

Carências de boro no interior - norte e centro - de Portugal

Boron deficiencies in the northern and central interior of Portugal

Ester Portela^{1*}, Rui Vale¹ e Maria Manuela Abreu²

¹ Departamento de Biologia e Ambiente, Centro de Investigação e Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas (CITAB), Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5001-801, Vila Real, Portugal;
E-mail: * eportela@utad.pt, autor para correspondência

² Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Centre (LEAF), Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15024>

Recebido/received: 2015.03.05

Aceite/accepted: 2015.04.09

RESUMO

Em Portugal, a deficiência de boro tem sido observada em quase todo o território, particularmente no interior, causando prejuízos assinaláveis nas culturas. Foi reconhecida pela primeira vez na década de 50 do séc. XX, nas vinhas do Douro (designada de 'maromba'). Desde os anos 80 vêm sendo realizados estudos sistemáticos no interior norte/centro do país para identificação e correcção desta carência em fruteiras e espécies florestais/agroflorestais. Neste trabalho de revisão faz-se uma inventariação das formações geológicas/litológicas onde mais amiúde se têm detectado as carências de boro, bem como as unidades pedológicas onde elas já foram identificadas. Enunciam-se os condicionalismos de ordem ambiental que mais potenciam o seu aparecimento. Com base em estudos efectuados nestas regiões, indica-se para algumas arbóreas a sintomatologia da deficiência e as concentrações de boro, nos solos e nas folhas, para as quais se observaram esses sintomas. Também se apresentam resultados experimentais da aplicação de boro em termos de crescimentos e de produtividade das culturas. Por último, procuraram-se explicações para perplexidades suscitadas pelas reacções das plantas aos estados de carência, ou aquando da aplicação de boro, desde o aparecimento da 'maromba' no séc. XIX até aos dias de hoje. Finaliza-se com recomendações de estratégias para corrigir a carência deste micronutriente.

Palavras-chave: boro extraível, concentração foliar de boro, nível crítico no solo, sintomas de carência de boro.

ABSTRACT

In Portugal, boron deficiency has been observed almost everywhere, in particular in the interior of the country, causing severe crop damage. In the 1950's, the growth anomalies in the Douro vineyards were recognised as a boron deficiency (called 'maromba'). From the 1980's onwards systematic studies have been carried out in the northern and central interior of Portugal with the purpose of identifying and correcting this deficiency in fruit trees and forest/agroforest species. In this review paper an inventory of geological/lithological formations and soil groups is carried out where the boron shortage was most often detected. The environmental conditions that enhanced the occurrence of boron deficiency were reviewed. Based on studies carried out in these regions, the deficiency symptoms of selected trees were described, and also the boron concentrations in soils and leaves in which the symptoms had been observed were recorded. Experimental results of boron fertilisation in terms of growth or yield increase of crops were presented. Finally, an attempt is made to explain perplexities arisen from unexpected plant reactions, either due to the deficiency or to boron application, since the emergence of 'maromba' in the 19th century until the present. In addition, some strategies for correction of scarcity of this micronutrient are suggested.

Keywords: extractable boron, foliar boron concentration, soil critical level, symptoms of boron deficiency.

Introdução

Faz quase um século que o boro é considerado um micronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas. A sua deficiência nas culturas foi reconhecida em mais de 80 países, daí resultando um acentuado impacto agronómico por todo o mundo (Gupta, 1979; Shorrocks, 1997). É que, a escassez deste micronutriente nas plantas provoca alterações morfológicas e fisiológicas muito significativas, desde as alterações na estrutura das paredes celulares e integridade das membranas, no crescimento anómalo ou mesmo morte dos meristemas (radicular e apical), até aos distúrbios provocados ao nível dos órgãos vegetativos e reprodutores. Em Portugal, a deficiência de B tem sido observada em quase todo o território, particularmente no interior, causando prejuízos assinaláveis na produtividade das culturas.

No nosso país, a carência de B foi confirmada pela primeira vez por Dias (1953a) nas vinhas do Douro, e foi descrita inicialmente como doença parasitária designada 'maromba' (Le Cocq, 1894). Segundo este autor, '*A maromba só é conhecida no Douro, onde produz importantíssimos estragos, tendo havido annos em que destroe, quasi por completo, a novidade de extensos vinhedos*'. Só seis décadas depois, Dias (1953a), com base em estudos efectuados no período 1949–1953, comprovou que este mal não tinha carácter infeccioso ao demonstrar que os indícios anteriormente descritos resultavam duma deficiência de B. Num relatório de 1934, noutra região e cultura do interior norte (nordeste) de Portugal, mais precisamente em olivais de Mirandela, o que seria uma deficiência deste nutriente foi também avaliada como doença parasitária (Petri, 1934). Em ambos os casos os prejuízos causados na produtividade dessas culturas eram consideráveis e, na década de 50, iniciaram-se ensaios experimentais para se testarem doses de aplicação de sais de borato de sódio ao solo, e por via foliar, na videira, oliveira e outras culturas (Dias, 1953a; Pereira, 1957; Branco, 1961). O efeito observado, de total desaparecimento do quadro sintomatológico, dissipou todas as dúvidas quanto à origem dos danos. Além dos ensaios iniciados no Douro em 1952 (Dias, 1953a), o relatório da VII Brigada Técnica (Guarda), dá conta da execução de dois ensaios de aplicação de borato de sódio ao solo em oliveiras, em Barca de Alva (Figueira de Castelo Rodrigo) e Minhocal (Celorico da Beira) (Pereira, 1957).

Apesar dos graves estragos provocados nas vinhas do Douro pela carência de B, Dias (1953a) não deu indicações da verdadeira extensão do problema, nem quanto à dimensão das áreas afectadas e ao tipo de solos, nem quanto a outras culturas da região. Porém, a preocupação quanto aos prejuízos causados na oliveira e noutras espécies, bem como a amplitude do problema noutras regiões do país, levou a que Branco (1961) elaborasse um mapa em que foram assinalados os locais onde a deficiência já fora identificada. Para tal, durante o verão de 1960 efectuou o primeiro estudo exploratório de reconhecimento da carência de B em oliveiras, que abrangeu todo o território, o qual evidenciou a predominância da carência nas regiões interiores do país. Branco (1961) utilizou como base de identificação os indícios da deficiência que ele próprio examinou e descreveu nos ensaios que estabeleceu em Torres Novas. O registo dos locais onde a deficiência foi detectada, referentes ao nordeste e interior centro (distritos de Bragança, Vila Real, Viseu, Guarda e Castelo Branco), veio acompanhado da respectiva descrição das unidades-solo onde os olivais estavam instalados. Todavia, nele ainda não constava indicação de concentrações de B nos solos e nas folhas, pois nessa época davam-se os primeiros passos, na Estação Agronómica Nacional (EAN), no processo de normalização e calibração dos métodos de determinação do B. O relatório produzido pela Brigada Técnica da VII Região (Pereira, 1957) parece ter sido crucial no sentido da intervenção que foi feita a nível nacional para correcção da carência em diversas fruteiras. Desde então, a adubação boratada alargou-se a diversas culturas de forma mais ou menos empírica.

