que funcionam como portas de entrada para pragas, sem que exista um particular interesse dessa atividade na gestão dos montados, que não seja o da obtenção de lenha (Quercus 2014).

A sustentabilidade dos montados está ameaçada por uma mortalidade precoce e pelo abandono rural, levando à alteração do sistema agroflorestal em matagal, o qual é suscetível ao fogo (Pereira *et al.* 2006).

Pereira *et al.* (2006) afirmam que com o aumento dos períodos de seca expectáveis (quer em quantidade quer em intensidade), derivados das alterações climáticas, prevê-se uma diminuição da produtividade florestal. É possível, no entanto, que na zona do nordeste de Portugal continental esta produtividade se mantenha ou aumente, devido à subida da temperatura no inverno, promovendo mais dias para o crescimento com consequente aumento de biomassa (Pereira *et al.* 2006).

Os autores referem que irá decorrer uma adaptação por parte das espécies à mudança climática e como tal, irão ocorrer substituições nas espécies tolerantes à seca. Na região sul, que é

dominada por espécies tolerantes à seca, poderá diminuir a área florestal e ser substituída por área com matos ou prados. Já na região norte, que está ocupada maioritariamente por espécies exigentes por água, estas poderão ser substituídas por espécies vulgarmente associadas à região sul. De acordo com Pereira *et al.* 2006, é nas regiões onde está instalado o sobreiro que se irá sentir impactos severos das alterações climáticas. Espera-se assim uma acentuada mortalidade desta espécie. Presume-se que os autores estejam a referir-se à região sul, onde a seca será um fator expectável, condicionante do desenvolvimento da espécie.

Prevê-se que no futuro, haja uma migração, natural ou induzida, das espécies florestais de sul para norte e de este para oeste. Com o aumento da temperatura nas zonas de montanha, no norte, é provável que o cenário atual seja alterado e assim ocorra o desaparecimento de florestas de zonas muito áridas (mas que se mantenham nas zonas ripícolas), e ainda um aumento do ataque de pragas (devido ao stresse ambiental acrescido). Sendo assim o sobreiro será favorecido a norte de Portugal com o aumento da temperatura, podendo vir a ocupar zonas de maior altitude (montanhas), e no centro nas zonas húmidas, tendo uma redução no sul e Beira Interior (Figura 3) (Pereira *et al.* 2006), o que irá trazer mais postos de trabalho e consequentemente uma maior economia.

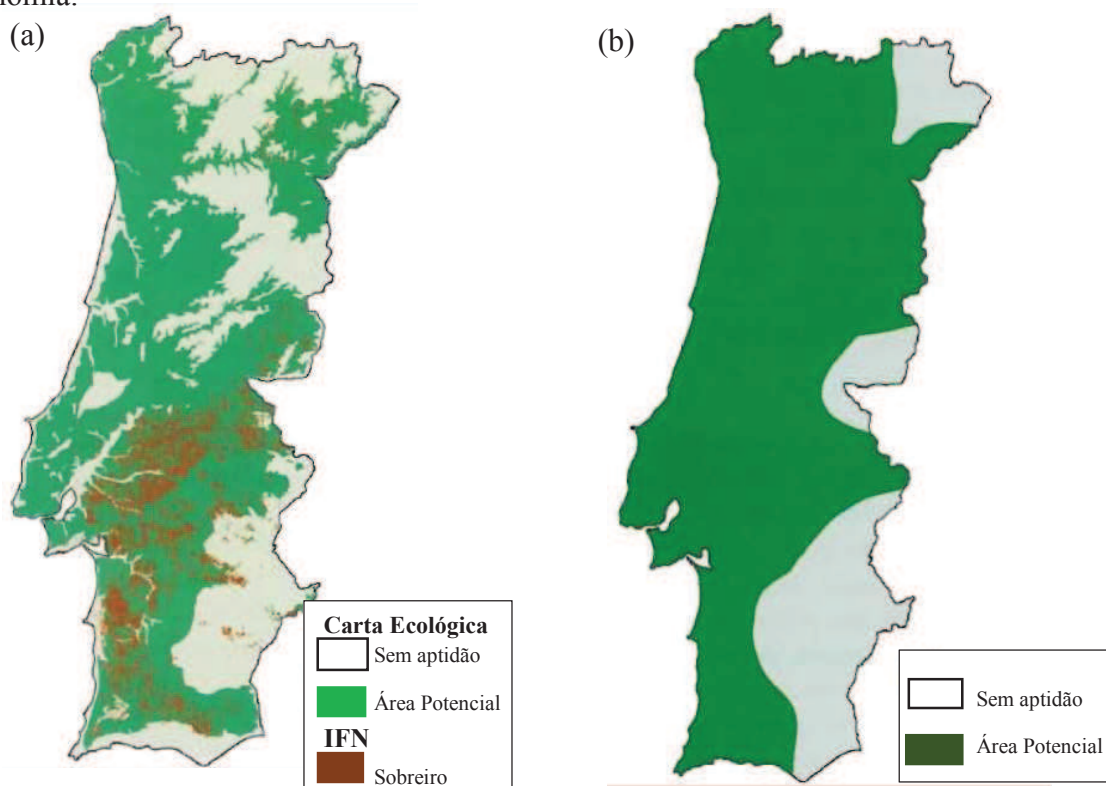


Figura 3 – Distribuição do sobreiro em Portugal no presente e futuro. **(a)**: Distribuição do sobreiro na sua área potencial e área atual (a cinzento estão as áreas sem aptidão, a verde as áreas potenciais para ocupação do sobreiro e a castanho estão as atuais áreas onde existe o sobreiro). **(b)**: Distribuição potencial do sobreiro no futuro (a verde está a área de potencial ocupação do sobreiro e a cinzento as áreas sem aptidão). Adaptado de Pereira *et al.* (2006).

Os sobreiros além de prevenirem a desertificação do solo (Souza 2012), contribuem também, como as outras espécies florestais, para o sequestro de carbono. É referido, como ilustração, que são necessários menos de 1,5 hectares de montado para mitigar as emissões anuais de CO₂ de um automóvel. As árvores e as florestas, através da fotossíntese, absorvem CO₂ que é transformado em tecidos orgânicos cuja massa consiste em cerca de 50% de carbono. O carbono do CO₂ é pois captado e armazenado (sequestrado) na madeira do tronco, na casca, nos ramos e raízes das árvores e no solo da floresta. Daí o papel tão importante que se atribui às florestas no sequestro de carbono e na mitigação dos efeitos das emissões de carbono pelo homem. É pela grande longevidade que os sobreiros atingem (até centenas de anos), que eles são tão importantes neste sequestro (Pereira *et al.* 2008; Rives *et al.* 2012).

Além dos produtos que se podem extrair diretamente dos povoamentos suberícolas, estes também produzem bens e fornecem serviços ecológicos importantes à sociedade (DGDR 2000), como:

- ✓ A libertação de oxigénio para a atmosfera e a filtração de poeiras atmosféricas e gases nocivos, favorecendo a qualidade e pureza do ar;
- ✓ A regulação dos regimes de escoamentos de águas pluviais, favorecendo a infiltração superficial nas áreas arborizadas;
- ✓ A proteção das encostas contra a erosão e, por isso, contra a exportação de nutrientes do solo, contribuindo para a conservação da sua fertilidade;
- ✓ O favorecimento da meteorização do material originário do solo, através das raízes, melhorando a estrutura física;
- ✓ A criação de condições de abrigo, de ensombramento, de suporte alimentar e de habitat para a flora e fauna silvestre, favorecendo a diversidade biológica;
- ✓ O melhoramento da composição da paisagem, através da criação de espaços aprazíveis e de zonas de lazer, contribuindo para um acréscimo da qualidade da vida das populações.

2.4 Lotação e distribuição espacial

2.4.1 Densidade

O controlo da densidade com determinado objetivo de gestão florestal é difícil de obter, apesar da sua manipulação ser relativamente fácil (Davis 1966, *in* Jack e Long 1996). Esta regulação consiste no controlo do número de árvores e da sua distribuição espacial por unidade de área (Newton 1997).

Oliveira (1984) refere que a densidade ideal dos povoamentos ainda não foi encontrada, mas para ajudar a identificar valores adequados, são necessárias pelo menos 3 medidas absolutas de densidade: o número de árvores por hectare (N), o volume por hectare (V) e a área basal por hectare (G), sendo esta, das 3, a mais utilizada, pela sua fácil determinação e objetividade.

Natividade (1950) defendia que num povoamento com uma densidade ótima, o espaçamento entre copas devia ser cerca de 50% do raio médio da respetiva projeção horizontal, para que o desenvolvimento da copa fosse semelhante ao de uma árvore isolada.

Como as medidas de densidade absolutas variam com a idade e qualidade da estação e, atendendo ao facto da avaliação da área de copa não ser um procedimento usual, em inventários florestais correntes, preconiza-se que a avaliação da ocupação seja realizada através de índices de densidade.

Existem dois tipos de índices de densidade (Oliveira 1984):

- ✓ Quando o índice se baseia na relação da distância entre árvores com uma determinada dimensão da árvore;
- ✓ Quando as condições do povoamento (densidade) são comparadas com as de um povoamento não desbastado com árvores de igual diâmetro (d) ou altura (h), chamados de povoamentos “normais”.

Uma medida de densidade relativa que conjuga a densidade com a dimensão, ecologicamente interessante e de grande utilidade ao nível de gestão da densidade, tem por base a investigação desenvolvida por Reineke (1933). O autor definiu um índice assente na relação alométrica, entre o número de árvores do povoamento e o número de árvores dum povoamento normal com igual

diâmetro quadrático médio (d_g) ou circunferência à altura do peito (CAP), que pode ser traduzido por:

$$N = a \cdot (d_g)^b \quad (1)$$

$$N = a' \cdot (CAP)^{b'} \quad (2)$$

Onde: N - número de árvores por hectare

d_g - diâmetro quadrático médio a 1,30m de altura

CAP - Circunferência à altura do peito (a 1,30m de altura)

a e b , a' e b' - coeficientes alométricos obtidos por regressão.

Para um conjunto de espécies, Reineke (1933), concluiu que o coeficiente alométrico b podia admitir-se como constante, com o valor de -1,605.

No Quadro 2 pode-se ver a compilação dos valores propostos por Natividade, Lamey e Mexia (citados em Natividade 1950), de número de árvores por classes de CAP e correspondentes valores de diâmetro quadrático médio.

Quadro 2 – Densidades (N) propostas pelos autores Natividade, Lamey e Mexia, para cada valor de circunferência avaliada a 1,30m de altura (CAP). Adaptado de Natividade (1950).

CAP (m)	d_g (cm)	N (árv/ha)		
		Natividade	Lamey	Mexia
0,40	12,7			868
0,50	15,9			
0,60	19,1	471	984	
0,70	22,3	291	796	282
0,80	25,5	211	629	
0,90	28,7	165	509	
1,00	31,8	136	422	113
1,10	35,0	115	343	
1,20	38,2	100	282	
1,30	41,4	88	259	82
1,40	44,6	79	199	
1,50	47,8	72	169	
1,60	50,9	65	149	54
1,70	54,1	60	127	
1,80	57,3	56	118	
1,90	60,5	52	100	38
2,00	63,7	49	88	
2,20	66,9			28

Na Figura 4 estão representadas as linhas correspondentes à relação alométrica definida por Reineke e a relação entre N e d_g , usando a aproximação dos valores de circunferência a 1,30m (CAP), para diâmetro (d_g), expostos no Quadro 2.

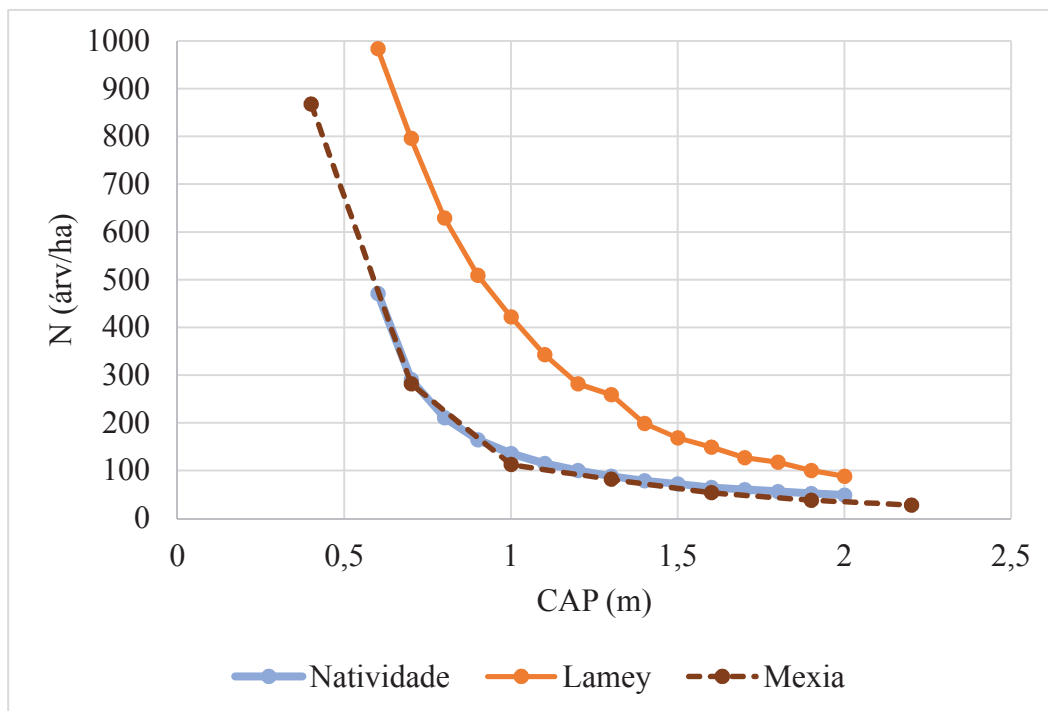


Figura 4 – Linhas de máxima densidade, popostas por Natividade, Lamey e Mexia.

Daqui em diante irá optar-se pela referência ao diâmetro das árvores em vez do recurso ao valor de *CAP*.

A partir da relação alométrica (equação 1) foi estabelecido o índice de densidade dos povoamentos (*SDI*), indicado na equação (3), adotado posteriormente em vários estudos como, por exemplo, por Luís e Fonseca (2004), Shaw 2006, Vacchiano *et al.* (2008), para referir apenas alguns dos mais recentes.

$$SDI = N \left(\frac{d_g}{25} \right)^b \quad (3)$$

Onde: *SDI* - Índice de densidade do povoamento

N – Número de árvores por hectare

d_g= diâmetro médio quadrático

b = coeficiente alométrico obtido por regressão.

