

Seleção de Espécies Lenhosas Adequadas às Técnicas de Engenharia Natural

Carlo Bifulco* e Francisco Castro Rego**

*Investigador

**Professor Associado c/ Agregação

Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

Sumário. A engenharia natural, desenvolvida na Europa central depois da segunda guerra mundial e na Europa mediterrânica nos últimos vinte anos, tem-se recentemente desenvolvido em Portugal com grandes potencialidades de expansão.

Para a estabilização e a consolidação das encostas a engenharia natural utiliza árvores e arbustos autóctones com boa capacidade de propagação vegetativa. Uma das características essenciais destas espécies, quer se empreguem como estacas ou plantas inteiras, é a possibilidade de enterrar o seu caule, em cerca de um metro, sem que este facto comprometa a sua viabilidade.

Neste artigo seleciona-se uma lista de espécies da flora continental portuguesa com base no conhecimento prático adquirido e nas publicações técnico-científicas de Portugal, da Europa central e centro-meridional.

São posteriormente definidos grupos de espécies da flora portuguesa que podem ser consideradas como (i) adequadas para aplicação em obras de engenharia natural em Portugal e (ii) provavelmente adequadas, carecendo de um maior conhecimento através da realização de trabalhos de investigação. Sobre estas últimas prevê-se continuar o seu estudo através de um programa de ensaios para avaliação das suas características biotécnicas.

Palavras-chave: Engenharia natural; propagação vegetativa; estacas; enraizamento; raízes adventícias; flora continental portuguesa

Selection of Suitable Species for Bioengineering

Abstract. Soil bioengineering was developed in central Europe after World War II and in Mediterranean Europe in the last twenty years; soil bioengineering has been recently applied also in Portugal suggesting its potential future development.

Soil bioengineering, to consolidate and stabilize sliding down slopes, uses indigenous trees and shrubs with good vegetative propagation. A key feature of these species, employed as cuttings or as whole plants, is to not get damaged when their stems are buried in the ground about one meter.

In this article is selected, from Mainland Portugal flora, a list of plant species, starting from scientific literature of Portugal, Central Europe and Central and Southern Europe, and using practical knowledge developed in Southern Italy.

1º Autor E-mail: carlobifulco@isa.utl.pt

Afterwards groups of species are defined as (i) appropriate for soil bioengineering works to do in Portugal and (ii) probably adequate, requiring further researches to improve the knowledge about their feature. Tests are planned to assess the biotechnical features of this second group.

Key words: Soil bioengineering; vegetative propagation; cuttings; rooting; adventitious roots; flora of Mainland Portugal

Sélection de Plantes Ligneuses Adéquates aux Techniques du Génie Biologique

Résumé. Le génie biologique, développé en Europe centrale après la Seconde Guerre mondiale et dans l'Europe méditerranéenne au cours des vingt dernières années, a été récemment développée au Portugal et on peut imaginer sa grande capacité potentielle d'expansion.

Le génie biologique utilise des arbres et arbustes autochtones, avec une bonne capacité de multiplication végétative, pour la stabilisation et la consolidation des pentes. Une caractéristique clé de ces espèces, employées sous forme de boutures ou de plantes entières, est la possibilité d'enterrer leurs tiges, environ un mètre, sans que cela menace leur viabilité.

Dans cet article, on a sélectionnée une liste des espèces végétales de la flore du Portugal continental, en fonction de la littérature scientifique du Portugal, du Europe centrale et du Europe centre-méridionale, et de l'acquis des connaissances pratiques.

Ensuite on a définis des groupes d'espèces de la flore portugaise qui peuvent être considérées comme (i) appropriées pour les travaux de génie biologique au Portugal et (ii) probablement appropriées, mais que nécessitent plus de recherches pour une meilleure connaissance. Il est prévu de poursuivre l'étude de ce second groupe d'espèces à travers un programme de tests pour mieux évaluer leurs caractéristiques biotechnologiques.

Mots clés: Génie biologique; multiplication végétative; boutures; enracinement; racines adventives; flore du Portugal continental

Introdução

A engenharia natural (EN) foi desenvolvida na Europa central depois da segunda guerra mundial e na Europa mediterrânica nos últimos vinte anos. É uma importante técnica que permite compensar os desequilíbrios induzidos nos ecossistemas por processos artificiais ou mesmo naturais.

A EN na Europa tem o seu papel bem identificado desde a sua aplicação pelo Eng.^o Hugo Meinhard Schiechl, nos Alpes Orientais Austríacos, a partir da segunda metade do século passado. A área alpina e a Europa central foram as regiões onde, durante muitos anos, se experimentou a EN, se acompanhou a execução das suas obras e se fez a monitorização *post-opera*, de forma mais alargada (SCHIECHTL, 1973). O

conhecimento acumulado sobre as técnicas da EN e dos seus materiais construtivos - vivos, que são o seu elemento distintivo, ficou limitado a esta área geográfica e ao seu clima específico até a última década do século passado.

A partir de 1998 a EN teve uma larga difusão na Europa meridional, nomeadamente na Itália central e meridional, baseando-se no conhecimento até aí adquirido e em alguns dos pressupostos que dele advinham (CORNELINI e SAULLI, 2005). No entanto muitos aspetos decorrentes da adaptação das técnicas de EN a esta área geográfica conduziram a novas, interessantes e originais experiências.

A EN é reconhecida como uma técnica de diminuto impacte ambiental, sendo considerada uma ferramenta de recuperação da degradação ambiental,

possibilitando que os desequilíbrios induzidos aos ecossistemas possam ser compensados. No entanto, para se garantir um menor impacto será necessário eliminar, dos projetos de EN e das suas obras, os materiais sintéticos, substituindo-os por biodegradáveis. Simultaneamente, e na procura do mesmo objetivo, é decisiva a integração ecológica das obras de EN no ambiente envolvente. A seleção das espécies deve estar de acordo com a fitocenose do lugar e com as séries possíveis de sucessões ecológicas (SCHIECHTL, 1973; SAULI e CORNELINI, 2002).

As experiências de EN têm sido realizadas sobretudo em zonas ribeirinhas ou em áreas alpinas, locais onde não há períodos de seca prolongados e, conseqüentemente, o stress hídrico não é uma limitação à utilização de estacas vivas, sendo estas o principal material de construção das obras de EN na estabilização e consolidação das encostas.

As experiências em clima mediterrânico - Itália Meridional, em encostas áridas ou afastadas dos rios, têm demonstrado que o uso de estacas não é viável, propondo em seu lugar, como material alternativo de uso mais abrangente, plantas lenhosas com o caule enterrado.

A aplicação da EN nas encostas secas de Portugal pode beneficiar dos resultados obtidos nas experiências desenvolvidas noutros países de clima mediterrânico; no entanto, as plantas aí utilizadas com sucesso não pertencem à flora portuguesa, sendo por isso necessário encontrar as que melhor se adequam a Portugal.

O objetivo deste trabalho é a definição de um conjunto de plantas lenhosas da flora portuguesa que se qualificam como (i) adequadas para aplicação em obras de

EN e (ii) presumivelmente adequadas, carecendo de um maior conhecimento através da realização de trabalhos de investigação.

Métodos

Para a definição do conjunto de plantas lenhosas da flora portuguesa adequadas às técnicas de EN serão seguidos os três passos metodológicos propostos pelo "brainstorming" (BEZZI e BALDINI, 2006):

- identificação do problema, definição dos requisitos das espécies a utilizar nas técnicas de EN em Portugal;
- fase divergente, determinação de pressupostos que aparentemente contêm soluções com resultados positivos: seleção das espécies *candidatas*;
- fase convergente, avaliação dos pressupostos com base em critérios técnico-científicos que levem à escolha das soluções mais adequadas ao problema: avaliação e diferenciação das espécies *candidatas*.

Depois de ter identificado o problema, definindo os requisitos das espécies lenhosas a utilizar na consolidação e estabilização de taludes, através da consulta da bibliografia disponível para a Europa e Portugal continental, determina-se um grupo de espécies *candidatas*, potencialmente adequadas para aplicação em obras de EN, ou seja, as referidas na bibliografia como evidenciando uma boa capacidade de reprodução vegetativa. Fechar-se-á esta fase divergente incluindo, no grupo das *candidatas*, outras espécies, resultantes do conhecimento decorrente

da experiência profissional no parque nacional do Vesúvio (BIFULCO, 2001) e de outras experiências em Portugal continental (COSTA, com. pess.). Seguidamente, na fase convergente, serão definidos os critérios de base sob os quais as espécies *candidatas* serão avaliadas. Proceder-se-á à subdivisão das espécies em classes, designadamente em (i) espécies que podem ser consideradas desde já adequadas para aplicação em obras de EN em Portugal e (ii) espécies presumivelmente adequadas, carecendo no entanto de subsequente trabalho de investigação.