Na década de 80 do séc. XX, Vale (1988) realizou novo estudo exploratório da carência de B, mas agora com o objectivo de a identificar num grupo de solos representativos do nordeste de Portugal, tendo como base a nova Carta de Solos de Trás-os-Montes e Alto Douro entretanto em elaboração (Agroconsultores-COBA, 1991). Com efeito, através da utilização do rabanete como planta-teste, aquele autor detectou indícios da deficiência de B em 3/4 dos solos estudados. Além desse ensaio, o autor vinha observando, amiúde, várias anomalias de crescimento no pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Aiton), que suspeitou serem devidas a uma carência de B, levando-o a realizar um estudo comparativo dos respectivos teores de B nas agulhas das árvores afectadas e também das sãs, por vezes crescendo quase lado a lado, em solos provenientes

de xistos e de granitos do distrito de Vila Real. Os resultados obtidos vieram confirmar a suspeita da deficiência (Vale, 1988, 1990). Na sequência de tais observações Valente (1993), avaliou a relação entre propriedades dos solos derivados de granitos de concelhos vizinhos de Vila Real e o B extraível nesses mesmos solos. A deficiência de B em pinheiro manso (*Pinus pinea* L.) também foi confirmada por Vale *et al.* (1999) numa plantação com 40 hectares instalada em solos derivados de xisto, perto da localidade de Rio Torto (Valpaços).

Ainda na década de 90 foram efectuados ensaios em vários locais, a fim de se confirmar a suspeita de deficiência de B em eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) num solo derivado de xisto, próximo de Vila Flor, e posteriormente num outro derivado de granito, em Louriçal do Campo, concelho de Castelo Branco (Coutinho *et al.*, 1994; Vale *et al.*, 1994); além destes casos, a carência foi também examinada, e estudada, em eucaliptais das vizinhanças de Palheiros (Murça) e de Ponte das Três Entradas (Oliveira do Hospital). Três dos ensaios foram executados com as rebentações das cepas das árvores abatidas (Vila Flor, Louriçal do Campo e Ponte das Três Entradas) e um com árvores jovens (Palheiros). Foram testados níveis crescentes de B e produtos com granulometria e solubilidade diversas (Coutinho *et al.*, 1997, 2001), sendo sobretudo relevante o acréscimo da produção de madeira nos talhões onde houve adição de B, independentemente dos adubos boratados utilizados.

Entretanto, os prejuízos que a carência provocava nos olivais fez com que se retomassem os estudos iniciados na década de 50, os quais perduram até hoje. Assim, com base em análises de solo e foliares, Jordão e Silva (1987) avaliaram o estado nutricional relativamente ao B em cinco variedades de oliveira na localidade de Lagoa (Macedo de Cavaleiros), e mais tarde, em 1990–94, Jordão *et al.* (1996) constataram que cerca de 80% das amostras de solo, recolhidas em olivais instalados em Trás-os-Montes e Beira Interior, exibiam concentrações de B consideradas baixas (isto é, < 0,6 mg/kg). Daí que, em 1998, estes autores tenham instalado um ensaio em Monforte da Beira (Castelo Branco) para avaliar o efeito da aplicação de N e B na produção de azeitona e na qualidade do azeite (Jordão *et al.*, 2004). Também foi realizado um levantamento ao estado nutricional de 27 olivais nos concelhos de Macedo de Cavaleiros e Torre de Moncorvo, por Rodrigues *et al.* (2005), os quais verificaram que existia defi-

ciência de B nalguns deles. Esse foi o mote para instalarem ensaios experimentais (2003–2008) com vista à correcção da carência e avaliação do efeito da adubação boratada na produção e qualidade da azeitona (Rodrigues e Arrobas, 2008; Arrobas *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2011).

Apesar dos primeiros ensaios efectuados em Portugal para estudo das doses de B a administrar terem incidido sobre as vinhas do Douro (Dias, 1953a), só muito mais tarde se voltaram a realizar estudos nessa região, os quais constam de relatórios de estágio (Borges, 1992; Natário, 2001; Nogueira, 2008). Os respectivos ensaios tinham como objectivo avaliar técnicas e doses de B a aplicar. Ainda antes, em 1989, tinha-se iniciado experimentação de longa duração em vinhas da Cova da Beira, com o propósito de serem testados adubos de diferente solubilidade, níveis de adubação e fraccionamento do B (Pacheco *et al.*, 1996).

Também se fizeram estudos em aveleira (*Coryllus avellana* L., cv. Butler) para avaliar o efeito da administração de B por via foliar num pomar instalado em solos provenientes de granito, em Vila Seca (Vila Real) (Silva *et al.*, 2003). A deficiência de B em sobreiro (*Quercus suber* L.) foi primeiramente detectada nos arredores de Mirandela em 2000, mas só foi estudada seis anos depois, através de dois ensaios instalados em Penas Róias (Mogadouro), em solos derivados de xistos ácidos (Loureiro *et al.*, 2006).

O levantamento do estado nutricional do castanheiro (*Castanea sativa* Mill) no Alto Trás-os-Montes, conduzido durante 10 anos (1996–2006) e apoiado na recolha de amostras de folhas, mostrou que a concentração de B foliar se encontrava abaixo de um valor que foi considerado crítico (20 mg/kg) em cerca de 50% dos 84 soutos amostrados (Portela *et al.*, 2007). Em 2006 foi instalado um ensaio em Jou (Murça), freguesia integrada na DOP (Denominação de Origem Protegida) da Padrela, para avaliação do efeito do B na produção e qualidade da castanha (Portela *et al.*, 2011, 2015) e em 2010 a carência viria a ser confirmada, através de um estudo comparativo com adubação foliar de B, num souto instalado num solo desenvolvido a partir de paragnaisse em Meixedo (Bragança), freguesia integrada na DOP da Terra Fria. Arrobas *et al.* (2010) compararam a eficácia da utilização de amostras foliares recolhidas em dois períodos do ano (Janeiro e Julho) no diagnóstico foliar da deficiência de B na oliveira. De igual modo, Portela e Louzada (2012), através da colheita

de amostras foliares em dois períodos do ano (Julho e Setembro), concluíram que as folhas amostradas em Junho-Julho permitiam o diagnóstico precoce da carência de B no castanheiro.