Há autores que usam como potência o valor de *b*= 1,605, embora a investigação tenha revelado que a constante alométrica varia com as espécies. Por exemplo, para o pinheiro bravo em Portugal, foi proposto o valor de 1,897 (Luís e Fonseca 2004). O índice de densidade de Reineke

(1933) tem a vantagem de ser independente da qualidade de estação e da idade do povoamento (Long 1985; McCarter e Long 1986).

Uma ferramenta importante na silvicultura quantitativa são os diagramas de gestão de densidade (Jack e Long 1996), que incorporam suposições básicas relativas ao comportamento dependente da densidade de povoamentos, incluindo o auto desbaste e competição (Drew e Flewelling 1979).

Estes diagramas são modelos simples de povoamentos, que graficamente caracterizam a produção, densidade e mortalidade em vários estágios do desenvolvimento do povoamento (Newton e Weetman 1994; Newton 1997), e são úteis para definir regimes de gestão de densidade alternativos (Long *et al.* 1988).

A regulação da densidade consiste no controlo do número de árvores e do seu arranjo espacial por unidade de área, e com a ajuda dos diagramas ou de modelos pode-se chegar a diferentes objetivos:

- ✓ Determinar o espaço inicial exigido para o povoamento (Newton 1997);
- ✓ Decidir quando é necessário realizar desbastes, para se manter a densidade ideal (Newton 1997);
- ✓ Fazer o controlo de pequenos arbustos e de outras plantas que se desenvolvam durante os primeiros estágios do povoamento (Smith 1989);
- ✓ Reduzir a suscetibilidade de ataque de insetos prejudiciais ao povoamento (Long e Shaw 2005);
- ✓ Otimizar a quantidade de madeira, vegetação ou vida selvagem (Sturttvant *et al.* 1996).

São construídos para caracterizar o crescimento do povoamento com índices que relacionam o tamanho médio das árvores (peso médio, volume altura ou diâmetro) com a densidade (número de árvores por hectare) (Castedo-Dorado *et al.* 2009). A linha de máxima densidade que surge nestes diagramas representa a densidade máxima a que se consegue chegar para um tamanho médio, ou seja, a exploração máxima para a área em questão e consequentemente máxima competição (Yoda *et al.* 1963). Daí que a relação alométrica sirva de suporte ao estabelecimento do limite teórico esperado de número de árvores para uma determinada dimensão, também designada por linha de mortalidade natural ou linha de auto-desbaste.

Zeide (1985 e 1987) sustentava que a linha de auto desbaste era melhor representada por uma curva quando os eixos do gráfico tivessem uma transformação com logaritmo neperiano.

Embora esse padrão tenha sido reportado, posteriormente, por outros autores, não há evidências suficientes que nos deem a certeza de que seja necessariamente uma curva.

2.4.2 Área de crescimento

A intervenção produtiva em povoamentos florestais tem como principal objetivo a obtenção de produtos florestais de alta qualidade. Assim, são introduzidas perturbações controladas com vista a alterar o potencial produtivo do povoamento.

A área de crescimento torna-se num instrumento de análise teórica importante, já que nos permite avaliar a área necessária para um povoamento, com um determinado potencial produtivo. Em produção florestal, o objetivo é atingir a máxima produção no menor espaço de crescimento possível. Para tal, é necessária a aplicação de técnicas de intervenção produtiva adequadas pelo que o estudo do espaço de crescimento torna-se particularmente relevante (Oliveira 1984). No caso da espécie em consideração, o sobreiro, mais do que o volume ou a biomassa da componente aérea, tem interesse a quantidade de cortiça produzida sendo a gestão da densidade do povoamento um meio, de que o técnico florestal dispõe para promover esse objetivo.

Num povoamento, cada árvore dispõe de dado espaço de crescimento, sendo esse espaço delimitado pelo espaço de crescimento das árvores vizinhas. A projeção horizontal desse espaço de crescimento designa-se por área de crescimento, e é igual à área de projeção horizontal da copa mais uma fração da área do povoamento não coberta (Oliveira 1984).

A determinação da área de crescimento de uma árvore pode ser feita com ou sem a construção de polígonos.

Sem a construção de polígonos a quantificação pode ser feita através da equação (4), uma vez que o diâmetro à altura do peito está relacionado com o diâmetro da copa. Oliveira (1984) para o cálculo da área de crescimento da árvore central tem em conta apenas os diâmetros das árvores do povoamento.

$$Fd = \frac{dj}{\sum d} * F \quad (4)$$

Onde, Fd = área de crescimento da árvore central;

dj = diâmetro da árvore central (j);

$\sum d$ = somatório do diâmetro das árvores do povoamento;

F = área do povoamento.

A árvore central corresponderia à árvore “0” na Figura 5.

Com a construção de polígonos, é possível obter informação quanto à área potencialmente disponível para o crescimento das árvores.

Na Figura 5 (a) tem-se a distribuição de 5 árvores e as respectivas linhas de distância da árvore central (zero) às restantes (1 à 4). Na Figura 5 (b) foram traçadas linhas perpendiculares que intersectam as linhas de distância entre duas árvores vizinhas, cada polígono representa a área e crescimento. Na Figura 5 (c) a área foi dividida tendo em conta o diâmetro de cada indivíduo, portanto quanto maior o diâmetro maior a área necessária.

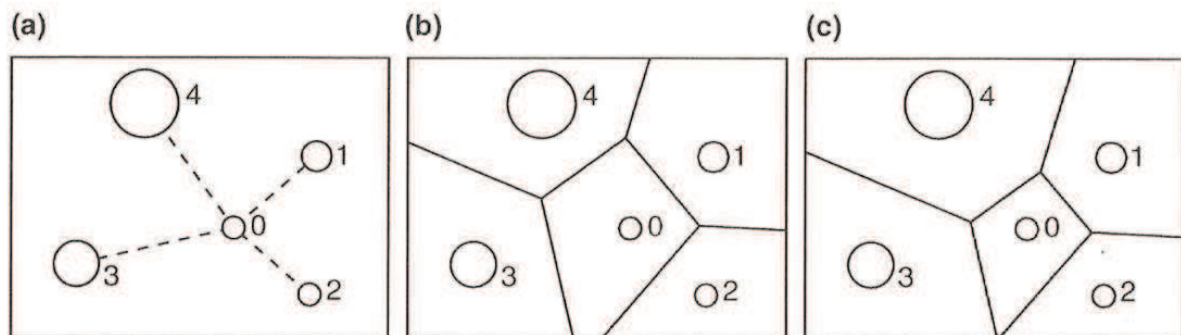


Figura 5 - Determinação da área disponível para crescimento através de polígonos. **(a):** Pode-se ver a distribuição das árvores e as linhas que as ligam à árvore central e as bissetrizes perpendiculares são determinadas. **(b):** Os pontos onde estas linhas se cruzam tornam-se o canto do polígono. **(c):** Os polígonos foram feitos tendo em consideração o diâmetro dos indivíduos. Adaptado de Pretzsch (2010).

A Figura (c) há-de ser a que se aproxima mais da realidade, ao ter em conta a competição que ocorre entre árvores vizinhas, as mais vigorosas irão ocupar um maior espaço no terreno e portanto a sua área de crescimento terá de ser maior que a das menos vigorosas.

2.4.3 Competição

Ribeiro (2013) diz que são vários os fatores que influenciam o crescimento das árvores, como a idade, a altura, características genéticas da árvore, condições micro-ambientais e competição com as árvores vizinhas.

A competição é um processo de interação entre indivíduos em que um organismo consome um recurso partilhado, numa quantidade limitada, levando à redução do seu desenvolvimento (Ribeiro 2006; Begon *et al.* 1986, in Burkhart e Tomé, 2012). Este processo, é um fator importante que determina a dinâmica do povoamento, quer para florestas naturais quer para plantadas (Zhang *et al.* 2013), que pode ser real, quando é estabelecida uma intervenção negativa recíproca que resulta da interferência direta dos organismos envolvidos ou indiretamente se os recursos disponíveis forem explorados de outra forma (Ribeiro 2013), ou aparente quando nos referimos às interações que ocorrem entre duas plantas quer por meio de inimigos naturais, quer por outras plantas do mesmo nível trófico (Ribeiro 2013).

A linha de mortalidade natural ou linha de auto-desbaste, referida na secção 2.4.1, bem como o índice de densidade (*SDI*) podem ser utilizada para definir limiares de competição, úteis na gestão florestal.

2.4.4 Padrão espacial

Uma das características mais visíveis num povoamento é a distribuição das árvores no terreno, mais precisamente o padrão de distribuição no espaço.

Existem três tipos de padrões mais comuns, representados na Figura 6: uniforme, (a) e (d); aleatório (b) e (e); agrupado (c) e (f). As imagens (a), (b) e (c) são representativas de um povoamento juvenil, e as imagens (d), (e) e (f) representam um povoamento na fase de maturidade.

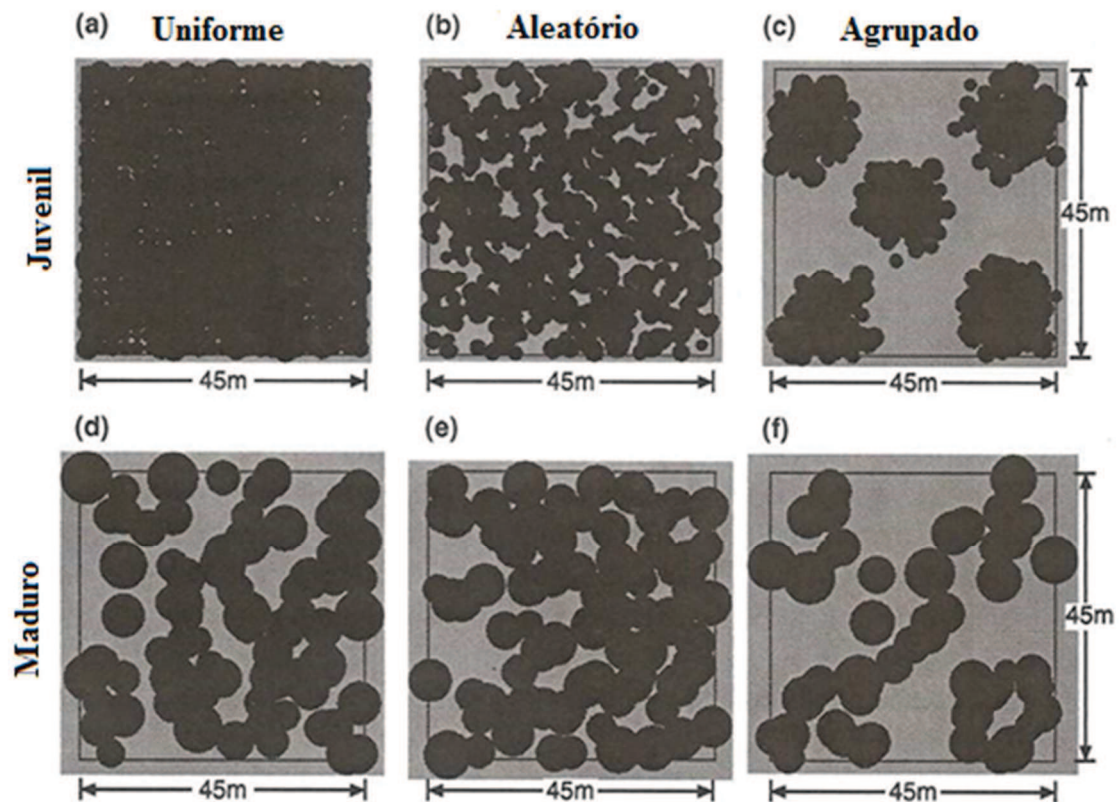


Figura 6 – Padrões de distribuição das árvores. Adaptado de Pretzsch (2010).

Hutchinson (1953), foi um dos ecólogos pioneiros a descobrir alguns dos fatores gerais que influenciam a distribuição dos indivíduos num povoamento, sendo eles:

- fatores reprodutivos;
- fatores sociais comportamentais (territorialismo);
- fatores devido a interações intraespecíficas (competição);
- fatores vetoriais proeminentes do ambiente exterior (vento, linhas de água);
- fatores aleatórios resultantes de variação ao acaso dos fatores anteriores.

Capítulo 3

Material e Métodos

Os dados usados para a realização deste trabalho provêm dos inventários florestais nacionais, do Inventário Florestal Nacional 4 (1990-1999) e do Inventário Florestal Nacional 5 (2005-2006), tendo sido complementados com informação de parcelas de estudo cedidas pelo Professor Nuno Ribeiro, da Universidade de Évora, doravante referidas por P_NR (UE).

Estes dados servirão para estabelecer uma linha de densidade máxima para o sobreiro, recorrendo a uma relação alométrica semelhante à indicada na Secção 2.4.

A relação será estimada recorrendo a um modelo de regressão linear, o qual servirá de base, após análise estatística adequada, ao estabelecimento da linha de máxima densidade teórica para a espécie.

3.1. Material disponível

O material disponível para a realização deste trabalho corresponde a um total de 2181 parcelas, 546 parcelas provêm do Inventário Florestal Nacional 4 (IFN) (1990-1999), 1568 parcelas provêm do Inventário Florestal Nacional 5 (2005-2006) e ainda 67 parcelas que fazem parte da base de dados P_NR (UE). É de notar que o número de parcelas de sobreiro aumentaram entre os dois inventários, a razão pela qual isto pode ser explicado é pelo facto de no IFN 4 o esquema de amostragem ter sido a amostragem casual simples e no IFN 5 ter sido a amostragem sistemática (que cobre de uma forma mais uniforme o terreno do que quando comparada com a casual simples).

Foi compilada uma base de dados inicial com recurso a folha de cálculo Excel. As observações da base de dados do Inventário Florestal Nacional 5 (2005-2006) relativas à espécie contêm a identificação da parcela, o número de árvores por parcela, o diâmetro a 1,30m medido em duas direções cruzadas, sobre cortiça, e a área da parcela.

O valor médio do diâmetro por árvore foi calculado através da média geométrica (d_{geo}), como preconizado por Pardé e Bouchon (1988). Segundo estes autores é aconselhável usar a média geométrica, em vez da média aritmética, de modo a atender ao facto do tronco das árvores poder assumir uma forma elíptica.