Identificação do problema: caracterização do material vivo a aplicar em obras de engenharia natural na estabilização e consolidação de encostas

A escolha do material vivo: sementes, plantas, estacas

Nas obras de EN são usados diversos materiais com diferentes características

(SCHIECHTL, 1973; SAULI e CORNELINI, 2002) que podem ser:

- Materiais construtivos vivos: plantas, estacas, sementes.
- Materiais mortos: pedras, postes de madeira, pregos, têxteis de fibra vegetal.
- Outros materiais orgânicos, como o estrume, ou sintéticos, como as geogrelhas de plástico.

Na fase de projeto a análise das propriedades técnicas dos materiais é um dos seus principais elementos orientadores.

A EN define "estaca" como um elemento vivo, parte do caule de uma planta que, cortada e enterrada parcialmente no solo, seja capaz de emitir raízes e posteriormente folhas (Figura 1) e "planta" como um elemento inteiro, completo nas suas partes, com raízes, caules e folhas.



Figura 1 - Estacas de *Atriplex halimus*, *Vitex agnus-castus*, *Nerium oleander* e *Tamarix gallica* (fotografia - Cornelini)

Nas obras de estabilização e consolidação do solo os materiais mais utilizados são as estacas e as plantas. Este tipo de obras pode ser acompanhado com ações de proteção contra a erosão (SCHIECHTL, 1973; SAULI e CORNELINI, 2002) através da realização de vários tipos de sementeira.

Embora fora do âmbito deste trabalho de investigação refere-se que as sementes de espécies herbáceas, das famílias de leguminosas e gramíneas, são utilizadas principalmente nas obras de revestimento vegetativo e proteção contra a erosão superficial. As sementes de espécies arbustivas são aplicadas com menor frequência, recorrendo-se a estas quando há reconhecida facilidade de germinação. O uso de sementes de difícil germinação que necessitam de tratamentos específicos é raro e restringido a casos para os quais não se encontrem alternativas.

Não se exclui da realização de obras de EN, plantações e sementeiras realizadas segundo as tradicionais práticas silvícolas, com recurso a plantas lenhosas, provenientes de viveiro, e/ou sementes de plantas lenhosas, contudo a aplicação deste tipo de técnicas, nas práticas de EN, é muito escasso (SCHIECHTL, 1973; CORNELINI e SAULI, 2005).

As estacas de plantas lenhosas e as sementes de herbáceas são os principais materiais vivos em uso nas obras de EN. Nos Alpes, as estacas mais utilizadas são varas de cerca de 1 m de comprimento que podem ter até 8 cm de diâmetro. As experiências mencionadas por SCHIECHTL (1973, 1992), com estacas de salgueiro colocadas diretamente no terreno, sem aditivos ou fertilizantes, revelam que a capacidade de enraizamento de uma estaca aumenta

com a sua idade (usualmente utilizam-se caules de 2 ou 3 anos), o diâmetro e o número de nós com gemas. Esta conclusão tem sido basilar na escolha das dimensões das estacas para os trabalhos de EN.

SCHIECHTL (1973, 1992) e SCHIECHTL e STERN (1992) forneceram resultados devidamente referenciados, provenientes de anos de experiências, relativos às espécies usadas na Europa central, proporcionando dados sobre as percentagens de enraizamento, o volume radicular e o volume da folhagem. Experimentou ainda (SCHIECHTL, 1973) uma modalidade de diferente posicionamento das estacas no terreno, pouco comum naquela época. Trata-se do enterramento da estaca inclinada 10° relativamente ao plano horizontal, conseqüentemente, pouco profunda. Com este posicionamento Schiechtl conseguiu o enraizamento das estacas ao longo do todo o seu caule, usufruindo das gemas caulinares e não apenas das referentes ao corte basal, promovendo um volume de raízes emitidas muito superior ao de uma plantação vertical. Posteriormente esta metodologia foi adotada em todas as obras de EN, sendo um dos seus aspetos caracterizadores (Figuras 2 e 3).

SCHIECHTL (1973) define diversos esquemas de trabalho para as obras de EN: a quase totalidade destes esquemas de trabalho usa, como material de construção vivo, sementes, sobretudo de herbáceas, e/ou estacas de várias dimensões. O único caso para o qual as plantas são explicitamente indicadas como único material de construção vivo, é a técnica chamada "faixas de vegetação com plantas" (nome em alemão: *Heckenlangenbau nach Schiechtl*; nome em italiano: *Sistemazione com messa a dimora*

di siepe sec. Schiechtl). Este esquema é uma alteração à técnica "faixa de vegetação com estacas", considerada mais relevante por SCHIECHTL (1973). Na execução da última técnica referida a plantação não se faz de forma tradicional, verticalmente, mas, em

analogia com o esquema que Schiechtl tinha já usado com as estacas (Figuras 4 e 5), enterradas em 2/3 do seu comprimento total e com o caule disposto sobre de um plano de escavação sub-horizontal (na prática acima de 10° em relação ao plano horizontal).

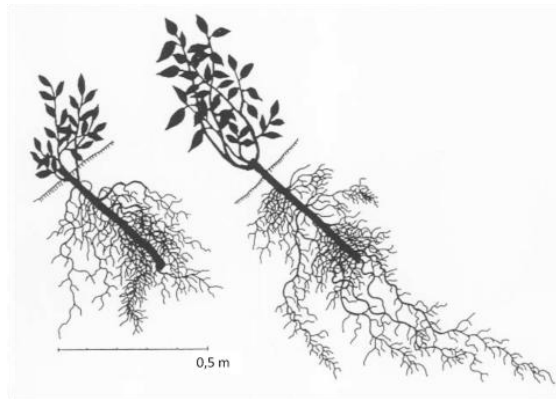


Figura 2 - Estacas de *Salix myrsinifolia* dois anos após implante (adaptado de SCHIECHTL, 1973)



Figura 3 - Estaca de *Salix caprea* três meses após implante (parque nacional do Vesúvio)

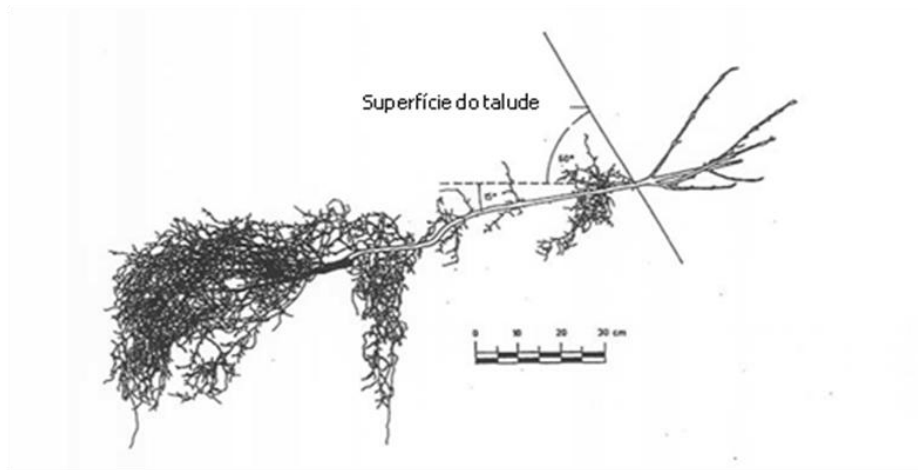


Figura 4 - Raízes adventícias ao longo do caule duma planta enterrada (adaptado de FLORINETH, 2004)



Figura 5 - Raízes adventícias ao longo do caule de *Colutea arborescens* 15 meses após enterramento (parque nacional do Vesúvio)

Para executar este tipo de esquema, as plantas a utilizar têm de suportar o enterramento do caule e ter a capacidade de emitir raízes adventícias ao longo deste. A faculdade de uma planta resistir ao enterramento do seu caule não é uma

propriedade comum para a maioria das espécies. Frequentemente o caule, quando enterrado, apodrece e a planta deteriora-se e acaba por morrer.

A humidade no solo é um fator limitante ao enraizamento das estacas e

SCHIECHTL (1973), na sua experiência alpina, refere o mês de Maio como o mês crítico, até ao qual tem de estar garantido o desenvolvimento de um sistema radicular que permita ultrapassar o período seco que se lhe segue. Esta limitação é menos decisiva em locais ou regiões onde a humidade do terreno é assegurada, quer pela presença da toalha freática ou de rios e ribeiras, ou quando os períodos secos são muito curtos. No entanto esta restrição torna-se o maior obstáculo ao sucesso da EN em clima mediterrânico.

