



## PORTUGAL: NOVO PAÍS SUBERÍCOLA (?)

Embora os sobreiros estejam bem-adaptados ao clima mediterrânico, a sua vitalidade está relacionada com a disponibilidade hídrica e enquadramento ambiental. Em cenários de alterações climáticas, as condições de secura extrema devem afetar o crescimento das árvores em regiões suberícolas mais sensíveis, com impacto direto na produção de cortiça em qualidade.

---

Augusta Costa

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



## 1. A adaptação natural do sobreiro ao clima mediterrânico

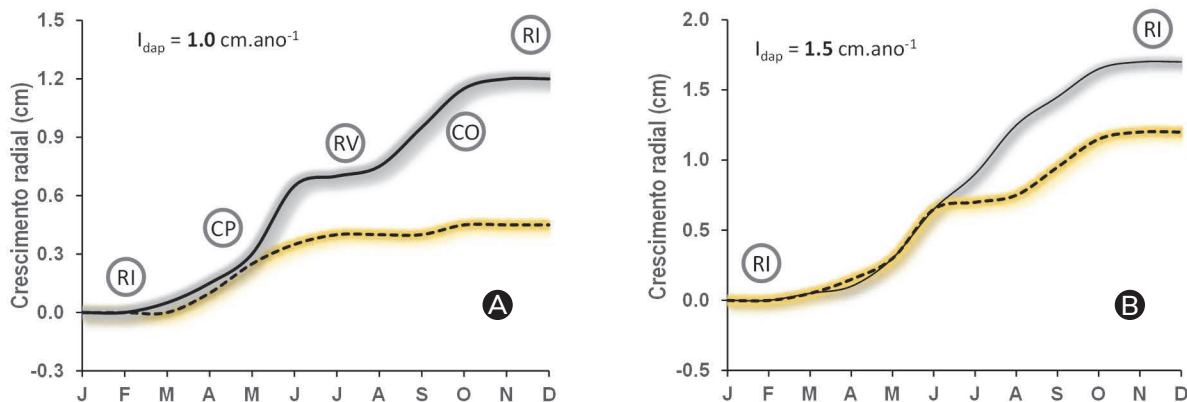
O sobreiro (*Quercus suber* L.) é uma espécie florestal bem-adaptada ao clima mediterrânico que se caracteriza por ter um período de chuvas predominantemente invernais (de novembro a fevereiro) e um longo período estival, seco e quente (de maio a setembro). As adaptações naturais do sobreiro ao clima são bem conhecidas, desde: a morfologia e fisiologia das folhas, pequenas e espessas; à arquitetura do sistema radicular, de enraizamento dimórfico e; à própria casca de cortiça de espessura considerável que reveste tronco e ramos e ainda raízes superficiais, com características de impermeabilidade e de isolante térmico para limitar perdas de água e o efeito das altas temperaturas. Ainda que só mais recentemente, do sobreiro são também bem conhecidas duas das suas estratégias de adaptação: (i) o sobreiro é definido como uma espécie “conservadora de água”, que evita grandes perdas de água durante os períodos de maior escassez, através de um forte controle estomático nas folhas (fecho dos estomas) e; (ii) o sobreiro consegue explorar a disponibilidade de água nos horizontes do solo, a diferentes profundidades (entre 1 a 15 metros) e promove uma redistribuição passiva da água, entre as raízes mais profundas e as raízes dos horizontes mais superficiais, em períodos de stress hídrico da árvore.

## 2. A adaptação do sobreiro aos efeitos das alterações climáticas

No atual contexto de alterações climáticas, um dos principais riscos dos ecossistemas florestais dos climas mediterrânicos é a redução do crescimento das árvores em virtude da diminuição da precipitação, aumento da temperatura e principalmente do aumento da frequência e severidade de eventos de seca. Os ecossistemas florestais com sobreiro não são exceção e estudos recentes, incidindo principalmente nos anéis de crescimento da cortiça e, em menor extensão, no crescimento radial do tronco, sugerem alterações do crescimento das árvores em resposta à variabilidade climática e escassez de água.

