

**Regeneração artificial de sobreiro (*Quercus suber* L.):
efeito do ensombramento na sobrevivência e
crescimento de plantas jovens**

Mariana Picareta Vaz Palma

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientadores: Professora Maria da Conceição Caldeira
Professor Miguel Nuno Bugalho

Júri:

Presidente: Doutora, Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor, Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor, Xavier Lecomte, Investigador Júnior do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

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

Resumo

Este trabalho centra-se no estudo do efeito do ensombramento na sobrevivência e crescimento de plantas jovens de sobreiro (*Quercus suber L.*), visando alcançar melhores resultados na regeneração, artificial ou assistida. O estudo teve lugar na Companhia das Lezírias, na zona do Catapereiro, Santarém, Portugal. Foram plantadas 300 árvores com 6 meses de idade, em março de 2020, distribuídas por 5 blocos, ou seja, 30 plantas por bloco. Destas 30, 15 receberam tratamento de sombra (rede de ensombramento) e outras 15 foram mantidas como grupo-controlo. Foram colocados perto das plantas sensores de medição de temperatura e humidade relativa em parte das árvores jovens durante períodos definidos. Em março foram recolhidos os dados iniciais do estudo, e em julho, outubro e novembro de 2020 foram recolhidos dados referentes à sobrevivência e crescimento, nomeadamente altura apical (cm) e diâmetro basal (mm). Em maio de 2021 foi realizada uma medição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Embora a taxa de mortalidade geral tenha sido superior ao expectável (78%), o grupo de plantas que sofreu tratamento de sombra teve melhor sobrevivência (+6%) e maior crescimento em altura apical (0,09 mm), não sendo as diferenças significativas.

Palavras-chave: seca, plântula, stress luminoso, clima mediterrâneo

Abstract

This work aimed to study the effects of shading on the survival and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings, in their first growing period, aiming to achieve better results in artificial or assisted regeneration. The study was conducted in Companhia das Lezírias, in the Catapereiro, Santarém, Portugal. Three hundred 6-month-old trees were planted in March 2020, distributed in 5 different blocks, totaling 30 plants per block. Of these 30, 15 received a shadow (shade net) treatment and 15 were not shaded (control). Sensors were placed near the plants for measuring temperature and relative humidity. In March, the baseline data for the study were collected, and in July, October and November 2020, data regarding on survival and growth, i.e., height (cm), basal diameter (mm), were collected. In May 2021 measurements of Photosynthetic Active Radiation were performed. Although cork oak mortality rate was higher than expected (78%), the group of plants that underwent shade treatment had higher survival (+6%) and height growth (+0,09 mm) than non-shaded plants, the differences not being significant.

Keywords: drought, seedling, light stress, Mediterranean climate

Agradecimentos

À Professora Maria da Conceição Caldeira e ao Professor Miguel Bugalho por terem partilhado o seu conhecimento comigo.

À Companhia das Lezírias e ao Eng^o Rui Alves pela disponibilidade mostrada.

Ao Sr. Joaquim Mendes pelo apoio na instalação e nas medições de campo.

Aos meus pais, por patrocinarem os meus objetivos, pela paciência, pelo rigor que me inculcaram, pela educação e oportunidades proporcionadas, pelos sacrifícios por mim feitos.

À minha família, em especial aos meus avós, pela educação, carinho e por me acompanharem durante toda a minha vida. Aos meus tios pelo amparo e aos meus primos e irmã pelo companheirismo.

Ao meu namorado, João, por me orientar num caminho já por ele trilhado, pela paciência e por me incentivar a seguir sempre o meu propósito. Pela cumplicidade e por todo o amor.

À Teresa Rafael pela paciência, ajuda e amizade.

Ao Nuno pela partilha, pela amizade, por estar presente.

Aos meus colegas do ISA, que me receberam de braços abertos e me proporcionaram grandes momentos de diversão, de companheirismo, mas também de estudo e aprendizagem.

Dedicatória

Para a Maria José Nazaré Morais Frutuoso

Para ti amiga,

Que partiste demasiado cedo,

Que já não estás aqui, bem ao meu lado, para podermos celebrar mais esta vitória
juntas,

E que, apesar de seres feliz tal como eras, gostavas de, em parte, ter seguido um
percurso similar ao meu.

Eu e tu seremos amigas para sempre Maria José.

Mariana, a amiga alentejana

Índice

1. Introdução	9
2. Estado de Arte	13
2.1 Clima mediterrânico	13
2.2 Sobreiro e o seu funcionamento	14
2.3 Efeitos do ensombramento na sobrevivência e crescimento de plântulas de sobreiro	18
3. Materiais e Métodos	21
3.1 Área de estudo	21
3.2 Delineamento Experimental	21
3.3 Dados Meteorológicos	22
3.4 Monitorização das condições ambientais.....	22
3.5 Medição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR)	22
3.6 Medição de parâmetros de sobrevivência.....	23
3.7 Medição de parâmetros de crescimento	23
3.8 Análise estatística.....	24
4. Resultados	26
4.1 Dados Meteorológicos	26
4.2 PAR.....	26
4.3 Temperatura e humidade do ar nos tratamentos com e sem sombra	27
4.4 Sobrevivência	28
4.4.1 Análise de Sobrevivência de Cox.....	28
4.4.2 Influência da altura apical inicial na sobrevivência	31
4.5 Crescimento	32
4.5.1 Altura apical.....	32
4.5.2 Diâmetro basal.....	33
4.5.3 Taxa de Crescimento.....	34
5. Discussão	36
5.1 Proteção contra condições microclimáticas	36

5.2	Sobrevivência	38
5.3	Crescimento	40
5.4	Regeneração.....	41
6.	Conclusões e recomendações	43
7.	Referências Bibliográficas	44

Índice de Quadros

Quadro 1 - Valores mínimos, médios, máximos e desvio-padrão da T e HR.....	27
Quadro 2 - Regressão de Cox para a sobrevivência das plantas sujeitas ao tratamento sombra e sem sombra (tratamento) e efeito da altura das plantas no início do ensaio, em março (alt_inicial).....	28
Quadro 3 - Taxa relativa de crescimento (média±erro padrão) referente à altura apical e diâmetro basal para cada tratamento.....	35

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama ombrotérmico de Gaussen para o local de estudo	26
Figura 2 - Valores médios ± erro padrão de T e HR registados pelos sensores iButton para o dia 28/08/2020 para o tratamento de sombra e sem sombra	28
Figura 3 - Análise de sobrevivência de Cox.....	29
Figura 4 – Percentagem ± erro padrão de plantas mortas por tratamento em novembro, no final do ensaio	30
Figura 5 - Número de plantas ± erro padrão que sobreviveram em cada mês, por tratamento	31
Figura 6 - Altura apical inicial média ± erro padrão das plantas em março que em novembro se encontravam vivas ou mortas, por tratamento.....	31
Figura 7 - Altura apical média ± erro padrão nos dois tratamentos em novembro, no final do ensaio	32
Figura 8 - Altura apical média ± erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em três meses ao longo do período do ensaio.....	33
Figura 9 - Diâmetro basal médio ± erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em novembro, final do ensaio.....	33
Figura 10 - Diâmetro basal média ± erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em março e novembro.....	34

Lista de Abreviaturas

HR – Humidade Relativa (%)

T– Temperatura do Ar (°C)

PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa (mol/m²/s)

CL – Companhia das Lezírias

1. Introdução

O montado é um sistema agro-silvo-pastoril (Guimarães et al., 2019) caracterizado por baixa a média densidade (entre 40 a 120 árvores por hectare) de árvores de espécies como o sobreiro (*Quercus suber* L.) e a azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.), com um subcoberto em mosaico constituído por espécies arbustivas, herbáceas, pastagens para gado e/ou culturas agrícolas (Guimarães et al., 2018). No montado de sobreiro, a espécie arbórea prevalente é o sobreiro (*Quercus suber* L.). O sobreiro é uma espécie endémica do Oeste da Bacia Mediterrânica, cobrindo uma área de cerca de 2,2 milhões de hectares nesta região (Camilo-Alves et al., 2020).

Em Portugal continental, o montado de sobreiro concentra-se principalmente na região sul do país, zona que tem uma forte influência do clima mediterrânico. De acordo com o último Inventário Florestal Nacional (ICNF, 2015), o montado de sobreiro representa 22,3% da totalidade da área florestal do país, o que equivale a 719,9 mil ha.

Em Portugal, o montado tem uma grande importância a nível económico, social e de conservação (Bugalho et al., 2011). Além disso, fornece um conjunto de importantes serviços do ecossistema como a fixação do carbono, a purificação da água e regulação do ciclo hidrológico, a prevenção da erosão do solo gerando ainda habitat para diversas espécies de fauna e flora com interesse de conservação (Pinto-Correia et al., 2013).

De acordo com a classificação europeia proposta pela Agência Europeia do Ambiente, o montado é considerado um Sistema Agrícola de Alto Valor Natural (Simões et al., 2016). Para além disso, desde 2011 que o sobreiro foi consagrado, por unanimidade da Assembleia da República, a Árvore Nacional de Portugal (Amorim Cork Composites, 2020).

A característica mais marcante do sobreiro é a presença no tronco e ramos de felogénio, um meristema secundário que origina uma “casca” espessa formada principalmente por suberina (Natividade, 1950), vulgarmente designada por cortiça. A cortiça é um material compacto, elástico e impermeável, composto por células mortas com ar aprisionado e com funções isolantes térmicas (Pereira, 2007).

A cortiça é o principal produto do montado. Portugal detém 49% da produção mundial de cortiça, sendo líder mundial na produção, transformação e comercialização de cortiça (APCOR, 2019). Cerca de 72% da produção de cortiça é empregue no fabrico de rolhas, mas também pode ser utilizada em materiais de pavimentação, isolamento, decoração, roupas e acessórios (Bugalho et al., 2011). A importância económica da cortiça tem vindo a aumentar progressivamente. Como consequência, o montado de sobro tendeu a modificar-se, gradualmente, em alguns casos transformando-se em sistemas monofuncionais e com um maior grau de intensificação, geridos essencialmente para aumentar a produtividade da cortiça (Costa & Pereira, 2007). Esta intensificação tem levado a práticas culturais inadequadas como a limpeza excessiva do mato, poda excessiva e a tirada excessiva de cortiça, que acarretam consequentemente enfraquecimento dos sobreiros e à falta de regeneração natural.

Neste contexto, torna-se de extrema importância a determinação dos locais e condições que permitirão um crescimento mais rápido e saudável dos sobreiros, o que proporcionará a obtenção de uma maior produtividade da cortiça. Estas melhores condições estarão, em muitos casos, relacionadas com parâmetros locais, nomeadamente edáficos e climáticos (Carrilho, 2019). Além disso, também a bolota, fruto do sobreiro, tem valor económico. É utilizada sobretudo na alimentação de gado, tal como é o caso na Espanha para a alimentação de porcos pretos ibéricos (Vargas et al., 2013; Bugalho et al. 2011). (Bugalho et al., 2011).

Apesar da relevância deste sistema, desde o início do século XX que existem referências ao declínio do montado em algumas áreas de Portugal (Castel-Branco, 2014). Hoje, a distribuição espacial e a densidade das árvores no montado, nomeadamente o sobreiro, estão em decréscimo em várias partes da Bacia Mediterrânica, incluindo Portugal (Bugalho et al., 2011). Extensas áreas a sul do Tejo que outrora apresentavam densidades na ordem das 120 árvores/ha estão hoje classificadas com densidades inferiores a 40 árvores/ha (Pinto-Correia et al., 2013).

Depois de fortes mudanças socioeconómicas, nos anos 60 e 70, originadas pela industrialização, emigração e abertura de novos mercados internacionais, muitas das formas tradicionais de uso da terra foram total ou parcialmente perdidas e os montados de sobro passaram por um duplo processo de abandono e intensificação (Simões et al., 2016), que conduziram consequentemente à invasão por arbustos e a problemas de regeneração. Se por um lado, estas mudanças levaram ao êxodo rural e ao consequente abandono das terras agrícolas e do montado (Pinto-Correia, 2000),

por outro, pastagens em extensivo altamente diversificadas onde outrora pastavam ovinos e se produzia porco ibérico foram substituídas por produções agrícolas e agropecuárias intensivas (Simões et al., 2016). A decrescente diversidade no uso da terra teve um importante impacto na estrutura e na dinâmica da vegetação e afetou vários processos associados à regeneração do montado (Moreno & Pulido, 2008; Simões et al., 2016). Hoje, a mortalidade e reduzida regeneração natural do sobreiro ameaça a sustentabilidade a médio-longo prazo do montado (Caldeira et al., 2014).

Atualmente, a diminuição da regeneração natural e a mortalidade dos sobreiros são considerados eventos complexos que envolvem a combinação de vários fatores, sendo a seca um dos principais (Camilo-Alves et al., 2020). Muito embora o sobreiro, espécie esclerófila, possua adaptações morfológicas, fisiológicas e anatômicas (David et al., 2013) que lhe permite sobreviver a um longo período estival, a diminuição da regeneração natural e o aumento da mortalidade das árvores adultas têm sido associados também a decréscimos de disponibilidade de água e maiores períodos de seca. É importante ter presente que, em ambiente Mediterrânico, as restrições hídricas são a principal limitação à sobrevivência e produtividade das árvores e, devido às alterações climáticas, é previsível um aumento da incidência de episódios de seca extrema, potenciadores de stress hídrico e consequente mortalidade (David et al., 2017).

O fenómeno de stress hídrico ocorre quando o balanço entre a perda de água pelas folhas (transpiração) e por evaporação direta (evapotranspiração), e a quantidade de água absorvida pelas raízes é negativo (Rzigui et al., 2018). Este fenómeno compromete as funções vitais ou estimula reações adaptativas (por exemplo encerramento dos estomas, diminuição do tamanho folhas, maior desenvolvimento do sistema radicular) que permitam a sobrevivência das plantas durante períodos longos de stress hídrico (Camilo-Alves et al., 2020).