Pode-se confirmar esta dificuldade nas primeiras experiências de EN levadas a cabo no parque nacional do Vesúvio. No fim do Inverno de 1988 foram aí plantadas estacas de *Salix alba* e *Salix alba ssp. vitellina*, segundo os esquemas de Schiechtl. Na primavera seguinte deu-se a rebentação radicular (ao longo de mais 1 m) e de nova folhagem, mas após o período de estio todas as estacas secaram, apesar dos salgueiros escolhidos serem autóctones e das estacas terem sido cortadas em árvores muito próximas do local de utilização. No período primaveril a experiência revestiu-se de um grande êxito, mas a secura de Junho a Setembro, reforçada pela existência de um solo vulcânico, rico em elementos minerais, mas muito poroso, não permitiu que as estacas sobrevivessem ao verão.

Depois deste primeiro insucesso, optou-se por utilizar plantas em lugar das estacas, em todas as aplicações de EN no parque nacional do Vesúvio (BIFULCO, 2001). Nestas obras, as plantações não foram executadas como habitualmente, as plantas foram enterradas numa extensão importante do caule (mais de um metro, sempre que possível), deixando exteriormente apenas

10 cm. Os caules enterrados sub-horizontalmente contribuíram, com efeitos imediatos, para a consolidação do terreno atuando como uma escora. Este efeito fez-se sentir posteriormente, ainda com maior intensidade, através do enraizamento, não só da extremidade radicular, mas ao longo do caule. Desta forma foi possível resolver e ultrapassar o problema dos longos períodos de estio mediterrânico, utilizando espécies como: *Fraxinus ornus*, *Coronilla emerus*, *Colutea arborescens*, *Ligustrum vulgare*.

As obras de EN continuaram no parque nacional do Vesúvio, onde o autor C. Bifulco foi diretor de 1997 até 2005, coordenando uma equipa de técnicos e trabalhadores que se especializou na execução de obras de EN. O êxito das obras de EN aí realizadas desde 1998, ainda hoje verificável, testemunha o bom resultado do uso de plantas em lugar das estacas, em clima mediterrânico e em solos sujeitos à seca estival.

Do atrás exposto considera-se que as características das espécies lenhosas, árvores e arbustos, necessárias à utilização como material vivo nas obras de EN (especificamente aquelas que visam a estabilização das encostas) são as seguintes:

- estacas de espécies com uma boa capacidade de propagação vegetativa;
- plantas de caule resistente ao enterramento com faculdade de rebentação radicular na sua extensão.

Seleção das espécies para projetos de EN

Devem registar-se à partida as diferenças entre o processo que leva à determinação das espécies adequadas às

técnicas de EN - objetivo deste trabalho, e o processo que leva à escolha, de entre as plantas adequadas, das mais indicadas para um determinado local, numa situação específica - objetivo do projeto. Para que não se confundam estes dois objetivos, considera-se útil discutir, brevemente, os critérios que devem ser tidos em conta no processo de seleção das espécies num projeto de EN.

A escolha das espécies é de crucial importância quando se pretende promover a integração ecológica das obras de EN no ambiente envolvente. Assim, o primeiro critério de seleção das espécies recairá sobre as que se encontram em harmonia com a fitocenose do lugar e com as séries possíveis de sucessões ecológicas (SCHIECHTL, 1973; SAULI e CORNELINI, 2002). O estudo da fitocenose é um instrumento facilitador da análise e da descrição da paisagem e possibilita ainda detetar, evidenciando, eventuais problemas do local que devem ser investigados com profundidade. Numa obra de EN a escolha das espécies (herbáceas, arbustivas e arbóreas) permite contribuir, por um lado para acelerar a evolução da sucessão ecológica favorecendo a constituição de um bosque de espécies autóctones, ou por outro lado, para o estabelecimento de pastagens permanentes (SCHIECHTL, 1973). Quando a área de intervenção é um solo nu, nomeadamente resultante de uma escavação ou de um deslizamento, as informações serão recolhidas em parcelas de amostragem próximas ou em situação semelhante, permitindo identificar as plantas da associação previamente existente e quais as suas séries evolutivas, de modo a tentar reconstruir um ecossistema análogo. A posterior monitorização da obra permitirá a verificação dos pressupostos

ecológicos do projeto, o assinalar de eventuais erros e a necessidade de uma intervenção de manutenção corretiva.

As condições edafo-climáticas do local de intervenção são outro fator essencial a considerar na seleção das espécies num projeto de EN. O tipo de solo e o bioclima (nomeadamente o termotipo que mede a intensidade do frio invernal e a amplitude térmica anual e o ombrotipo que mede a relação entre pluviosidade e temperatura) são fatores que caracterizam o tipo de vegetação potencial e permitem prever a ação dos agentes que influenciam os fenómenos erosivos, sendo por isso elementos essenciais a ter em conta.

A prática da EN desenvolvida na Europa central permitiu a elaboração de listas de plantas (SCHIECHTL, 1973; FLORINETH, 2004; CORNELINI e SAULI, 2005) que respondem com maior eficácia aos diferentes tipos de solos (ácidos, salinos, áridos), amplitudes térmicas, humidade dos solos e intensidades luminosas.

Outros aspetos importantes na escolha das espécies a utilizar em projetos de EN são as suas propriedades tecnológicas, que se apresentam resumidas em listas de plantas, usualmente ordenadas pela importância dos seus elementos caracterizantes, e são:

- capacidade de reprodução por via vegetativa;
- capacidade de emissão de raízes caulinares adventícias;
- resistência à submersão (por períodos que podem ser prolongados);
- capacidade de consolidação do solo;
- resistência a ações mecânicas

(corte e tração) por parte do sistema radicular;

- resistência das plantas ao arranque.

Estas propriedades tecnológicas das plantas não são, em regra, relevantes para os botânicos, mas fornecem dados fundamentais para a sua utilização como materiais de construção necessários a qualquer obra de engenharia. O conjunto destas propriedades, físicas e tecnológicas, são o âmbito principal de estudo e de investigação da EN.

No entanto, frequentemente, não está disponível, como seria de esperar, material de propagação de todas as espécies que advêm do estudo fitosociológico (SCHIECHTL, 1973). Embora a opção mais correta seja a utilização de plantas autóctones, ecologicamente mais bem adaptadas, a existência de material de propagação dessas espécies é muitas vezes difícil. Um fator condicionante, frequentemente incontornável, é a indisponibilidade de grandes quantidades de material de propagação, sobretudo quando existem prazos a cumprir que não podem ser dilatados.

Devido à dificuldade em encontrar as espécies ecologicamente mais adequadas disponíveis em quantidades suficientes, as plantas selecionadas para as obras de EN têm sido, na realidade, as ecologicamente mais plásticas. Esta característica é um elemento de crucial importância e determinante nas escolhas que se fazem nos projetos de EN. Uma ampla adaptabilidade ecológica permite reduzidas exigências de balanço trófico, de disponibilidade de água e de temperatura, fazendo da espécie uma pioneira.

Na Europa central uma dessas espécies é o *Salix purpurea*, largamente utilizada não só pela sua plasticidade, mas também pela capacidade de

enraizamento das suas estacas que ronda os 100% (SCHIECHTL, 1992). A EN utiliza de uma forma generalizada estacas de espécies com capacidade de propagação agâmica, ou vegetativa, diretamente colocadas em obra; a utilização de espécies que possuem esta capacidade é um garante da disponibilidade de uma grande quantidade de materiais vivos de fácil recolha. Por fim, a utilização de espécies plásticas diminui a possibilidade de insucesso da obra. Estas razões podem ter sido a causa dum uso, talvez excessivo, do *S. purpurea*, em detrimento de outras espécies.

O uso preponderante de espécies plásticas e pioneiras não é um obstáculo à reconstrução de uma série de vegetação. SCHIECHTL (1973) acompanhou a evolução de 106 das suas obras; verificando quais as espécies presentes após um intervalo de tempo variável de 2 a 14 anos. Os resultados obtidos referem-se a um total de 480 espécies, que se distribuíram da seguinte forma: 28 árvores, 41 arbustos, 329 herbáceas (graminoides e não graminoides), 82 criptogâmicas. Nestas obras, Schiechtel só tinha utilizado 124 espécies, um quarto do total encontrado. Schiechtel refere também que algumas das espécies pioneiras usadas já não existiam no momento da monitorização. As 356 novas espécies encontradas são a prova dos benefícios da EN que possibilita uma evolução natural a partir de um estado inicial, resultado de uma intervenção humana.