Em suma, a deficiência de B tem sido observada tanto em plantas cultivadas como em espécies florestais, e em vários tipos de solos provenientes de substratos rochosos bastante diversos. Porém, há poucos resultados experimentais que evidenciem o efeito do B na produtividade e qualidade das culturas. No que respeita ao castanheiro e à oliveira, apesar de surgirem com certa frequência carências de B no nordeste, a aplicação deste micronutriente nos soutos e olivais não é generalizada e é pouco sistemática. Com efeito, a adubação com B está pouco difundida em certas zonas onde vegeta o castanheiro e a oliveira, por exemplo nos distritos de Vila Real e de Bragança (Portela e Portela, 1996; Portela e Pinto, 2004; Rodrigues *et al.*, 2005, 2011; Arrobas *et al.*, 2010), apesar da quebra de produção que provoca nestas culturas. Em 1996, na DOP da Padrela, dos 101 soutos sujeitos a inquirição, apenas 34% eram submetidos à aplicação de bórax e 10% à do adubo 7.14.14 com B e Mg (Portela e Portela, 1996). Todavia, essa aplicação era algo irregular ou com periodicidade de 3-5 anos. Em 2004 constatou-se que a percentagem de soutos adubados com B era de 50% na DOP da Padrela (dentre os 67 soutos sujeitos a inquirição) e apenas de 17% no distrito de Bragança (dentre os 44 soutos sujeitos a inquirição). Constatou-se, ainda, que na DOP da Terra Fria (concelhos de Vinhais e Bragança) poucos agricultores tinham ouvido falar da carência de B ou da necessidade da adição deste micronutriente aos soutos.

Para além da capacidade de fornecimento de B pelos solos, há também condicionalismos que podem influenciar a sua absorção e a gravidade da deficiência, como as características morfológicas do terreno onde se situa o perfil do solo, as propriedades físico-químicas dos solos, a ocorrência de episódios meteorológicos extremos e ainda factores de ordem genética das plantas.

Neste exercício de revisão faz-se uma inventariação das formações geológicas/litológicas onde mais amiúde se têm detectado as carências de B, bem como das respectivas unidades pedológicas, tendo-se focado o estudo no interior de Portugal nas zonas interior norte (regiões de Alto Trás-os-Montes e Douro) e interior centro (regiões de Beira Interior Norte, Cova da Beira, Beira Interior Sul, Serra da

Estrela, Dão-Lafões e Pinhal Interior Norte). Faz-se também uma revisão dos condicionalismos de ordem ambiental que mais potenciam o aparecimento da carência de B. Indica-se ainda, para algumas arbóreas, a sintomatologia da deficiência e as concentrações críticas do elemento, nas folhas e nos solos, a partir dos quais se observaram, com frequência, essa sintomatologia ou quebras de produtividade. Também se apresentam alguns resultados experimentais de aplicação de B em termos de crescimentos, produtividade e qualidade das culturas. Por último, procuraram-se explicações para muitas das perplexidades suscitadas desde o aparecimento da 'maromba' no século XIX e pelas reacções das culturas à adição de B, por vezes inesperadas e outras vezes inconsistentes, e finaliza-se com sugestões de algumas estratégias para corrigir a carência deste micronutriente, cuja importância para a produtividade das culturas está bem documentada no estrangeiro, mas bastante menos em Portugal.

Assim, neste trabalho foram tidos em conta os primeiros relatórios (1894 e 1934), bem como os primeiros ensaios experimentais executados na década de 50, que dão conta da deficiência de B em plantas cultivadas, e os estudos realizados desde a década de 80 no nordeste e interior centro de Portugal em fruteiras e em espécies florestais/agro-florestais. Além disso, também se consideraram: i) os resultados empíricos obtidos em parcelas de agricultores; ii) observações circunstanciais efectuadas nas últimas três décadas pelos autores deste artigo; iii) observações sistemáticas em áreas particularmente afectadas pela carência em culturas diversas, através de percursos seleccionados com base nas cartas geológicas; e, ainda, iv) alertas para a escassez de B em diversas culturas dados por profissionais, nomeadamente por técnicos da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte (DRAPN) e de Associações Florestais. Examinaram-se dados publicados e não publicados, estando estes incluídos em relatórios internos do Ministério da Agricultura, de centros de investigação e de instituições de ensino superior, e também os dados não publicados pertencentes aos autores do presente trabalho. Será dado maior destaque às espécies arbóreas, já que os estudos que incidiram sobre este grupo foram mais detalhados. A maior parte dos dados aqui apresentados para o castanheiro e eucalipto encontram-se publicados, enquanto outros são aqui expostos pela primeira vez. Foi com grande perplexidade que se constatou que, posteriormente à década de 50 do séc. XX, não

terão sido efectuado estudos, onde se mostrassem dados quantitativos de acréscimo da produtividade, ou registos de teores de B nos solos e nas folhas, respeitantes à região do Douro; nem de nenhum trabalho exploratório que revelasse a verdadeira dimensão da carência de B nas videiras e noutras fruteiras desta região. Do mesmo modo, foi com espanto que se leu o relatório de Le Cocq (1894) pela prodigalidade de levantamentos, inquirições e indagações realizadas, e ainda pelos pormenores descritos sobre a 'maromba' durante mais de uma década em várias regiões de Portugal. Salienta-se, sobretudo, os estudos histológicos levados a cabo em videiras afectadas por esta anomalia fisiológica, os quais, tanto quanto pudemos apurar, dentre as publicações disponíveis e mesmo as menos acessíveis, não voltariam a fazer-se nem na videira nem noutras culturas.

Factores que afectam a disponibilidade do boro para as culturas

A disponibilidade de B nos solos está muito dependente de: factores edáficos e morfológicos do terreno, como a exposição solar, topografia local, material originário, textura, matéria orgânica, reacção do solo e a capacidade de armazenamento de água; factores climáticos como a temperatura, a radiação solar e a precipitação; e, ainda, factores relativos à fisiologia do B na planta para além dos de ordem genética, como se dará conta em seguida com exemplos ilustrativos, sobretudo do nordeste de Portugal.

Factores edáficos

Geologia-litologia e solos

A deficiência de B tem sido testemunhada em vários tipos de solos provenientes de materiais geológico-litológicos diversos, quer no nordeste (Vale, 1988), quer no interior centro de Portugal. No Quadro 1 listam-se as formações geológicas a partir das quais se desenvolveram os solos onde foram detectadas carências de B em culturas e/ou se obtiveram reacções positivas à sua aplicação. As concentrações de B, foliares e/ou extraíveis no solo, foram registadas sempre que os autores as forneciam, havendo casos em que esses valores não estão publicados, tratando-se pois de comunicações pessoais geralmente acompanhadas de boletins de análise.