Tal como demonstra a Figura 7, se se medisse só o diâmetro d_1 , obtinha-se uma área de secção g_1 muito superior à real. Se se fizesse o mesmo mas para o diâmetro d_2 a área de secção g_2 seria muito inferior à real. Então, para se estimar com maior precisão a aproximação, combina-se ambos os diâmetros e obtêm-se um valor médio (zona tracejada, g), através da equação (5):

$$d_{geo} = \sqrt{d_1 \times d_2} \quad (5)$$

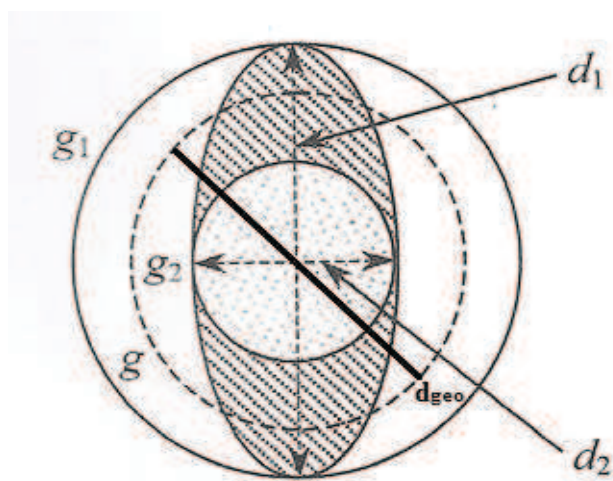


Figura 7 – Medição de diâmetros numa árvore cuja secção não é circular, mas elíptica. Adaptado de Pardé e Bouchon (1988).

A partir dos valores médios de diâmetro apurados por árvore (eq. 5) determinou-se a média quadrática dos diâmetros das diversas árvores existentes na parcela (dg). Com a área da parcela e o número de árvores por parcela foi calculado o número de árvores por hectare (N).

Relativamente à informação disponibilizada do IFN 4 esta já continha para cada parcela o valor do número de árvores por hectare e o respetivo diâmetro quadrático médio.

Da informação cedida por P_NR (UE) usou-se somente as duas variáveis N e d_g , respeitantes às parcelas consideradas com maior densidade, para complemento da base de dados usada neste estudo.

Com os dados disponíveis procedeu-se à preparação da base de dados.

3.2 Preparação da base de dados

Da amostra de 2181 parcelas (Figura 8 e Quadro 3) seleccionaram-se as parcelas que correspondem aos casos extremos, em termos de número de árvores (N) e de diâmetro médio (d_g). Numa primeira abordagem, Secção 3.2.1, seleccionam-se as parcelas que, para um dado valor de d_g (e por conseguinte de CAP) correspondam ao maior valor de N , e que, para um dado valor de N correspondam ao maior valor de d_g . Numa segunda abordagem, Secção 3.2.2, vai seguir-se a metodologia utilizada por Luís e Fonseca (2004), na seleção dos pontos fronteira.

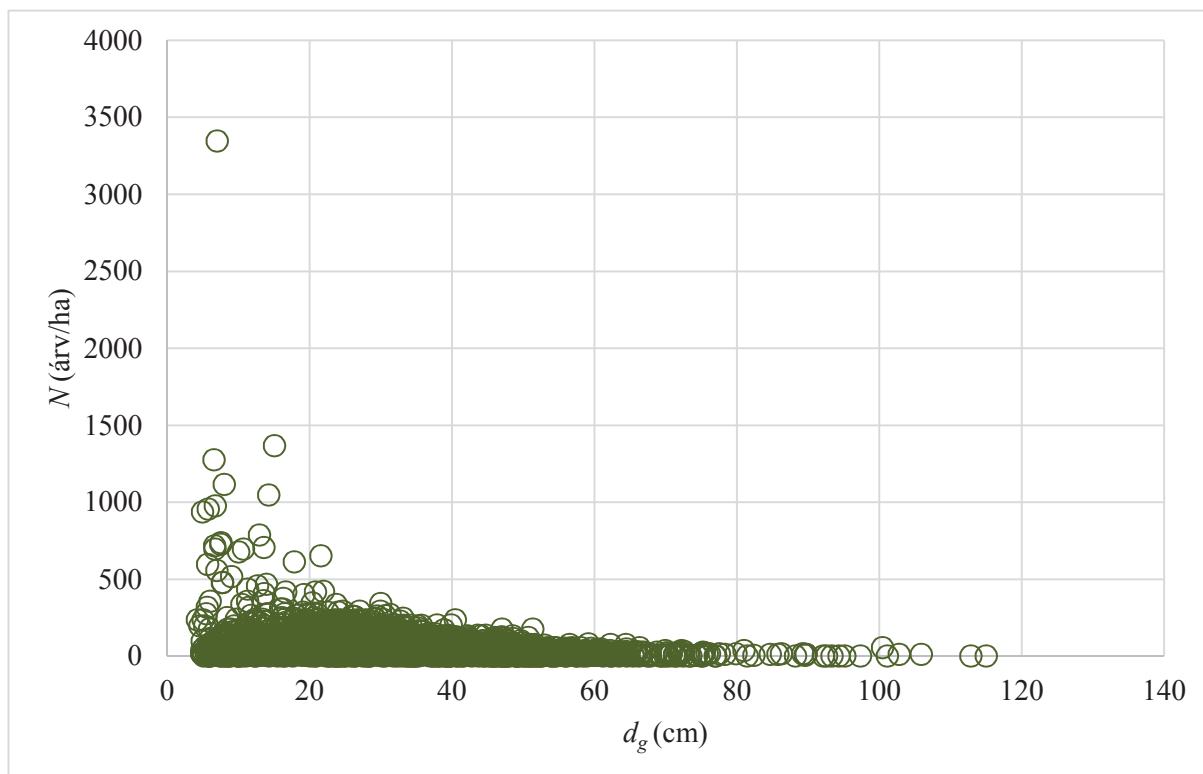


Figura 8 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha) das 2181 parcelas.

O Quadro 3 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão, para N e d_g , considerando as 2181 parcelas.

Quadro 3 – Média e desvio padrão de N e d_g , para as 2181 parcelas.

	Média	Desvio padrão
N (árv/ha)	76,8	103,3
d_g (cm)	319,7	144,7

3.2.1 Seleção de casos limite para as variáveis N e d_g

Nas parcelas com igual valor de N , foi selecionada a que tinha maior valor de d_g , posteriormente para igual valor de d_g selecionou-se a que apresentava maior valor de N . Após este passo ficaram 120 observações (parcelas), a qual foi designada por **subamostra 1**. Na Figura 9 pode ver-se o diagrama de dispersão correspondente.

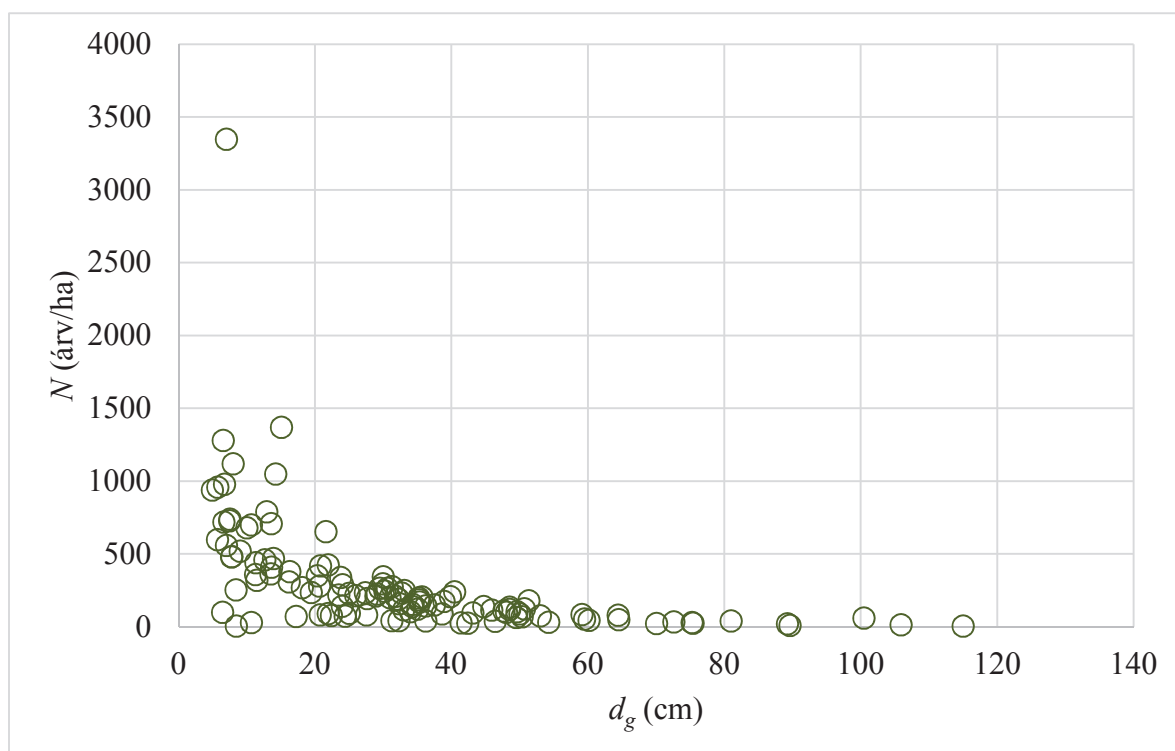


Figura 9 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 120 parcelas (**subamostra 1**).

O Quadro 4 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão, para N e d_g , considerando a **subamostra 1** de 120 parcelas.

Quadro 4 – Média e desvio padrão de N e d_g , para a **subamostra 1**.

	Média	Desvio Padrão
N (árv/ha)	298,9	397,4
d_g (cm)	32,9	22,6

Atendendo à dispersão dos valores de N e por nível de valor de d_g ensaiou-se uma nova redução da base de dados de modo a excluir as situações com valores muito próximos de N e de d_g . A redução da amostra foi feita por etapas, obtendo-se as **subamostras 1A, 1B e 1C**.

Subamostra 1A

Na amostra das 120 parcelas, foi aplicado o método de exclusão das parcelas com uma árvore de diferença, escolhendo a que corresponde ao maior valor de d_g . Este procedimento de eliminação reteve um total de 102 parcelas, designada por **subamostra 1A**. Na Figura 10 pode ver-se o diagrama de dispersão da amostra reduzida.

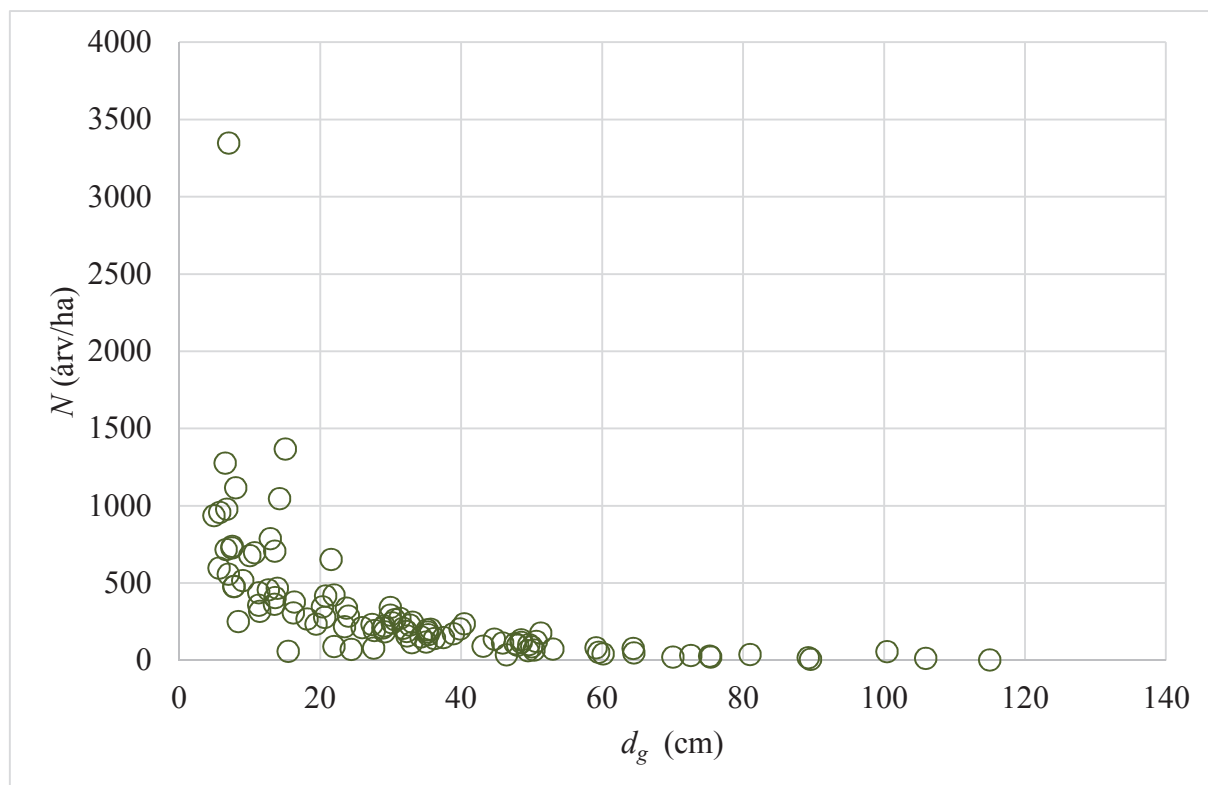


Figura 10 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árvores/ha): 102 parcelas (**subamostra 1A**).

O Quadro 5 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão das variáveis N e d_g , para o conjunto das 102 parcelas.

Quadro 5 - Média e desvio padrão de N e d_g para o conjunto de 102 parcelas (**subamostra 1A**).

	Média	Desvio Padrão
N (árvores/ha)	336,0	419,4
d_g (cm)	33,6	23,9

Subamostras 1B e 1C

Na segunda fase, sobre a amostra de 102 parcelas ensaiou-se a criação de dois subconjuntos com pontos mais extremos. Num deles considerou-se como critério de exclusão de uma parcela uma diferença de até cinco milímetros no valor do diâmetro (**subamostra 1B**), mantendo a parcela com maior valor de diâmetro. No outro subconjunto usou-se uma metodologia idêntica para um critério de exclusão correspondente a uma diferença em diâmetro até 10 milímetros (**subamostra 1C**).

Nas Figuras 11 e 12 apresentam-se os diagramas de dispersão para as **subamostras 1B e 1C**, respectivamente.