Para entender a dinâmica dos ecossistemas, resultantes das técnicas de EN, deve-se ter presente que as obras referidas por Schiechtel foram realizadas em taludes de estradas e autoestradas, em solos nus ou pedregosos, carentes de húmus, muito pouco férteis, íngremes,

sensíveis à erosão, resultantes de escavações ou deposições de terrenos. Em situações como estas é muito difícil a instalação de vegetação sem intervenção humana, agravando-se em condições de clima árido ou semiárido.

Nestes casos, a utilização da EN e das suas técnicas parece ser a melhor solução para evitar processos erosivos e alcançar, em pouco tempo, uma decisiva cobertura vegetal. Se por outro lado, o impulso inicial dado por espécies pioneiras num solo nu, com a produção de biomassa e a ativação dos processos pedogenéticos, proporciona uma melhoria das condições edáficas e permite a aceleração da sucessão ecológica, por outro, nestes tipos de solos, resultantes de escavações ou de depósitos de terreno, a probabilidade de afirmação imediata das espécies clímax é praticamente nula por falta de adequadas condições edáficas.

Os critérios referidos neste subcapítulo são os que têm de ser considerados no projeto de uma qualquer obra de EN; o objetivo deste trabalho, a escolha das espécies lenhosas da flora portuguesa adequadas à utilização em EN, segue um processo complementar que agora será desenvolvido.

Fase divergente, espécies lenhosas portuguesas para potencial aplicação em obras de Engenharia Natural: análise bibliográfica

Existem muitas diferenças entre a flora portuguesa e as da Europa central e centro-meridional. São muitas as plantas referenciadas como adequadas às obras da EN que não se encontram em Portugal. O *Salix purpurea*, espécie amplamente aplicada na Europa central pelas suas características de versatilidade

e adaptabilidade (SCHIECHTL, 1973), só existe em Portugal numa limitadíssima área centrada no parque natural do Douro Internacional (BINGRE *et al.*, 2007). Outros exemplos podem ser encontrados como o *Alnus cordata* ou a *Colutea arborescens*, espécies muito úteis em obras de EN da Itália meridional (BIFULCO, 2001), porque fixam o azoto atmosférico e melhoram as características do solo, e ainda, *Fraxinus ornus* e *Coronilla emerus*. No entanto todos os exemplos referidos estão ausentes da flora portuguesa.

Nesta fase divergente pretende-se determinar um conjunto de espécies lenhosas, da flora do continente português, que aparentem ser boas *candidatas* à aplicação em obras de EN. No processo que se segue não se colocam objeções ou limitações à validade das candidaturas. Os critérios técnicos para definir o resultado desejado serão discutidos e aplicados na fase seguinte, chamada convergente.

De acordo com o exposto, trata-se de selecionar um amplo leque de espécies lenhosas que, sendo da flora portuguesa, se revelem adequadas às obras de EN. As espécies a selecionar nesta fase divergente deverão ter as seguintes características:

- ter capacidade de propagação vegetativa por estaca;
- sendo plantas, permitir o enterramento do caule em cerca de 1m, sem comprometer a sua viabilidade e garantir a produção de raízes adventícias ao longo deste.

Posteriormente, na fase convergente, far-se-á uma avaliação que permitirá selecionar dentro das espécies *candidatas* quais as mais adequadas.

PIOTTO e DI NOI (2001) disponibili-

zam um quadro de amplas informações sobre a capacidade de propagação por via vegetativa de determinadas espécies de árvores e arbustos da flora mediterrânica; CORNELINI e SAULI (2001, 2005) listam as principais espécies autóctones selecionadas para as intervenções de EN na Sardenha e as plantas adequadas às obras de EN, abrangendo já as recentes experiências desenvolvidas na Itália meridional; BIFULCO (2001) refere as espécies utilizadas no parque nacional do Vesúvio.

No processo de aproximação às espécies *candidatas*, cruzaram-se as informações atrás referidas com as da flora de Portugal continental (CASTROVIEJO *et al.*, 1986; UTAD, 2007; BINGRE *et al.*, 2007), tendo-se considerado três tipos de espécies e géneros botânicos:

- as espécies presentes na flora portuguesa;
- os géneros presentes na flora de Portugal, nos casos em que a capacidade de reprodução vegetativa era atribuída ao género sem distinção de espécie;
- as espécies da Europa central e centro meridional, quando a flora portuguesa referia outras espécies do mesmo género.

Sendo o objetivo deste trabalho a definição de um conjunto de plantas lenhosas da flora continental portuguesa adequadas às obras de EN, géneros e espécies da Europa central e centro meridional devem ser substituídos por espécies da flora portuguesa que possam justificadamente ser consideradas análogas. Operando esta substituição, no âmbito de um mesmo género, serão preferidas: (i) as espécies da flora portuguesa de ampla difusão geográfica, prescindindo daquelas com distribuição

limitada; (ii) as espécies inermes em detrimento das espinhosas, tendo em conta a facilidade de transporte e manipulação; (iii) as espécies que apresentem testes efetuados em Portugal sobre a sua capacidade de enraizamento, com resultados mais satisfatórios em detrimento das que evidenciem resultados insatisfatórios.

Dados particularmente interessantes sobre o enraizamento de estacas foram os obtidos através dos projetos realizados pela Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (MARTINS, 2000; COSTA *et al.*, 2000; DRAP ALGARVE, 2000).

As espécies do género *Salix* são fundamentais nas obras de EN realizadas na Europa central e centro-meridional. De realçar que os salgueiros da área alpina e do centro europeu foram amplamente utilizados e testados (SCHIECHTL, 1973; SCHIECHTL, 1996; SCHIECHTL e STERN, 1992), tendo-se verificado para todas as espécies, excetuando o *Salix caprea*, uma capacidade de propagação vegetativa variável, segundo a espécie, de um mínimo de 20% até um máximo do 100%. Consequentemente considera-se que todas as espécies de salgueiros autóctones, com ampla difusão territorial, excluindo o *Salix caprea*, podem integrar as espécies *candidatas*.

Nesta fase, dita divergente, em que se pretende elencar um abrangente número de espécies passíveis de constituir soluções com resultados positivos é importante que a recolha da informação seja diversificada. Assim, considerou-se vantajoso conhecer a opinião de um experiente entendido em flora portuguesa sobre as plantas que apresentem um carácter pioneiro e/ou provável capacidade de propagação vegetativa e que se concretizou através

de uma entrevista. As espécies sugeridas por José Carlos Augusta da Costa, professor do Instituto Superior de Agronomia (com. pess.) passaram a integrar o conjunto das *candidatas*.

Fase convergente: Critérios de seleção das espécies mais adequadas à EN em Portugal continental

Na prossecução deste trabalho pretende-se avaliar a adequação das espécies pertencentes ao conjunto das *candidatas* às técnicas praticadas pela EN em Portugal.

Para proceder a esta avaliação as informações disponíveis são (i) o grau de distribuição territorial da espécie em Portugal continental e (ii) a existência de dados bibliográficos - em publicações que se referem, (ii.a) a Portugal continental ou (ii.b), ao resto da Europa - sobre a capacidade de enraizamento da espécie por via vegetativa.

A distribuição geográfica, na *Flora Ibérica* (CASTROVIEJO *et al.*, 1986), é definida por províncias (Minho, Douro Litoral, Trás os Montes, Beira Litoral, Beira Alta, Beira Baixa, Estremadura - com Lisboa e Setúbal, Ribatejo, Alto Alentejo, Baixo Alentejo, Algarve) e em cada uma delas a espécie pode estar presente ou não; na *Flora digital de Portugal* (UTAD, 2007) é apresentado um "mapa de distribuição do *taxon* em Portugal continental", subdividido geograficamente de acordo com a caracterização fitoclimatológica de João do Amaral Franco, no qual a espécie é, ou não, graficamente representada; no *Guia de campo* (BINGRE *et al.*, 2007), quando a espécie é considerada autóctone, a distribuição é esquematizada num mapa de Portugal continental, sem subdivisões geográficas predefini-

das, ficando a área de distribuição colorida, em contraste com aquela onde a espécie não está presente.

As três fontes não têm, por vezes, distribuições concordantes. Nestes casos, considerando que os diferentes autores podem referir-se a diferentes herbários e coleções, e ainda, a dados específicos de seu conhecimento, utilizar-se-á uma distribuição geográfica resultante da união das distribuições dos diferentes autores.

Sobre a capacidade de enraizamento de espécies da flora portuguesa (ii.a) por via vegetativa, disponibilizam dados MENDES *et al.* (2008), FARIA *et al.* (2008), COSTA *et al.* (2000), DRAP ALGARVE (2000), MARTINS (2000).