Segundo alguns autores, é possível reduzir a mortalidade de plantas jovens de sobreiro durante o primeiro ano através de técnicas que reduzam o impacto da deficiência hídrica e do excesso de radiação (Correia et al., 2015). Contudo, estudos anteriores são ambíguos no que diz respeito à influência da disponibilidade de luz no desempenho da sobrevivência e crescimento de *Quercus* spp. (por exemplo, Březina & Dobrovolný, 2011; Ligot et al., 2013). Além disso, devido ao fenómeno das alterações climáticas, fatores ambientais como a temperatura, precipitação e qualidade e intensidade da radiação estão a alterar-se globalmente, o que promoveu um maior

interesse na capacidade de adaptação da vegetação a condições limitantes (Niinemets & Valladares, 2004; Vaz et al., 2011). O aumento da mortalidade em árvores adultas e diminuição do sucesso da regeneração conduz à necessidade de recorrer a práticas de regeneração artificial ou regeneração natural assistida. No processo de regeneração artificial existe intervenção do homem através da plantação de plantas produzidas em viveiro florestal que posteriormente são transferidas para campo, ou por sementeira *in situ*, quando são depositadas as sementes diretamente na área. No processo de regeneração natural assistida são utilizados métodos de regeneração natural e artificialmente auxilia-se a sobrevivência e crescimento das jovens plantas (e.g. colocação de tutores, colocação de abrigos, colocação de proteção contra predação). Por isso, há necessidade de abordar este tema.

O presente trabalho tem como objetivo principal estudar o efeito do ensombramento na sobrevivência e crescimento de plantas jovens de sobreiro (*Quercus suber L.*), para assim entender de que modo é possível promover a regeneração artificial ou assistida desta espécie. Assim, foram medidas plantas jovens de sobreiro num ensaio instalado na Companhia das Lezírias, Portugal. Estas plantas foram sujeitas a tratamentos com sombra e sem sombra entre março e novembro de 2020, ou seja, durante o período de menor precipitação e mais crítico em zonas de clima mediterrâneo.

Este trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos. O capítulo 2, o estado de arte, tem como objetivo contextualizar e sintetizar a informação existente sobre o montado e o sobreiro, e o seu funcionamento, nomeadamente os processos de transpiração e fotossintéticos assim como os efeitos do ensombramento em plântulas de sobreiro e outros carvalhos. No capítulo 3 estão descritos os materiais e métodos utilizados na implementação do ensaio e na recolha e análise dos dados. No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos neste estudo. No capítulo 5 faz-se a discussão dos resultados. Finalmente, o capítulo 6 apresentam-se as conclusões principais e sugerem-se algumas recomendações para futuras investigações.

2. Estado de Arte

2.1 Clima mediterrânico

O clima mediterrânico é caracterizado por verões quentes e secos e invernos frios e amenos e húmidos. A precipitação concentra-se no período de inverno e pode ser bastante rara ou totalmente inexistente durante os meses de verão (Paine & Lieutier, 2016) sendo, por isso, o acesso aos recursos hídricos uma das principais limitações no crescimento e sobrevivência das plantas nestas regiões (David et al., 2016).

O termo clima mediterrâneo aplica-se não só à própria região mediterrânea, situada em redor do Mar Mediterrâneo, mas também a outras regiões do mundo, como a Califórnia, Chile, África do Sul ou o Sudoeste da Austrália, geralmente localizadas na faixa latitudinal 30°- 40° (García-Herrera & Barriopedro, 2020).

As condições climáticas do Mediterrâneo são únicas e geradas por um conjunto específico de características geográficas. A Bacia Mediterrânica, que envolve o Mar Mediterrâneo, encontra-se limitada a norte pela Europa, a este pela Ásia e a sul por África, cobrindo uma área de aproximadamente 2,5 milhões de km², entre 30° S a 46° N de latitude e 6° W a 36° E de longitude. Assim, pequenas mudanças no percurso de tempestades no Oceano Atlântico, a variabilidade do ramo descendente norte da célula Hadley (modelo de circulação fechada da atmosfera terrestre predominante nas latitudes equatoriais e tropicais), frentes frias siberianas no inverno e monções indianas no verão podem levar a mudanças drásticas na precipitação. Todos estes fatores de grande escala são modulados pela orografia complexa da região, o albedo contrastante e a humidade e o calor fornecidos pelo Mar Mediterrâneo. As interações que ocorrem entre todos esses fatores levam a um quadro complexo com alguns fenómenos relevantes característicos da região mediterrânica, como ondas de calor e secas, intrusões de poeiras do Saara ou tipos específicos de ciclogénese (processos que conduzem à formação de ciclones) (García-Herrera & Barriopedro, 2020).

A região é geralmente caracterizada como um *hotspot* de alterações climáticas, considerando-se uma das áreas do globo com probabilidade de sofrer mudanças climáticas pronunciadas (Giorgi, 2006).

Estudos anteriores indicam que na Península Ibérica as temperaturas médias do ar aumentaram entre 0,3 e 0,7 °C/década em Espanha e 0,4 °C/década no Sul de

Portugal nos últimos anos (IPCC, 2018). Na Califórnia, um dos outros locais no mundo com clima mediterrâneo, as temperaturas aumentaram a um ritmo de 0,15 °C/década e a radiação solar aumentou em 8 W/m² no período 1991-2011, o que representa um aumento de 4% na energia total recebida através da radiação. Este incremento no *input* de energia solar, associado ao aumento da temperatura, resultou numa subida de 0,12 mm/dia/década na evapotranspiração calculada pela equação de Penman-Monteith (Allen, R.G. et al., 1998), o que representa um aumento de 7,2% entre 1991 e 2011. Estes valores estão de acordo com a tendência de aumento da temperatura do ar verificada em Portugal e Espanha (Shahidian et al., 2013).

2.2 Sobreiro e o seu funcionamento

O sobreiro (*Quercus suber L*), também comumente chamado sobreira ou chaparro, é uma árvore perene, pertence ao género *Quercus*, família Fagaceae, ordem Fagales (von Essen et al., 2019).

Os sobreiros, nativos de regiões com verões quentes e secos, são árvores naturalmente adaptadas à *secura* estival do clima Mediterrânico, conseguindo sobreviver a condições ambientais adversas (Aronson et al., 2009). Apesar de estas condições causarem impacto no seu crescimento (Pereira, 2007), a resistência e recuperação após seca prolongada, ocorrência de incêndios e descortiçamento são exemplos da resiliência da espécie. A espécie é igualmente muito resistente ao ensombramento, crescendo melhor enquanto jovem sob o copado de árvores adultas (Aronson et al., 2009).

O sobreiro é uma árvore de porte médio caracterizada por uma elevada longevidade (250 a 350 anos) (Aronson et al., 2009). Apesar do seu crescimento ser lento, perante as condições adequadas pode atingir na fase adulta uma altura entre os 15 e 25 metros (Castel-Branco, 2014). Não é muito exigente no que toca ao tipo de solo, preferindo, no entanto, solos de textura leve, profundos e permeáveis que permitam um bom arejamento e expansão radicular, com pH entre 4,5 e 7,5, situando-se o pH ideal entre 5,5 e 7,0 (Costa & Pereira, 2007; Ribeiro et al., 2006). Solos delgados, com elevada densidade, encharcamento prolongado ou solos em que a rocha subjacente está pouco fraturada, condicionam o enraizamento saudável (David, 2014). Prefere regiões com valores médios de precipitação anual entre 600-800 mm e temperatura média entre 15-19 °C (Pereira, 2007). No entanto, consegue sobreviver com valores

médios de precipitação abaixo de 400 mm (Pereira, 2007) e suportar temperaturas superiores a 40°C e inferiores a -10°C sem sofrer danos graves, graças à sua capacidade de redução do metabolismo (Costa & Pereira, 2007; Kaltenbach, 2007; Toledo Ribas, 2011).

O sistema radicular do sobreiro é dimórfico. Isto é, por um lado, há uma extensa e densa rede de raízes superficiais, ligadas a raízes profundantes (de desenvolvimento vertical), que se destina, fundamentalmente, a captar a água das camadas mais superficiais do solo nos meses de maior precipitação (Pinto-Correia et al., 2013). A pouca profundidade a que se encontra este subsistema de raízes torna-o muito suscetível a danos resultantes de práticas agrícolas que envolvem a mobilização do solo por maquinaria pesada ou a compactação do solo resultante do pisoteio pelos animais (Carrilho, 2019). Por outro lado, o sobreiro possui uma raiz principal (pivotante) ramificada, em profundidade, num conjunto de raízes pouco lenhificadas e filamentosas. Estas raízes mais profundas alcançam o lençol freático, chegando a 5,5 m de profundidade (Carrilho, 2019).

A redistribuição hídrica da água entre zonas de diferente potencial hídrico pela raiz do sobreiro, principalmente no verão, através da elevação hidráulica (redistribuição da água do solo profundo e saturado para o solo mais superficial) é também um importante serviço prestado pelas raízes do sobreiro, pois permite a disponibilidade de água às raízes finas e superficiais, aumentando a sua longevidade, e facilitando também a absorção de nutrientes do solo (David, 2014).

O sobreiro é também uma espécie esclerófila, apresentando folhas rígidas, de pequena dimensão, com uma cutícula espessa, o que lhe permite reduzir as perdas de água por transpiração, já que estas folhas são mais eficientes do que folhas grandes na redução das perdas de água por unidade de massa de carbono assimilada (Pinto-Correia et al., 2013). O sobreiro possui outras adaptações que lhe permitem diminuir a perda de água, como, por exemplo, o fecho dos estomas, perda ou inibição do crescimento das folhas e ainda mudanças de condução hídrica no interior da planta (Pinto, 2013). Estas adaptações permitem à espécie manter, dentro de certos limites, um equilíbrio entre a água perdida pelas folhas e a água captada pelas raízes (David, 2014). No entanto, os mecanismos de poupança de água ao nível das folhas como o fecho dos estomas, implicam o risco de se limitar o arrefecimento das mesmas e a assimilação de CO₂. A planta está assim mais vulnerável aos danos provocados pelo excesso de radiação durante o Verão (Pinto-Correia et al., 2013).

O sobreiro dá início ao seu crescimento vegetativo usualmente no princípio da primavera, sendo interrompido quando a secura estival se acentua. Durante este período ocorre o desenvolvimento dos gomos, abrolhamento, alongamento dos rebentos, senescência foliar e crescimento do tronco (Lobo-do-Vale et al., 2019). A floração ocorre entre março e junho e o aparecimento e maturação dos frutos de julho a dezembro (Varela & Valdivieso, 1996).

Tal como a generalidade das espécies, o sobreiro cresce quando as condições ambientais são mais favoráveis e, por isso, desenvolve-se geralmente de forma mais intensa na primavera, podendo também crescer no outono, mas em menor escala. Esta sazonalidade resulta da disponibilidade de água e da ocorrência de temperaturas favoráveis ao crescimento (Kurz-Besson et al., 2014). Na primavera, a elevada radiação solar, o aumento das temperaturas médias favoráveis ao crescimento e a água ainda disponível no solo permitem que o sobreiro tenha condições ideais para a assimilação de carbono e crescimento (Oliveira & Costa, 2012). Por oposição, as condições ambientais mais adversas ao crescimento são verificadas no verão (Lempereur et al., 2017; Niinemets, 2010), com elevadas temperaturas, elevada radiação solar e praticamente inexistência de precipitação, o que leva à conseqüente reduzida disponibilidade de água para as plantas (David et al., 2013). Estas condições são ainda mais preponderantes quando se trata, não de um sobreiro adulto, mas sim de plântulas de sobreiro e do seu crescimento/sobrevivência.

Durante o verão, o sobreiro evita a desidratação severa através de um forte controlo estomático (Aronson et al., 2009). Perante as condições estivais mediterrânicas, o sobreiro promove, inicialmente, o seu arrefecimento através da transpiração pela abertura dos estomas (Aronson et al., 2009). Desta forma, existe simultaneamente assimilação de carbono necessária ao seu funcionamento e desenvolvimento. No entanto, à medida que a disponibilidade de água no solo diminui e a temperatura e radiação aumentam, procede gradualmente ao fecho dos estomas das folhas para limitar as perdas de água por transpiração (Kurz-Besson et al., 2006), mas limitando a assimilação de carbono, i. e., a fotossíntese.

Os sobreiros, tal como as plantas em geral estão sujeitos aos processos de fotossíntese, fotorrespiração e fotoinibição. A fotossíntese é um processo fotoquímico que ocorre nos cloroplastos das células vegetais e inicia-se com o processo fotoquímico que diz respeito à absorção de energia solar - radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Consiste na produção de energia e fixação de

carbono proveniente da atmosfera (Lambers et al., 1998). Estudos em azinheira e sobreiro submetidos a diferentes níveis de stress hídrico (Scarascia-Mugnozza et al., 1996) sugerem que embora o fecho estomático explique a maior parte da variação na assimilação de carbono ao longo do verão, há uma diminuição no rendimento fotoquímico do FSII (complexo responsável pela produção de oxigênio molecular através da energia da luz) como resultado do excesso de luz solar interceptada (Faria et al., 1996). Isto, justamente, quando a fotossíntese é limitada pelo fecho estomático devido ao alto déficit de humidade relativa e/ou água no solo.

Por sua vez, a fotorrespiração é um processo que compete com a fotossíntese. Ocorre igualmente na presença de luz, no entanto consome O_2 e liberta CO_2 , originando perdas de produtividade e, em última análise contribuindo para a mortalidade, especialmente nas espécies C3, tal como o sobreiro, quando sujeitas a temperaturas elevadas e stress hídrico (Taiz et al., 2012).

Já a fotoinibição é um fenómeno que ocorre perante altos níveis de radiação e stress hídrico, durante o qual as folhas absorvem mais energia luminosa do que a usada na fotossíntese. Há uma destruição fotooxidativa do aparelho fotossintético caracterizada por uma redução na eficiência do uso da luz. A fotoinibição crónica acontece quando planta não tem a capacidade de recuperar a sua eficiência fotossintética, causando uma diminuição na fotossíntese e crescimento (Osmond, 1994).

Os défices hídricos estivais no clima mediterrânico estão geralmente associados a altas temperaturas do ar e radiação elevada, as quais induzem a ocorrência dos processos de fotorrespiração e fotoinibição, contribuindo deste modo para o decréscimo da atividade fotossintética durante o período estival (Faria et al., 1996; García-Plazaola et al., 1997). Face à vigência destas condições ambientais limitantes, a sobrevivência das plantas depende marcadamente da respetiva capacidade de assimilar carbono e de, simultaneamente, reduzir as perdas de água por transpiração.