### 2.1. O crescimento radial do tronco do sobreiro

Nos climas temperados mediterrânicos, o crescimento anual das árvores inicia-se após o repouso de inverno e ocorre em dois períodos distintos, na primavera e no outono, separados por um período de repouso no verão. Na curva de crescimento radial (em diâmetro) do tronco do sobreiro (Figura 1A), o crescimento de primavera, de março a maio, é muito intenso e depende diretamente do acesso do sistema radicular das árvores à água de profundidade (água de capilaridade do lençol freático que está a menor profundidade, logo após as chuvas in-

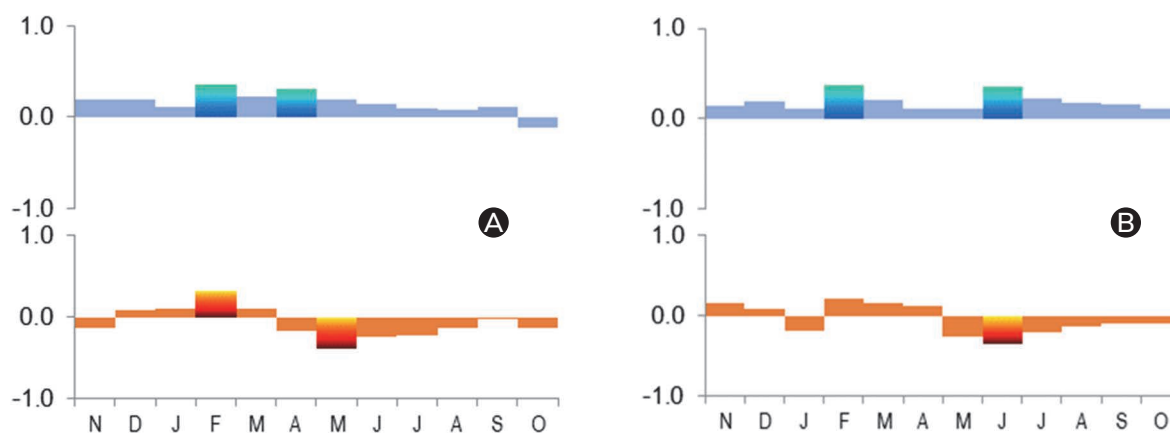


**Figura 1** – Curvas de crescimento acumulado mensal do diâmetro (em cm) do tronco de sobreiros entre janeiro (J) e dezembro (D) com: RI – Repouso Invernal; CP – Crescimento de Primavera; RV – Repouso de Verão e; CO – Crescimento de Outono: A) Curva de crescimento bimodal e; B) Curva de crescimento contínuo. A preto e sólido estão as curvas observadas e a amarelo e tracejado estão as curvas esperadas em cenários de alterações climáticas. I<sub>dap</sub> – Incremento do diâmetro à altura do peito (a 1,30 m do solo).

vernais). De modo distinto, o crescimento de outono, que se inicia logo após a estação seca do verão, de setembro a novembro, é mais moderado e depende principalmente da precipitação (i.e., da profundidade de infiltração da água) durante o período de crescimento. Esta curva de crescimento em diâmetro com dois períodos distintos, ou de crescimento bimodal, mostra a adaptação do sobreiro a condições de limitações moderadas de acesso a água no período estival. Em média, o crescimento radial do tronco das árvores com crescimento bimodal é de 1,0 cm por ano (Figura 1A).

O crescimento em diâmetro do tronco do sobreiro correlaciona-se, direta e positivamente com a precipitação e temperatura média do ar no inverno anterior ao período de crescimento (fevereiro) (Figura 2A). Temperaturas amenas e disponibilidade de água de profundidade, mesmo antes do início do período de crescimento, permite às árvores começar a produzir novos fotoassimilados e, também, a desmobilizar reservas acumuladas, para um período de crescimento intenso. Mesmo no final da primavera, a disponibilidade de água de profundidade já é mais reduzida, intensifica-se a correlação (positiva) entre o crescimento das árvores e a precipitação e inverte-se o sinal da correlação com a temperatura (negativa), que condiciona de modo decisivo o crescimento do sobreiro (Figura 2A).