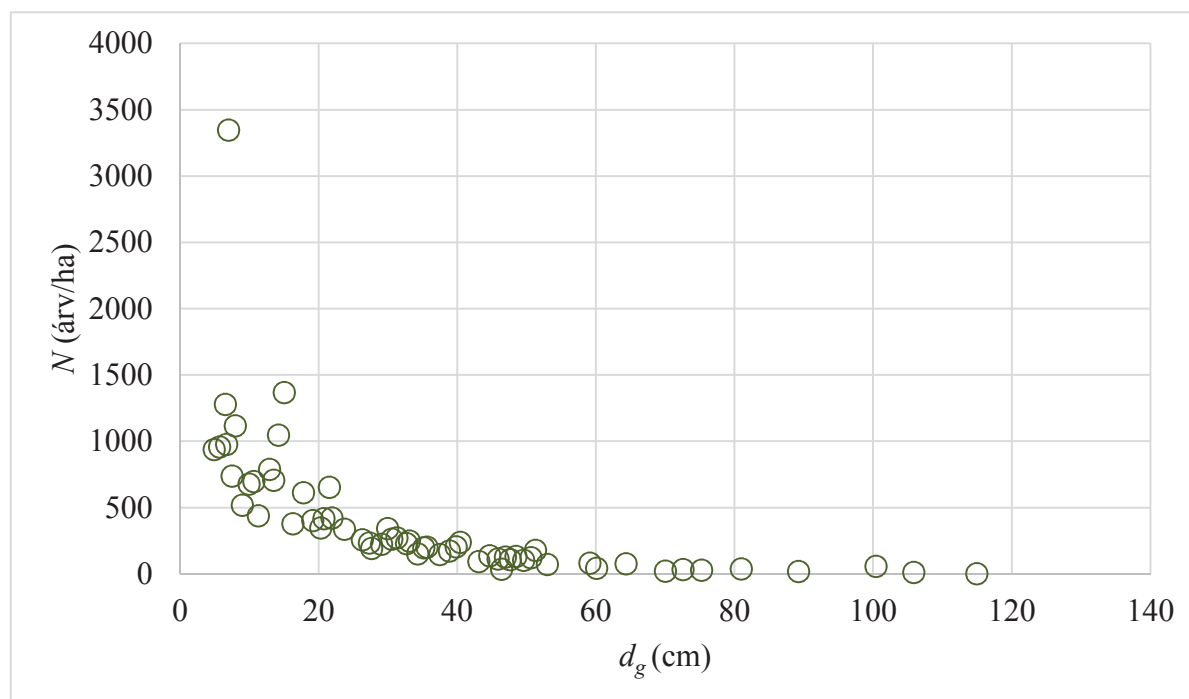


Figura 11 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 61 parcelas (**subamostra 1B**).

O Quadro 6 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão, dos parâmetros de N e d_g , para o conjunto de 61 parcelas.

Quadro 6 - Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto de 61 parcelas (**subamostra 1B**).

	Média	Desvio Padrão
N (árv/ha)	402,0	513,8
d_g (cm)	37,0	26,1

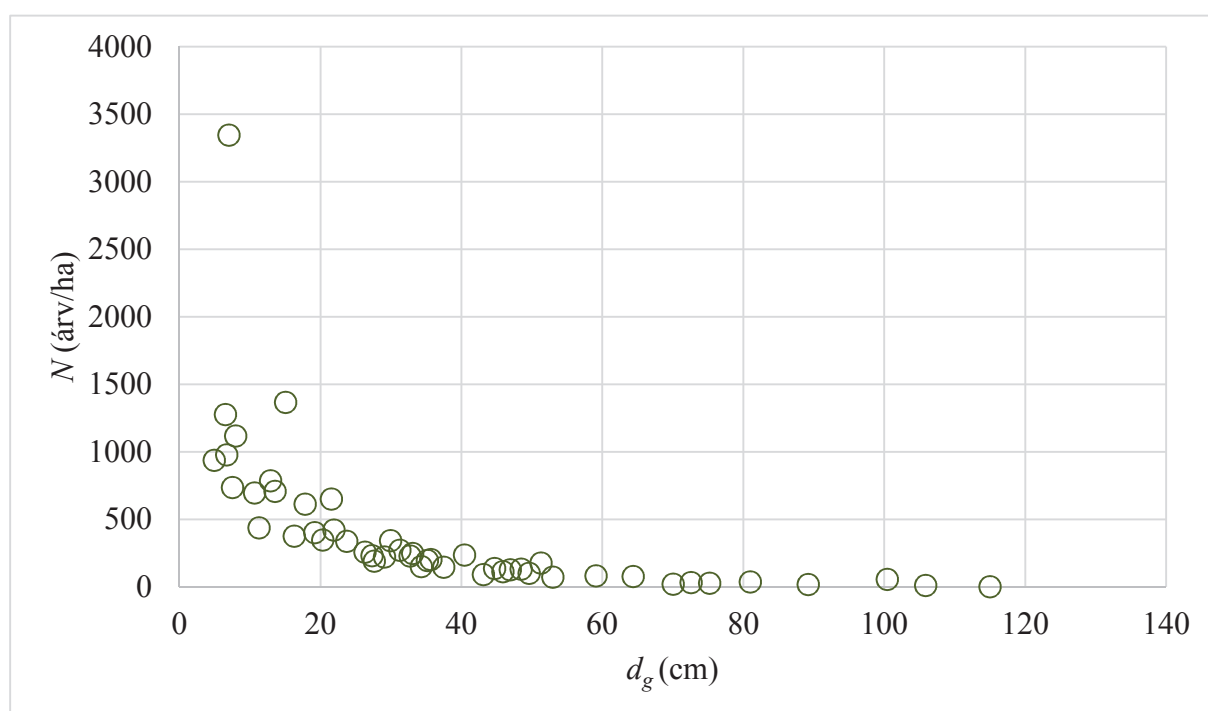


Figura 12 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árv/ha): 49 parcelas (**subamostra 1C**).

O Quadro 7 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão, para N e d_g , no conjunto de 49 parcelas.

Quadro 7 - Média e desvio padrão de N e d_g , para o conjunto de 49 parcelas (**subamostra 1C**).

	Média	Desvio Padrão
N (árv/ha)	406,6	549,3
d_g (cm)	38,4	27,6

3.2.2 Seleção dos pontos fronteira

Numa segunda abordagem, a base de dados inicial, com 2181 parcelas, foi sujeita a uma revisão pormenorizada para escolher os pontos fronteira, de acordo com o conceito de ponto fronteira de Keeney e Raiffa (1976), à semelhança da metodologia descrita por Luís e Fonseca (2004).

Um ponto $Z' = (z'_1, \dots, z'_n)$ é um ponto fronteira relativamente ao ponto $Z'' = (z''_1, \dots, z''_n)$ ou o ponto Z' domina o ponto Z'' , se se verificam as duas condições seguintes em simultâneo:

$$z'_i \geq z''_i, \quad \text{para qualquer } i=1, \dots, n \quad (6)$$

$$z'_i > z''_i, \quad \text{para pelo menos um } i \in \{1, \dots, n\} \quad (7)$$

Neste trabalho, estudam-se duas variáveis, N e d_g , isto é, $n=2$. Deste modo, um ponto $P_1 = (d_{g1}, N_1)$, é um ponto fronteira relativamente ao ponto $P_2 = (d_{g2}, N_2)$ em que d_{g1} e N_1 , denotam, respetivamente, o valor de d_g e de N em P_1 e d_{g2} e N_2 , os valores correspondentes em P_2 , se se verificam as condições seguintes (Figura 13).

$$d_{g1} \geq d_{g2} \text{ e } N_1 \geq N_2,$$

$$d_{g1} > d_{g2} \text{ ou } N_1 > N_2.$$

Na Figura 13 representa-se dois pontos, P_1 e P_2 , onde P_1 é um ponto fronteira relativamente ao ponto P_2 . Além disso, a área a branco representa a zona de pontos que dominam o ponto P_2 .

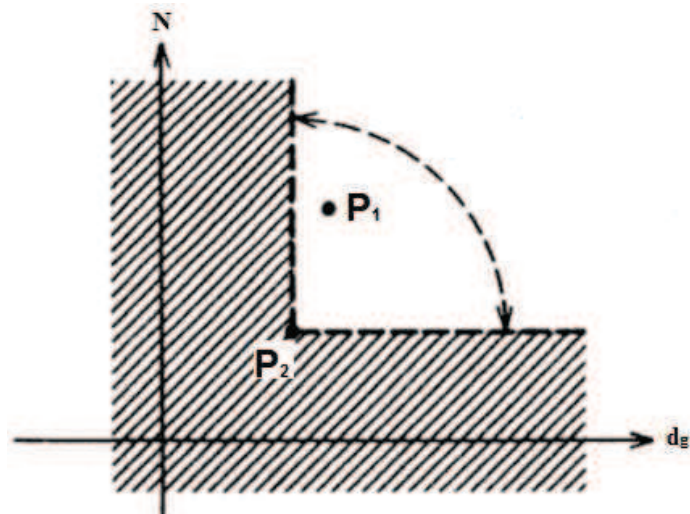


Figura 13 – Representação gráfica do conceito de pontos dominados. Adaptado de Keeney e Raiffa (1976).

Após a revisão nas 2181 parcelas da base de dados, eliminando os pontos dominados, chegou-se a um total de 14 parcelas que verificam as condições (6) e (7) que se designam por **subamostra 2**. A Figura 14 ilustra o diagrama de dispersão da amostra total de parcelas usadas no estudo, com as 14 parcelas fronteiras destacadas. Na Figura 15 faz-se a representação somente das 14 parcelas da **subamostra 2**, onde as duas observações com menor valor de diâmetro correspondem a dados do IFN 4 e as restantes 12 a dados do IFN 5.

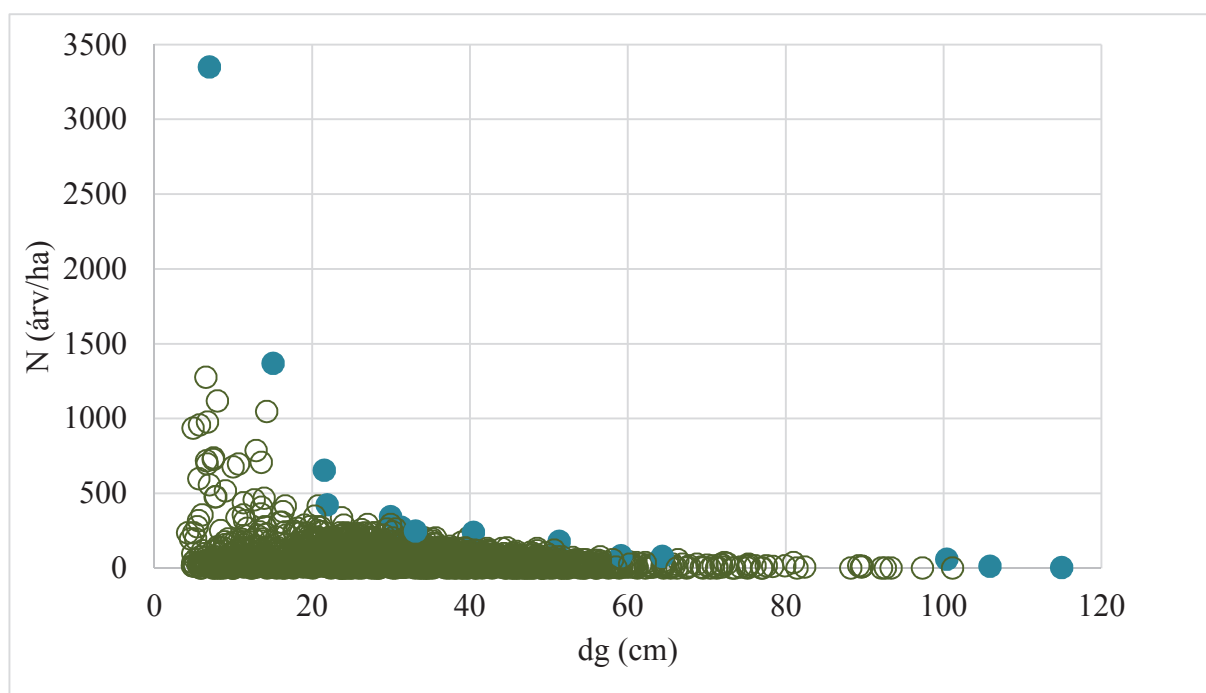


Figura 14 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e N (árvores/ha): 2181 parcelas com os 14 pontos fronteira destacados a azul.

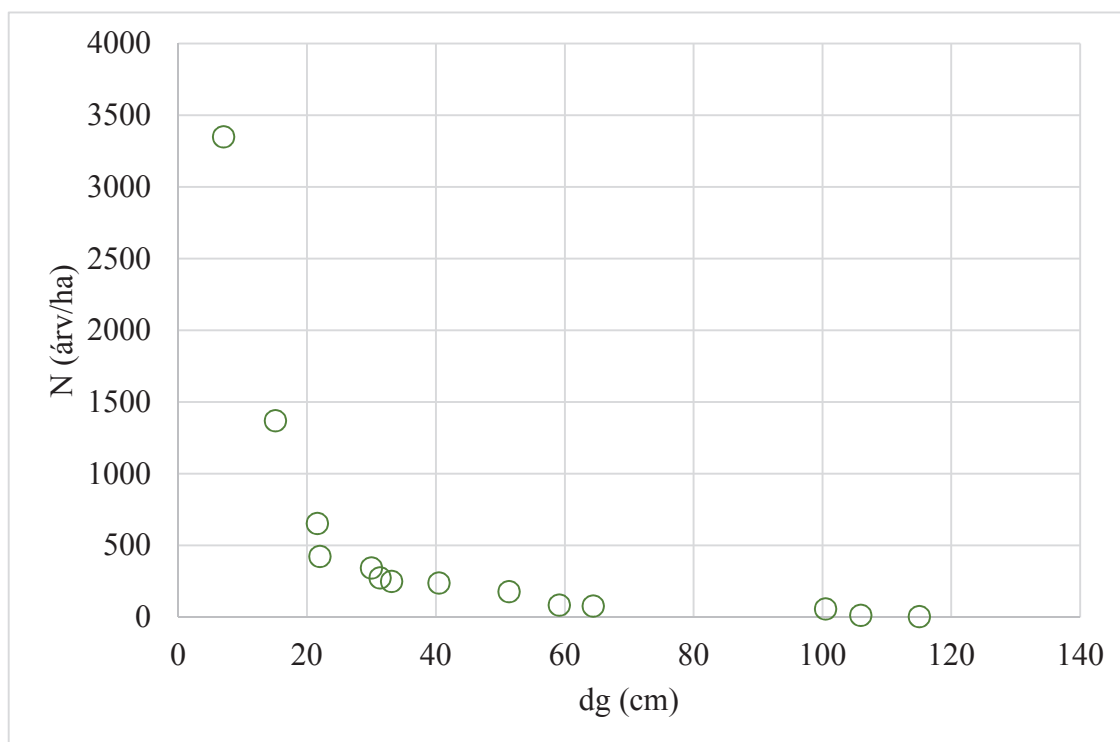


Figura 15 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e N (árvores/ha): 14 parcelas (**subamostra 2**).

O Quadro 8 apresenta os valores das estatísticas, média e desvio padrão, de N e d_g , para o conjunto de 14 parcelas.