Os resultados dos ensaios em vaso efectuados por Vale (1988), bem como as referências apresentadas

no Quadro 1, e baseados em estudos vários, permitem afirmar que as carências de B têm sido observadas em solos derivados de rochas: i) magmáticas, como os granitos de duas micas e os granitóides biotíticos com plagioclase cálcica; ii) metamórficas como os xistos do Silúrico e Ordovício, do Complexo Xisto-grauváquico, xistos básicos e ultrabásicos, paragnaisse e quartzitos; e, raramente, em solos derivados de iii) rochas sedimentares como as arcoses.

Carências de boro em solos derivados de rochas granitóides e paragnaisse

Os primeiros registos de carência de B em granitos datam de 1957 na Beira Interior, mais precisamente nos distritos da Guarda e Castelo Branco, na oliveira, castanheiro, cerejeira, pessegueiro e ainda no feijoeiro (Pereira, 1957). Só três décadas depois foram feitos estudos sistemáticos em arbóreas com anomalias graves como o pinheiro (Vale, 1988, 1990, Valente, 1993), eucalipto (Vale *et al.*, 1994; Coutinho *et al.* (1994) e castanheiro (Portela *et al.*, 2007). Tendo em conta os dados do Quadro 1 respeitantes às formações granitóides, estas foram subdivididas em dois grupos:

- Granitos de duas micas de grão médio a grosseiro de tendência porfíroide (Vila Real, Sabrosa, Alijó, Vila Pouca de Aguiar, Valpaços, Boticas, Sernancelhe, Penedono e Fornos de Algodres) [Cartas Geológicas à escala de 1:200000 folha 2 (Pereira, 2000) e 1:50000 folhas: 14B (Ferreira *et al.*, 1987), 14D (Teixeira *et al.*, 1972) e 17B (Gonçalves, 1990)]. Há registos da carência de B em pinheiros e castanheiros que crescem em solos desenvolvidos a partir destas rochas.
- Granitóides biotíticos com plagioclase cálcica (Vila Pouca de Aguiar, Chaves, Valpaços, Sernancelhe, Celorico da Beira, Guarda, Covilhã, Fundão e Castelo Branco) [Cartas Geológicas à escala de 1:500000 (Oliveira e Pereira, 1992), 1:200000 folha 2 (Pereira, 2000) e 1:50000, folhas: 14D (Teixeira *et al.*, 1972), 17B (Gonçalves, 1990), 18C (Teixeira *et al.*, 1963), 20B (Teixeira *et al.*, 1974) e 24D (Ribeiro e Ferreira, 1966)]. Nos solos desenvolvidos nestas formações a carência de B foi testemunhada em eucaliptos, pinheiros, oliveiras, castanheiros, cerejeiras e pessegueiros.

As carências de B registadas em solos derivados de paragnaisse ocorrem numa extensa mancha entre Bragança e Vinhais [Carta Geológica à escala de 1:200000 folha 2, Pereira (2000)], designadamente em castanheiros.

Quadro 1 - Formações geológicas e concentrações nos solos e nas folhas em culturas onde foram identificadas carências de B ou responderam positivamente à adubação boratada

Locais/localidades	Formação geológica	Cultura	B extraível mg/kg +	B foliar mg/kg	Referência
Vila Real (Andrães, Aباças)	D _E , P _I	pinheiro	0,33-0,52	2,2-2,9	Vale (1988, 1990)
Peso da Régua	D _E	pinheiro	0,40	2,4	Vale (1988, 1990)
Alijó	D _E	pinheiro	0,58	2,2	Vale (1988, 1990)
Sabrosa (Vilarinho de São Romão)	D _E	pinheiro	0,64	2,7	Vale (1988, 1990)
Vila Pouca de Aguiar (Tresminas)	D _{SA}	pinheiro	0,46	2,2	Vale (1988, 1990)
Valpaços (Carrzedo de Montenegro e Sanfins)	S _{PQ}	pinheiro	0,46-0,47	2,1-2,7	Vale (1988, 1990)
Valpaços (Rio Torto)	S _{PS}	pinheiro	0,12	2,0-3,1	Vale <i>et al.</i> (1999)
Valpaços (Possacos)	γ_4^I	pinheiro	0,37	2,4-2,7	Vale (1988, 1990)
Valpaços (Bouçoães)	γ_4^I	pinheiro	0,45	2,7	Vale (1988, 1990)
Vila Real (Justes)	γ_3^I	pinheiro	0,55	2,4	Vale (1988, 1990)
Sabrosa (S. Martinho de Anta)	$\gamma\pi m$	pinheiro	0,24	2,6	Vale (1988, 1990)
V. Pouca de Aguiar (Afonسیم)	γ_3^I	pinheiro	0,16	2,4	Vale (1988, 1990)
Alijó (Favaios, Pópulo, Vila Verde)	γ_3^I	pinheiro	0,40-0,55	2,2-2,4	Vale (1988, 1990)
Boticas (Sapiãos, Bobadela)	γ_3^I	pinheiro	0,52-0,72	2,1-2,6	Vale (1988, 1990)
Chaves (S. Estevão, Vilarinho das Paraneiras)	γ_{III}^b	pinheiro	0,21-0,35	2,2-2,4	Vale (1988, 1990)
Fornos de Algodres (Vila Soeiro do Chão)	$\gamma\pi'g$	pinheiro	0,40	0,4	Portela, 2009 *
Castelo Branco (Louriçal do Campo)	γII_{3c}	eucalipto	-	-	Vale <i>et al.</i> (1994); Coutinho <i>et al.</i> (1994)
Vila Flor	D _E	eucalipto	-	3,8-8,4	Vale <i>et al.</i> (1994); Coutinho <i>et al.</i> (1994)
Mogadouro (Penas Roias, Quinta da Granja e da Freixa)	S _{VS}	sobreiro	-	2,9-7,3	Loureiro <i>et al.</i> (2006)*
Vila Real	D _E	vinha	-	-	N. Magalhães#
Alijó (Vilar de Maçada)	D _E	vinha	-	-	N. Magalhães#
Alijó (Cotas, Quinta da Romaneira)	R _I	vinha	-	-	N. Magalhães#
Vila Nova de Foz Côa (Almendra, Quinta da Leda)	D _E	vinha	-	-	N. Magalhães#
Peso da Régua (Canelas, Quinta da D. Matilde)	P _I	vinha	0,12-0,24	-	José Manso (1996)*
Tabuaço (Adorigo, Qta. São Luís)	B _A	vinha	0,30	-	José Manso (2001)*
Tabuaço (Adorigo, Qta. São Luís)	B _A	vinha	0,16	<20-39 floração	Borges (1992)
Alfandega da Fé (Vilarelhos, Cabeço)	D _E , S _{PQ}	ameixeira	0,15-0,52	-	Alberto Santos*
Alfandega da Fé (Vilarelhos, Cabeço)	D _E , S _{PQ}	actinídea	0,18-0,51	-	Alberto Santos*
Alfandega da Fé (Vilarelhos, Cabeço)	D _E , S _{PQ}	cerejeira, pessegueiro	0,13-0,44	-	Alberto Santos*
Fundão (várias freguesias de Cova da Beira)	γII_{2a}	cerejeira, pessegueiro	-	-	Pereira (1957)
Guarda (Benespera)	γII_{3b}	oliveira	-	-	Pereira (1957)
Celorico da Beira (Minhocal)	γII_{3b}	oliveira	-	-	Pereira (1957)
Fig. Castelo Rodrigo (Barca d'Alva)	D _E	oliveira	-	-	Pereira (1957)