Sob o clima mediterrânico, o sobreiro adapta-se a condições de acesso ilimitado à água de profundidade durante grande parte do ano e, principalmente, durante o período estival, como acontece, por exemplo, nos montados de sobreiro localizados na bacia hidrográfica do Tejo, em solos desenvolvidos sobre arenitos. Neste enquadramento ambiental, o sobreiro mostra uma curva de crescimento sem repouso de verão, ou de crescimento contínuo (Figura 1B). O crescimento anual das árvores inicia-se após o repouso de inverno e ocorre ininterruptamente de março a novembro (sem repouso estival). O crescimento é mais intenso de maio a agosto, com picos de crescimento em pleno verão, entre junho e julho, estendendo-se até novembro com crescimentos mais moderados. Em média, em resultado do crescimento contínuo, o crescimento radial do tronco das árvores é de 1,5 cm por ano, superior ao das árvores com crescimento bimodal (Figuras 1A e 1B). Ainda neste enquadramento ambiental, o crescimento em diâmetro do tronco do sobreiro no início da primavera correlaciona-se, direta e positivamente, só com a precipitação no inverno anterior ao período de crescimento (fevereiro) (Figura 2B). A ausência de correlação com a temperatura média do ar sugere que as árvores não têm necessidade de desmobilizar reservas acumuladas e o crescimento de primavera é feito com



**Figura 2** – Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ), positivos, entre 0 (sem correlação) e 1 (máxima correlação) e; negativos, entre 0 (sem correlação) e -1 (máxima correlação) entre o crescimento anual em diâmetro do tronco do sobreiro e: precipitação mensal (azul) e; temperatura média mensal do ar (laranja), entre novembro do inverno anterior ao período de crescimento (N) e outubro do ano de crescimento (O) para: A) Árvores com crescimento anual bimodal e; B) Árvores com crescimento anual contínuo.

base na produção de novos fotoassimilados. No verão (junho) intensificam-se as correlações entre crescimento e a precipitação e surge a correlação (negativa) com a temperatura média mensal do ar, que condicionam o crescimento em diâmetro do tronco do sobreiro.

Em cenários de alterações climáticas, de condições de secas extremas e prolongadas é expectável que as árvores com crescimento bimodal reduzam o seu crescimento anual até 50%, para crescimentos médios de 0,5 cm por ano, redução que se observa já em áreas restritas, climaticamente mais sensíveis (Figura 1A). Os dois períodos de crescimento (primavera e outono), mas principalmente o período de crescimento de primavera, serão tendencialmente mais curtos e de menor intensidade de crescimento. Por outro lado, é expectável que as árvores com crescimento contínuo comecem a parar de crescer no verão, por efeito de elevadas temperaturas, e tendencialmente podem apresentar um crescimento bimodal e, conseqüentemente, uma redução de crescimento (Figura 1B).

Independentemente da curva de crescimento em diâmetro do tronco do sobreiro ser bimodal ou contínua, em cenários de alterações climáticas, são as árvores mais jovens (mais pequenas), provavelmente com um sistema radicular profundo menos desenvolvido, as mais sensíveis e vulneráveis às condições de secura extrema. Estudos mostram que, em resposta a anos de seca extrema, as árvores mais jovens (mais pequenas) reduzem mais o seu crescimento anual (em mais de 50%), com o crescimento de primavera a ser o mais afetado, e demoram mais tempo (mais de dois anos) a recuperar o crescimento normal anual (pré-seca) do que as árvores mais velhas (de grandes dimensões), que recuperam no ano imediatamente a seguir.

## 2.2. O crescimento da cortiça

O crescimento da cortiça representa mais de 70% do crescimento radial, em diâmetro, do tronco de um sobreiro em exploração. É bem conhecido o efeito do descortiçamento em promover um aumento “artificial” do crescimento da cortiça, quando de crescimentos anuais médios de 1-2 mm por