A transpiração é a força motriz para a transferência de água e, de acordo com a teoria da tensão-coesão (Angeles et al., 2004) desloca a água do solo para as folhas. O fluxo de água no *continuum* solo-planta resulta de um gradiente de potencial hídrico entre o sistema solo-raiz e as folhas. O potencial hídrico da folha diminui à medida que a evaporação (evapotranspiração potencial) aumenta e também à medida que o solo seca. Enquanto a água existente no solo for suficiente para compensar a

evapotranspiração, o fluxo de água ao longo do *continuum* solo-árvore-atmosfera mantém-se e não ocorre regulação negativa.

Por um lado, sabe-se que as perdas de água por transpiração dependem, para além das condicionantes ambientais aerodinâmicas e energéticas, da capacidade de regulação estomática, da estrutura do coberto vegetal e do índice de área foliar. Por outro lado, a capacidade da planta para absorver água, durante o período de défice hídrico, depende da existência de um sistema radicular bem desenvolvido (Tenhunen et al., 2009).

2.3 Efeitos do ensombramento na sobrevivência e crescimento de plântulas de sobreiro

O stress causado pela luz e pela seca podem co-ocorrer nas condições mediterrâneas e portanto, a sua interação deve ser considerada (Valladares & Pearcy, 1997). A tolerância à sombra é a capacidade de sobreviver e maximizar o ganho de carbono com ensombramento, por exemplo sob o coberto de uma árvore (Spurr & Barnes, 1997). Assim, a classificação das espécies pela tolerância à sombra deve ser baseada nas taxas de sobrevivência e/ou na assimilação de carbono líquido, promotora do crescimento. A importância da tolerância à sombra na regeneração e crescimento das espécies florestais tem sido amplamente reconhecida, mas o comportamento de muitas, como o sobreiro, até há pouco tempo, continuava sem estar devidamente investigado (Cardillo & Bernal, 2006).

Avaliar as respostas de jovens plantas de sobreiro sob a combinação de diferentes intensidades de luz e as condições de seca é de grande interesse para o delineamento de estratégias de regeneração em diferentes locais. A combinação destes dois fatores pode ajudar a explicar a diferenciação de nicho ecológicos entre espécies (Kollmann & Grubb, 1999; Sack & Grubb, 2002), prever o seu desempenho em diferentes condições microclimáticas (Sack & Grubb, 2002) e definir padrões de recrutamento, evento no qual a sobrevivência é elevada e o tamanho (e.g., diâmetro ou altura) de uma árvore alcança uma dimensão mínima de medição (Rossi et al., 2007).

A interação entre stress luminoso e hídrico pode refletir-se num compromisso entre padrões contraditórios de resposta morfológica e fisiológica das jovens plantas. Pode-se, por isso, hipotetizar que a combinação de efeitos de irradiância e água são

caracterizados por uma troca (*trade-off*) entre tolerância à seca e tolerância à sombra - hipótese de troca. A tolerância a condições de pouca luz e baixa humidade são interdependentes e inversamente correlacionadas: as adaptações que permitem que uma planta cresça em níveis baixos de luz restringem sua capacidade de sobreviver em condições de seca. Por outro lado, as adaptações que permitem a sobrevivência em condições secas reduzem a capacidade da planta de crescer com pouca luz. Assim, nenhuma planta lenhosa pode ter simultaneamente uma alta tolerância para baixos níveis de ambos os recursos (Smith & Huston, 1989; Niinemets & Valladares, 2004). De acordo com esta hipótese, a seca deve ter um impacto mais forte na sombra do que em ambientes com elevada radiação, pois as plantas ensombradas investem relativamente menos em raízes e, portanto, têm menos acesso à água do solo. No entanto, há fortes evidências de que, em condições de sombra sob outras árvores ou arbustos, a seca não tem um impacto tão forte nas jovens plantas devido à melhoria das condições microclimáticas (e.g. fertilização, estrutura do solo, humidade relativa, temperatura do solo, temperatura do ar) - hipótese de facilitação (Holmgren, 2000). Todas as plantas requerem luz, água e nutrientes para sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Nesse sentido, a redução da disponibilidade de qualquer um desses recursos pode levar à redução da sobrevivência e do crescimento - hipótese de limitação de recursos (Quero et al., 2008).

À semelhança de outros carvalhos esclerófilos, como a azinheira e alguns carvalhos (Pulido, 1999; Swiecki & Bernhardt, 1998), a regeneração do sobreiro é considerada mais eficiente, ou seja com melhores taxas de sobrevivência, sob cobertura de árvores adultas do que a céu aberto (Álvarez, 2003). Um estudo sobre o comportamento de plantas de azinheira sujeitas a diferentes regimes de luz e níveis de disponibilidade de água mostrou uma maior sobrevivência e crescimento das jovens plantas mais ensombradas, particularmente quando a disponibilidade de água foi reduzida (Retana et al., 1999).

Estudos anteriores mostraram também que na regeneração natural de espécies do género *Quercus*, a utilização de “árvores-abrigo”, sob as quais as jovens plantas se possam desenvolver, é importante para o estabelecimento e sobrevivência das mesmas. A “árvore-abrigo” pode reduzir o crescimento de espécies herbáceas (Montero & Cañellas, 2003) e do sub-bosque, que pode competir por luz, água e nutrientes com as jovens plantas quercíneas. Por exemplo, a espécie de carvalho *Quercus robur* é considerada menos tolerante à sombra do que outras espécies arbóreas, como por exemplo a faia (*Fagus sylvatica*) (Newbold et al., 1983; Welander

& Ottosson, 1998), e por isso é aconselhável a utilização de uma “árvore-abrigo” com menor densidade de copa e por um período mais curto na regeneração natural de *Quercus robur* em comparação com a faia. Contudo, quando a intensidade da luz aumenta, o crescimento de espécies herbáceas e do sub-bosque concorrentes aumenta também, o que pode reduzir o crescimento das jovens plantas de sobreiro via competição interespecífica (Welander & Ottosson, 1998).

Em baixas intensidades de luz, o crescimento de vegetação competidora pode ser mais reduzido do que o crescimento do renovo de várias árvores, como mostrado por Helliwell e Harrison (1979) para jovens plantas de *Acer pseudoplatanus*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior* e *Larix kaempferi*. Em jovens plantas de carvalho-roble (*Quercus robur*) e faia com três anos de idade plantadas sob “árvores-abrigo” de várias densidades, o crescimento das plantas de *Quercus spp.* foi mais reduzido do que o crescimento das de faia quando a luminosidade diminuiu (Gemmell et al., 1996).

Para beneficiar da redução do crescimento da vegetação concorrente sob uma “árvore-abrigo” de copa densa, as jovens quercíneas devem ser capazes de crescer em condições de pouca luz. Trabalhos como os de Röhrig e Bartsch (2006) mostram que jovens plantas de carvalho podem crescer com níveis de luz baixos: a *Quercus petraea* é capaz de sobreviver por vários anos com apenas 15% da radiação total. Para um crescimento sustentável, precisa de pelo menos 20%. Nessas condições, contudo, o aumento em altura e, particularmente, o aumento em diâmetro são reduzidos para cerca de metade, assim como o metabolismo e o desenvolvimento das raízes (Březina & Dobrovolný, 2011).

Apesar de, para a generalidade das quercíneas, o que inclui o sobreiro, a taxa de crescimento ser lenta e a taxa de sobrevivência diminuir com o tempo sob condições de pouca luz (Welander & Ottosson, 1998), o crescimento e a sobrevivência existentes podem ser atribuídos aos recursos da bolota - o seu grande tamanho favorece uma tolerância relativamente elevada ao ensombramento nas fases iniciais de desenvolvimento do sobreiro. A bolota de sobreiro é a maior semente de todas as espécies de *Quercus* da Península Ibérica e uma das maiores do género, atingindo quase 6 g por semente em média (Cardillo & Bernal, 2006). É apenas menor que as castanhas e nozes. Assim, uma semente com elevadas reservas energéticas permite às jovens plantas de sobreiro recuperar por rebentamento após sofrer danos ou desfolhamento e atrasar a morte por inanição sob ensombramento extremo, dando uma oportunidade de alcançar uma possível fonte de luz (Cardillo & Bernal, 2006).

3. Materiais e Métodos

3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na Companhia das Lezírias (CL) (38°85'N, 8°83'W), a maior exploração agropecuária e florestal existente em Portugal. Localiza-se entre os rios Tejo e Sorraia tendo uma área de aproximadamente 18 mil hectares, que se estende pelos concelhos de Benavente, Vila Franca de Xira e Salvaterra. A CL possui uma área de 6570 ha de montado de sobreiro (*A Companhia Das Lezírias, 2021*).

Segundo a classificação climática de Köppen, a CL caracteriza-se por clima mediterrânico com inverno chuvoso e verão seco e quente (*IPMA, 2010*). A temperatura média anual é de 17 °C, com 2792,8 horas anuais de insolação. A precipitação média anual é de 725,8 mm e ocorre maioritariamente durante o inverno (*IPMA, 2010*)

Os solos da CL são predominantemente arenossolos (FAO, 2014), solos arenosos de cor clara, formados a partir de material rico em quartzo ou de areias.

3.2 Delineamento Experimental

Em março de 2020, foram casualizados cinco blocos de amostragem na área de estudo. Em cada bloco foram plantadas 60 plantas jovens de sobreiro com tratamentos emparelhados: 30 plantas foram sujeitas a tratamento de sombra (rede de ensombramento) e 30 plantas foram usadas como controlo, sem o tratamento de sombra. No total foram plantadas 300 plantas jovens de sobreiro, com seis meses de idade, em todo o ensaio.

Foram colocadas proteções individuais metálicas em todas as plântulas de modo a protegê-las da destruição por javalis predação pelo gado, que ocorrem na área de estudo.

O tratamento de sombra foi proporcionado com recurso a uma tela verde de ensombramento (80% de ensombramento), de 0,5 m x 0,5 m, colocadas na horizontal, perpendicularmente e acima das plantas de sobreiro. As pontas da tela foram presas

às proteções individuais, criando alguma tensão para que esta ficasse esticada. Desta forma, a tela fica por cima das plantas ensombrando-as.

3.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos de temperatura e precipitação referentes ao período do ensaio foram recolhidos pela estação meteorológica da Companhia das Lezírias.

3.4 Monitorização das condições ambientais

A monitorização da temperatura do ar (T) e da humidade relativa (HR) foi realizada *in situ* com recurso a sensores *iButton Maxim Integrated* que registam e armazenam dados a cada 1800 segundos, ou seja, de meia em meia hora.

Foram colocados sensores em dez plantas por bloco. Estas plantas foram selecionadas de forma aleatória sendo colocados sensores numa planta com tratamento de sombra, e planta controlo (sem sombra) mais próxima. Foram assim colocados em cada um dos cinco blocos 20 sensores. Os sensores foram dispostos na horizontal, dentro de um tubo branco aberto nos topos, de forma a não aquecerem, a cerca de 15-20 cm de altura, apoiados numa cana instalada junto a cada planta.

A medição e armazenamento dos dados de temperatura (T) e humidade relativa (HR) do ar destes sensores iniciou-se a 24/08/2020 terminou em 07/10/2020. Para tratamento estatístico foram trabalhados os dados referentes aos últimos 5 dias de agosto e aos últimos 5 dias de setembro de 2020, por ser o período de maior stress hídrico.

3.5 Medição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

Em maio de 2021 foi registada a radiação fotossinteticamente activa (PAR) a que as plantas estavam expostas, em cada tratamento, durante o período meio-dia solar. A medição da PAR foi efetuada em dias com condições meteorológicas estáveis e céu limpo, com recurso ao ceptómetro *AccuPAR modelo LP-80*. Foi apenas utilizado um terço dos sensores do ceptómetro, sendo os restantes dois terços tapados com recurso a papel de alumínio, um material opaco, de forma a que não fosse possível

detetarem e medirem radiação. Esta modificação foi realizada com vista a medir apenas a interceção da luz junto às plantas.

Nas plantas com tratamento de sombra, as medições foram feitas acima do nível da rede de ensombramento e a meio da planta. Nas plantas sem tratamento de sombra, as medições foram feitas acima da planta, num nível similar àquele das plantas com tratamento de sombra, e igualmente a meio da planta. Cada valor obtido em cada medição foi o resultado de uma média de três medições consecutivas.

Em cada bloco foram realizadas medições a seis plantas com tratamento de sombra e seis sem tratamento de sombra, aleatoriamente. Este procedimento foi adotado uma vez que foi verificado que todas as plantas estavam sob as mesmas condições ambientais relativamente à radiação, existindo distinção obviamente entre as plantas que sofrem e não sofrem tratamento de sombra. A partir destas seis medições foi calculada a média da PAR (radiação fotossinteticamente ativa) para cada tratamento.

3.6 Medição de parâmetros de sobrevivência

A medição da sobrevivência foi feita com recurso à observação direta. Com base na aparência da planta de sobreiro foi atribuída a letra V ou M, designando respetivamente se aparenta estar viva ou morta.

3.7 Medição de parâmetros de crescimento

Os parâmetros de crescimento a ter em consideração foram a altura das plantas (cm) e o diâmetro cruzado da base do caule principal (mm). Para observar a evolução dos parâmetros de crescimentos foram tidas em conta apenas as plantas que foram registadas, como vivas no início e no final do ensaio.

Para realizar a medição da altura das plantas recorreu-se a uma fita métrica comum. A medição foi feita desde a base das plantas até ao gomo apical. Para efetuar corretamente a medição do diâmetro da base da planta recorreu-se a um paquímetro digital e efetuaram-se duas medições cruzadas ao nível da base.

Para o cálculo da taxa relativa de crescimento (altura e diâmetro) ($\text{mm.cm}^{-1}.\text{d}^{-1}$) foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\frac{\ln(\text{altura/diâmetro final}) - \ln(\text{altura/diâmetro inicial})}{n^{\circ} \text{ de dias}} \times 10$$

Para o cálculo da taxa de crescimento média entre março e julho apenas foram contabilizadas as plantas que chegaram vivas até julho e para o cálculo da taxa de crescimento média entre março e novembro apenas foram contabilizadas as plantas que chegaram vivas até ao final do ensaio.

3.8 Análise estatística

Os dados foram analisados descritiva e inferencialmente. Para verificar a normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados relativos à altura apical e diâmetro foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk* e o teste de *Levene*, respetivamente (Marôco, 2018). Neste teste, uma variável é considerada normal se o valor da estatística teste for superior a 0,05. Neste caso, para ambas as variáveis, não o é, o que significa que não há dados estatísticos suficientes para provar que a distribuição é normal. Todavia, ao analisar o gráfico normal QQ e o Histograma das respetivas variáveis, verifica-se que as distribuições se assemelham a uma distribuição normal. Desta forma, e uma vez que a amostra apresenta mais do que 30 elementos, é possível recorrer ao *Teorema Central do Limite* que permite assumir a normalidade na distribuição de uma amostra com mais de 30 elementos (ver Tabelas em anexo).