Quadro 8 - Média e desvio padrão para N e d_g , para o conjunto das 14 parcelas fronteira (**subamostra 2**).

	Média	Desvio Padrão
N (árvores/ha)	523,9	887,1
d_g (cm)	49,7	35,1

3.3 Desenvolvimento de modelos

O estudo da relação alométrica referido na Secção 2.4.1, entre o número de árvores e a dimensão radial foi realizado usando o modelo de regressão linear. A forma funcional do modelo de regressão linear múltipla é:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Onde: Y = variável resposta ou dependente

β = parâmetros do modelo

X = variáveis explicativas de Y também designadas por independentes ou regressores

ε = termo do erro

Propriedades do modelo de regressão:

- Num modelo que contenha ordenada na origem, a soma dos resíduos é sempre igual a zero;
- A soma dos valores observados de Y é igual à soma dos respetivos valores estimados;
- A linha de regressão passa sempre pelo centróide dos dados, isto é, pelo ponto de coordenadas $(\bar{X}, \bar{Y})$.

Pressupostos do termo do erro:

- Erros de medição com média igual a zero e variância constante;
- A(s) variável(eis) X é (são) isenta(s) de erros de medição;
- Os erros não estão correlacionados, ou seja, o valor de um dos erros não depende de um outro erro.

Para análise da qualidade do ajustamento é comum considerarem-se as seguintes estatísticas:

- Coeficiente de determinação (R^2), é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, mostrando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior é o valor do R^2 , mais explicativo é modelo, melhor ele se ajusta à amostra. Na comparação da qualidade de ajustamento de modelos com um número distinto de regressores é preferível usar a estatística coeficiente de determinação ajustado. Ao contrário do R^2 , o coeficiente de

determinação ajustado (R^2_{aj}), nunca diminui com a adição suplementar de variáveis, este coeficiente de determinação, ajustado pelo número de graus de liberdade, atende ao número de regressores do modelo (Fonseca 2009).

- Desvio padrão residual (s_{yx}). Esta estatística é obtida a partir da variância residual (s^2_{yx}) a qual indica a parte da variação total da variável resposta (Y) que não é explicada pelo modelo. Vem expressa nas mesmas unidades da variável Y .

No caso da variável Y corresponder uma transformação da variável original número de árvores (N) convém proceder à determinação de s_{yx} nas unidades originais. O procedimento adotado foi o recurso ao índice de Furnival (FI) (eq. 10) conforme indicado por Fonseca (2009).

$$FI = s_{yx} \times 10^{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \log[f'(Y)]^{-1}}{n} \right)} \quad (10)$$

Onde: FI = Índice de Furnival

s_{yx} = Desvio padrão dos resíduos da regressão estimada para a variável Y original

$[f'(Y)]^{-1}$ = Inversa da derivada da transformação aplicada à variável Y , em ordem a Y .

Para este caso de estudo a transformação que a variável Y sofre é a aplicação do logaritmo neperiano ($\ln$). Como tal, $[f'(Y)]^{-1}$ irá ser igual a Y .

Como refere Fonseca (2009), existem outros aspetos a ter em consideração na análise de regressão. Numa primeira análise, deve-se verificar se o sinal (e magnitude) dos coeficientes do modelo está de acordo com o previsto. Coeficientes com sinais incorretos constituem indicações de um modelo inapropriado ou fracamente estimado.

Quanto ao padrão dos resíduos convém que os mesmos apresentem um comportamento uniforme que traduza a não violação dos pressupostos indicados. Neste estudo, a análise dos resíduos foi feita graficamente.

Na estimação de equações de regressão múltiplas, a situação ideal ocorre quando todos os regressores são ortogonais ou independentes, cada um contribuindo em separado para explicar a variabilidade de Y . Contudo, esta situação nem sempre se verifica. Frequentemente, no conjunto dos dados usados no desenvolvimento do modelo, dois (ou mais) regressores encontram-se correlacionados entre si (Figura 16). Daí advém que uma mesma parte da variabilidade de Y será explicada simultaneamente por mais que um regressor.

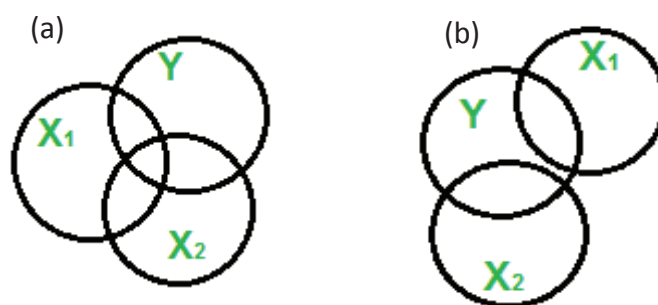


Figura 16 – Multicolinearidade. **(a)**: Presença de colinearidade. **(b)**: Ausência de colinearidade.

A multicolinearidade refere-se, então, à existência de correlações altas (dependências quase lineares) entre as variáveis explicativas nos modelos de regressões múltipla. Relativamente aos dados florestais, a situação mais vulgar é a exibição de alguma, apesar de não perfeita, colinearidade (Fonseca 2009).

Capítulo 4

Resultados

Neste Capítulo o tratamento estatístico, respeitante a cada uma das subamostras, é apresentado separadamente em subsecções específicas.

4.1 Subamostra 1

Procedeu-se ao tratamento estatístico das 120 parcelas, para análise da relação entre o número de árvores por hectare (N , árv/ha) e a média quadrática do diâmetro das árvores (d_g , cm). Os valores de N e de d_g foram logaritmizados. Para descrição da relação aplicou-se um modelo linear (reta colorida a vermelho) e um modelo quadrático (linha definida a verde), por a relação entre $\ln N$ e $\ln d_g$ evidenciar a forma de uma curva (Figura 17).

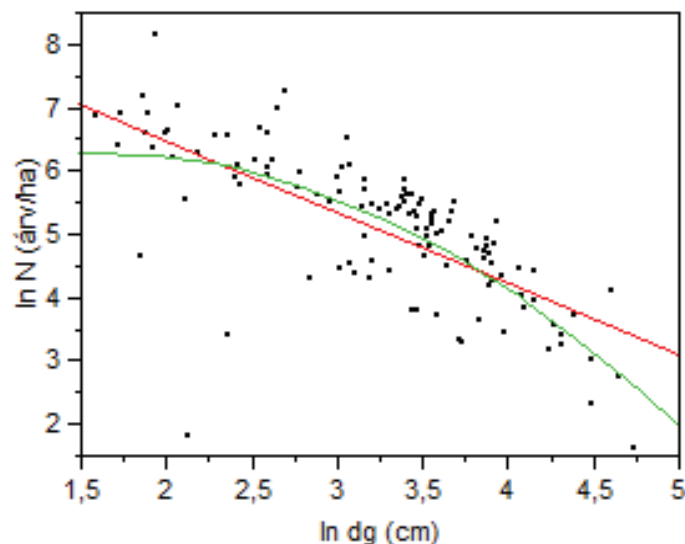


Figura 17 – Diagrama de dispersão das 120 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências.

No Quadro 9 apresentam-se as linhas de tendência de cada modelo, os respectivos coeficientes e erros padrão (entre parêntesis), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e desvio padrão dos resíduos (s_{yx}).

Os modelos apresentam proporções de variação explicada relativamente baixas. Como definido na metodologia, decidiu-se rever a amostra de pontos extremos, na tentativa de diminuir a variabilidade não explicada pela variável diâmetro quadrático médio.

Quadro 9 – Modelos linear e quadrático, e os seus respectivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a **subamostra 1**.

Modelo/Eq.	Forma Funcional	Coeficientes			R^2_{aj}	s_{yx}
		β_0	β_1	β_2		
Linear (11)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g$	8,774 (0,333)	-1,131 (0,099)	-	0,517	0,813
Quadrático (12)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g + \beta_2 (\ln d_g - \overline{\ln d_g})^2$	9,324 (0,359)	-1,235 (0,101)	-0,383 (0,115)	0,554	0,781

Na Figura 18 estão presentes os gráficos de resíduos para o modelo linear (a) e quadrático (b), da **subamostra 1**.

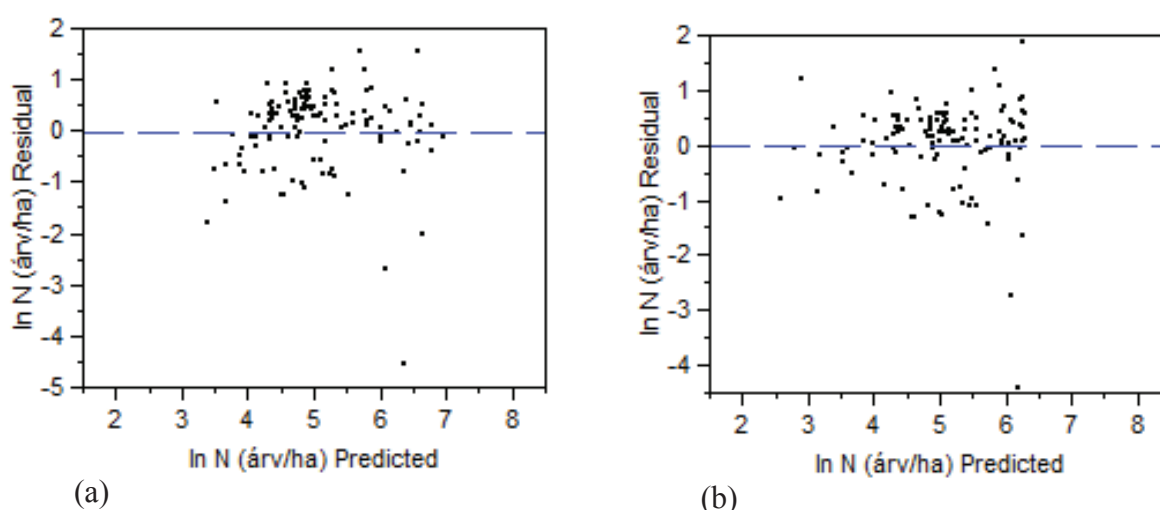


Figura 18 – Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a subamostra 1. (a) – Modelo linear. (b) – Modelo quadrático.

4.2 Subamostra 1A

Realizou-se, a análise estatística das 102 parcelas que constituem a **subamostra 1A**, aplicando também o modelo linear (definido pela reta a vermelho) e o modelo quadrático (curva desenhada a verde), como se pode ver na Figura 19, após a logaritmização das variáveis N e d_g .

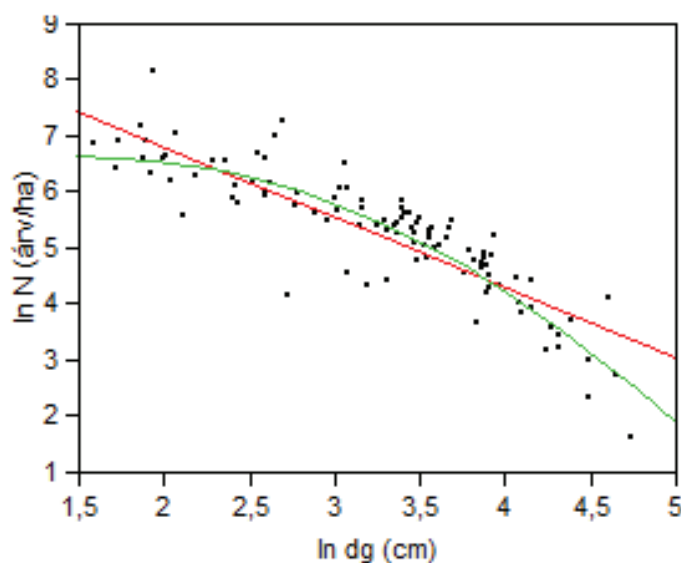


Figura 19 - Diagrama de dispersão das 102 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências.

No Quadro 10 apresentam-se as linhas de tendência de cada modelo, referentes à Figura 19, os respetivos coeficientes, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) e desvios padrão dos resíduos (s_{yx}).

Quadro 10 – Modelos linear e quadrático, e os seus respetivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a **subamostra 1A**.

Modelo/ Eq.	Forma Funcional	Coeficientes			R^2_{aj}	s_{yx}
		β_0	β_1	β_2		
Linear (13)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g$	9,367 (0,243)	-1,261 (0,073)	-	0,747	0,568
Quadrático (14)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g + \beta_2 (\ln d_g - \overline{\ln d_g})^2$	9,917 (0,242)	-1,356 (0,068)	-0,403 (0,078)	0,799	0,506

A Figura 20 estão presentes os gráficos de resíduos para os modelos lineares (a) e quadrático (b), para a **subamostra 1A**.

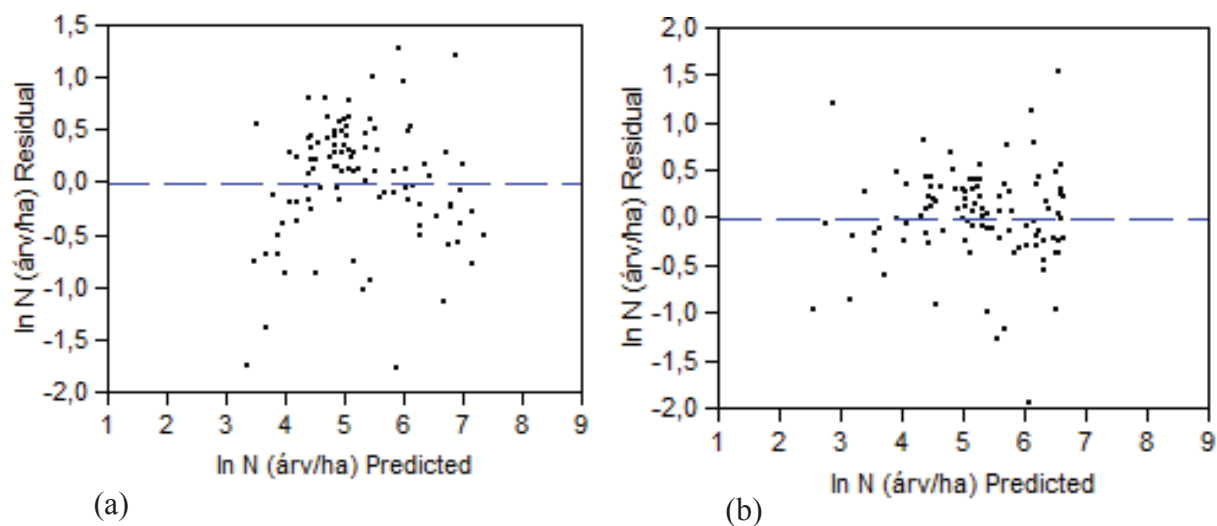


Figura 20 – Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a **subamostra 1A**. (a) – Modelo linear. (b) – Modelo quadrático.