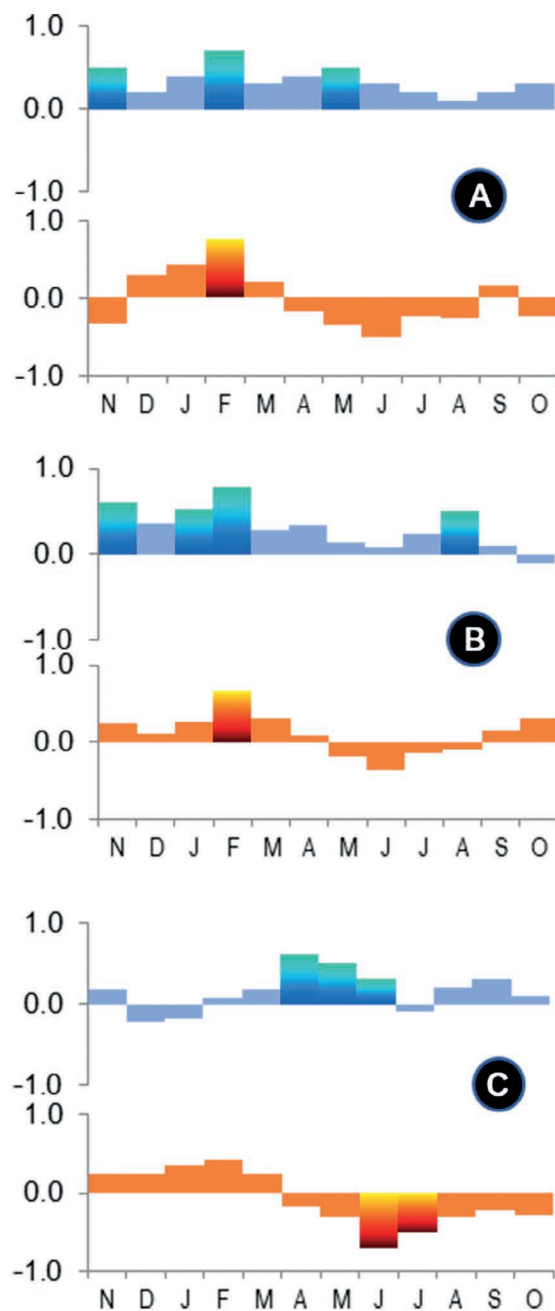
PUBLICIDADE  
1/2 página

ano pode passar a crescimentos anuais médios de 3–5 mm por ano.

De modo semelhante ao crescimento em diâmetro do tronco, o crescimento anual da cortiça depende, direta e positivamente, da precipitação e da temperatura no inverno anterior ao período de crescimento (entre novembro e fevereiro). Temperaturas amenas e disponibilidade de água de profundidade, logo a seguir às chuvas inverniais, mesmo antes do início do período de crescimento permitem às árvores produzir novos fotoassimilados e desmobilizar reservas acumuladas para a produção de anéis de cortiça (Figuras 3A e 3B). Independentemente da curva de crescimento em diâmetro do sobreiro, bimodal ou contínua, o crescimento da cortiça é sensível à temperatura média do ar, antes do início do período de crescimento da primavera, o que sugere que o crescimento da cortiça é mais sensível a este parâmetro climático (temperatura) do que o crescimento do tronco em diâmetro (que inclui também o crescimento da madeira). Esta correlação positiva entre crescimento da cortiça e temperatura sugere ainda que o crescimento da cortiça é prioritário para o sobreiro, obrigando à mobilização de reservas para a produção dos anéis de cortiça, principalmente nos anos imediatamente a seguir ao descortçamento.

Nas árvores de crescimento bimodal, a correlação positiva entre o crescimento da cortiça e a precipitação intensifica-se no final da primavera (maio), mesmo antes da paragem de crescimento da árvore no período estival (Figura 3A), enquanto nas árvores de crescimento contínuo se intensifica no final do verão (agosto), logo após o pico de crescimento da árvore (Figura 3B).

Em cenários de alterações climáticas, as árvores podem não conseguir aceder a água de profundidade, mesmo ainda que sazonalmente, e devem começar a depender exclusivamente da precipitação no período de crescimento. Como a temperatura afeta negativamente o crescimento desde o fim da primavera, o período de crescimento é tendencialmente mais curto e mais condicionado pelo estado de stress hídrico das árvores (Figura 3C). Nestes cenários, é expectável uma redução do crescimento