Foram examinados e retirados da análise estatística os *outliers* existentes correspondentes à altura apical e diâmetro basal, bem como aos que aos dados relativos à HR e Temperatura recolhida pelos sensores *iButton* diziam respeito, pois depois de examinados os dados, verificou-se que correspondiam a erros de medição.

Realizaram-se testes de comparação de médias e análise de variâncias com medições repetidas através do GLM (*General Linear Model*) para as variáveis altura apical e diâmetro. A Análise de Sobrevivência foi realizada recorrendo ao modelo de Regressão de Cox, utilizando a altura inicial das plantas medida em março como covariável (Marôco, 2018)

Para a análise estatística o nível de significância considerado foi de 5% ($\alpha = 0,05$), ou seja, quando $p > 0,05$, o efeito dos fatores não é estatisticamente significativo. Os dados são apresentados como média \pm erro padrão.

A análise estatística descritiva foi realizada em *Microsoft Excel 2016* for *Microsoft Windows 10*. A análise estatística inferencial dos dados foi efetuada com o *software* estatístico *IBM SPSS Statistics 26*.

4. Resultados

4.1 Dados Meteorológicos

O diagrama ombrotérmico de Gausson (Figura 1) foi construído para o período de 12/03/2020 a 9/11/2020, período correspondente ao ensaio. Este período caracterizou-se por uma temperatura média do ar de 20 °C, variando entre 11,58°C em novembro e 30,88°C em agosto, e uma precipitação total de 318,8 mm. A precipitação ocorreu esporadicamente e concentrou-se sobretudo nos meses de abril e outubro, em que ocorreu 66% da precipitação (215,4 mm), deixando os meses de junho, julho, agosto e setembro praticamente sem de precipitação, com apenas 36,2 mm. Em novembro observa-se de dia 1 a dia 9 uma precipitação acumulada de 35 mm, aproximadamente a mesma que ocorreu em durante todo o período de junho, julho, agosto e setembro.

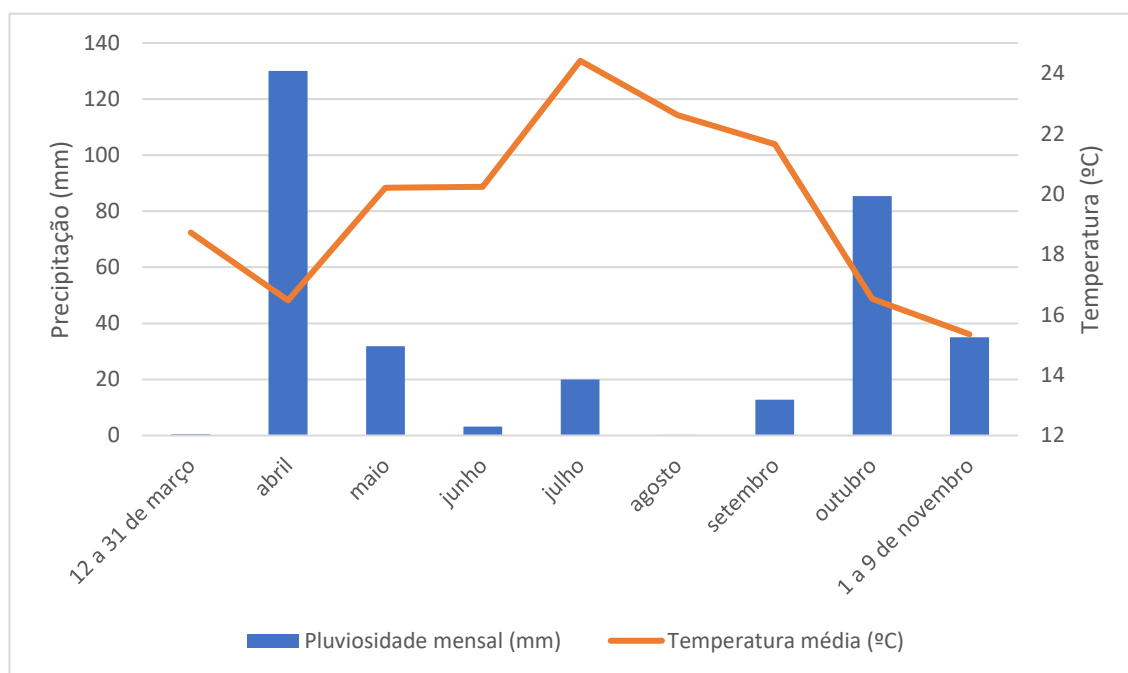


Figura 1 - Diagrama ombrotérmico de Gausson para o local de estudo (segundo dados climáticos de 12 de março a 9 de novembro de 2020)

4.2 PAR

Os valores de PAR (média \pm erro padrão) obtidos foram de $17 \pm 0,086\%$ da radiação total para o tratamento de sombra e de $76 \pm 0,21\%$ da radiação total para o tratamento sem sombra.

4.3 Temperatura e humidade do ar nos tratamentos com e sem sombra

Durante o período do ensaio foi observada, no tratamento de sombra, uma temperatura máxima de 52,4 °C, em agosto, e uma mínima de 3,72 °C, também em agosto, e uma temperatura média de 20,84±0,12 °C. Por sua vez, no tratamento sem sombra foi registada uma temperatura máxima de 50,76 °C, em agosto, mínima de 3,45 °C, em agosto também, e média de 21,07±0,07 °C.

Relativamente à humidade relativa (HR) registou-se, no tratamento de sombra, uma HR máxima de 100%, em setembro, uma mínima de 0,99%, em agosto, e uma HR média de 64,45±0,20%. Por sua vez, no tratamento sem sombra foi registada uma HR máxima de 100%, em setembro, mínima de 1,53%, em agosto, e média de 64,09±0,21% (Quadro 1).

Quadro 1 - Valores mínimos, médios, máximos e desvio-padrão da T e HR

	HR	HR	HR	Desvio	T	T	T	Desvio
	Máx	Méd	Min	Padrão HR	Máx	Méd	Min	Padrão T
sombra	100	64,45	0,99	± 0,20	52,40	20,84	3,72	±0,12
sem sombra	100	64,09	1,53	±0,21	50,76	21,07	3,45	±0,07

Adicionalmente, foi aleatoriamente selecionado um dia (28/08/2020) durante o período mais quente de recolha de dados dos sensores *iButton*. Para essa data, para cada tratamento, foi efetuada, uma média de cada medição registada pelos sensores, de forma a observar e comparar os comportamentos da temperatura e da HR em ambos os tratamentos (Figura 2).

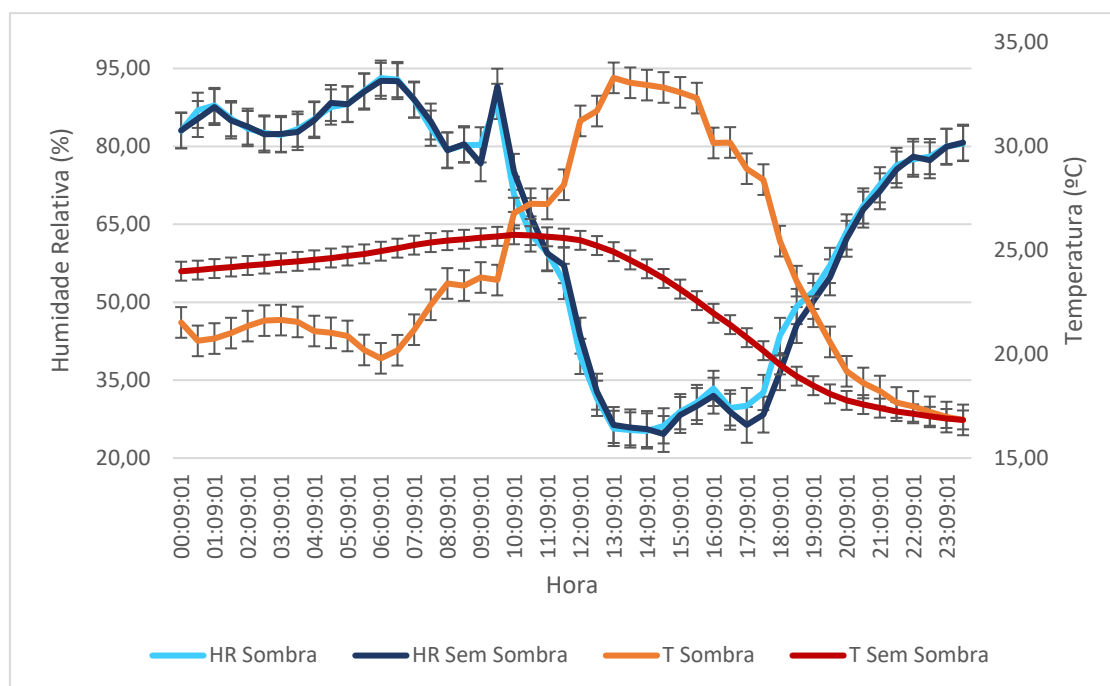


Figura 2 - Valores médios \pm erro padrão de T e HR registados pelos sensores iButton para o dia 28/08/2020 para o tratamento de sombra e sem sombra

4.4 Sobrevivência

4.4.1 Análise de Sobrevivência de Cox

A curva de sobrevivência indica que a probabilidade de sobrevivência do sobreiro tende a ser menor no tratamento sem sombra (maior risco) do que no tratamento de sombra (menor risco) (Figura 3). No entanto, o efeito da sombra não foi estatisticamente significativo ($p\text{-value}=0,626$) (Figura 3, Quadro 2).

Quadro 2 - Regressão de Cox para a sobrevivência das plantas sujeitas ao tratamento sombra e sem sombra (tratamento) e efeito da altura das plantas no início do ensaio, em março (alt_inicial)

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95,0% CI for Exp(B)	
							Lower	Upper
tratamento	.066	.132	.246	1	.620	1.068	.824	1.384
alt_inicial	-.015	.008	3.768	1	.052	.985	.970	1.000

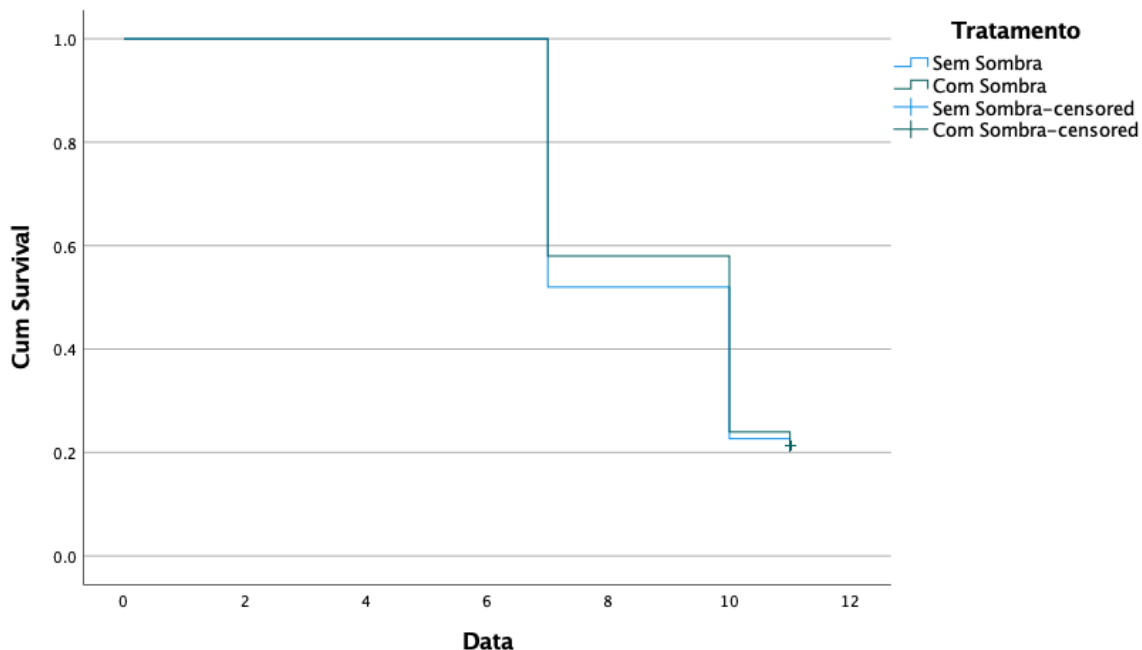


Figura 3 - Análise de sobrevivência de Cox. No eixo dos yy apresentam-se os valores de sobrevivência acumulada. No eixo dos xx cada valor corresponde ao respectivo mês (3 corresponde a março, 7 a julho, 10 a outubro, 11 a novembro)

O ensaio teve início em março (mês 3), sendo que no mês de julho, a sobrevivência foi de $52 \pm 0,04\%$ para os sobreiros sem sombra e de $58 \pm 0,04\%$ para os sobreiros com sombra (Figura 3). A sobrevivência foi superior em 6% nos sobreiros com sombra relativamente aos expostos a maior radiação solar. De julho a outubro, a sobrevivência desceu significativamente, mas continuando a ser superior nos sobreiros com tratamento de sombra, que apresentou uma taxa de sobrevivência de $24 \pm 0,04\%$. Em outubro, os sobreiros tratados sem sombra obtiveram uma taxa de sobrevivência de $22,7 \pm 0,03\%$. No entanto, a diferença da sobrevivência entre os dois tratamentos diminuiu, apresentando uma diferença de apenas 1,3%. Por fim, novembro, o último mês em estudo, foi o que apresentou uma maior taxa de mortalidade acumulada, uma vez já tinham morrido cerca de $78,7 \pm 0,03\%$ dos sobreiros tratados com e sem sombra, permanecendo o tratamento de sombra com um ligeiro melhor resultado (Figura 4).

Tal como esperado a sobrevivência diminuiu ao longo do período de ensaio. Entre março e julho, a taxa de sobrevivência variou entre 40% e 50% para os sobreiros com e sem sombra, respetivamente. Já três meses depois, em outubro, esta descida continua acentuada, cerca de 30%. Por fim, apenas no intervalo de um mês (de

outubro a novembro), a queda na percentagem de sobreviventes foi, aproximadamente, a mesma que a observada nos três meses anteriores.