Quadro 1 - Continuação

Locais/localidades	Formação geológica	Cultura	B extraível mg/kg +	B foliar mg/kg	Referência
Mirandela (Vilar de Ledra)	S _{VS}	oliveira	-	11-12	Jordão <i>et al.</i> (1996); Marcelo <i>et al.</i> (2005)
Macedo de Cavaleiros (Lagoa Sátão)	PC _{La}	oliveira	0,70	12-15	Jordão e Silva (1987)
Covilhã (Boidobra)	NC _{PC}	oliveira	-	-	Branco (1961)
Fundão (Monsanto)	$\gamma\pi g$	oliveira	-	-	Branco (1961)
Fundão (Orca)	γII_{3b}	oliveira	-	-	Branco (1961)
Castelo Branco (Ladoeiro)	γII_{3b}	oliveira	-	-	Branco (1961)
Castelo Branco (Monforte)	E Φ M	oliveira	-	-	Branco (1961)
	E Φ M	oliveira	0,27	12	Jordão e Marcelo (2005)
Mirandela (S. Pedro de Vale Conde)	S _{PX}	oliveira	0,35	-	Jordão <i>et al.</i> (1996); Jordão <i>et al.</i> (2010)
Mirandela (Carvalhais, Quinta do Valongo)	O _{FQ}	oliveira	-	-	Branco (1961); Jordão <i>et al.</i> (1996)
Macedo de Cavaleiros (Lombo)	D _{MC}	oliveira	-	11-18	Rodrigues e Arrobas (2008)
Mirandela (Cabanelas, Lamas de Cavallo)	O _{FQ}	oliveira	0,11	12-19	Arrobas <i>et al.</i> (2010)
Mirandela (Suções)	S _{PX}	oliveira	0,30	19-26	Rodrigues <i>et al.</i> (2011)
Bragança (Santa Maria)	D _{MC}	oliveira	0,21	10-17	Arrobas <i>et al.</i> (2010)
Macedo Cavaleiros (Lamas, Corujas)	S _{PQ}	castanheiro	-	10-18	*
Valpaços (Carrzedo de Montenegro, Padrela)	S _{PX}	castanheiro	0,53-0,61	9-14	*
Valpaços (S. João de Corveira)	S _{PQ}	castanheiro	0,62	-	*
Murça (Jou)	S _{PQ}	castanheiro	0,44	11-15	*
Vinhais (Curopos, Candedo, Mofreita)	S _{VS}	castanheiro	0,34-0,36	8-17	*
Vinhais (Rebordelo)	S _{PI}	castanheiro	0,37	9-16	*
Vinhais (Curopos, Mofreita)	O _{FQ}	castanheiro	0,38	14-17	*
Vinhais (Edroso)	O _{FQ}	castanheiro	0,08	-	*
Bragança (Parâmio)	A'f	castanheiro	0,66	-	*
Bragança (Meixedo)	A'f	castanheiro	0,40	-	*
Bragança (Parâmio, Meixedo, Espinhosela)	P _{EGN}	castanheiro	0,19-0,58	7-16	*
Bragança (Meixedo)	P _{EGN}	castanheiro	0,39	6-25	*
Bragança (Parada)	S _{PS}	castanheiro	0,42-0,45	7-16	*
Bragança (Santa Comba de Rossas)	S _{PQ}	castanheiro	0,60	18	*
Bragança (Pinela)	S _{PX}	castanheiro	0,65	14	*
Bragança (Salsas)	O _{FQ}	castanheiro	0,10	16-18	*
Bragança (Salsas)	S _{VS}	castanheiro	0,34	14	*
Guarda (Ramela, Vale da Teixeira)	γII_{2b}	castanheiro	-	-	Pereira (1957)
Valpaços (S. João de Corveira, Carrzedo de Montenegro)	γ^1_3	castanheiro	0,56-0,69	10-18	*
Sernancelhe	γII_{3b}	castanheiro	0,19-0,44	11	*
Sernancelhe (Granjal)	γII_{3b}	castanheiro	0,43	-	*
Sernancelhe (Fonte Arcada)	$\gamma^1 m$	castanheiro	0,20-21	-	*
Sernancelhe (Vila de Ponte)	$\gamma^1 m$	castanheiro	0,35	-	*
Sernancelhe (Penso)	γII_{3b}	castanheiro	0,20	-	*
Penedono (Castaiço)	$\gamma^1 m$	castanheiro	0,14-0,20	-	*
Penedono (Antas)	$\gamma^1 m$	castanheiro	0,28	-	*

Notas: + B extraível pela água fervente (camada superficial do solo); * dados não publicados; # comunicação pessoal.

Legenda: γ^1_3 e γ^1_4 - granitos de grão grosseiro a médio porfiróides de duas micas; $\gamma^1 \pi m_2$ - granito de grão fino a médio porfiróide moscovítico-biotítico; $\gamma \pi^1 g$ - granito porfiróide de grão grosseiro a médio de duas micas; $\gamma^1 m$ - granito de grão médio de duas micas a biotítico; γII_b - granito porfiróide de grão grosseiro a médio essencialmente biotítico; $\gamma \pi g$ - granito porfiróide de grão grosseiro essencialmente biotítico; γII_{2b} - granitóide porfiróide de grão grosseiro essencialmente biotítico; γII_{3b} - granitóide porfiróide de grão médio biotítico com plagioclase cálcica; γII_3c - granito monzonítico com esparsos megacrístais; γII_{2a} - quartzodioritos e granodioritos biotíticos; $\gamma^1 z$ - granito de grão médio a fino por vezes gnaissóide.