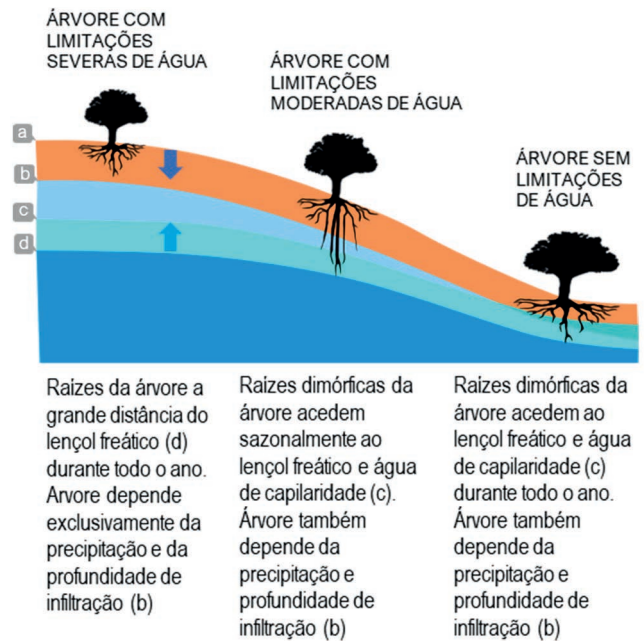


**Figura 3** – Coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ), positivos, entre 0 (sem correlação) e 1 (máxima correlação) e; negativos, entre 0 (sem correlação) e -1 (máxima correlação), entre crescimento anual da cortiça e; precipitação mensal (azul) e; temperatura média mensal do ar (laranja), entre novembro do inverno anterior ao período de crescimento (N) e outubro do ano de crescimento (O) para: A) Árvores com crescimento anual bimodal; B) Árvores com crescimento anual contínuo e; C) Árvores com crescimento bimodal e com acesso muito reduzido à água de profundidade, mesmo ainda que sazonalmente.

da cortiça, pois a produção de fotoassimilados no período de crescimento será tendencialmente muito condicionada pelo *stress* hídrico da árvore e terá de haver uma realocação de reserva(s) do(s) ano(s) anterior(es) para a formação da cortiça.

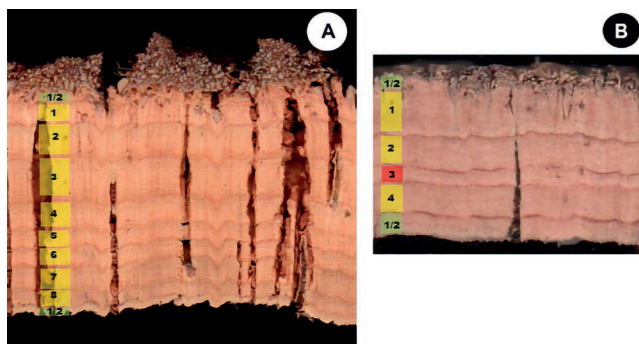
Na serra de Grândola, em solos esqueléticos desenvolvidos em formações xistosas e sob um enquadramento geomorfológico muito particular (Figura 4), observou-se já uma redução de crescimento muito significativa em árvores localizadas nas cumeadas, em condições de secura, sem capacidade de aceder à água de profundidade durante todo o ano. Estas árvores apresentam um crescimento bimodal, com um crescimento de primavera curto e de moderada intensidade e um longo período de repouso estival derivado do estado de *stress* hídrico. Estudos mostram uma correlação positiva entre o crescimento da cortiça e a precipitação que ocorre no período de crescimento (abril–maio), mesmo antes da paragem de crescimento da árvore no período estival. A temperatura média do ar afeta negativamente o crescimento anual da cortiça desde o princípio do verão (junho) (Figura 3C).

Em cenários de alterações climáticas, são as árvores com maiores crescimentos anuais de cortiça, e desde logo, com maiores crescimentos de primavera, localizadas em áreas de maior aptidão suberícola, as mais afetadas e com redução drástica de crescimento. É esta intensidade de crescimento da cortiça (maior ou menor largura dos anéis de crescimento) e, especificamente, a curva de crescimento da cortiça que determinam a intensidade de redução e de recuperação do crescimento da cortiça em resposta a anos de seca, independentemente da idade (ou dimensão) das árvores. Estudos mostram que em resposta à ocorrência de anos de seca durante os primeiros anos do ciclo de produção de cortiça (i.e., até quatro anos após o descortiçamento), quando os anéis de crescimento da cortiça são relativamente largos, a redução do crescimento é notável, até 40% de crescimento (Figura 5B). No entanto, o crescimento normal é recuperado logo no ano seguinte pelas árvores mais velhas (de maiores dimensões). Estes resultados sugerem uma prioridade de alocação de fotoassimilados e de reservas na produção