A maioria das experiências mencionadas descrevem, entre outros ensaios experimentais, a percentagem de enraizamento de estacas de pequena dimensão (10 cm de comprimento e acerca de 1 cm de diâmetro), plantadas verticalmente, em ambiente controlado (temperatura e humidade), com rega e, muitas vezes, estimuladas com hormonas. SANDE SILVA (2002) apresenta dados interessantes sobre o comprimento das raízes de algumas espécies observadas na natureza.

Indicações sobre espécies, de outras regiões europeias (ii.b), adequadas à EN são referidas por ARANZAZU-PRADA e ARIPZE (2009), FLORINETH (2004), DE LUCA e MOLINARI (2003), SAULI *et al.* (2002), SCHIECHTL (1973, 1992).

Estes textos referem o uso de estacas da flora centro-meridional europeia, nas dimensões preconizadas por Schiechtl e colocadas no terreno de acordo com as técnicas por ele definidas.

A globalidade dos textos citados fornecem dois tipos de dados:

- dados de carácter qualitativo

relativos à capacidade de propagação vegetativa:

- boa, média, má;
- possível, frequente, difícil;
- adequada, não adequada;

- dados de carácter quantitativo: percentagens de enraizamento resultantes das experiências dos autores ou, referências bibliográficas por estes utilizadas.

Os dados mais pormenorizados de SCHIECHTL (1973, 1992) referem-se às espécies usadas na Europa central, resultantes de experiências no terreno por longos períodos e em anos sucessivos, incluindo percentagens de enraizamento, volume radicular e volume da folhagem.

PIGNATTI e CROBEDDU (2005) apresentam diferenças relevantes nos dados de enraizamento de estacas para algumas espécies lenhosas mediterrânicas, quando comparados com a restante bibliografia. Esta diferença deve-se ao facto de se tratar de estacas de material não lenhificado, cortadas de plantas mães rejuvenescidas, ou seja, obtidas de uma estaca do ano anterior. Verifica-se neste caso que o enraizamento é superior ao de estacas recolhidas de uma planta mãe com cerca de 20 anos.

CORNELINI e SAULI (2005) e FLORINETH (2004) fornecem também indicações qualitativas sobre a capacidade das espécies emitirem raízes caulinares adventícias.

Depois da recolha dos dados bibliográficos, a avaliação das espécies incluídas nas *candidatas* teve em conta as seguintes condições:

- Existência de referências bibliográficas sobre a espécie nas publicações portuguesas ou europeias, diferenciando entre

presença de referência positivas (REF) ou referências inexistentes ou insatisfatórias (enraizamento <50% ou propagação vegetativa difícil) (~~REF~~).

- Distribuição geográfica da espécie, distinguindo entre espécies de média ou ampla difusão (DIF), com uma distribuição geográfica superior a um terço do território de Portugal continental, e espécies de reduzida difusão (~~DIF~~).
- Existência de resultados positivos sobre o enraizamento da espécie nas publicações portuguesas, discriminando entre presente (POR) e ausente (~~POR~~).

As espécies listadas são avaliadas pelas suas características e, de acordo com o conjunto de atributos que lhe estão associados, é possível determinar da sua adequabilidade à EN. Exemplificando: as espécies distribuídas em todo o território continental português, descritas como tendo, em Portugal, estacas com boas percentagens de enraizamento, serão as adequadas para uso em obras de EN, podendo ser consideradas como espécies já confirmadas para esta utilização; por outro lado, espécies com limitada distribuição, mesmo que bem referenciadas ao nível do seu enraizamento, só poderão ser úteis aos trabalhos de EN em determinadas áreas, o que as torna menos interessantes; espécies com limitada distribuição e insatisfatórias referências bibliográficas terão um interesse muito reduzido.

Do referido conclui-se que os estudos de campo devem centrar-se nas espécies mais interessantes do ponto de vista da sua abrangência territorial e sobre as quais a bibliografia não permite definir o sucesso da capacidade de enraizamento.

Tendo Portugal continental, na maioria do seu território, um clima mediterrânico (MESQUITA, 2005), as estacas só poderão ser utilizadas com êxito nas aplicações de EN perto de rios, nas outras áreas é necessário usar plantas com o caule enterrado. Por isso será prioritário testar as espécies que tenham boa distribuição geográfica e cuja capacidade de emissão de raízes caulinares adventícias não esteja ainda confirmada. Será então sobre estas espécies que se devem centrar os ensaios experimentais a levar a cabo.

Para descrever as condições e as ações que se seguem é mais eficaz o uso de dois instrumentos da álgebra booleana: o diagrama de Veitch e a árvore de decisões.

O diagrama de Veitch (Figura 6) representa-se através de uma caixa, dividindo-se o seu universo segundo uma ou mais condições e as suas complementares negações; neste caso, de acordo com as condições resultantes da avaliação realizada para a qualificação das espécies *candidatas*. À medida que o número n das condições vai crescendo o universo das eventualidades do diagrama de Veitch vai-se subdividindo em potências de 2 para n . Considerou-se em primeiro lugar a intersecção de 2 condições: presença (REF) ou ausência (REF) de referências bibliográficas positivas e a ampla (DIF) ou limitada (DIF) difusão geográfica, o que resultou em 4 (2^2) divisões. Seguidamente introduziu-se a condição: presença (POR) ou ausência (POR) de resultados positivos sobre enraizamento nas publicações portuguesas, dando origem a 8 (3^2) divisões. Cada divisão representa um procedimento, consequência do conjunto de condições que se intersectam. No caso

em que diferentes condições impliquem ações iguais, estas agrupam-se.

As simplificações evidenciadas no diagrama de Veitch dão origem à árvore de decisões, exposta na Figura 7, que permite separar, sem sobreposições, o tratamento da informação, obtendo-se uma subdivisão simplificada das espécies *candidatas*. Assim, seguindo as evidências gráficas do diagrama, apresenta-se a árvore de decisões que minimiza o número de testes a efetuar.

Resultados

Os resultados da fase divergente são sintetizados no quadro seguinte (Quadro 1) que apresenta a lista das espécies *candidatas*. Na coluna "Género" está patente o género das espécies que resultaram da análise bibliográfica e da entrevista ao Prof. José Carlos Augusta da Costa; na coluna "Referências" estão elencadas as fontes de informação sobre as espécies selecionadas. Quando a capacidade de reprodução vegetativa está associada ao género, na coluna "Espécie selecionada", é indicado "*spp.*". Quando as espécies selecionadas pertencem à flora portuguesa, na coluna "Espécie da Flora Portuguesa *candidata*" o seu nome é repetido; quando não pertence, são consideradas outras espécies análogas, como já referido na fase divergente. Na última coluna indicam-se outras referências bibliográficas sobre a espécie.

A análise dos atributos das espécies *candidatas*, avaliadas de acordo com o descrito no subcapítulo 2.3, resulta neste quadro 2, onde as espécies se encontram subdivididas de acordo com as categorias definidas no diagrama de Veitch e na árvore de decisões.

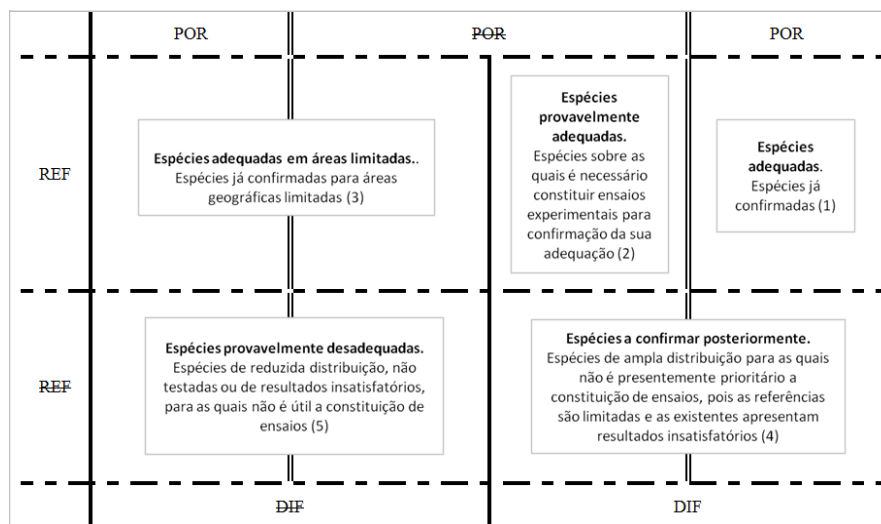


Figura 6 - Diagrama de Veitch

LEGENDA

Referências bibliográficas sobre o enraizamento: presença (REF) ou ausência (REF)

Distribuição geográfica: média e ampla (DIF) ou reduzida (DIF)

Dados positivos sobre o enraizamento publicados em Portugal: presentes (POR) ou ausentes (POR).