4.3 Subamostra 1B

O procedimento descrito para a **subamostra 1 e 1A** foi seguido para a **subamostra 1B**. Os resultados constam na Figura 21 e no Quadro 11.

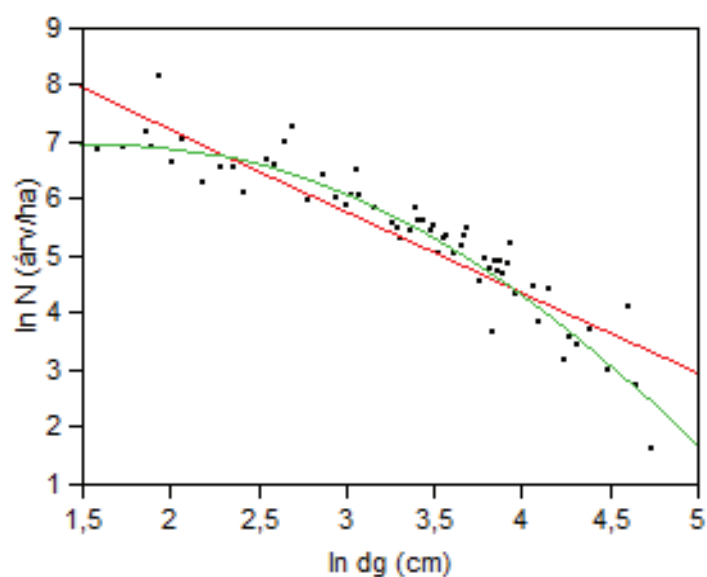


Figura 21 - Diagrama de dispersão das 61 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências.

No Quadro 11 apresentam-se as linhas de tendência de cada modelo, referentes à Figura 21, os respectivos coeficientes, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) e desvios padrão dos resíduos (s_{yx}).

Quadro 11 - Modelos linear e quadrático, e os seus respectivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a **subamostra 1B**.

Modelo/ Eq.	Forma Funcional	Coeficientes			R^2_{aj}	s_{yx}
		β_0	β_1	β_2		
Linear (15)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g$	10,125 (0,289)	-1,431 (0,084)	-	0,827	0,523
Quadrático (16)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g + \beta_2 (\ln d_g - \overline{\ln d_g})^2$	10,943 (0,263)	-1,587 (0,071)	-0,473 (0,077)	0,894	0,410

Na Figura 22 estão presentes os gráficos de resíduos para os modelos lineares (a) e quadrático (b), para a **subamostra 1B**.

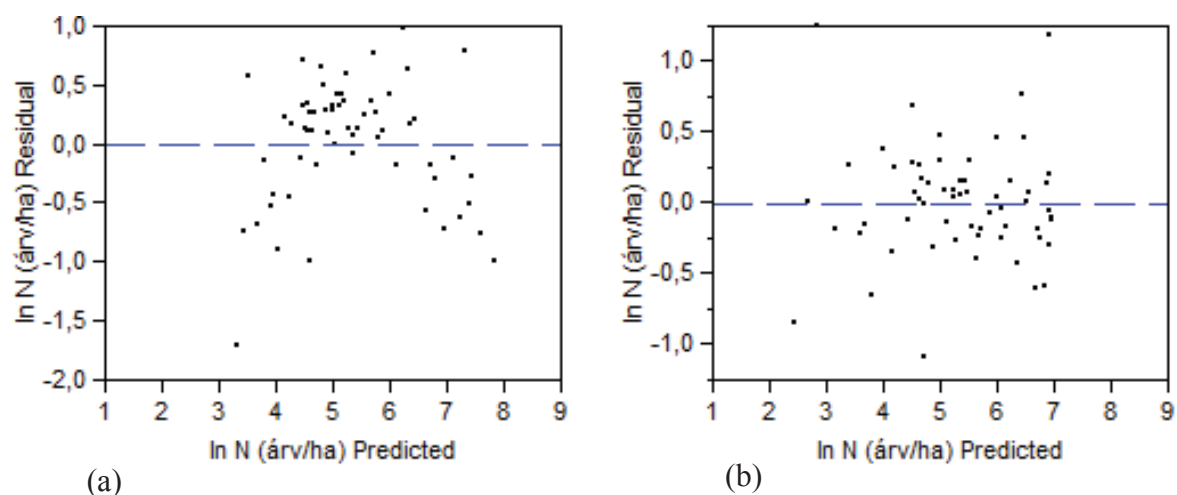


Figura 22 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a **subamostra 1B**. (a) – Modelo linear. (b) – Modelo quadrático.

4.4 Subamostra 1C

Para a **subamostra 1C**, adotou-se o procedimento indicado para a **subamostra 1A e 1B**. Na Figura 23 estão representadas as linhas de tendência, para o modelo linear (representado pela reta vermelha) e modelo quadrático (curva desenhada a verde).

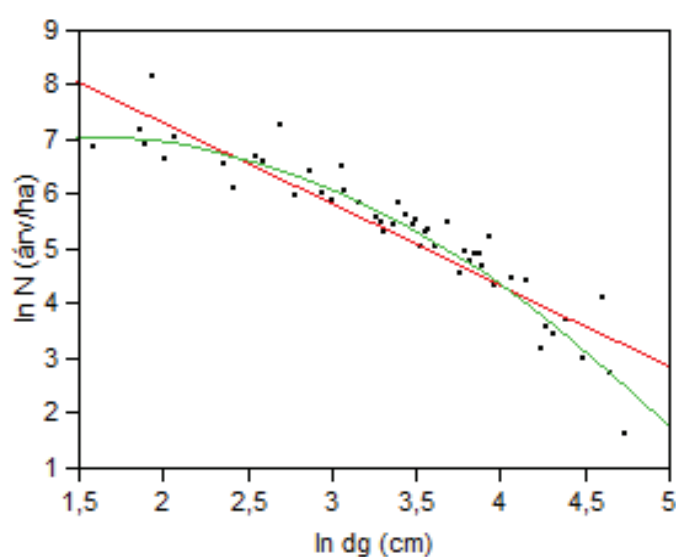


Figura 23 - Diagrama de dispersão das 61 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências.

No Quadro 12 apresentam-se as linhas de tendência de cada modelo, referentes à Figura 23, os respectivos coeficientes, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) e desvios padrão dos resíduos (s_{yx}).

Quadro 12 - Modelos linear e quadrático, e os seus respectivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a **subamostra 1C**.

Modelo/ Eq.	Forma Funcional	Coeficientes			R^2_{aj}	s_{yx}
		β_0	β_1	β_2		
Linear (17)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g$	10,313 (0,321)	-1,482 (0,093)	-	0,841	0,518
Quadrático (18)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g + \beta_2 (\ln d_g - \overline{\ln d_g})^2$	11,075 (0,286)	-1,623 (0,077)	-0,451 (0,081)	0,903	0,405

Na Figura 24 estão patentes os gráficos de resíduos para os modelos lineares (a) e quadrático (b), para a **subamostra 1C**.

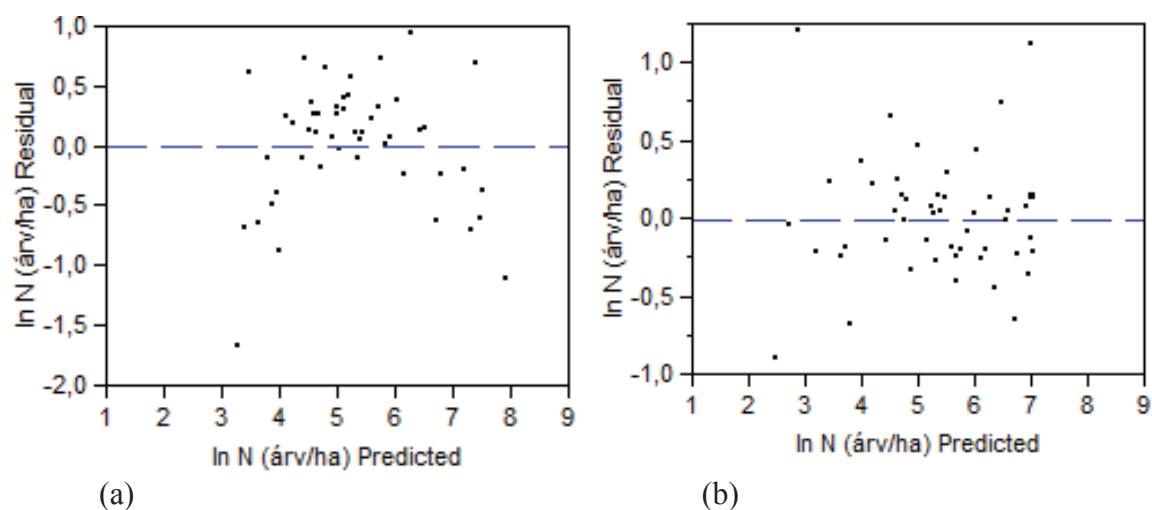


Figura 24 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a **subamostra 1C**. (a) – Modelo linear. (b) – Modelo quadrático.

4.5 Subamostra 2

Adotando uma metodologia idêntica à descrita nas Secções 4.1 a 4.4, obtiveram-se os resultados a seguir indicados. Na Figura 25 vêem-se as linhas de tendência do modelo linear (reta colorida a vermelho) e do modelo quadrático (curva representada a verde).

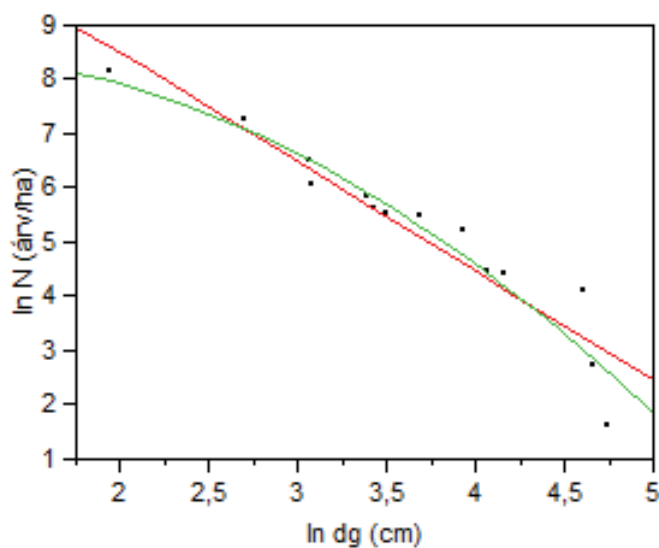


Figura 25 - Diagrama de dispersão das 14 parcelas após logaritmização das variáveis d_g e N e linhas de tendências.

No Quadro 13 apresentam-se as linhas de tendência de cada modelo, referentes à Figura 25, os respectivos coeficientes, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) e desvios padrão dos resíduos (s_{yx}).

Quadro 13 - Modelos linear e quadrático, e os seus respectivos coeficientes, R^2_{aj} e s_{yx} , para a **subamostra 2**.

Modelo/ Eq.	Forma Funcional	Coeficientes			R^2_{aj}	s_{yx}
		β_0	β_1	β_2		
Linear (19)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g$	12,550 (0,724)	-2,016 (0,194)	-	0,891	0,558
Quadrático (20)	$\ln N = \beta_0 + \beta_1 \ln d_g + \beta_2 (\ln d_g - \overline{\ln d_g})^2$	13,187 (0,732)	-2,133 (0,185)	-0,363 ^{n. s.} (0,188)	0,912	0,503

A Figura 26 estão presentes os gráficos de resíduos para os modelos lineares (a) e quadrático (b), para a **subamostra 2**.

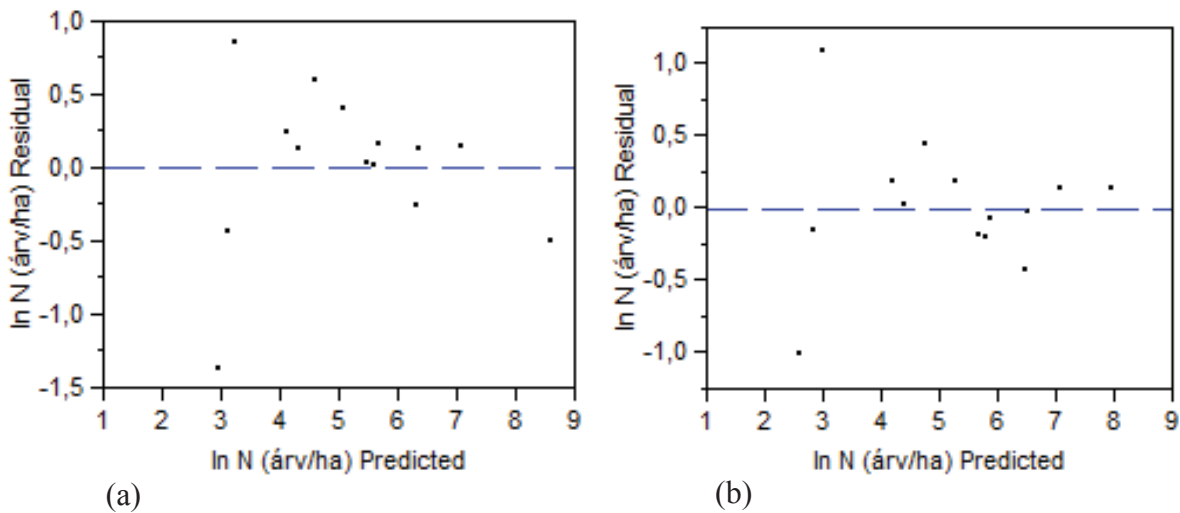


Figura 26 - Gráficos dos resíduos dos modelos estimados para a **subamostra 2**. (a) – Modelo linear. (b) – Modelo quadrático.

4.6 Linha de auto desbaste

A partir dos modelos de regressão obtêm-se estimativas de valores médios de Y , para valores fixos de X , pelo que há observações que se localizam no plano superior e outras no plano inferior à linha de tendência média. Para definição da linha de máxima densidade (linha de auto desbaste), procedeu-se à majoração das linhas definidas pelos modelos de regressão descritos nas Secções anteriores. Para o efeito usou-se como critério o aumento da ordenada na origem somando-lhe o valor do erro padrão que lhe está associado. Na Figura 27 apresenta-se as linhas de tendência, dos modelos linear (a verde) e quadrático (a azul), conforme as estimativas obtidas na Secção 4.1 para a subamostra de maior dimensão, a **subamostra 1** (Quadro 9), majoradas da forma descrita.