**Figura 4** – Esquema do perfil de água no solo ao longo de um gradiente de drenagem (a. Superfície do solo; b. Profundidade de infiltração; c. Elevação por capilaridade; d. Lençol freático). A distância das raízes do sobreiro à água de capilaridade (em profundidade) diminui com a localização da árvore: Nas cumeadas arredondadas, onde as raízes estão a grande distância do lençol freático, que se encontra a grande profundidade, as árvores têm limitações severas de água – não conseguem aceder à água de capilaridade ao longo de todo o ano e estão em *stress* hídrico durante o período estival; Na meia-encosta, as raízes profundas acedem à água capilaridade do lençol freático, quando este se encontra a menor profundidade, principalmente logo após o inverno, as árvores têm limitações moderadas de água – conseguem aceder à água de capilaridade sazonalmente ao longo do ano. No sopé da encosta, quase na linha de água, as raízes acedem à água de profundidade durante todo o ano, as árvores não têm limitações de acesso à água. Adaptado de Fan et al. (2017).

de camadas de cortiça, mesmo em anos de seca, para repor rapidamente a sua camada (impermeável e isolante) de cortiça, perdida aquando do descortiçamento. Quando o mesmo ano de seca ocorre 5 a 6 anos após o descortiçamento, a redução do crescimento da cortiça é inferior a 10%, que pode ser recuperado até 3 anos nas árvores mais jovens (de menores dimensões). Nesta fase, o crescimento da cor-

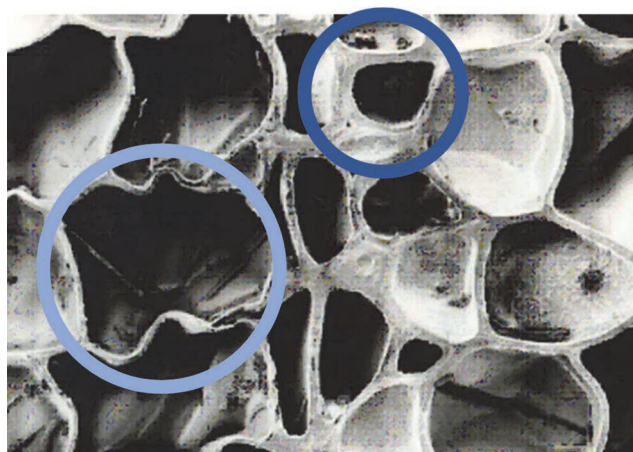


**Figura 5** – A) Seção transversal de amostra de cortiça com nove anos de criação de cortiça (8 anos completos, a amarelo, e mais dois meios-anos, a verde). Anéis de crescimento da cortiça bem delineados e visíveis, com um padrão sazonal de crescimento: um crescimento de primavera (tonalidades mais claras) e com largura muito variável e; um crescimento de outono (tonalidades mais escuras) e largura constante. A curva dos crescimentos anuais da cortiça é uma curva descendente em que os maiores crescimentos ocorrem imediatamente após o descortçamento numa estratégia da árvore em repor rapidamente novas camadas de cortiça para sobreviver e vão decrescendo gradualmente. B) Seção transversal de amostra de cortiça com cinco anos de criação de cortiça (4 anos completos, a amarelo, e mais dois meios-anos, a verde). No terceiro ano completo de criação de cortiça (3) pode observar-se a redução do anel de crescimento (esta redução foi no crescimento da cortiça do ano 2019, a vermelho). A recuperação do crescimento da cortiça é notável e ocorre no ano imediatamente a seguir (quarto ano completo de criação de cortiça (4)).

tiça é menos prioritário, mais moderado e compete por fotoassimilados e reservas com crescimentos de outros órgãos e tecidos (folhas, raízes ou frutos).