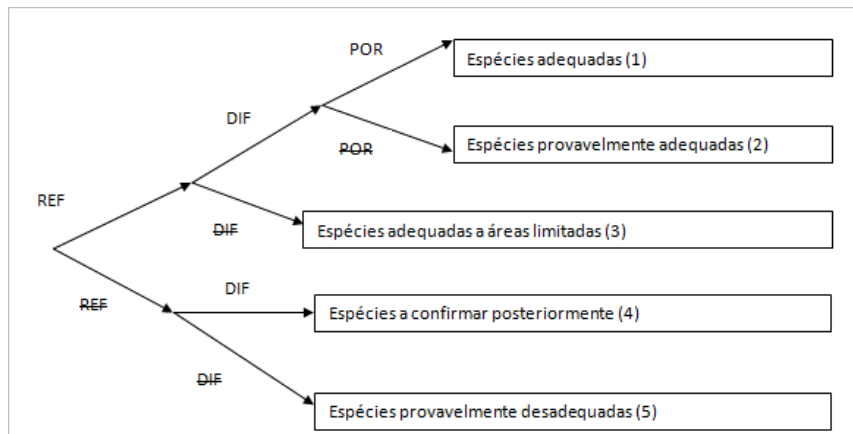


Figura 7 - Árvore de decisões

LEGENDA

Referências bibliográficas sobre o enraizamento: presença (REF) ou ausência (REF)

Distribuição geográfica: média e ampla (DIF) ou reduzida (DIF)

Dados positivos sobre o enraizamento publicados em Portugal: presentes (POR) ou ausentes (POR).

Quadro 1 - Resultados da fase divergente

Género	Espécie Seleccionadas	Referências	Espécies Candidatas	Post. Refer.
Acer	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	D	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	L
	<i>Acer campestre</i> L.	A, C, D, L	<i>Acer monspessulanum</i> L.	
Adenocarpus	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	Q	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	
	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	Q	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	
Alnus	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	A, D, M, N	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	E, K, L
Arbutus	<i>Arbutus unedo</i> L.	A	<i>Arbutus unedo</i> L.	G, I, J, P
Atriplex	<i>Atriplex halimus</i> L.	A	<i>Atriplex halimus</i> L.	G
Buxus	<i>Buxus sempervirens</i> L.	D	<i>Buxus sempervirens</i> L.	
Calluna	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Q	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	
Celtis	<i>Celtis australis</i> L.	A, C	<i>Celtis australis</i> L.	J
Cornus	<i>Cornus mas</i> L.	A, L, N	<i>Cornus sanguinea</i> L.	
		C, D	<i>Coronilla glauca</i> L.	G
		C, D	<i>Coronilla juncea</i> L.	
Coronilla	<i>Coronilla emerus</i> L.	C, D	<i>Coronilla repanda</i> (Poir.) Guss.	
		C, D	<i>Corylus avellana</i> L.	L, K
Corylus	<i>Corylus avellana</i> L.	C, D, N	<i>Corylus avellana</i> L.	
Crataegus	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	A, C, D	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	L
Cytisus	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link spp.	A, C	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	
		A	<i>Cytisus arboreus</i> (Desf.) DC.	
		A	<i>Cytisus grandiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	
		A	<i>Cytisus multiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	
		A	<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	
Daphne	<i>Daphne gnidium</i> L.	A	<i>Daphne gnidium</i> L.	I
Erica	<i>Erica arborea</i> L.	Q	<i>Erica arborea</i> L.	
Euonymus	<i>Euonymus europaeus</i> L.	A, C, D	<i>Euonymus europaeus</i> L.	L
Frangula	<i>Frangula alnus</i> Mill.	D	<i>Frangula alnus</i> Mill.	E, F, L
Fraxinus	spp.	A, C, D	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	E, F, L
Genista	spp.	A	<i>Genista florida</i> L.	
Hypericum	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	Q	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	
Inula	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	A	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	
Jasminum	<i>Jasminum fruticans</i> L.	Q	<i>Jasminum fruticans</i> L.	
Juniperus	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	A, B	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	
Laurus	<i>Laurus nobilis</i> L.	C	<i>Laurus nobilis</i> L.	G, J, P
Lavandula	<i>Lavandula spica</i> L.	A	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Luisieri</i> Rivas Martinez	B, H, I
		A	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Pedunculata</i> Mill.	B, G
Ligustrum	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	A, C, D	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	L
Myrica	<i>Myrica faya</i> Aiton	Q	<i>Myrica faya</i> Aiton	
Myrtus	<i>Myrtus communis</i> L.	A	<i>Myrtus communis</i> L.	G, I, J, P
Nerium	<i>Nerium oleander</i> L.	A, B	<i>Nerium oleander</i> L.	F, G, J, L
Osyris	<i>Osyris alba</i> L.	Q	<i>Osyris alba</i> L.	
Phillyrea	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	A	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	T
Pistacia	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Q	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	G, I, J, P
Populus	<i>Populus alba</i> L.	A, C, D	<i>Populus alba</i> L.	J, K, L
	<i>Populus nigra</i> L.	D	<i>Populus nigra</i> L.	E, F, K, L
Prunus	spp.	A	<i>Prunus avium</i> L.	L
	spp.	A	<i>Prunus lusitanica</i> L.	
Rhamnus	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	A, D	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	G
Rosa	<i>Rosa canina</i> L.	A	<i>Rosa canina</i> L.	
Rosmarinus	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	A	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	G

Quadro 1 – Cont.

Género	Espécie Seleccionadas	Referências	Espécies Candidatas	Post. Refer.
Salix	<i>Salix alba</i> L.	C, D, M, N	<i>Salix alba</i> L.	L
	spp.	D, N	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	E, L, O
		D, N	<i>Salix triandra</i> L.	K, L
		D, N	<i>Salix repens</i> L.	O
		D, N	<i>Salix neotricha</i> Goerz	P
		D, N	<i>Salix salviifolia</i> Brot.	E, F, L
<i>Sambucus</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.	Q	<i>Sambucus nigra</i> L.	L, J
<i>Tamarix</i>	<i>Tamarix africana</i> Poir.	A	<i>Tamarix africana</i> Poir.	E, F, G, L
<i>Thymus</i>	spp.	A	<i>Thymus mastichina</i> L.	H
<i>Viburnum</i>	<i>Viburnum tinus</i> L.	A, D	<i>Viburnum tinus</i> L.	G, J
<i>Vitis</i>	<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	Q	<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	J
Referências				
A. <i>Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea</i> (Piotto e Di Noi, 2001)				
B. <i>L'ingegneria naturalistica nelle aree mediterranee</i> (Cornellini e Sauli, 2001)				
C. <i>L'ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio</i> (Bifulco, 2001),				
D. <i>Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica</i> (Cornellini e Sauli, 2005);				
E. RICOVER (SOE1/P2/P248) <i>Projecto Recuperação de Rios no SUDOESTE Europeu; Metodologias de Caracterização, Identificação e Pré-Actuação em Áreas para Restauro Fluvial Aplicação às Ribeiras do Algarve (2009-2010)</i> (Mendes et al., 2008);				
F. <i>Contributo para a produção em viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade</i> (Faria et al., 2008);				
G. <i>Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de diversas espécies da flora autóctone mediterrânea com interesse ornamental (1998-2000)</i> (Costa et al., 2000)				
H. <i>Relatório final do Projecto INTERREG Introdução de novas espécies ornamentais no mercado europeu, adaptadas a condições secas e salinas</i> (DRAP Algarve, 2000)				
I. <i>Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da tapada nacional de Mafra</i> (Sande Silva, 2002)				
J. <i>Guia de propagação de árvores e arbustos ribeirinhos, um contributo para o restauro de rios na região Mediterrânica</i> (Aranzazu-Prada e Aripze, 2009);				
K. <i>Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica</i> , (De Luca e Molinari, 2003);				
L. <i>Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico</i> (Florineth, 2004).				
M. <i>Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico</i> , (Sauli et al. 2002);				
N. <i>Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi – metodi</i> (Schiechtl, 1973);				
O. <i>I salici nell'uso pratico</i> (Schiechtl 1992).				
P. <i>Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species</i> (Pignatti e Crobeddu, 2005).				
Q. <i>Comunicação pessoal</i> (Carlos Costa, 2011).				

Chama-se à atenção que entre as **Espécies adequadas** (1) se encontram sobretudo plantas ripícolas, testadas pela DRAP Algarve e pelo ISA de Lisboa e as já consideradas adequadas pelas referências europeias. No conjunto das espécies *candidatas* há duas, *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* e *Rosa canina* que, apesar das diminutas informações recolhidas nos textos consultados, são historicamente conhecidas, no mundo da viticultura e da floricultura, pelas suas capacidades de reprodução vegetativa.