Desta forma, em todos os meses de estudo observou-se uma maior taxa de sobrevivência nos sobreiros com sombra em comparação com os sobreiros a crescer sem sombra, sendo que houve meses onde esta diferença foi menos notória, que foi o caso de outubro.

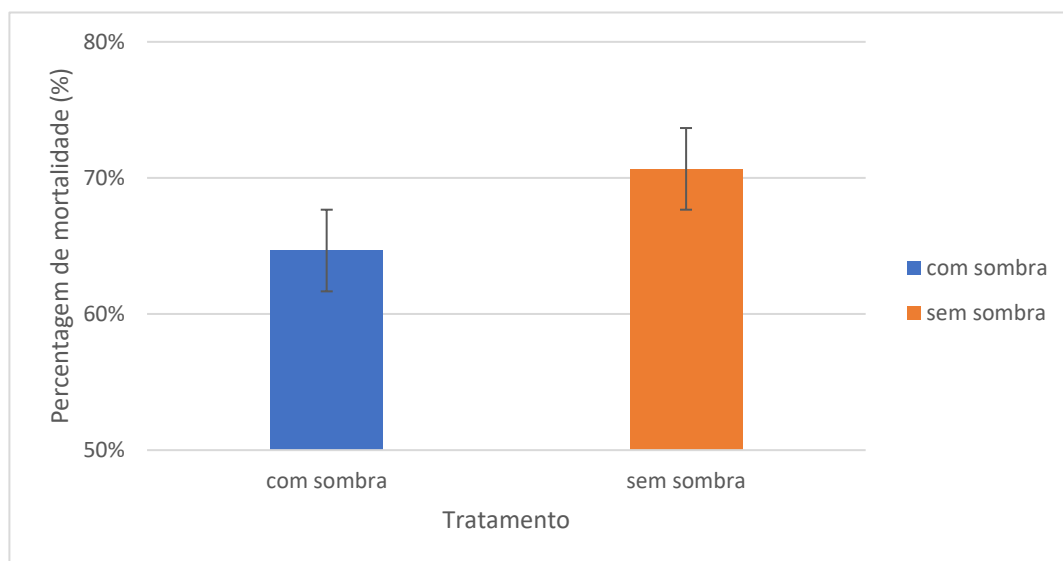


Figura 4 – Percentagem \pm erro padrão de plantas mortas por tratamento em novembro, no final do ensaio

A tendência de mortalidade foi constante, aumentando o número de plantas mortas observadas ao longo dos meses de julho a outubro de 135 para 228 (Figura 5). Esta tendência apenas começa a ser invertida em novembro, em que se denota uma diminuição do número de plantas mortas (de 228 para 203) e um aumento das plantas vivas face ao mês passado de (72 para 97). Ou seja, plantas anteriormente dadas como mortas, em novembro aparentavam estar vivas.

É importante considerar o facto de haver alguns sobreiros considerados como mortos que recuperaram, mas que tiveram nova rebentação e, portanto, estavam vivos em novembro. No entanto, o número de sobreiros identificados como tendo tido “rebentação” foi diminuto em comparação com o número de indivíduos da amostra (13 plantas no tratamento sem sombra e 20 no tratamento com sombra, num universo de 300 plantas) (Figura 5).

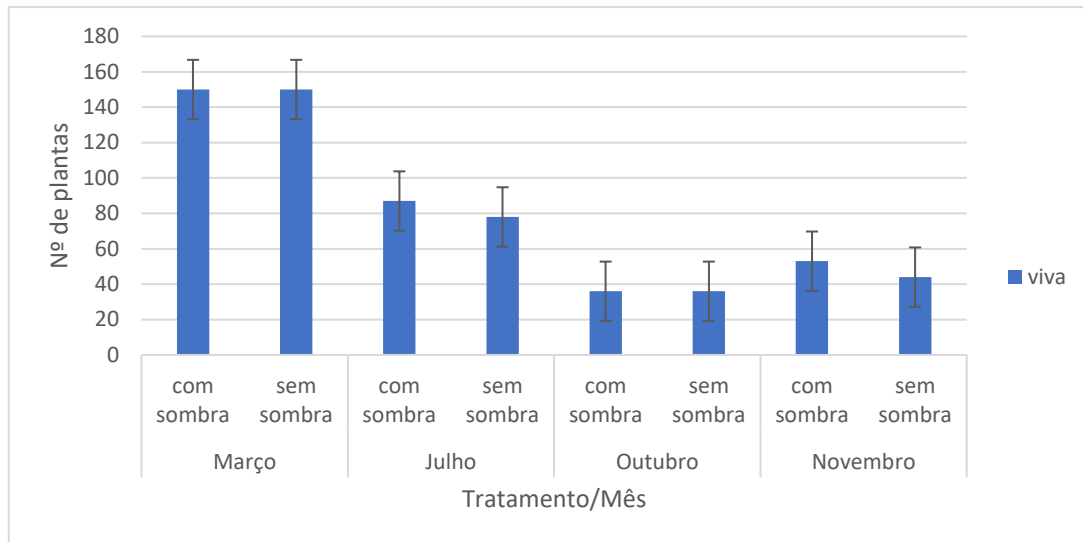


Figura 5 - Número de plantas \pm erro padrão que sobreviveram em cada mês, por tratamento

4.4.2 Influência da altura apical inicial na sobrevivência

A análise do quadro 2 permite verificar que variável altura das plantas no início do ensaio, em março, teve um efeito praticamente significativo ($p\text{-value}=0,052$) na sobrevivência das plantas, para as plantas que aparentaram estar vivas durante todo o ensaio. Observando a Figura 6, conclui-se que as plantas que sobreviveram até novembro, tinham em março no início do estudo, em média uma maior altura apical, que as plantas que em novembro se encontravam mortas e que iniciaram o ensaio com uma altura apical em média menor. Isto verificou-se para ambos os tratamentos.

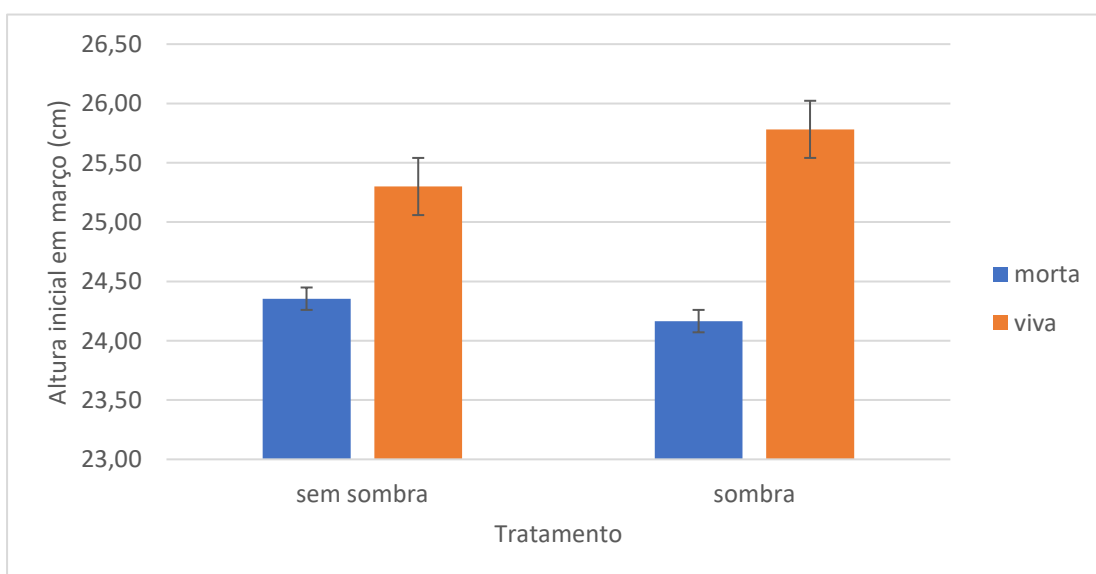


Figura 6 - Altura apical inicial média \pm erro padrão das plantas em março que em novembro se encontravam vivas ou mortas, por tratamento

4.5 Crescimento

4.5.1 Altura apical

As plantas sujeitas ao tratamento com sombra cresceram, em média, mais $0,09 \pm 1,08$ cm que as plantas controlo (Figura 7). No entanto, a diferença entre os tratamentos mais uma vez não foi significativa ($p\text{-value}=0,679$).

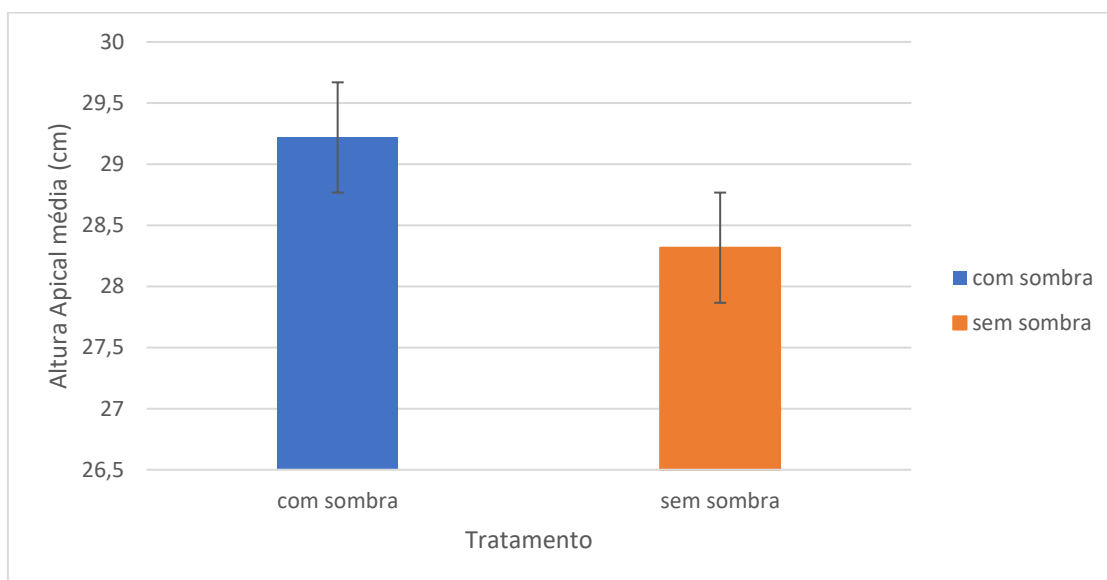


Figura 7 - Altura apical média \pm erro padrão nos dois tratamentos em novembro, no final do ensaio

Em março, como resultado do delineamento experimental em que se procurou distribuir plantas de diferentes alturas pelos dois tratamentos, as alturas apicais das plantas sujeitas a ambos os tratamentos não eram significativamente diferentes ($p\text{-value}=0,771$), sendo que no caso das plantas do tratamento de sombra estas tiveram uma altura superior às do tratamento sem sombra, no final do ensaio, diferindo em média $0,81 \pm 1,36$ cm. Em julho, as plantas do tratamento com sombra diferiam $0,84 \pm 1,50$ cm das plantas do tratamento sem sombra. A diferença entre tratamentos neste mês também não foi significativa ($p\text{-value}=0,79$) Em novembro, o padrão manteve-se e as plantas alvo de tratamento de sombra continuaram a atingir uma altura superior, sendo a diferença entre grupos de $0,9 \pm 1,08$ cm.

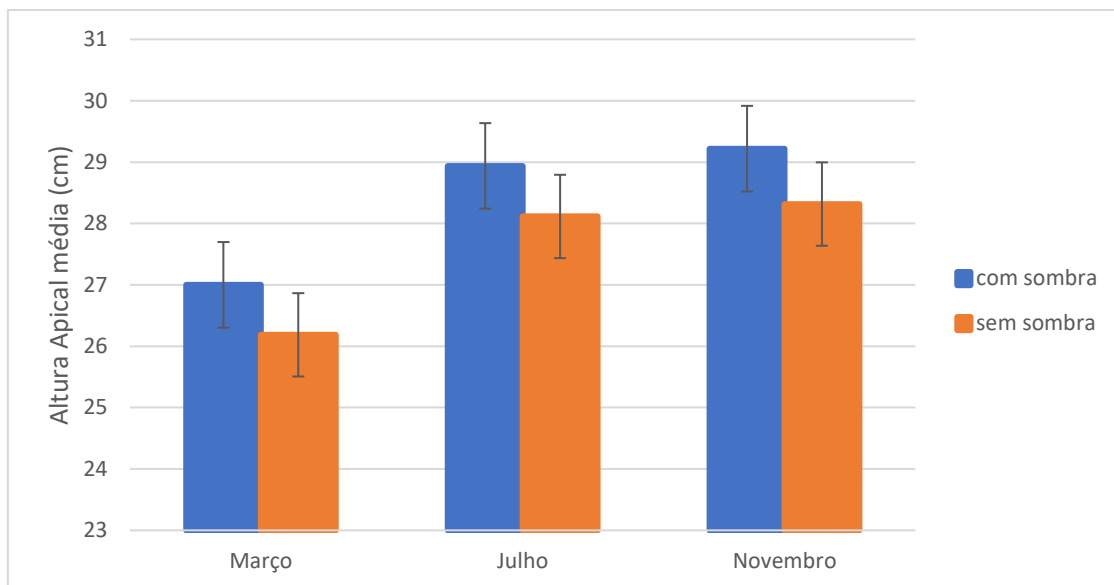


Figura 8 - Altura apical média \pm erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em três meses ao longo do período do ensaio

4.5.2 Diâmetro basal

As plantas sujeitas ao tratamento sem sombra cresceram, em média, mais $0,09 \pm 0,12$ mm que as suas homólogas, tal como podemos observar na Figura 9. Contudo, a diferença entre tratamentos não foi significativa ($p\text{-value}=0,7$).