Legenda (continuação): D_E- Formação da Desejosa, P_I- Formação do Pinhão, R_I- Formação do Rio Pinhão e B_A- Formação de Bateiras (formações do Complexo Xisto-grauváquico do grupo Douro); NC_{PC}- Formação de Ponte Chinchela (Complexo Xisto-grauváquico do grupo Douro); D_{SA}- Formação de Santos e Curros; S_{PI}- Xistos Inferiores; S_{PS}- Xistos Superiores; S_{VS}- Complexo Vulcano-silicioso; O_{FQ}- Filito-quartzítica; S_{PQ}- Quartzitos Superiores; S_{PX}- Pelitograuváquica; PC_{LA}- Micaxistos de Lagoa; D_{MC}- Formação de Macedo de Cavaleiros; P_{GN}- paragnaisses; Af- anfíbolitos; EFM- arcoses da Beira Baixa. Carta 1:200000 folha 2 (Pereira, 2000); cartas 1:50000, folha 10C (Teixeira *et al.*, 1967), folha 10D (Sousa *et al.*, 1987), folha 14B (Ferreira *et al.*, 1987), folha 14D (Santos *et al.*, 1972), folha 15A (Ferreira da Silva e Ribeiro, 1991), folha 15B (Ferreira da Silva e Ribeiro, 1994), folha 17B (Gonçalves, 1990), folha 18C (Martins, 1963), folha 24D (Ribeiro e Ferreira, 1966); carta 1:500000 (Oliveira e Pereira, 1992).

Carências de boro em solos derivados de rochas xistentas

Iniciadas em 1881, as primeiras indagações realizadas no Douro revelaram que algumas das áreas de vinha particularmente afectadas pela ‘maromba’ estavam localizadas em solos derivados de xistos do Complexo Xisto-grauváquico do grupo do Douro, nos concelhos Peso da Régua, Santa Marta de Penaguião e Mesão Frio (Le Cocq, 1894). Este investigador fez ele próprio a avaliação dos estragos provocados pela ‘maromba’ em várias quintas dos concelhos de Lamego (freguesia de Cambres), Peso da Régua (freguesias de Godim, S. Faustino e Fontelas), de Santa Marta de Penaguião e de Alijó (freguesia do Pinhão). Com excepção do último, estes concelhos têm em comum estarem, sob o ponto de vista geológico, enquadrados no substrato da Formação da Desejosa (D_E), enquanto que no Pinhão os solos são provenientes de rochas das formações de Bateiras (B_A) e do Pinhão (P_I).

A grande maioria dos xistos onde se têm registado carências de B são de origem metassedimentar e metamórfica, estando enquadrados em complexos/unidades de formações geológicas diferentes: Pelito grauváquico (S_{PX}), Filito-quartzítico (O_{FQ}), Xistos Superiores (S_{PS}), Xistos Inferiores (S_{PI}), Vulcano-silicioso (S_{VS}), Quartzitos Superiores (S_{PQ}), Xisto-grauváquico do grupo do Douro [formações de Desejosa (D_E), Bateiras (B_A), Pinhão (P_I), Rio Pinhão (R_I), Ponte Chinchela (NC_{PC})] e do grupo Beiras (NC_{Be}); formações de Santos e Curros (D_{SA}) e Macedo de Cavaleiros (D_{MC}), Micaxistos de Lagoa (PC_{LA}) e, ainda, em anfíbolitos (Af) [Cartas Geológicas à escala de 1:200000 folha 2 (Pereira, 2000) e 1:50000 folhas: 10C (Teixeira *et al.*, 1967), 15A (Ferreira da Silva e Ribeiro, 1991) e 15B (Ferreira da Silva e Ribeiro, 1994) e 17A (Ferreira e Castro, 2009; Ferreira, 2010)].

Dentre os substratos xistentos onde as deficiências de B surgem com frequência elevada, afectando um grande número de espécies, nomeadamente macieiras, pereiras, videiras, figueiras, pessegueiros, castanheiros, oliveiras, pinheiros, eucaliptos e mesmo espécies espontâneas, destacam-se os Quartzitos Superiores (S_{PQ}), Xistos Superiores (S_{PS}), Complexo Filito-quartzítico (O_{FQ}) e Complexo Vulcano-silicioso (S_{VS}).

Nestas formações, mais ou menos complexas, dominam as seguintes litologias: quartzofilitos feldspáticos, filitos, xistos grafitosos (cinzentos ou negros), ampelitos, liditos, psamitos, siltitos, metagrauvaques, metagrauvaques calcossilicatados ou calcomagnesianos, xistos verdes (clorito-sericíticos), metadiabases, micaxistos e anfíbolitos, e ainda, quartzitos xistóides e quartzofilitos (Teixeira *et al.*, 1967; Pereira, 2006; Ferreira, 2010; Ferreira da Silva e Ribeiro, 1991, 1994).

Carências de boro em solos derivados de rochas sedimentares não xistentas

Apenas se menciona a existência de um local (Quadro 1) onde ocorre a carência de B em solos derivados de rochas sedimentares não xistentas. Trata-se dum ensaio de adubação boratada em olivais instalados em Monforte da Beira (Castelo Branco) nas arcoses da Beira Baixa (EFM) (Jordão *et al.*, 2004) [(Carta Geológica 1:50000, folha 24D (Ribeiro e Ferreira, 1966)]. Estas arcoses são essencialmente constituídas por grãos de quartzo e feldspatos com cimento caulínico (Ribeiro *et al.*, 1967).

O boro nos solos

O B do solo está essencialmente distribuído da seguinte forma: i) na turmalina, ou como ‘impureza’ de outros minerais primários, caso das micas e feldspatos; ii) nos minerais secundários, particularmente na estrutura cristalina dos minerais argilosos; iii) adsorvido nas superfícies dos minerais argilosos, dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e na matéria orgânica (MO); iv) na biomassa microbiana e na constituição da própria MO; e v) na solução aquosa do solo, onde geralmente se encontra na forma de ácido bórico. Segundo Shorrocks (1997), os factores preponderantes na distribuição do B pelas várias fracções do solo são o material originário e a textura do solo. Porém, os processos de meteorização e pedogénese decorrentes de factores climáticos, geomorfológicos e bióticos, são também condicionantes dessa distribuição.

Quando o B é libertado por alteração dos minerais, por mineralização da MO ou adicionado ao solo por via atmosférica, fertilização ou irrigação, uma parte permanece na solução aquosa e a outra é adsorvida nas fases sólidas do solo, particular-

mente nas de dimensão coloidal. Para valores de pH do solo entre 5 e 8 a espécie de B em solução é principalmente o $B(OH)_3$, a qual, devido à sua elevada mobilidade, pode migrar ao longo do perfil do solo e ser lixiviada para profundidades que estão fora do alcance das raízes. As várias formas de B existentes no solo equilibram-se entre si, mas é sobretudo a maneira como este elemento se distribui entre as fases líquida e sólida, e a dinâmica do equilíbrio entre ambas, que condiciona a concentração do B em solução. Assim, é o equilíbrio sólido-líquido que determina a capacidade de manutenção na solução do solo dos níveis adequados de B às necessidades das culturas.

O método mais utilizado na avaliação da disponibilidade deste nutriente nos solos, baseia-se na extracção da sua fase solúvel em água fervente durante cinco minutos, a qual se designa neste trabalho por B extraível.