Chama-se ainda à atenção que, entre as espécies acima referidas, se encontram *Populus alba* e *Populus nigra*, consideradas

espécies de rápido crescimento pelo Decreto-lei 175/88, desde que exploradas em rotações inferiores a dezasseis anos, não sendo esta uma condição que se aplique às típicas intervenções de EN. No entanto no que se refere ao *Populus alba* a situação complica-se. Esta é considerada uma espécie autóctone em Portugal, segundo CASTROVIEJO *et al.* (1986) e UTAD (2007), não o sendo de acordo com BINGRE *et al.* (2007). De facto faz parte do anexo I do Decreto-lei 565/99, onde se listam as espécies não indígenas de Portugal, sendo considerado como espécie não invasora e, conseqüentemente, não sendo interdita a sua

introdução em natureza. No entanto, tendo em conta tudo o que foi citado e aplicando o princípio da precaução, propõe-se o uso, em lugar do *Populus alba*, de outras espécies indígenas adequadas aos fins da EN.

Do conjunto das **Espécies provavelmente adequadas** (2) incluem-se plantas presentes nos matos e que desfrutam de uma ampla distribuição em Portugal. Sobre estas existem referências da sua capacidade de propagação vegetativa na Europa, mas com informações limitadas, ou mesmo

ausentes, relativas à sua utilização em Portugal. Nestes casos dever-se-ia confirmar a sua adequação através da constituição de ensaios experimentais que permitiriam comprovar os dados já adquiridos. As espécies deste grupo, se confirmada a sua adequação, sendo de larga difusão, poderiam ser utilizadas em obras de EN, com o objetivo de estabilização e consolidação de solos, incluindo as áreas não ripárias, num extenso território de Portugal continental.

Quadro2 - Resultados da fase convergente

	Espécies	Nome Comum
Espécies adequadas (1)	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Amieiro
	<i>Atriplex halimus</i> L.	Salgadeira
	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Pilriteiro
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	Sanguinho bastardo
	<i>Nerium oleander</i> L.	Cevadilha; Loendro
	<i>Populus alba</i> L.	Choupo branco
	<i>Populus nigra</i> L.	Choupo negro
	<i>Rosa canina</i> L.	Roseira brava
	<i>Salix alba</i> L.	Salgueiro branco
	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Borrazeira preta
	<i>Salix neotricha</i> Goerz	Vimeiro
	<i>Salix salviifolia</i> Brot.	Borrazeira branca
	<i>Tamarix africana</i> Poir.	Tamargueira
	<i>Thymus mastichina</i> L.	Tomilho alvadio
<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	Vinha brava	
Espécies provavelmente adequadas (2)	<i>Celtis australis</i> L.	Lódão bastardo
	<i>Coronilla glauca</i> L.	Pascoinhas
	<i>Daphne gnidium</i> L.	Trovisco
	<i>Corylus avellana</i> L.	Avelaneira
	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	Freixo
	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Luisieri</i> Rivas Martinez	Rosmaninho
	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	Aderno de folhas estreitas
	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Alecrim
	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sabugueiro
	<i>Viburnum tinus</i> L.	Folhado

Quadro2 – Cont.

	Espécies	Nome Comum
Espécies adequadas a áreas limitadas (3)	<i>Cornus sanguinea</i> L.	Sanguinho
	<i>Euonymus europeus</i> L.	Evónimo
	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Alfenheiro
	<i>Salix repens</i> L.	Salgueiro anão
	<i>Salix triandra</i> L.	Salgueiro com folhas de amendoeira
Espécies a confirmar posteriormente (4)	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	Codeço
	<i>Arbutus unedo</i> L.	Medronheiro
	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Urze roxa
	<i>Coronilla repanda</i> (Poir.) Guss.	Pascoinhas
	<i>Cytisus grandiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	Giesta branca
	<i>Cytisus multiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	Giesta branca
	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Giesta
	<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	Giesta amarela
	<i>Erica arborea</i> L.	Urze branca
	<i>Genista florida</i> L.	Piorno dos tintureiros
	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	Mijadeira
	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	Tágueda
	<i>Jasminum fruticans</i> L.	Jasmineiro do monte
	<i>Laurus nobilis</i> L.	Loureiro
	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>pedunculata</i> Mill.	Rosmaninho maior
	<i>Myrtus communis</i> L.	Murta
	<i>Osyris alba</i> L.	Retama
	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Lentisco
<i>Prunus avium</i> L.	Cerejeira brava	
<i>Rhamnus alaternus</i> L.	Aderno bastardo	
Espécies provavelmente desadequadas (5)	<i>Acer monspessulanum</i> L.	Bordo de Montpellier
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Bordo
	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	Codeço
	<i>Buxus sempervirens</i> L.	Buxo
	<i>Coronilla juncea</i> L.	Pascoinhas
	<i>Cytisus arboreus</i> (Desf.) DC.	Giesta
	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	Zimbros
	<i>Myrica faya</i> Aiton	Faia
	<i>Prunus lusitanica</i> L.	Azereiro

De entre as **Espécies adequadas a áreas limitadas** (3) há plantas presentes em Trás-os-Montes: *Cornus sanguinea*, *Euonymus europeus*, *Ligustrum vulgare* e *Salix triandra*, na Beira Litoral e no Douro Litoral: *Cornus sanguinea* e *Salix repens*. Estas espécies não precisam de ser testadas, podendo já ser utilizadas nas suas áreas territoriais. *Salix repens*, em conjunto com outras espécies herbáceas,

pode ter aplicações muito úteis na fixação das dunas litorais. No caso de futuros estudos indicarem que espécies endémicas da flora dos Açores e da Madeira são adequadas às obras de EN, então estas deverão pertencer a este grupo.

Da lista de **Espécies a confirmar posteriormente** (4) constam plantas amplamente disseminadas em Portugal,

mas que apresentam informações muito limitadas ou pouco satisfatórias sobre as suas capacidades de propagação vegetativa. Nestes casos não parece vantajosa, no curto prazo, a constituição de ensaios experimentais tendo em conta que os resultados obtidos, sendo pouco previsíveis, têm menor probabilidade de serem frutuosos, podendo posteriormente, num prazo mais alargado, proceder-se à realização de campos de ensaio para estas espécies. Neste grupo estão também presentes espécies típicas da flora mediterrânica que apresentam dados de enraizamento em estaca muito variáveis, apenas positivos nas experiências citadas por PIGNATTI e CROBEDDU (2005), desenvolvidas com estacas de plantas mães rejuvenescidas.

No conjunto das **Espécies provavelmente desadequadas** (5) estão agrupadas as plantas com reduzida distribuição em Portugal, sem testes ou com resultados insatisfatórios nos testes efetuados em Portugal. Nestes casos não teria qualquer interesse planejar ensaios, mesmo a longo prazo, considerado o uso limitado que estas espécies poderiam ter, mesmo que viessem a obter resultados positivos.

Tendo em conta que os trabalhos de investigação nesta matéria são exigentes em recursos financeiros, propõe-se que as espécies a testar sejam apenas as mais significativas, deduzidas a partir das seguintes considerações já só incidentes sobre as **Espécies provavelmente adequadas**:

- Do elenco de espécies provavelmente adequadas, as que têm menor número de referências bibliográficas são: *Coronilla glauca*, *Phillyrea angustifolia* e *Daphne gnidium*, não tendo sido por isso consideradas.

- Para a concretização do efeito de consolidação do terreno é importante a profundidade atingida pelas raízes das plantas; sendo referido, para a *Lavandula stoechas* ssp. *Luisieri*, a existência de raízes muito pouco profundas (SANDE SILVA, 2002), considera-se esta espécie menos interessante face a outras para este propósito.
- Entre as espécies restantes é *Celtis australis* a que apresenta uma mais limitada distribuição geográfica em Portugal, consequentemente menos interessante; *Corylus avellana* foi deixada ao lado sendo disponíveis plantas com especialização na produção do fruto e por isso com cultivar que podem ser diferentes das plantas de origem silvestre.

De acordo com o exposto e tendo como objetivo a sua utilização na consolidação das encostas, as quatro espécies sobre as quais existe maior interesse em testar a sua capacidade de enraizamento caulinar adventício, são as referidas no Quadro 3:

Quadro 3 - Espécies a submeter a ensaios

Espécies a testar
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.
<i>Sambucus nigra</i> L.
<i>Viburnum tinus</i> L.