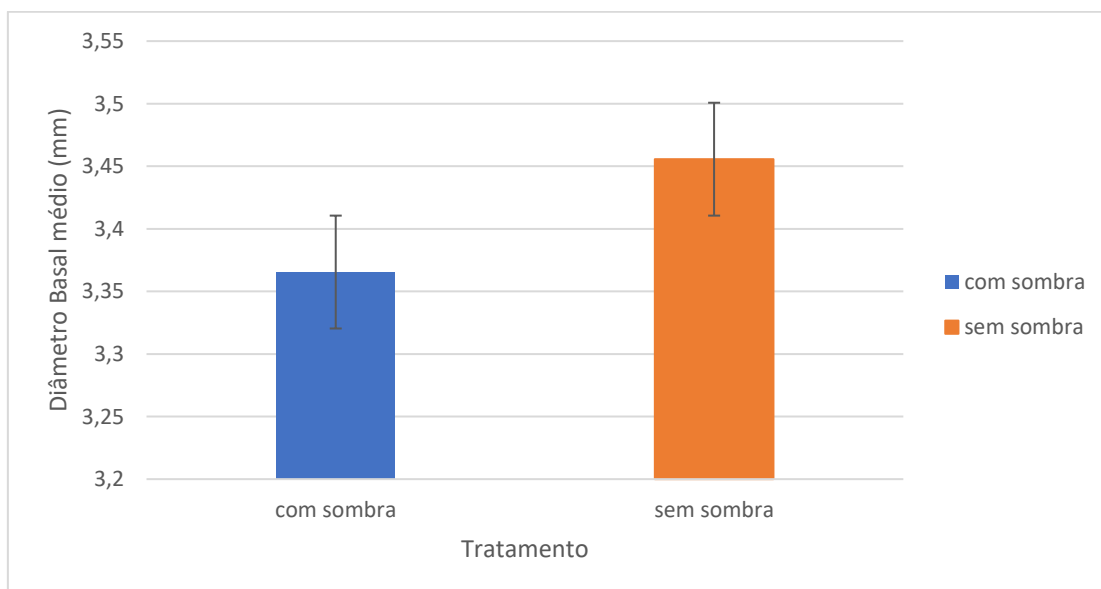


Figura 9 - Diâmetro basal médio \pm erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em novembro, final do ensaio

Em março, tal como na altura apical, os diâmetros basais das plantas sujeitas a ambos os tratamentos quase se equiparam, existindo apenas uma diferença média de $0,37 \pm 0,16$ mm, possuindo o grupo com sombra valores superiores. Esta diferença não foi significativa ($p\text{-value}=0,248$). Em julho e outubro não foram recolhidos dados relativos ao diâmetro basal. Em novembro, a tendência inverteu-se e o grupo sem sombra passou a ter um diâmetro basal médio superior. Neste mês as plantas com tratamento sem sombra atingiram um diâmetro basal superior em $0,09 \pm 0,12$ mm.

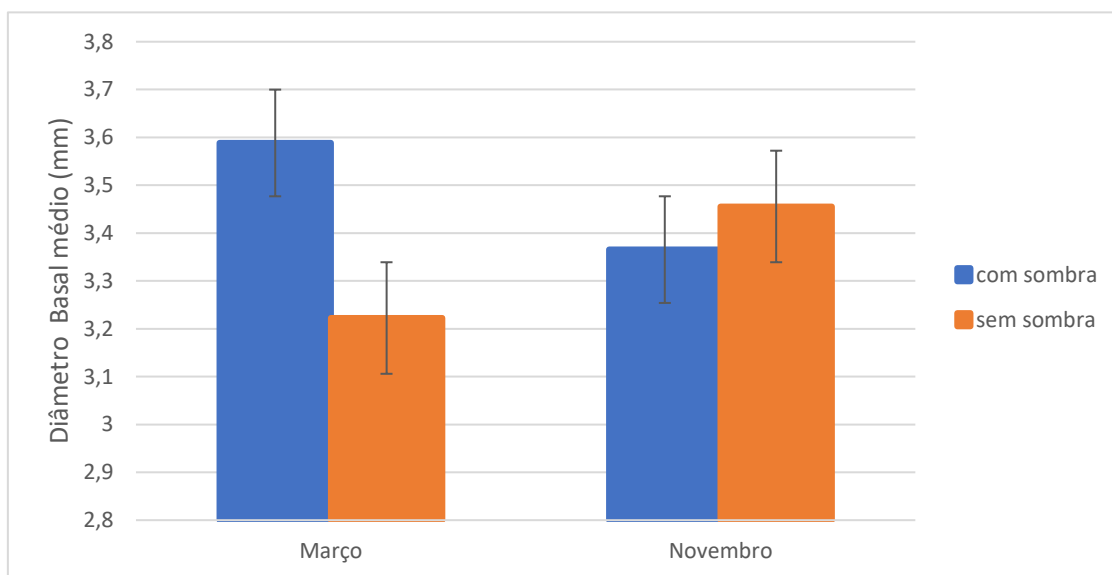


Figura 10 - Diâmetro basal média \pm erro padrão no tratamento de sombra e sem sombra em março e novembro

4.5.3 Taxa de Crescimento

No período de março a julho, registaram-se as maiores taxas de crescimento em altura apical - $0,015 \pm 0,001$ mm.cm⁻¹.d⁻¹ para o tratamento de sombra e $0,016 \pm 0,003$ mm.cm⁻¹.d⁻¹ para o tratamento sem sombra. Entre março e novembro, as taxas de crescimento médias para a altura apical no tratamento com e sem sombra foram, respetivamente, $0,009 \pm 0,002$ mm.cm⁻¹.d⁻¹ e $0,009 \pm 0,001$ mm.cm⁻¹.d⁻¹. Para o diâmetro basal no tratamento com e sem sombra foram, respetivamente $0,008 \pm 0,002$ mm.cm⁻¹.d⁻¹ e $0,008 \pm 0,001$ mm.cm⁻¹.d⁻¹.

Quadro 3 - Taxa relativa de crescimento (média±erro padrão) referente à altura apical e diâmetro basal para cada tratamento.

Taxa de crescimento relativa (mm.cm ⁻¹ .d ⁻¹)	sombra	sem sombra
Altura apical março-julho	0,015±0,001	0,016±0,003
Altura apical março-novembro	0,009±0,002	0,009±0,001
Diâmetro basal março-novembro	0,008±0,002	0,008±0,001

5. Discussão

5.1 Proteção contra condições microclimáticas

Segundo Correia et al. (2015), é possível reduzir a mortalidade de plantas jovens de sobreiro durante o primeiro ano através de técnicas que reduzam o impacto da deficiência hídrica e do excesso de radiação.

Trabalhos anteriores sugerem que o sobreiro apresenta uma relativa tolerância ao ensombramento nos estágios iniciais de desenvolvimento (Correia et al., 2015). Assim, seria de esperar que o ensombramento criado por certo tipo de vegetação, como algumas espécies de arbustos, herbáceas, ou estruturas artificiais que proporcionem abrigo (Correia et al., 2015), como aquelas utilizadas neste ensaio, tivessem tido um efeito benéfico neste estágio inicial de desenvolvimento, pois seria suposto proporcionarem um microclima que reduziria a evapotranspiração, os efeitos negativos do excesso de luz e de temperaturas elevadas. Assim, seria de esperar que a maioria das plantas jovens de sobreiro instaladas sobrevivessem, o que não se verificou.

As coberturas escolhidas foram concebidas de forma a propositadamente provocarem alterações microclimáticas na temperatura, humidade relativa e PAR que influenciariam a planta. Efetivamente, tal como esperado, para o tratamento de sombra obtiveram-se valores de HR média superiores e de T média inferiores aos do tratamento sem sombra, mas, contrariamente ao esperado, obtiveram-se valores de HR mínima inferiores e de T máxima superiores. A diferença entre valores respeitantes à T máxima no tratamento de sombra e sem sombra foi praticamente nula. Muito provavelmente, esta foi uma das razões pelas quais não se obtiveram os resultados esperados.

O desempenho das jovens plantas de sobreiro pode ser prejudicado por radiação e temperatura excessivas, por isso, reduções na intensidade da radiação direta e na amplitude térmica podem ser benéficas para a sobrevivência e crescimento dos sobreiros. Muitos tipos de abrigos estão disponíveis para este propósito, e os seus efeitos no desempenho da planta variam segundo a ventilação, altura e material de que são feitos.

Estudos realizados em *Quercus coccifera* L. por Bellot et al. (2002) mostraram que um protetor de plástico castanho com apenas 30 cm de altura parece ser o mais benéfico

para o crescimento de biomassa, tanto acima quanto abaixo do solo. O desenvolvimento mais extenso do sistema radicular facilita uma taxa de crescimento mais rápida como acessibilidade ao solo a água é aumentada. O benefício obtido com tal abrigo é provavelmente devido à redução da radiação dentro do protetor para cerca dos níveis fotossintéticos ideais para a espécie, e também devido a um pequeno aumento na temperatura em comparação com os valores detetados em protetores mais altos. A ventilação do abrigo não mostrou um efeito significativo no crescimento da raiz e da biomassa em comparação com abrigos não ventilados.

A ventilação é necessária para evitar temperaturas excessivas, permitir a transpiração e manter as concentrações de CO₂ próximas dos valores atmosféricos (Cortina et al., 2009; Pardos et al., 2005), tal como os abrigos utilizados permitiam. Os abrigos utilizados reduzem a intensidade da radiação disponível para a fotossíntese, alteram a qualidade da radiação, mas não produzem qualquer alteração no fotoperíodo. Uma vez que o abrigo se encontrava colocado perpendicularmente à planta, esta recebeu luz sensivelmente no início e no final de cada dia, ou seja, nos períodos de menor intensidade de radiação. Por outro lado, nos períodos de maior intensidade de radiação, que equivalem ao meio-dia solar e períodos adjacentes, a planta encontrava-se protegida pelo abrigo. Assim sendo, a planta não estava completamente excluída de radiação solar, mas sim a usufruir de proteção nos intervalos em que esta é mais intensa. O decréscimo da luz disponível pode tornar-se crítico para as plantas abrigadas, especialmente em áreas já naturalmente ensombradas por outras árvores adultas, o que neste caso, não acontecia.

Sabe-se que diferentes comprimentos de onda influenciam diferentes aspetos do crescimento (Cortina et al., 2009) e a cor do abrigo poderá influenciar positiva ou negativamente o desenvolvimento das plantas. No entanto, uma vez que todas os abrigos possuíam a mesma cor (verde-escuro), este será um fator que poderá ter influência no desenvolvimento das plantas, mas não nas diferenças causadas pelos tratamentos dados de luz e sombra.

O sobreiro tolera altas temperaturas, mesmo quando há escassez de água (Aranda et al., 2005; Ghouil et al., 2003), sugerindo que esta espécie pode não ser particularmente sensível às mudanças de temperatura máxima dentro de abrigos, daí o grupo de plantas que fez parte do tratamento de sombra não apresentar piores resultados em comparação com o grupo de plantas do tratamento sem sombra, apesar de a temperatura máxima sob o abrigo ter sido superior no primeiro.

5.2 Sobrevivência

Foram observadas mais plantas jovens de sobreiro que aparentavam não ter sobrevivido do que seria expectável. Tratam-se de valores elevados de mortalidade (78%), especialmente tendo em comparação estudos anteriores similares, em que a mortalidade em plantações de plântulas de sobreiro rondou nos primeiros 8 meses 32% (González-Rodríguez et al., 2011) e no primeiro ano os 9% (Chaar et al., 2008). Isto leva a crer que a ação de diversos outros fatores ambientais não controláveis, como a má drenagem do terreno ou a seca, factos observados no terreno, podem ter sido determinantes para a elevada contagem de plantas mortas.

Para a explicação dos resultados é importante considerar as vantagens e desvantagens entre sementeira direta vs plantação. A sementeira direta era a técnica preferida para a reintrodução do sobreiro no passado, e ainda é muito usada em algumas áreas (Aronson et al., 2009). Os principais benefícios em comparação com a plantação de indivíduos germinados em viveiro e transplantados para o campo são o baixo custo e a vantagem de que uma bolota semeada *in situ* desenvolva uma raiz axial normal, mais desenvolvida e adaptada às condições de campo, ao passo que plantas de viveiro muitas vezes passam por cortes e podas antes de serem transferidas para campo (Cortina et al., 2009). Uma raiz principal não podada pode conferir uma vantagem ao sobreiro, tal como a outras árvores que crescem em áreas com seca sazonal e que dependem de uma exploração precoce de horizontes de solo profundos para garantir o seu estabelecimento (Pulido, 2002; Rambal, 1984). Contudo, dados todos os problemas da sementeira direta (e.g. alta predação das bolotas), a regeneração de sobreiros através da plantação de entidades germinadas em viveiro é provavelmente a melhor forma de garantir o sucesso. No entanto, também existem desvantagens relativas a esta abordagem. A plantação tem resultados heterogéneos, com baixas taxas de sobrevivência. Isto pode ser uma consequência de vários fatores, incluindo a preparação inadequada do local ou desequilíbrio entre a parte aérea e radicular (Aronson et al., 2009). No caso deste ensaio em concreto, em que foi realizada plantação, a drenagem poderia ter sido melhorada antes da instalação do mesmo, sobretudo no bloco 4, com a realização de camalhões. No que toca à predação, foi possível constatar que, mesmo utilizando proteções contra o distúrbio animal, houve plantas que foram predadas, ou seja, representaram alimento para animais como, provavelmente, roedores e javalis.

Contrariamente ao esperado, os resultados obtidos não mostraram diferenças significativas na taxa de sobrevivência entre tratamentos, o que contrasta com a hipótese de que a sobrevivência à seca poderia ser maior sob o tratamento de sombra do que sob o tratamento sem sombra devido a uma melhoria das condições microclimáticas, diminuindo a temperatura e aumentando a humidade relativa (hipótese de facilitação). Em contrapartida, corrobora a hipótese de que a seca natural e a sombra reduziriam a sobrevivência das jovens plantas de sobreiro devido a uma menor disponibilidade de recursos (hipótese de limitação de recursos). Diverge assim dos resultados de Amissah et al., (2015) onde ambas as hipóteses foram comprovadas para outras espécies florestais.

Este resultado está também aparentemente de acordo com a hipótese de *trade-off*, que afirma que a seca tem um maior impacto em ambientes de sombra do que em situações de altas irradiâncias (Holmgren, 2000; Sack & Grubb, 2002) devido ao investimento reduzido em raízes, tornando as plantas ensombradas mais suscetíveis à seca. Por outro lado, indica também que a sombra pode ter diminuído a adaptação das plantas ao stress hídrico.

Contudo, tal como esperado e como se pode observar na Figura 4, mesmo não sendo a diferença muito expressiva nem significativa, como apresentado nos resultados, a taxa de mortalidade é superior nas plantas que sofreram o tratamento sem sombra que nas plantas que foram alvo do tratamento com sombra, o que pode revelar uma tendência. Tudo isto sugere que, perante o stress hídrico natural, a sombra aplicada neste ensaio não permitiu originar diferenças significativas na sobrevivência entre os tratamentos, pelo menos durante o período estipulado para o ensaio.