Muitas vezes, o B nas rochas está associado à estrutura cristalina das turmalinas. Os minerais deste grupo ocorrem nas rochas graníticas do tipo pegmatitos e aplitos, e ainda em rochas metamórficas como produto do metassomatismo do B. No norte de Portugal, é um mineral acessório comum nos granitos, sobretudo nos mais ricos em moscovite comparativamente aos granitos biotíticos (Neiva, 1974). O maior teor de B nos granitos moscovíticos deve-se ao facto destes minerais cristalizarem posteriormente, quando o magma se encontra mais enriquecido em B (Harder, 1959).

Convém recordar que as turmalinas são silicatos, do grupo dos ciclossilicatos, os quais possuem B na sua constituição. São minerais muito dificilmente meteorizáveis e conhece-se pouco acerca do seu mecanismo de dissolução (Barber, 1985). A concentração de B total varia bastante com a natureza da ro-

cha de substrato e, como seria de esperar, os valores nos solos do nordeste estudados por Vale (1988), o qual determinou concentrações de B total e B extraível em 33 amostras representativas de Alto Trás-os-Montes e Douro (Quadro 2), seguem a mesma tendência daquela que tem sido veiculada na literatura. Neste quadro os dados foram agregados em quatro grupos, em função do material originário dos solos. Repare-se que os teores do B total oscilam desde valores muito baixos, nos solos derivados de rochas ultrabásicas (anfíbolitos), passando pelos solos derivados de xistos metamórficos ácidos a básicos com níveis intermédios, podendo atingir os valores mais altos nos solos derivados de certos granitos.

Os solos provenientes dos granitos apresentavam concentrações de B total inferiores a 15 mg/kg em mais de 50% dos casos, mas atingem 102 e 120 mg/kg em duas amostras de Miranda do Douro. Teixeira *et al.* (1981) obtiveram um intervalo de variação do B total semelhante a este em solos derivados de granitos do noroeste de Portugal (9–117 mg/kg), sendo que 70% tinham concentrações < 20 mg/kg. Um teor elevado de B total nos solos de Miranda do Douro não garantiu, à partida, níveis aceitáveis de B extraível, e por isso observaram-se sintomas de carência e baixos teores foliares do nutriente numa planta-teste utilizada no ensaio de Vale (1988). Neste estudo, o B extraível representava menos de 1% do B total em 2/3 dos solos, e apenas em dois deles se chegou aos 4%. Aliás isso é expectável tendo em conta os dados de Hou *et al.* (1994), que mostram que apenas uma pequena percentagem do B total (3–5%) se encontra em formas acessíveis às plantas. Por outro lado, porque os minerais que contêm B têm meteorização lenta, é natural que não haja correlação entre o B total e o B extraível no solo, e entre o B total e a ocorrência de indícios de escassez de B na planta teste utilizada (Vale, 1988). É de salientar que os solos

Quadro 2 - Concentrações de B total e de B extraível em solos representativos de Alto Trás-os-Montes e Douro agrupados em função do material originário

Material originário	B total, mg/kg *		B extraível, mg/kg +	
	Intervalo	Média	Intervalo	Média
Granitos	12-120	47	0,19-0,56	0,31
Sedimentos originados a partir de rochas graníticas	26-96	56	0,27-0,55	0,41
Xistos ácidos a básicos	30-79	45	0,14-0,92	0,30
Anfíbolitos	7-13	9	0,12-0,31	0,21

* fusão alcalina; + extracção com água fervente. Com base em dados de Vale (1988).

provenientes de materiais colúvio-aluvionares ou aluvionares originados a partir de rochas graníticas, localizados nas baixas plano-concâvas e nas zonas aluvionares (Fluvisolos úmbricos), apresentam um teor médio de B mais elevado, quer de B total quer de B potencialmente assimilável pelas plantas do que os solos desenvolvidos a partir das outras litologias (Quadro 2).

A variação acentuada da ocorrência de turmalina nos diferentes granitos de Trás-os-Montes (Pereira, 2006), e a sua distribuição algo aleatória, torna difícil fazer previsões quanto à eventualidade da carência de B nas culturas em função do tipo de granito a partir do qual se desenvolveram os solos, até porque a existência do mineral pode não ter correspondência com a fracção de B no solo disponível para as plantas.

Em síntese, a escassez de B nas plantas pode ocorrer em solos desenvolvidos a partir dos substratos mais variados, que vão desde as rochas com maior conteúdo em silício como os granitos de duas micas e xistos do Complexo Vulcano-silicioso, até às formações menos ricas em sílica como as metadiabases, os anfibólitos, ou ainda os metassedimentos ricos em carbonatos. Ocorre também associada a rochas que originam solos pobres em nutrientes, tais como os materiais quartzíticos e os granitos mais ricos em quartzo, até àquelas formações que determinam a génese de solos mais ricos como os anfibólitos, metagrauvaques calcomagnesianos, os micaxistos de Lagoa (com intercalações de rochas calcossilicatadas) e aos xistos da Formação de Macedo de Cavaleiros (com clorite e intercalações de metadiabases). Contudo, é notório que os solos pouco profundos e tendencialmente ácidos dominam largamente no que respeita à escassez de B no nordeste e interior centro de Portugal, como se pode constatar no Quadro 3. Neste quadro indicam-se as unidades pedológicas onde foram observados fortes indícios de carência de B no campo, em plantas cultivadas e espécies florestais (*cf.* com o Quadro 1), ou em ensaios em vaso. Como se pode constatar, os Leptosolos ou os Antrossolos de surribo e os Cambissolos são os grupos dominantes no Quadro 3.

Tal como Shorrocks (1997) havia verificado num estudo realizado à escala mundial, os dados do

Quadro 1 também parecem evidenciar que os solos derivados de rochas graníticas e metamórficas são, muitas vezes, deficientes em B, independen-

temente da unidade pedológica a que o solo pertença (Quadro 3). Segundo Harder (1961), durante os processos de metamorfismo a maior parte do B das rochas originárias perde-se por volatilização e o restante contribui para a formação de turmalina.

Propriedades físico-químicas dos solos

No nordeste e interior centro, a fisiografia e topografia locais produzem uma elevada heterogeneidade morfológica e física nos solos, mesmo quando a natureza do substrato litológico é semelhante, originando um perfil cultural com espessura efectiva e proporção de elementos grosseiros muito variável.

A fracturação das rochas, a xistosidade de algumas, a exposição da vertente onde se localizam, em conjunto com a heterogeneidade na sua composição mineralógica e textural, são características determinantes da espessura efectiva do solo, da abundância relativa de elementos grosseiros, bem como da composição química e mineralógica dos seus constituintes. Estes factores condicionam muito o comprimento radicular e o contacto solo-raiz e, portanto, a aquisição da água e de nutrientes, nomeadamente o acesso ao B pelas plantas. Mesmo nos solos mais profundos e com maior suporte radicular, geralmente associados a relevo suave ou a cotas baixas em zonas depressionárias, por razões da topografia local que favorece as geadas de radiação, podem acentuar-se os danos nas plantas provocados pela escassez de B. A este assunto voltar-se-á mais adiante, quando se abordar a influência de factores climáticos.