Conclusão

Não existem limitações significativas à execução das obras de EN em ambientes húmidos, ou seja, perto de rios e linhas de água ou onde se registam chuvas frequentes; pelo contrário, a

implementação de obras de EN em áreas sujeitas à seca estival, como no caso do clima mediterrânico, fica limitada, tendo sido poucas as experiências em que se conseguiram amplos êxitos positivos.

A revisão da bibliografia permitiu a comparação de dados obtidos através de experiências com diferentes abordagens, quer no que se refere ao ambiente onde foram desenvolvidas, quer aos materiais de propagação utilizados. Ou seja, em ambiente controlado foram utilizadas sobretudo estacas verdes, finas e curtas, colocadas em posição vertical e com aplicação de hormonas de enraizamento; por outro lado, nas experiências de campo, foram colocadas estacas lenhosas, com acerca de um metro de comprimento e diâmetros superiores a três centímetros, em posição sub-horizontal, sem utilização de hormonas. A mesma revisão bibliográfica permitiu ainda constatar importantes diferenças na percentagem de enraizamento das estacas em ambiente controlado, quando estas são cortadas de plantas mães jovens ou rejuvenescidas, ou quando são cortadas de plantas mães com mais de 20 anos.

A EN apresenta uma vasta série de modelos de intervenção ricos em pormenores construtivos, não parecendo necessário aprofundar esta matéria. Para este facto contribuiu também a entrada no mercado de novos materiais "mortos" desenvolvidos pela indústria, no entanto estes mesmos materiais tornam a EN menos natural. O desafio da EN é a definição de espécies das floras dos diferentes países e regiões, a utilizar principalmente em situações onde os períodos de estio funcionam como um importante fator limitante. O aumento do conhecimento nesta última linha de ação poderá tornar a EN uma ferramenta

muito útil no combate à desertificação.

Os resultados obtidos da análise do conhecimento pré-existente propõem, como rumo a seguir na prossecução destes estudos, o alargamento das pesquisas sobre o enraizamento caulinar adventício, já realizadas no parque nacional do Vesúvio, ou efetuadas por FLORINETH (2004) ou ainda, indicadas por CORNELINI e SAULI (2005).

Tendo em conta a importância dos fenómenos de erosão, deslizamentos e desmoronamento acontecidos no passado recente na Madeira, mas também nos Açores, e tendo em consideração as particularidades da flora e dos endemismos destas ilhas, seria também útil aprofundar a pesquisa sobre as características de propagação daquelas espécies, com o intuito de se poderem desenvolver nestas regiões aplicações da EN.

O estudo do enraizamento caulinar adventício será o objetivo de ensaios experimentais a levar a cabo sobre as quatro espécies provavelmente adequadas, determinadas no parágrafo anterior. Pretende-se ainda em 2012 iniciar ensaios utilizando as quatro espécies referidas, em diferentes condições: em substrato de turfa e vermiculite (*i*) no viveiro do Instituto Superior de Agronomia (ISA) em Lisboa; no campo, em solos de origem basáltica (*ii*) e calcária (*iii*), ainda na Tapada de Ajuda, no perímetro do ISA e, em solos de origem xistosa (*iv*) e granítica (*v*), em terrenos geridos pelo Município de Santo Tirso (NUT Grande Porto), no lugar da Ermida e no Monte Padrão. Do resultado destes ensaios se concluirá da adequação destas espécies da flora do continente português a obras de Engenharia Natural.

A Engenharia Natural é uma área que

merece ser melhor conhecida, experimentada e utilizada em Portugal, no continente e nas ilhas. Numa altura de recursos escassos mas de grandes preocupações ambientais, nomeadamente no que respeita à conservação da biodiversidade, a utilização dos recursos endógenos no que respeita às espécies da flora portuguesa e ao trabalho nacional parece ser uma combinação a explorar com todas as vantagens. Falta conhecimento e experimentação. Pretendemos com este trabalho sistematizar algum conhecimento e lançar as bases lógicas dessa experimentação.

Referências bibliográficas

- ARANZAZU PRADA, M., ARIPZE, D., 2009. *Guia de propagação de árvores e arbustos ribeirinhos, um contributo para o restauro de rios na região Mediterrânica*. Ripidurable project, Sintra, 203 pp..
- BEZZI, C., BALDINI, I., 2006. *Il brainstorming, pratica e teoria*. Franco Angeli Editore, Milano, p. 240.
- BIFULCO, C., 2001. *L'ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio*. Em "Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio". Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, pp. 3-13.
- BINGRE, P., AGUIAR, C., ESPÍRITO-SANTO, D., ARSENIO, P., MONTEIRO-HENRIQUES, T., 2007. *Guia de campo - As árvores e os arbustos de Portugal continental*. Jornal Publico/ Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Liga para a Proteção da Natureza, Lisboa, 462 pp..
- CASTROVIEJO, et al., 1986. *Flora iberica*. <http://www.floraiberica.org/> (consultado em 02/02/2011)
- CORNELINI, P., SAULI, G., 2001. *L'ingegneria naturalistica nelle aree mediterranee*. Em "Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio". Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, pp. 71-85.
- CORNELINI, P., SAULI, G., 2005. *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio - Direzione Generale per la Difesa del Suolo - PODIS, Roma, 389 pp..
- COSTA, J., COSTA, M., MONTEIRO, I., FARINHÓ, M., 2000. Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de diversas espécies da flora autóctone mediterrânea com interesse ornamental (1998-2000). http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/InterregII_Flora_Autoctone/Brochura_Flora_Autoctone.pdf (consultado em 02/02/2011)
- DE LUCA, A., MOLINARI, V., 2003. *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica*. Regione Piemonte, Torino, 381 pp..
- DRAP ALGARVE, 2000. *Relatório final do Projecto INTERREG II Introdução de novas espécies ornamentais no mercado europeu, adaptadas a condições secas e salinas*. http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/Ornamentais/AIR/Relatorio_final_AIR.pdf (consultado em 02/02/2011)
- FARIA, C., FABIÃO, A., PEREIRA, M., ALMEIDA, M., FABIÃO, A., 2008. *Contributo para a produção em viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade*. [http://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1268/1/REP-Fabiao%2c%20A.-Faria et al 2008.pdf](http://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1268/1/REP-Fabiao%2c%20A.-Faria%20et%20al%202008.pdf) (consultado em 02/02/2011)
- FLORINETH, F., 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. Ed. 2007, Il verde editoriale, Milano, 280 pp..
- MARTINS, M., 2000. *Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de plantas aromáticas, condimentares e medicinais (1998-2000)*. http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/Aromaticas/INTERREG%20II_PAM_Rel%20Final.pdf (consultado em 02/02/2011)

- MENDES, A., BARROSO, A., FABIÃO, A., ALBUQUERQUE, A., FABIÃO, A., FARIA, C., ALMEIDA, M., FERREIRA, M., 2008. RICOVER (SOE1/P2/P248) *Projecto Recuperação de Rios no SUDOE Europeu; Metodologias de Caracterização, Identificação e Pré-Actuação em Áreas para Restauo Fluvial Aplicação às Ribeiras do Algarve (2009-2010)*. <http://www.interreg-sudoe.eu/PRI/f/138/17/RICOVER/Os-projectos-aprovados/Recuperaco-de-rios-no-SUDOE-Europeu> (consultado em 02/02/2011)
- MESQUITA, S., 2005. *Modelação Bioclimática de Portugal Continental*. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 129 pp..
- PIGNATTI, G., CROBEDDU, S., 2005. Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species. *Forest@* 2(3):290-295. http://www.sisef.it/forest@pdf/Pignatti_308.pdf (consultado em 02/02/2011)
- PIOTTO, B., DI NOI, A., 2001. *Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell' Ambiente, Roma, 211 pp..
- SANDE SILVA, J., 2002. *Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da tapada nacional de Mafra*. Tese de Doutoramento em Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 137 pp..
- SAULI, G., CORNELINI, P., PRETI, F., 2002. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico*. Regione Lazio, Roma, 421 pp..
- SCHIECHTL, H., 1973. *Bioingegneria forestale - basi - materiali da costruzione vivi - metodi*. Ed. 1985 Edizioni Castaldi, Feltre, 263 pp.
- SCHIECHTL, H., 1992. *I salici nell'uso pratico*. Ed. 1996, Edizioni Arca, Trento, 178 pp..
- SCHIECHTL, H., STERN, R., 1992. *Ingegneria naturalistica, manuale delle opere in terra*. Edizioni Castaldi, Feltre, 163 pp..
- UTAD, 2007. *Flora digital de Portugal*. http://www.jb.utad.pt/pt/herbario/cons_reg.asp (consultado em 02/02/2011)

Entregue para publicação em fevereiro de 2012
Aceite para publicação em setembro de 2012