### 2.3. A densidade da cortiça

A densidade da cortiça está diretamente relacionada com o espessamento das paredes celulares das células de cortiça e a densidade máxima do anel de crescimento da cortiça relaciona-se com o espessamento das paredes das células de cortiça produzidas no período de outono, ou seja, das chamadas células de outono ou de fim de estação (Figura 6). A variação de crescimento da cortiça é principalmente uma variação da largura do (anel de) cres-



**Figura 6** – Excerto de microfotografia obtida por microscopia eletrônica de varrimento da seção transversal da cortiça e que mostra em grande plano: as células de primavera, células de cortiça de grande dimensão, com grandes lúmenes e de paredes celulares pouco espessas (círculo azul mais claro) e; as células de outono, células de cortiça pequenas, com lúmenes reduzidos e paredes celulares muito espessas (círculo azul mais escuro).

cimento de primavera (Figura 5A) que corresponde a uma variação do número das células de cortiça produzidas. A variação da densidade máxima da cortiça é principalmente uma variação da espessura das paredes celulares das células de cortiça do (anel de) crescimento de outono que se mantém com uma largura mais ou menos constante, independentemente do crescimento da cortiça. Em árvores com crescimento bimodal foi encontrada uma correlação direta e positiva entre a densidade máxima anual da cortiça e a temperatura média mensal do ar no fim da primavera, princípio do verão (máxima em junho). Estes resultados sugerem que as árvores em stress hídrico, desde o fim da primavera e durante o verão, promovem o espessamento das paredes das células de cortiça produzidas em fim de estação, no outono, em vez de reduzir o número ou tamanho das células produzidas. Em cenários de alterações climáticas, com o agravamento do estado de stress hídrico das árvores, desde o fim da primavera e durante todo o verão, é expectável um aumento da densidade máxima da cortiça, pelo aumento do espessamento das pare-

des celulares das células de outono, coincidente com uma diminuição do crescimento anual da cortiça, pela redução do número de células de cortiça formadas na primavera. É por isso previsível um decréscimo em qualidade da prancha de cortiça, que deve ter menor calibre (menores crescimentos anuais) e menor compressibilidade (maior densida-

de), que afeta negativamente a qualidade da rolha e disco de cortiça natural.

### 3. Gestão florestal para a adaptação do sobreiro às alterações climáticas

Em cenários de alterações climáticas, dadas as características de adaptação do sobreiro, as árvores

**Tabela 1 – Efeitos das alterações climáticas nos serviços de ecossistema: Avaliação de riscos e práticas de gestão florestal para a adaptação dos ecossistemas florestais com sobreiro**

Serviços de ecossistema	Riscos das alterações climáticas	Gestão florestal para adaptação
<b>Produção</b>		
Produtos: Cortiça, madeira, bolota, outros produtos não lenhosos	Redução do crescimento das árvores Redução do crescimento da cortiça Redução do crescimento da madeira Aumento da densidade da cortiça Mudanças no esforço reprodutivo Aumento do stress (descortiçamento) Aumento de vulnerabilidade (pragas, doenças)	Ajustar as práticas de podas (manter equilíbrio de processos fisiológicos do sobreiro) Ajustar as práticas de desbastes (remoção seletiva de sobreiros) Promover a fertilização (química e biológica) Ajustar práticas de descortiçamento (manter equilíbrio de processos fisiológicos do sobreiro) Flexibilizar práticas de descortiçamento (evitar a sobre-exploração do sobreiro) Promover esquemas de Certificação Florestal Selecionar os genótipos melhor adaptados às condições locais Incluir variáveis climáticas nos modelos de crescimento da cortiça e da árvore
<b>Reguladores</b>		
Regulação do ciclo hidrológico	Mudanças do estado de stress hídrico Invasão de matos de porte arbustivo Diminuição da biodiversidade	Gestão da água (evitar a redução dos recursos de água nos lençóis freáticos) Promover a sucessão florestal secundária Controle de vegetação arbustiva para remediar a disponibilidade de recursos hídricos
Prevenção de risco de incêndio	Risco de incêndios	Planeamento florestal aplicando técnicas de “fire smart” Descortiçamento não sincronizado
Sequestro de carbono	Mudanças nos sumidouros de carbono Aumento de emissões de CO <sub>2</sub>	Promover novas plantações com sobreiro Promover a instalação de povoamentos mistos com sobreiro Evitar ao declínio dos ecossistemas florestais com sobreiro (preservação de árvores de grande dimensão)
Conservação do solo	Perturbações e degradação do solo Aumento da erosão e compactação Diminuição da fertilidade (matéria orgânica)	Limitar a mobilização do solo Evitar o sobrepastoreio (pastoreio sazonal)
<b>Suporte</b>		
Biodiversidade	Aumento da severidade de perturbações do ecossistema florestal	Minimizar a fragmentação dos ecossistemas florestais e manter a conectividade Considerar indicadores “Early-Warning” para evitar o declínio Proteger árvores de grandes dimensões Proteger árvores de ataques de doenças e/ou de pragas Promover a resiliência dos ecossistemas (povoamentos irregulares) Controlar a invasão de matos de porte arbustivo
Vitalidade dos ecossistemas florestais	Diminuição da vitalidade das árvores	Monitorização para a deteção atempada de problemas de fitossanidade Restauro de áreas degradadas Assegurar a regeneração natural do sobreiro Promover povoamentos irregulares