Foi encontrado um efeito significativo da altura apical inicial das plantas na sobrevivência no final do ensaio. Existe de facto um debate contínuo sobre qual o tamanho ideal da planta à data de plantação. No contexto do restauro dos ecossistemas mediterrâneos, as jovens plantas de sobreiro devem ser capazes de resistir a condições de crescimento desfavoráveis (choques de transplantação, stress de verão, seca) e ainda aproveitar as vantagens do clima favorável para crescer. O investimento da planta no desenvolvimento do sistema radicular é uma vantagem para a sobrevivência em campo, pois facilita a absorção de água. Por outro lado, ter demasiadas folhas em comparação com as raízes aumenta a perda de água por transpiração, caso não haja acesso imediato à água. No entanto, a elevada área foliar favorece a sobrevivência das plantas, desde que acompanhada por um sistema

radicular bem desenvolvido (Aronson et al., 2009). Em condições como as deste ensaio, é provável que as maiores plantas tenham tido melhores níveis de sobrevivência devido ao maior desenvolvimento do seu sistema radicular, comparativamente com as plantas menores, uma vez que os meses subsequentes não foram abundantes em precipitação.

É provável que a altura em que o ensaio teve início (início da primavera) não tenha sido a mais favorável, dado o rápido aumento de temperatura e a escassez de precipitação nos meses subsequentes, não existindo tempo suficiente para as jovens plantas, desde que foram plantadas no terreno, se adaptarem a condições rigorosas (i.e. mortalidade no primeiro verão por seca sob condições climáticas mediterrâneas (Aronson et al., 2009)). Tendo pela sua frente crescentes níveis de radiação e temperatura, é possível que fenómenos de fotorrespiração e/ou fotoinibição tenham levado à perda de produtividade e contribuído para a sua morte. Contudo, a mais provável causa do seu perecimento tenha sido o facto de as plantas não serem capazes de repor a água perdida por transpiração e assim conduzir à falência hidráulica (ver secção 2.2 Sobreiro e o seu funcionamento), sobretudo no grupo-alvo de tratamento sem sombra. A aclimação à sombra pode reduzir a capacidade fotossintética das folhas do sobreiro (Aranda et al., 2005) e assim reduzir o crescimento, e a capacidade de tolerar a seca através do ajuste osmótico (Pardos et al., 2005). Mas a sombra fornecida por abrigos de árvores pode aumentar a fotoproteção e reduzir a fotoinibição no verão (Werner & Correia, 1996).

5.3 Crescimento

As plantas que estiveram sujeitas ao tratamento de sombra tiveram a maior altura apical média. Este resultado foi de encontro ao esperado e obtido noutros estudos (como por exemplo Cardillo & Bernal (2006) e Broncano et al. (1998)), uma vez que, sendo a luz um recurso limitante, a planta investiu na sua altura e na produção de estruturas fotossintéticas para ultrapassar a limitação luminosa (Ortega et al., 2006), especialmente porque o sobreiro é uma espécie exigente em luz.

As plantas sob tratamento sem sombra exibiram um maior diâmetro. Este resultado seria esperado. Já em estudos anteriores se observou sob diferentes regimes de luz que o diâmetro aumentava com o aumento da intensidade de luz (Abassi et al., 2019). De facto, maiores diâmetros estão associados a sistemas radiculares mais bem

desenvolvidos (Aronson et al., 2009) que, sob condições de seca natural e maiores irradiâncias a planta é obrigada, em prol da sobrevivência, a desenvolver mais o seu sistema radicular em comparação com as suas homólogas pertencentes ao tratamento de sombra.

A taxa de crescimento relativa foi mais intensa entre março e julho, ou seja, durante o período primaveril, tal como previsto, pois existe aqui um período de crescimento, devido à maior disponibilidade em água, antes da imposição do stress hídrico. Durante o período de março a novembro, o valor da taxa de crescimento relativa decresceu (de 0,016 mm.cm⁻¹.d⁻¹ para 0,009 mm.cm⁻¹.d⁻¹ no tratamento de sombra e de 0,015 mm.cm⁻¹.d⁻¹ para 0,09 mm.cm⁻¹.d⁻¹ no tratamento sem sombra), facto que também se previa, dado que este período engloba o verão.

Estudos anteriores demonstram que uma redução da PAR só provoca mudanças drásticas no diâmetro basal e altura quando são atingidos níveis tão baixos quanto 5% (Neufeld, 1983). Segundo Cardillo & Bernal (2006), durante o primeiro ano de crescimento do sobreiro, níveis de radiação acima de 20% da PAR não produzem melhorias no crescimento relativo. Na generalidade das quercíneas, embora varie entre espécies, esta falta de melhoria no crescimento foi descrita em níveis de PAR acima de 1/3 do registado a céu aberto (Johnson et al., 2002). *Quercus robur*, por exemplo, atinge o seu pico na taxa de crescimento relativo em 25% PAR (Ziegenhagen & Kausch, 1995) e *Quercus ilex*, na Catalunha, atinge em 36% da radiação a céu aberto (Retana et al., 1999). Deste modo, os valores baixos obtidos (de 17% para o tratamento de sombra) podem, talvez, explicar a baixa taxa de crescimento e a falta de diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos no que diz respeito à altura apical e à taxa de crescimento.

5.4 Regeneração

Ao longo de todo o ensaio, assistimos a fenómenos de recuperação na sobrevivência das jovens plantas de sobreiro, isto é, plantas que aparentavam ter morrido durante o verão rebentaram no outono. Este facto é indicativo de que a parte radicular se manteve viva durante todo o período, permitindo assim a regeneração da parte aérea. Apesar de este fenómeno se observar nos dois tratamentos, acontece com mais prevalência no tratamento de sombra.

Embora o género *Quercus* seja relativamente intolerante à sombra, nos primeiros estágios de vida, sob ensombramento moderado, frequentemente minimiza o investimento em órgãos acima do solo em prol do desenvolvimento de um grande sistema de raízes (Aronson et al., 2009). Sistemas radiculares desenvolvidos facilitam a sobrevivência depois de ocorrer a morte ou existirem distúrbios na parte aérea e permitem a rebentação de gomos dormentes, que cresçam rapidamente em altura quando sucedem condições favoráveis (Sander, 1971), tal como se pensa ter ocorrido neste caso.

De facto, os carvalhos xerofíticos, tal como o sobreiro, adaptaram-se a estes aparentes impedimentos à regeneração, como o stress luminoso e hídrico, em parte devido à sua capacidade de sucessivamente morrer e rebrotar e dependem fortemente desta mesma valência para se regenerar com sucesso (Larsen & Johnson, 1998). Neste processo, as jovens plantas de renovo estabelecem-se e crescem por alguns anos ao abrigo de um sub-bosque de árvores adultas. O colar da raiz tem um grande número de botões dormentes, alguns dos quais se ativam após a perda do caule antigo. Este ciclo, que pode ser repetido várias vezes durante a vida de uma jovem planta, leva ao desenvolvimento de um grande sistema radicular (Larsen & Johnson, 1998).

Este número de plantas recuperadas pode eventualmente aumentar durante a primavera dado o favorecimento das condições de temperatura e disponibilidade de água.

6. Conclusões e recomendações

Os resultados obtidos demonstraram que, para este ensaio, o tratamento de sombra aplicado não teve um efeito significativo nem na sobrevivência, nem na altura apical, nem no diâmetro basal das jovens plantas de sobreiro, embora se tenham verificado algumas tendências (não significativas). De facto, denotou-se uma tendência positiva no efeito que o tratamento de sombra tem na sobrevivência, na regeneração e na altura apical. Por outro lado, ainda que sem muita expressão, o diâmetro basal foi negativamente afetado pelo tratamento de sombra. Isto leva a crer que o ensaio se deveria ter mantido por mais tempo, de forma a obter diferenças estatisticamente significativas.

Independentemente do tratamento aplicado, a mortalidade foi elevada. Conclui-se assim que, muito provavelmente, a melhor altura de implementação do ensaio não seria a primavera, mas sim o outono, altura em que as condições de pluviosidade e luminosidade seriam mais favoráveis ao estabelecimento das jovens plantas de sobreiro (Aronson et al., 2009; Correia et al., 2015).

No que toca aos abrigos utilizados, as alterações microclimáticas obtidas não foram as desejadas no que à HR mínima e à T média dizem respeito. Provavelmente o desempenho dos abrigos teria sido melhor se tivessem sido colocados mais junto à planta e tivessem sido levantados de forma a acompanhar o seu crescimento em altura, o que se recomenda em futuros estudos.

Em estudos futuros seria importante sobretudo prolongar o tempo de estudo e ter em atenção a época de início do mesmo, visto que estes factos podem alterar e verificar efeitos e diferenças entre tratamentos que este estudo não concluiu. Seria também importante realizar estudos focados no efeito do ensombramento e/ou stress hídrico na recuperação da sobrevivência de jovens plantas de sobreiro, dada a sua importância e escassez.

7. Referências Bibliográficas

- A Companhia das Lezírias. (2021). <https://www.cl.pt/a-cl>, acessado a 17 de fevereiro de 2021.
- Abassi, M., Zouaoui, R., Mguis, K., Youssef, A., & Bejaoui, Z. (2019). Morphophysiological and anatomical responses of Cork Oak (*Quercus suber* L.) seedlings under shade and drought stress. *Journal of New Sciences*, 61(6), 3899–3913.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, 56, FAO, Rome, Italy,
- Amissah, L., Mohren, G. M. J., Kyereh, B., & Poorter, L. (2015). The effects of drought and shade on the performance, morphology and physiology of ghanaiian tree species. *PLOS ONE*, 10(4), e0121004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121004>
- Amorim Cork Composites. (2020). O Sobreiro é uma Árvore Nacional de Portugal. <https://amorimcorkcomposites.com/pt/porquê-a-cortiça/factos-e-curiosidades/o-sobreiro/>, acessado a 9 de março de 2021.
- Angeles, G., Bond, B., Boyer, J. S., Brodribb, T., Brooks, J. R., & Burns, M. J. (2004). The Cohesion-Tension Theory. *New Phytologist*, 163(3), 447–449. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01160.x>
- Aranda, I., Castro, L., R., A., Pardos, J. A., & Gil, L. (2005). Low temperature during winter elicits differential responses among populations of the Mediterranean evergreen cork oak (*Quercus suber*). *Tree Physiology*, 25(8), 1085–1090.
- Aronson, J., Pereira, J., & Pausas, J. (2009). Cork Oak Woodlands on the Edge: Ecology, Adaptive Management, and Restoration. *Restoration Ecology*, 18(4), 615–617. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2010.00701.x>
- Bellot, J., Ortiz De Urbina, J. M., Bonet, A., & Sánchez, J. R. (2002). The effects of treeshelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry*, 75(1), 89–106. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.1.89>
- Březina, I., & Dobrovolný, L. (2011). Natural regeneration of sessile oak under different light conditions. *Journal of Forest Science*, 57(8), 359–368. <https://doi.org/10.17221/12/2011-jfs>
- Broncano, M. J., Riba, M., & Retana, J. (1998). Seed germination and seedling performance of two Mediterranean tree species, holm oak (*Quercus ilex* L.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.): A multifactor experimental approach. *Plant Ecology*, 138(1), 17–26. <https://doi.org/10.1023/A:1009784215900>

- Bugalho, M. N., Caldeira, M. C., Pereira, J. S., Aronson, J., & Pausas, J. G. (2011). Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(5), 278–286. <https://doi.org/10.1890/100084>
- Caldeira, M. C., Ibáñez, I., Nogueira, C., Bugalho, M. N., Lecomte, X., Moreira, A., & Pereira, J. S. (2014). Direct and indirect effects of tree canopy facilitation in the recruitment of Mediterranean oaks. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 349–358. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12189>
- Camilo-Alves, C., Dinis, C., Vaz, M., Barroso, J. M., & Ribeiro, N. A. (2020). Irrigation of young cork oaks under field conditions-testing the bestwater volume. *Forests*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/f11010088>
- Cardillo, E., & Bernal, C. J. (2006). Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels. *Forest Ecology and Management*, 222(1–3), 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.026>
- Carrilho, A. (2019). Diferenças de produtividade em povoamentos de sobreiro – relação com a Temperatura e Humidade do solo. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10362/94993>
- Castel-Branco, D. A. A. da S. (2014). Análise da mortalidade em plantações jovens de sobreiro (*Quercus suber* L.) e sua relação com a qualidade da estação Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais [Universidade de Lisboa]. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10400.5/7066>
- Chaar, H., Mechergui, T., Khouaja, A., & Abid, H. (2008). Effects of treeshelters and polyethylene mulch sheets on survival and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings planted in northwestern Tunisia. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 722–731. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.027>
- Correia, A.C., Pereira, J. S., Costa-e-Silva, F., Almeida, M. H., Pinheiro, C. (2015). Vitalidade do sobreiro - revisão do conhecimento. Lisboa: Filcork - Associação Interprofissional da Fileira da Cortiça. 47pp
- Cortina, J., Pérez-Devesa, M., Vilagrosa, A., Abourouh, M., Messaoudène, M., Berrahmouni, N., Silva, L. N., Almeida, M. H., & Khaldi, A. (2009). Field Techniques to Improve Cork Oak Establishment. In *Cork Oak Woodlands on the Edge: Ecology, Adaptive Management, and Restoration* (pp. 141–149). Island Press, Washington, DC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00701.x>
- Costa, A., & Pereira, C. (2007). Manual de Instalação de Novos Povoamentos com Sobreiro. Aplicação de Boas Práticas nas Regiões da Chamusca e de Alcácer do Sal. In ISA, ERENA, ANSUB, ACHAR, Lisboa, 32 pp.