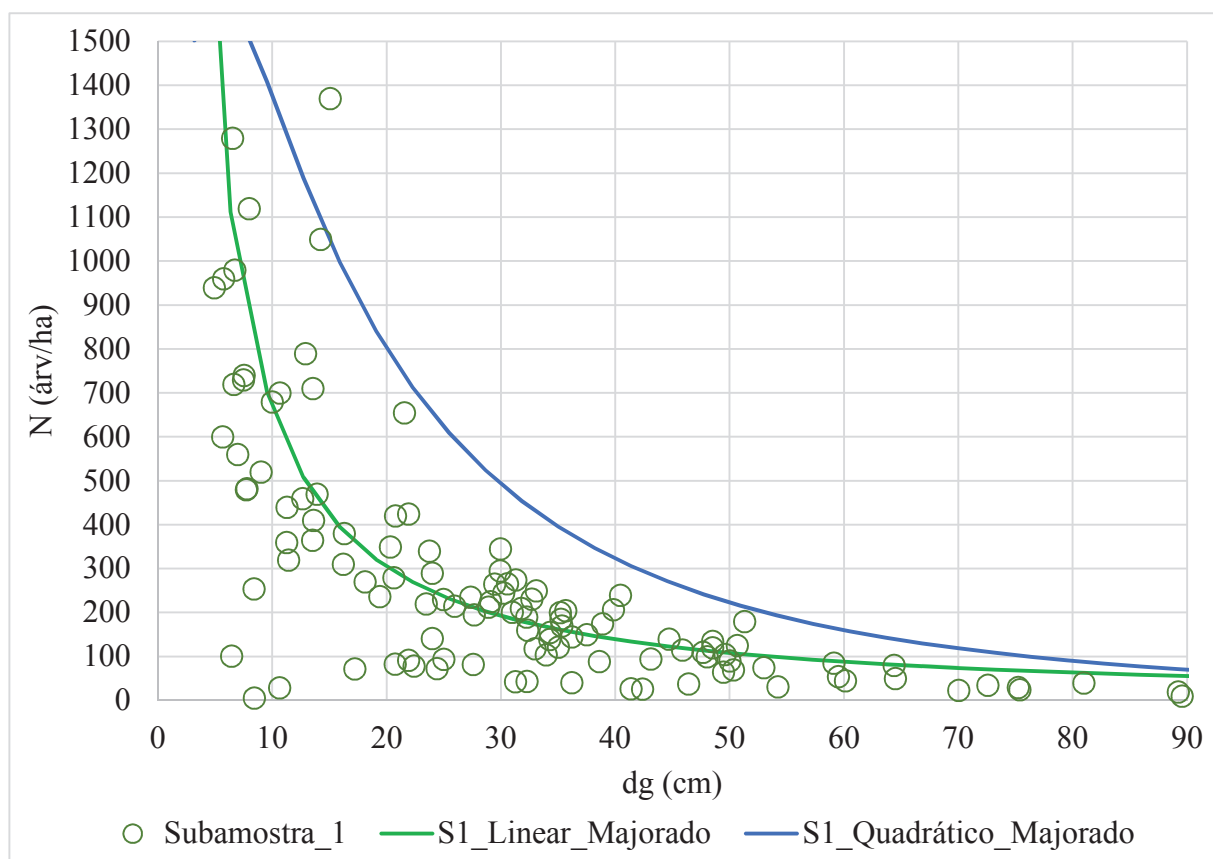


Figura 27 – Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árvores/ha) da **subamostra 1**, com as suas linhas de tendência majoradas, dos modelos linear (a verde) e quadrático (a azul).

Na Figura 28 apresenta-se as linhas de tendência, respeitantes ao modelo linear (a verde, linha não majorada, a azul, linha majorada), conforme as estimativas obtidas na Secção 4.5 para a subamostra de menor dimensão, **subamostra 2**, definida atendendo ao conceito de pontos fronteira, com a distribuição das parcelas da **subamostra 1**. As estimativas dos parâmetros e os valores de erro padrão usados na majoração constam no Quadro 13.

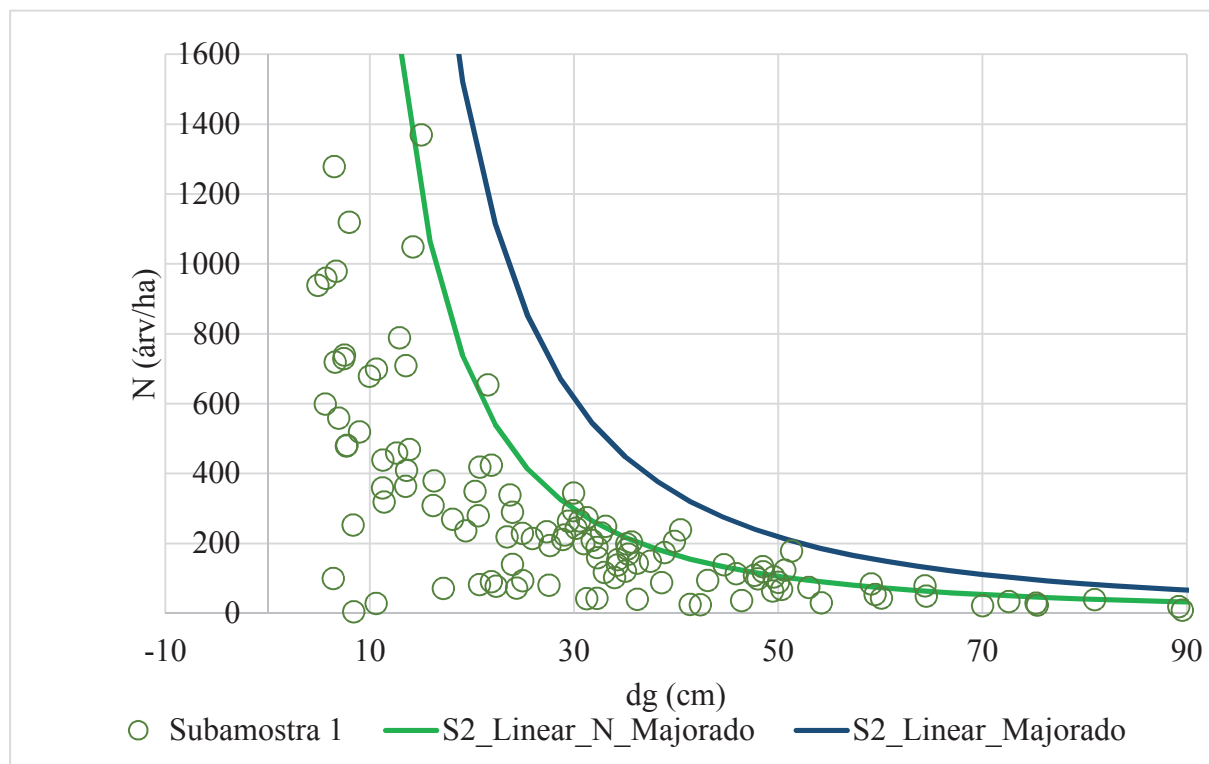


Figura 28 - Diagrama de dispersão de d_g (cm) e de N (árvores/ha) da **subamostra 1**, com as linhas de tendência, do modelo linear (a verde linha não majorada e a azul com a linha majorada) da **subamostra 2**.

Capítulo 5

Discussão

A linha de tendência que melhor acompanha as observações, para qualquer uma das **subamostras 1, 1A, 1B, 1C** (Secções 4.1 a 4.4), é a que apresenta forma curvilínea, em vez da reta. Esta conclusão é sustentada pelos valores superiores da estatística R^2_{aj} e inferiores da estatística s_{yx} obtidos com os modelos quadráticos comparativamente à forma funcional que traduz a reta. Para qualquer das **subamostras 1A, 1B e 1C**, os parâmetros que definem a curvatura são estatisticamente significativos ($P < 0,05$). Complementarmente, a análise gráfica dos resíduos evidencia que os modelos lineares aparentam deficiências de especificação para todas as subamostras. Esse problema de especificação incorreta é muito evidenciado nas Figuras 22 (a) e 24 (a). Tal como já referido na Secção 2.4.1, Zeide (1985 e 1987) concluía que a forma curvilínea era a que melhor representava a linha de auto desbaste. O autor (Zeide, 1987) descreveu o processo de auto-desbaste como uma curva côncava, onde podem ser detetadas 3 fases. Desde um estágio inicial até ao fecho das copas o auto desbaste é inferior à mortalidade verificada em máxima competição. Nesta fase 1 a curva é côncava e fica abaixo da reta de máxima densidade. Na fase intermédia de desenvolvimento dos povoamentos (Fase 2) a relação entre $\ln N$ e $\ln d_g$ acompanha a reta de máxima densidade. A Fase 3 corresponderia a povoamentos mais velhos, quando a capacidade de preencher as clareiras deixadas pelas árvores mortas deixa de existir, a linha tende para uma curva inferior à reta e afasta-se da mesma.

Este fenómeno é visível nos gráficos de dispersão apresentados para a **subamostra 1**.

Analisando os resultados conseguidos para a **subamostra 2**, reduzida aos pontos fronteira, as ilações são distintas. Para a **subamostra 2**, o modelo quadrático aparenta um ajustamento de qualidade ligeiramente superior ao obtido com o modelo linear, como medido pelos valores das estatísticas R^2_{aj} e s_{yx} . Todavia, a análise da significância dos parâmetros revela que a estimativa do parâmetro associado à curvatura (β_2) não difere significativamente de zero, admitindo um nível de confiança de 95% ($P < 0.05$). Assim, para a **subamostra 2**, o modelo cuja forma funcional corresponde à reta descreve adequadamente a relação entre $\ln N$ e $\ln d_g$. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Reineke (1933) e reportados em diversos estudos

acerca da relação alométrica entre N e d_g para várias espécies, como sucede, por exemplo, para o pinheiro bravo, em Portugal, segundo a investigação realizada por Luís e Fonseca (2004). Como explicação para as diferenças obtidas, quanto à forma funcional do modelo, é de atender ao facto do processo de seleção da amostra de dados influenciar os resultados com implicações na definição da linha de máxima densidade.

Passando à análise específica da definição da linha de auto desbaste (Secção 4.6), e considerando agora a apresentação nas escalas originais de N e d_g , é visível, na Figura 27 que para a **subamostra 1** a majoração da reta não permitiu definir uma linha que estivesse acima da totalidade das observações. Mesmo no caso da majoração do modelo quadrático, para essa subamostra, destaca-se uma observação que ultrapassa a linha que se pretendeu identificar como a linha teórica de máxima densidade. Em contrapartida, usando a **subamostra 2** como suporte ao estabelecimento da linha de máxima densidade (Figura 28), a majoração da reta permite sobrepor-se à totalidade dos valores observados. Os resíduos do modelo linear não apresentam padrão discernível de especificação incorreta ou variância heterogénea. São evidentes duas observações com resíduos mais elevados, as quais correspondem a parcelas com número de árvores mais reduzido e maior valor de diâmetro. Como o modelo só dispõe de um regressor, não possui problemas decorrentes de multicolinearidade, ao contrário do que era expectável poder suceder com o modelo quadrático.

No Quadro 14 apresenta-se as estimativas do número de árvores por hectare, obtidas com o modelo alométrico baseado na **subamostra 2**, considerando o modelo original (Quadro 13, Equação 19) e a respetiva majoração (Equação 21):

$$\ln N = 13,274 - 2,016 \ln d_g \quad (21)$$

A percentagem de variação explicada é elevada, cerca de 90%. O desvio padrão residual é 0,558, em termos de logaritmos. Em unidades originais corresponde, por aplicação do Índice de Furnival, a um desvio de 101 árv./ha.

Também no Quadro 14 são apresentados os valores de N por classe de CAP referidos em Natividade (1950), para efeitos de comparação.

Quadro 14 – Densidades (N) propostas pelos autores Natividade, Lamey e Mexia, para cada valor de circunferência avaliada a 1,30m de altura (CAP). [Adaptado de Natividade (1950)]. Estimativas dos valores de N segundo Monteiro.

		N (árv/ha)				
CAP (m)	d_g (cm)	Natividade	Lamey	Mexia	Não Majorado*	Majorado*
0,4	12,7			868	1671	3447
0,5	15,9				1065	2196
0,6	19,1	471	984		738	1521
0,7	22,3	291	796	282	541	1115
0,8	25,5	211	629		413	852
0,9	28,7	165	509		326	672
1,0	31,8	136	422	113	263	543
1,1	35,0	115	343		217	448
1,2	38,2	100	282		182	376
1,3	41,4	88	259	82	155	320
1,4	44,6	79	199		134	276
1,5	47,8	72	169		116	240
1,6	50,9	65	149	54	102	211
1,7	54,1	60	127		90	186
1,8	57,3	56	118		81	166
1,9	60,5	52	100	38	72	149
2,0	63,7	49	88		65	134
2,2	66,9			28	59	122

* Estimativas obtidas pelo modelo alométrico desenvolvido neste estudo (Monteiro 2015), considerando os dados da subamostra 2.

Na Figura 29 apresenta-se sob a forma de gráfico a informação constante no Quadro 14.

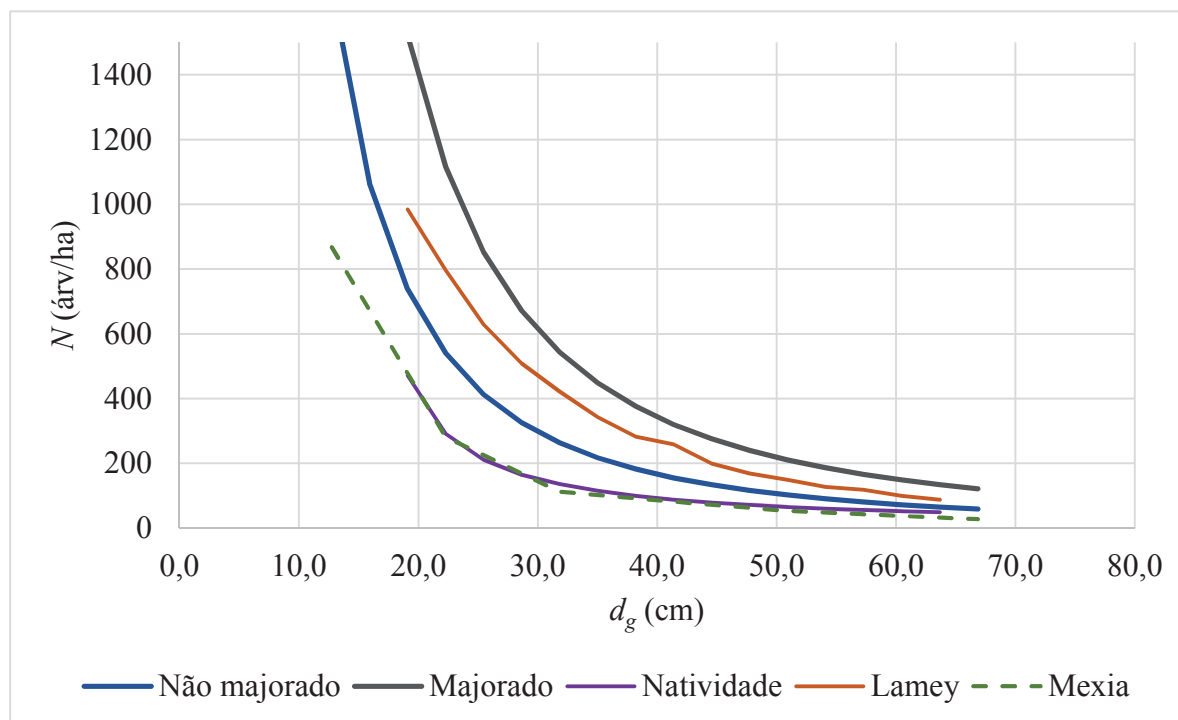


Figura 29 – Estimativas do número de árvores por classe de diâmetro conforme indicado por Natividade, Lamey e Mexia e estimativas baseadas na relação alométrica desenvolvida neste estudo (Equação 19, modelo não majorado e Equação 21, modelo majorado).