não serão todas afetadas da mesma forma e a resposta parece ser uma resposta local, de enquadramento ambiental, climático e disponibilidade hídrica. Em áreas mais sensíveis, as práticas de gestão florestal adequadas aumentam a resiliência dos ecossistemas florestais com sobreiro aos efeitos das alterações climáticas e podem incluir: o aproveitamento da regeneração natural, a fertilização biológica, a flexibilização da prática do descortçamento ou uma silvicultura sustentável de baixa intensidade (Tabela 1).

### Nota final

Em dezembro de 1938, Joaquim Vieira Natividade publicava no Boletim da Junta Nacional da Cortiça um artigo chamado “Novos Países Suberícolas”. Nesse artigo, o autor escrevia, com a mestria e desenvoltura a que sempre nos habituou, sobre a necessidade de defender a riqueza suberícola nacional ameaçada pelas aspirações de países como a Rússia, o Japão, a Argentina, os Estados Unidos da América e, mesmo, a Itália de se “abastecerem no próprio solo de cortiças para trituração (refugos e virgens), para não falar já na possibilidade evidente de fabricarem, com cortiças de mediana ou baixa qualidade, certos tipos concorrentes de rólhas”. Passados 84 anos sobre a data da publicação deste artigo, continuamos a tentar defender a riqueza suberícola nacional, mas agora ameaçada pelas condições dos nossos próprios solos e do nosso clima, para não falar já na possibilidade evidente da diminuição da qualidade da cortiça nacional. 🌿

### Bibliografia

Costa, A. (2016). Effects of climate change on cork oak woodlands. *19Líneas*, Junio-Julio **30**:44–47.

Costa, A. et al. (2008). The relationship between cork oak growth patterns and soil, slope and drainage in a cork oak woodland in Southern Portugal. *For Ecol Manage*, **255**:1525–1535.

Costa, A. et al. (2016). Climate response of cork growth in Mediterranean oak (*Quercus suber* L.) woodlands of southwestern Portugal. *Dendrochronologia*, **38**:72–81.

Costa, A. et al. (2020). Modelling bark thickness variation in stems of cork oak in south-western Portugal. *Eur J For Res*, **139**:611–625.

Costa, A. et al. (2022). Beyond width and density: stable carbon and oxygen isotopes in cork-rings provide insights of physiological responses to water stress in *Quercus suber* L. *PeerJ*, **10**:e14270.

Costa, A. et al. (2022). Effect of climate on cork-ring width and density of *Quercus suber* L. in southern Portugal. *Trees*, <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02321-0>.

Costa, A. & Cherubini, P. (2021). Is cork growth a reliable proxy for stem diameter growth in cork oak (*Quercus suber* L.)? Implications for forest management under climate change in Mediterranean regions. *Appl Sci*, **11**:11998.

Fan, Y. et al. (2017). Hydrologic regulation of plant rooting depth. *PNAS*, **114**(40):10572–10577.

Mendes, M.P. et al. (2016). How dependent are cork oak (*Quercus suber* L.) woodlands on groundwater? A case study in southwestern Portugal. *For Ecol Manage*, **378**:122–130.

Mendes, M.P. et al. (2019). Climate effects on stem radial growth of *Quercus suber* L.: does tree size matter? *Forestry*, **92**(1):73–84.