- David, T. S., Pinto, C. A., Nadezhdina, N., & David, J. S. (2017). Estrutura e funcionamento das raízes em sobreiro: o uso de água. *Vida Rural*, 28-30.
- David, Teresa S., Pinto, C. A., Nadezhdina, N., & David, J. S. (2016). Water and forests in the Mediterranean hot climate zone: A review based on a hydraulic interpretation of tree functioning. *Forest Systems*, 25(2), 2–10. <https://doi.org/10.5424/fs/2016252-08899>
- David, Teresa S., Pinto, C. A., Nadezhdina, N., Kurz-Besson, C., Henriques, M. O., Quilhó, T., Cermak, J., Chaves, M. M., Pereira, J. S., & David, J. S. (2013). Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, 307, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.012>
- David, Teresa Soares. (2014). Estratégias de uso de água em sobreiros adultos. Relevância para a gestão. 4º Encontro REDECOR, Oeiras, 26 de novembro 2014.
- FAO (2014). World Soil Resources Reports - World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. <http://www.fao.org/3/a-i3794en.pdf>
- Faria, T., García-Plazaola, J. I., Abadía, A., Cerasoli, S., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (1996). Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology*, 16(1–2), 115–123. <https://doi.org/10.1093/treephys/16.1-2.115>
- García-Herrera, R., & Barriopedro, D. (2020). Climate of the Mediterranean Region. In *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Retrieved 21 Dec. 2020.
- García-Plazaola, J. I., Faria, T., Abadía, J., Abadía, A., Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (1997). Seasonal changes in xanthophyll composition and photosynthesis of cork oak (*Quercus suber* L.) leaves under mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, 48(314), 1667–1674. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.9.1667>
- Gemmel, P., Nilsson, U., & Welander, T. (1996). Development of oak and beech seedlings planted under varying shelterwood densities and with different site preparation methods in southern Sweden. *New Forests*, 12(2), 141–161. <https://doi.org/10.1007/BF00036626>
- Ghouil, H., Montpied, P., Epron, D., Ksontini, M., Hanchi, B., & Dreyer, E. (2003). Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings. *Tree Physiology*, 23(15), 1031–1039. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.15.1031>
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>
- González-Rodríguez, V., Navarro-Cerrillo, R. M., & Villar, R. (2011). Artificial

- regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of Forest Science*, 68(3), 637–646. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0057-3>
- Guimaraes, H., Esgalhado, C., Ferraz-De-Oliveira, I., & Pinto-Correia, T. (2019). When does Innovation Become Custom A Case Study of the Montado, Southern Portugal. *Open Agriculture*, 4(1), 144–158. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0014>
- Guimarães, M. H., Guiomar, N., Surová, D., Godinho, S., Pinto Correia, T., Sandberg, A., Ravera, F., & Varanda, M. (2018). Structuring wicked problems in transdisciplinary research using the Social–Ecological systems framework: An application to the montado system, Alentejo, Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 191, 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.200>
- Helliwell, D. R., & Harrison, A. F. (1979). Effects of light and weed competition on the growth of seedlings of four tree species on a range of soils. *Quarterly Journal of Forestry*, 73(3), 160–177.
- Holmgren, M. (2000). Combined Effects of Shade and Drought on Tulip Poplar Seedlings : Trade-Off in Tolerance or Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings : trade-off in tolerance or facilitation? *Oikos*, 90(1), 67–78.
- ICNF. (2015). 6.º Inventário Florestal Nacional (IFN6) - 2015 Relatório Final. 284. <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/ifn/ifn6>, acedido a 10 de fevereiro de 2021.
- Instituto Português do Mar e Atmosfera [IPMA]. (2010). Normais Climatológicas (Provisórias) - Évora. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>, acedido a 10 de fevereiro de 2021.
- IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (Eds.)), 616 pp.
- Johnson, P. S., Shifley, S. R., & Rogers, R. (2002). *The Ecology and Silviculture of Oaks*. CABI Publishing, 503 pp.
- Kaltenbach, T. (2007). The decline of Cork oak (*Quercus suber*) and Holm oak (*Q. ilex/rotundifolia*) in South Western Portugal. *Highschool of Applied Science and Art (HAWK)*, Germany.
- Kollmann, J., & Grubb, P. J. 1. (1999). shrub species : Control by under-canopy environment. *Ecological Research*, 14(1), 9–21.
- Kurz-Besson, C., Lobo-do-Vale, R., Rodrigues, M. L., Almeida, P., Herd, A., Grant, O. M., David, T. S., Schmidt, M., Otieno, D., Keenan, T. F., Gouveia, C., Mériaux, C., Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (2014). Cork oak physiological responses to

- manipulated water availability in a Mediterranean woodland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 184, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.10.004>
- Kurz-Besson, C., Otieno, D., Lobo Do Vale, R., Siegwolf, R., Schmidt, M., Herd, A., Nogueira, C., David, T. S., David, J. S., Tenhunen, J., Pereira, J. S., & Chaves, M. (2006). Hydraulic lift in cork oak trees in a savannah-type Mediterranean ecosystem and its contribution to the local water balance. *Plant and Soil*, 282(1–2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-0005-4>
- Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (1998). *Plant Physiological Ecology* (H. Lambers, F. S. Chapin III, & T. L. Pons (Eds.); 2nd ed.). Springer, 605 pp. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>
- Larsen, D. R., & Johnson, P. S. (1998). Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management*, 106(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00233-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00233-8)
- Lempereur, M., Limousin, J. M., Guibal, F., Ourcival, J. M., Rambal, S., Ruffault, J., & Mouillot, F. (2017). Recent climate hiatus revealed dual control by temperature and drought on the stem growth of Mediterranean *Quercus ilex*. *Global Change Biology*, 23(1), 42–55. <https://doi.org/10.1111/gcb.13495>
- Ligot, G., Balandier, P., Fayolle, A., Lejeune, P., & Claessens, H. (2013). Height competition between *Quercus petraea* and *Fagus sylvatica* natural regeneration in mixed and uneven-aged stands. *Forest Ecology and Management*, 304, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.050>
- Lobo-do-Vale, R., Kurz-Besson, C., Caldeira, M., Chaves, M., & Santos Pereira, J. (2019). Drought reduces tree growing season length but increases nitrogen resorption efficiency in a Mediterranean ecosystem. *Biogeosciences*, 16(6), 1265–1279. <https://doi.org/10.5194/bg-2018-393>
- Marôco, J. (2018). *Análise Estatística com o SPSS Statistics* (P. Pinheiro (Ed.); 7ª Edição). Report Number, 983 pp.
- Montero, G., & Cañellas, I. (2003). *Selvicultura de los Alcornocales en España*. *Silva Lusitana*, 11(1), 1–19.
- Natividade, J. V. (1950). *Subericultura* (D. G. dos S. F. e A. Ministério da Economia (Ed.); 2nd ed.), Lisboa, 387 pp.
- Neufeld, H. S. (1983). Effects of light on growth, morphology, and photosynthesis in baldcypress (*Taxodium distichum* (L.) Rich.) and pondcypress (*T. ascendens* Brongn.) seedlings. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 110(1), 43–54.
- Newbold, A. J., Goldsmith, F. B., & Harding, J. S. (1983). The regeneration of oak and beech: a literature review. *Discussion Papers in Conservation*, 33, 115pp.

- Niinemets, Ü. (2010). Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: Past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management*, 260(10), 1623–1639. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.054>
- Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2004). Photosynthetic acclimation to simultaneous and interacting environmental stresses along natural light gradients: Optimality and constraints. *Plant Biology*, 6(3), 254–268. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817881>
- Oliveira, G., & Costa, A. (2012). How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management*, 270, 257–272.
- Ortega, A. R., Almeida, L. S., Maia, N., & Angelo, A. C. (2006). Avaliação do crescimento de mudas de *Psidium cattleianum* Sab. a diferentes níveis de sombreamento em viveiro. *Cerne*, 12, 300–308.
- Osmond, C. B. (1994). What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In *Photoinhibition of Photosynthesis. From Molecular Mechanisms to the Field*, Baker, N.R. and Bowyer, J.R. (Eds.) BIOS Scientific Publishers, Oxford, 1-24.
- Paine, T. D., & Lieutier, F. (2016). Insects and diseases of mediterranean forest systems (1–892). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24744-1>
- Pardos, M., Aranda, I., M.D, J., & Puértolas, J. (2005). Water relations of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings in response to shading and moderate drought. *Annals of Forest Science*, 64, 219–228. <https://doi.org/10.1051/forest>
- Pereira, H. (2011). *Cork: Biology, Production and Uses: Biology, Production and Uses*. Elsevier Science, 346 pp.
- Pinto-Correia, Teresa. (2000). Future development in Portuguese rural areas: How to manage agricultural support for landscape conservation?. *Landscape and Urban Planning*. 50. 95-106. [10.1016/S0169-2046\(00\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00082-7).
- Pinto-Correia, T., Ribeiro, N., & Potes, J. (2013). Livro Verde dos Montados. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, January, 61. <http://www.icaam.uevora.pt/Noticias-e-Informacoes/Temas-e-Eventos-Arquivo/Livro-Verde-dos-Montados>
- Pinto, C. (2013). Responses of oak and holm oak to environmental constraints avoiding and/or tolerating drought. Lisboa: ISA, 161 pp.
- Pulido FJ, 1999. Herbivorismo y regeneración de la encina (*Quercus ilex* L.) en bosques y dehesas. Tese de doutoramento. Universidad de Extremadura, Spain.
- Pulido, F. J. (2002). *Biología reproductiva y conservación: El caso de la regeneración*

- de bosques templados y subtropicales de roble (*Quercus spp.*). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 5–15.
- Quero, J. L., Villar, R., Marañón, T., Murillo, A., & Zamora, R. (2008). Respuesta plástica a la luz y al agua en cuatro especies mediterráneas del género *Quercus* (*Fagaceae*). *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(3), 373–385. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2008000300006>
- Rambal, S. (1984). Water balance and pattern of root water uptake by a *Quercus coccifera* L. evergreen scrub. *Oecologia*, 18–25.
- Retana J., Espelta J.M., Gracia M., Riba M. (1999) Seedling Recruitment. In: Rodà F., Retana J., Gracia C.A., Bellot J. (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, 137. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58618-7_7
- Ribas, T. de T. (2011). Payments for Environmental Services as a policy tool for conserving the Portuguese Montado ecosystem Payments for Environmental Services as a policy tool for conserving the Portuguese Montado ecosystem, 128 pp. [https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/18842/1/Dissertação Mestrado_Thais Ribas.pdf](https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/18842/1/Dissertação_Mestrado_Thais_Ribas.pdf)
- Ribeiro, N., Surov, P., Dinis, C., Camilo-Alves, C., & Dias, S. (2006). Inventário nacional de mortalidade de azinheira (*Sílabas&Desafios* (Ed.); 1st ed.). *Sílabas&Desafios*.
- Röhrig, E., & Bartsch, N. (2006). *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Ulmer, Stuttgart.
- Rossi, L. M. B., Koehler, H. S., Arce, J. E., & Sanquetta, C. R. (2007). Modelagem De Recrutamento Em Florestas. *Floresta*, 37(3), 453–467. <https://doi.org/10.5380/ufv.v37i3.9942>
- Sack, L., & Grubb, P. J. (2002). The combined impacts of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings. *Oecologia*, 131(2), 175–185. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0873-0>
- Sander, I. L. (1971). Height growth of new oak sprouts depend on size of advance reproduction. *Journal of Forestry*, 69, 809–811.
- Scarascia-Mugnozza, G., E.Valentini, R., De Angelis, P., Matteucci, G., Monaco, R., & Dore, S. (1996). Seasonal net carbon dioxide exchange of a beech forest with the atmosphere. *Global Change Biology*, 2(3), 199–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1996.tb00072.x>
- Shahidian, S., Teixeira, J. L., Serrano, J., & Rolim, J. (2013). Necessidades de rega no clima Mediterrâneo. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas.
- Simões, M. P., Belo, A. F., Fernandes, M., & Madeira, M. (2016). Regeneration

- patterns of *Quercus suber* according to montado management systems. *Agroforestry Systems*, 90(1), 107–115. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9818-6>
- Smith, T., & Huston, M. (1989). A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetatio*, 83(1–2), 49–69. <https://doi.org/10.1007/BF00031680>
- Spurr, S.H. & Barnes, B.V. (1997) *Forest Ecology*. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 774 pp.
- Swiecki, T. J., & Bernhardt, E. (1998). Understanding blue oak regeneration. *Fremontia*, 26(1), 19–26.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2012). *Plant Physiology*. Sunderland, Massachusetts, USA: Sinauer Associates Inc.
- Tenhunen, J. & Geyer, R. & Banza, J. & Besson, Cathy & Carreiras, Joao & Dinh, Nguyen & Herd, A. & Mirzae, H. & Otieno, Dennis & Owen, K. & Pereira, Joao & Reichstein, Markus & Ribeiro, N. & Schmidt, Markus & Xiao, Xiangming. (2009). Assessing ecology, vulnerability and ecosystem services of Mediterranean oak woodlands. *Science and Practice of Ecological Restoration*. 36–54. In: Aronson, J., Pereira, J.S., Pausas, J.G. (eds.) *Science and Practice of Ecological Restoration Series*, Island Press, in press. Island Press, Washington DC)
- Toledo Ribas, T. de. (2011). Payments for Environmental Services as a policy tool for conserving the Portuguese Montado ecosystem Payments for Environmental Services as a policy tool for conserving the Portuguese Montado ecosystem. [https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/18842/1/Dissertação Mestrado_Thais Ribas.pdf](https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/18842/1/Dissertação_Mestrado_Thais_Ribas.pdf)
- Torres Álvarez, E. (2003). Experiencias sobre regeneración natural de alcornoque (*Quercus suber* L.). *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 47(15), 37–48.
- Valladares, F., & Pearcy, R. W. (1997). Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment*, 20(1), 25–36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-8.x>
- Varela, M. C., & Valdivieso, T. (1996). Phenological phases of *Quercus suber* L. flowering. *Forest Genetics*, 3(2), 93–102.
- Vaz, M., Maroco, J., Ribeiro, N., Gazarini, L. C., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2011). Leaf-level responses to light in two co-occurring *Quercus* (*Quercus ilex* and *Quercus suber*): Leaf structure, chemical composition and photosynthesis. *Agroforestry Systems*, 82(2), 173–181. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9343-6>
- von Essen, M., do Rosário, I. T., Santos-Reis, M., & Nicholas, K. A. (2019). Valuing and mapping cork and carbon across land use scenarios in a Portuguese

montado landscape. PLoS ONE, 14(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212174>

- Welander, N. T., & Ottosson, B. (1998). The influence of shading on growth and morphology in seedlings of *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. *Forest Ecology and Management*, 107(1–3), 117–126. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00326-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00326-5)
- Werner, C., & Correia, O. (1996). Photoinhibition in cork-oak leaves under stress: Influence of the bark- stripping on the chlorophyll fluorescence emission in *Quercus suber* L. *Trees*, 10, 288–292.
- Ziegenhagen, B., & Kausch, W. (1995). Productivity of young shaded oaks (*Quercus robur* L.) as corresponding to shoot morphology and leaf anatomy. *Forest Ecology and Management*, 73, 97–108.