É patente que os valores referidos por Natividade e Mexia são similares e ficam aquém dos valores de N estimados pelo modelo alométrico, bem como dos indicados por Lamey (Natividade 1950). Verifica-se, adicionalmente, que os valores sugeridos por Lamey estão enquadrados no intervalo de variação definido pelas Equações 19 e 21.

Capítulo 6

Conclusões

O sobreiro é economicamente importante para Portugal, principalmente devido ao seu tecido suberoso com características únicas que não são encontradas em nenhum outro material sintético ou natural.

Nos seus ecossistemas são encontrados exemplares de fauna e flora mais peculiares, onde encontram fatores ambientais ideais à sua sobrevivência, o que os torna ecologicamente importantes.

A espécie em estudo pode ser afetada por diversos vetores patogénicos e antropológicos, o que tem levado ao longo dos anos à sua diminuição de densidade no País.

Um outro fator negativo são as alterações climáticas, que segundo Pereira *et al.* 2006 vão levar à migração do sobreiro para o norte de Portugal.

Este estudo procurou colmatar a falta de informação acerca de valores adequados de densidade do sobreiro (número de árvores) por unidade de área, para responder à necessidade de matéria-prima para a indústria corticeira. Em termos de procedimento, recorreu-se à análise da relação alométrica entre número de árvores por hectare e diâmetro quadrático médio para povoamento de sobreiro. A análise teve como suporte dados do Inventário Florestal Nacional 4 (1990-1999) e do Inventário Florestal Nacional 5 (2005-2006), e ainda parcelas de estudo cedidas pelo Professor Nuno Ribeiro da Universidade de Évora.

Os resultados obtidos com a **subamostra 1**, baseada em 120 parcelas com valores extremos de N e dg revelam que a relação alométrica, considerando as variáveis logaritmizadas, é melhor descrita por um modelo quadrático do que por uma reta. O facto de a relação poder assumir a forma de curva já tinha sido constatado em investigações anteriores. Quando se reduz a subamostra a pontos fronteira considerando o conceito de dominância verifica-se que a reta é a forma funcional mais adequada para a descrição da relação entre N e dg . Como o objetivo do

estudo passava pela definição da linha de auto desbaste para a espécie, a mesma deverá ser definida pela **subamostra 2**.

A estimação dos valores de número de árvores obtida com a relação alométrica suportada pela **subamostra 2**, com majoração, e respetiva comparação com indicações mencionadas em Natividade (1950), permite deduzir que as estimativas aqui obtidas são biologicamente razoáveis e indicam um possível aumento da lotação, em povoamentos de sobreiro, em Portugal.

O modelo que define a linha de máxima mortalidade pode ser usado em sistemas de suporte à decisão, como orientação da densidade dos povoamentos de sobreiro. Para o efeito, preconiza-se dar continuidade ao estudo desenvolvido e complementar a informação com o padrão espacial de distribuição das árvores, dado que este pode interferir no espaço de crescimento das árvores e, por conseguinte, na competição interespecífica.

Acresce que será conveniente realizar investigação complementar, especificamente quanto ao efeito da lotação na espessura e qualidade da cortiça.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

APCOR (Associação Portuguesa de Cortiça), 2011. Cork yearbook [pdf]. Disponível em: <http://www.apcor.pt/userfiles/File/Publicacoes/anuario2011.pdf>. (Acedido a 1 de agosto de 2014).

Barros, M. da C.O., Calado, N., Gomes, A. A., Inácio, M. L., Lopes, F. J., Marcelino, A. C., Sousa, E. M. R., Varela, M. C., 2006. Boas práticas de gestão em sobreiro e azinheira, Lisboa: Direção Geral dos Recursos Florestais/TOA CORK.

Begon, M., Harper, J. L. e Townsend, C. R., 1986. Ecology: individuals, populations and communities. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 876 pp.

Burkhardt, H. E., e Tomé M., 2012. Modeling forest trees and stands. Springer Science & Business Media.

Caetano, P.C.L., 2007. Envolvimento de *Phytophthora Cinnamoni* no declínio de *Quercus Suber* e *Q. Rotundifolia*: Estudo da influência de factores bióticos e abióticos na progressão da doença. Possibilidades de controlo químico do declínio. Universidade do Algarve. Tese de Doutoramento.

Caro, E., 1914. Extrato de la memoria de revisión reglamentaria y proyecto del tercer plan especial de los montes El Robledal y La Saucedá, de Cortes de La Frontera, en la provincia de Málaga. Imprenta Alemana, 55pp.

Castedo-Dorado, F., Crecente-Campo, F., Álvarez-Álvarez, P. e Barrio-Anta, M., 2009. Development of a stand density management diagram for radiata pine stands including assessment of stand stability. Forestry, 82(1), 1–16 pp.

Correia, A. V. e Oliveira, A. C., 2002. Principais espécies florestais com interesse para Portugal. Zonas de influência mediterrânica (2º Edição). Estudos e Informação n.º 318. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 119 p.

Corticeira Amorim, 2015. A cortiça – Floresta com futuro. Disponível em <http://www.amorim.com/a-cortica/localizacao-do-montado/>. (Acedido a 28 de Janeiro de 2015).

Costa, A., Madeira, M. e Oliveira, Â.C., 2008. The relationship between cork oak growth patterns and soil, slope and drainage in a cork oak woodland in Southern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 255(5-6), pp.1525–1535.

Costa, A. e Pereira, C. 2007a. Manual de Instalação de Novos Povoamentos com Sobreiro. Aplicação de Boas Práticas nas Regiões da Chamusca e de Alcácer do Sal. Lisboa: ISA, ERENA, ANSUB, ACHAR.

Costa, A. e Pereira, H., 2007b. O sobreiro, essa dádiva da natureza. J. S. Silva (Ed.) *Árvores e Florestas de Portugal - Os Montados*. Muito para além das árvores, pp.15 – 113. Público, Comunicação Social, S.A. e Fundação Luso-Americana para o desenvolvimento.

Davis, K. P., 1966. *Forest management: regulation and valuation* (2º edition). McGraw-Hill Book Company, New York. 519 pp.

Decreto-Lei nº172/88 de 16 de Maio. Diário da República nº133/88 – 1º Série. Ministério da Agricultura Pescas e Alimentação.

Drew, T. J. e Flewelling, J. W., 1979. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science*, 25(3). 518-532 pp.

DGDR (Direção-Geral de Desenvolvimento Rural), 2000. O Sobreiro e a Cortiça. Um Património Universal uma Herança a conservar. Lisboa: Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas; Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural; Direcção-Geral de Desenvolvimento Rural.

Fonseca, T. F., 2009. *Modelação de Recursos Florestais*. Vila Real.

González-García, S., Dias, A.C. e Arroja, L., 2013. Life-cycle assessment of typical Portuguese cork oak woodlands. *The Science of the total environment*, 452, 355–364 pp.

Hidalgo, P. J., Marín, J. M., Quijada, J. e Moreira, J. M., 2008. A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: A suitable tool for reforestation. *Forest Ecology and Management*, 255(1), 25–34pp.

Hutchinson, G.E., 1953. The concept of pattern in ecology. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1–12 pp.

ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas), 2013. IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares. [pdf], 34 pp. Lisboa. Disponível em <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/ifn6-res-prelimv1-1> (Acedido em 3 de setembro de 2014).

ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas), 2014. Programa Operacional de Sanidade Florestal. Disponível em <http://www.icnf.pt/portal/florestas/prag-doe/resource/doc/posf/posf>. (Acedido a 3 de setembro de 2014).

Jack, S., B. e Long, J., N., 1996. Linkages between silviculture and ecology: an analysis of density management diagrams. *Forest Ecology and Management*, 86(1), 205–220 pp.

Keeney, R. e Raiffa, H., 1976. *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press.

Luis, J. F. S. e Fonseca, T. F., 2004. The allometric model in the stand density management of *Pinus pinaster* Ait. in Portugal. *Annals of Forest Science*, 61(8), 807-814 pp.

Loureiro, A., 1994. *Apontamentos de Silvicultura Especial*, Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Long, J. N., 1985. A practical approach to density management. *The Forestry Chronicle*. 61(1), 23-27 pp.

Long, J. N., McCarter, J. B. e Jack, S. B., 1988. A modified density management diagram for coastal Douglas fir. *Western Journal Applied Forestry*, 3. 88-89 pp.

Long, J. N. e Shaw, J. D., 2005. A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands. *Western Journal Applied Forestry* 20(4), 205-215 pp.

Marques, H., 1988. A pastagem e a regeneração natural do montado de sobre. Cortiça. Lisboa: Instituto dos Produtos Florestais. 118 pp.

McCarter, J. B., e Long, J. N., 1986. A lodgepole pine density management diagram. *Western Journal Applied Forestry* 1(1), 6-11 pp.

Montero, G., 1987. Modelos para cuantificar la producción de corcho en alcomocales (*Quercus suber* L.) en funcion de la calidad de estación y los tratamientos selvícolas., INIA, Madrid. Ph.D. Thesis. 277 pp.

Natividade, J. Vieira, 1950. Subericultura. Ministério da Economia. Lisboa: Direção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas.

Newton, P. F. e Weetman, G. F., 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *The Forestry Chronicle*, 70(1). 65-74 pp.

Newton, P.F., 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management*, 98(3), 251–265 pp.

Oliveira, Â.M.M.C., 1984. Teoria da Produção Florestal. Lisboa: Centro de Estudos Florestais Instituto Superior de Agronomia. 493 pp.

Oliveira, A. M. M. C., Ferreira, M. C., 1986. A regeneração natural em montados de sobre – *In* 1º Encontro sobre Montados de Sobre e Azinho. Évora.

Pardé, J. e Bouchon, J., 1988. Dendrométrie. Ecole Nationale du génie rural, des Eaux et Forêts.

Pereira, J.S., Correia, A. V., Correia, A. C., Ferreira, M. T., Onofre, N., Freitas, H. e Godinho, F., 2006. Florestas e Biodiversidade. *In* F. D. Santos e P. Miranda, (Eds.) Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II. Lisboa: Gradiva. 301–343 pp.

Pereira, J.S., Bugalho, M.N. e Caldeira, M. da C., 2008. Do Sobreiro à cortiça - Um sistema sustentável. Santa Maria de Lamas: APCOR. 40 pp.

Pereira, P., Úbeda, X., Martín, D., Mataix-Solera, J. e Guerrero, C., 2011. Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (*Quercus suber*) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. *Environmental research*, 111(2), 237–247 pp.

Pretzsch, H., 2010. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Springer Berlin Heidelberg.

Quercus, 2014. A Importância dos Montados de Sobreiro em Portugal. Disponível em <http://www.quercus.pt/artigos-floresta/2411-a-importancia-dos-montados-de-sobreiro-em-portugal>. Acedido a 15 de janeiro de 2014.

Reineke L.H., 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forests. *Journal of Agricultural Research*, 46, 627–639 pp.

Ribeiro, N. M. C. de A., 2006. Modelação do crescimento da árvore em povoamentos de sobreiro (*Quercus suber* L.). Desenvolvimento de modelo de crescimento espacial parametrizado para a região de Coruche. Universidade de Évora. Tese de Doutoramento.

Ribeiro, J.R.D.P., 2013. Modelação do crescimento do Pinheiro-Manso e sua Aplicabilidade a Nível da Paisagem - Aplicação à região da margem esquerda do Guadiana. Universidade de Évora. Tese de Doutoramento.

Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J. e Gabarrell, X., 2012. Environmental analysis of raw cork extraction in cork oak forests in southern Europe (Catalonia--Spain). *Journal of Environmental Management*, 110, 236–45 pp.

Rodrigues, J.F., 1988. O Montado de Sobreiro: Cultura e Exploração. Cortiça. Instituto dos Produtos Florestais, 118 pp.

Sánchez-González, M., del Río, M., Cañellas, I., e Montero, G., 2006. Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. *Forest Ecology and Management*, 225(1), 262–270 pp.

Shaw, J. D., 2006. Reineke's Stand Density Index: Where are we and where do we go from here? Proceedings: Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Ft. Worth, TX. [published on CD-ROM]: Society of American Foresters, Bethesda, MD.

Smith, N. J., 1989. A stand-density control diagram for Western Red Cedar, *Thuja plicata*. Forest Ecology Management, 27(3-4), 235-244 pp.

Sousa, E., Santos, M.N., Varela, C. e Henriques, J. (2007). Perda de vigor dos montados de sobre e azinho: Análise da situação e perspectivas. Lisboa: Estação Florestal Nacional. 79 pp.

Souza, E.L. da S., 2012. Estado Fitossanitário do Montado de Sobre. Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado.

Sturtevant, B. R., Bissonette, J. A. e Long, J. N., 1996. Temporal and spatial dynamics of boreal forest structure in Western Newfoundland: silvicultural implications for marten habitat management. Forest Ecology and Management 87(1), 13-25 pp.

Vacchiano, G., Motta, R., Long, J., N. e Shaw, J., D., 2008. A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. Forest Ecology and Management, 255(7), 2542–2554 pp.

Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. e Hozumi, K., 1963. Self-Thinning in overcrowded pure stands cultivated and natural conditions. Journal of Biology. Osaka City University, 14, 107-129 pp.

Zeide, B., 1985. How much space does a seedling need? Forest Ecology and Management, 11. 225-229 pp.

Zeide, B., 1987. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. Forest Science, 33. 51-537 pp.

Zhang, J.; Oliver, W., W., Powers, R., F., 2013. Reevaluating the self-thinning boundary line for ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) forests. Canadian Journal of Forest Research, 43 (10). 963-971 pp.