A heterogeneidade dos solos está bem patente nos estudos de Vale (1988, 1990) levados a cabo no distrito de Vila Real, onde foi observada deficiência de B em pinheiros (*P. pinaster*). De facto, as árvores 'normais' e as que manifestavam sintomas de escassez de B vegetavam, frequentemente, quase lado a lado, em solos com origem na mesma rocha de substrato: granitos (18 solos com 5 a 10% de argila, na camada superficial) e xistos (10 solos com 10 a 16% de argila na camada superficial). Para além disso, as concentrações de B extraível, da camada 0–20 ou 20–40 cm dos solos, não se correlacionaram significativamente com os teores foliares de B. Estes factos indiciam que factores de outra ordem estariam a condicionar a aquisição do B pela raiz, por exemplo o suporte radicular, contacto solo-raiz, e consequentemente o acesso à água e nutrientes. Como aquele autor admite, a conjugação de vários factores, operando em simultâ

Quadro 3 - Unidades pedológicas onde se registaram carências de B em diversas culturas e espécies florestais, no nordeste e interior centro de Portugal, e respectivas referências

Culturas	Unidades pedológicas	Referências
<i>Pinus pinaster</i> Aiton	Leptosolos distrícos Cambissolos distrícos	Vale (1988) *
<i>Pinus pinæ</i> L.	Regossolo antrópico	Vale <i>et al.</i> (1999)
<i>Olea europæa</i> L.	Cambissolos distrícos Regossolos distrícos Pararregossolos distrícos Antrossolos áricos surribícos Leptosolos eutrícos órticos Leptosolos eutrícos câmbicos Leptosolos distrícos órticos Leptosolo eutríco câmbico Luvisolo háplico Leptosolo eutríco Leptosolo distríco Leptosolos distrícos Leptosolos eutrícos	Branco (1961) * Jordão e Silva (1987) * Jordão <i>et al.</i> (2004) Arrobas <i>et al.</i> (2010) Rodrigues <i>et al.</i> (2005; 2008, 2011)
<i>Eucaliptus globulus</i> Labill	Antrossolos áricos surribícos distrícos	Vale <i>et al.</i> (1994); Coutinho <i>et al.</i> (1994)
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	Leptosolos distrícos Cambissolos distrícos Cambissolos úmbricos Fluissolos úmbricos	Valente (1993) *
<i>Trifolium subterraneum</i> L.	Fluissolo úmbrico	Vale (1988)
Trevos, cereais, hortícolas, videira, olival e fruteiras arbóreas	Fluissolos úmbricos Cambissolos úmbricos Cambissolos distrícos Cambissolos eutrícos Luvisolos háplicos Alissolos háplicos Antrossolos áricos surribícos eutrícos Leptosolos eutrícos	Vale (1988)
<i>Quercos suber</i> L.	Leptosolos distrícos	Loureiro <i>et al.</i> (2006) *
<i>Castanea sativa</i> Mill	Fluissolos úmbricos Cambissolos úmbricos Cambissolos distrícos Cambissolos eutrícos Luvisolos háplicos Alissolos háplicos Antrossolos áricos surribícos eutrícos Leptosolos eutrícos	Portela <i>et al.</i> (2007)

* Após conversão e identificação das unidades pedológicas na carta de solos de Trás-os-Montes (Agroconsultores-Coba, 1991), ou com base nos dados fornecidos pelos próprios autores.

neo, explicaria as diferenças notadas no comportamento dos pinheiros.

Dentre os factores edáficos que influenciam a disponibilidade de B para as plantas salienta-se a tex-

tura, a reacção do solo, a matéria orgânica e a capacidade de armazenamento da água no solo.

Textura

A concentração do B na solução do solo é geralmente controlada por reacções de adsorção/dessorção, daí que os componentes da fracção argilosa desempenhem um papel relevante na disponibilidade do elemento para as plantas.

Fracção argilosa – B + solução do solo ↔ fracção argilosa – + B(aq)

Como se depreende, esta reacção é, entre outros factores, mediada pela quantidade de água no solo.

Tendo em conta que a maioria dos solos do nordeste e interior centro apresentam baixo conteúdo de argila, a quantidade de B adsorvido tenderá a ser limitada, particularmente nos casos em que o teor de matéria orgânica também é diminuto e, portanto, o B disponível poderá não ser suficiente para suprir as exigências das plantas na totalidade do seu ciclo vegetativo. Por outro lado, o mineral argiloso dominante nos solos derivados dos granitos e dos xistos siliciosos destas áreas é a caulinite (Martins, 1992; Portela, 1993), a qual tem menor capacidade de adsorção do B que os outros minerais. Com efeito, a ordem de adsorção do B nos minerais argilosos é ilite > esmectite > caulinite (Harder, 1961; Sims e Bingham, 1967).

O estudo de Vale (1988) mostra que a carência de B ocorre em solos com texturas diversas, desde os mais grosseiros (arenosos francos com 4,7% de argila) derivados de granitos até aos de textura fina (franco-argilosos com 30% de argila) derivados de xistos básicos e ultrabásicos, constituindo estes uma minoria. Uma elevada percentagem dos solos do nordeste, e também os do interior centro, têm texturas grosseiras, devido ao tipo de material originário ser rico em minerais siliciosos dificilmente meteorizáveis, como o quartzo e os feldspatos potássicos. Portanto, é previsível que a migração do B ao longo do perfil seja rápida, pois quanto mais grosseira for a textura maior é a perda de B por lixiviação. Tendo em conta que a fracção argilosa nestes solos é assaz baixa, então a adsorção do B ocorrerá sobretudo na matéria orgânica, se esta estiver presente em quantidades adequadas. Porém, a argila desempenhará sempre um papel relevante na disponibilização do B para as plantas. Com efeito, Valente (1993) estudou 10 solos ácidos derivados

de granitos (4,7-14,7 % de argila) do distrito de Vila Real, e obteve correlação elevada ($r=0,858$) entre o B foliar do 1º corte do trevo encarnado (planta-teste) e o B extraível do solo. Além disso, a introdução do teor de argila como terceiro termo da equação de regressão (sendo a MO o segundo) aumentou o coeficiente de correlação para 0,912.

Os minerais argilosos e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que na grande maioria dos solos também constituem a fracção argila, contribuem de forma diversa para a adsorção do B. A ilite e a caulinite são dois dos minerais argilosos que existem em proporção elevada na maioria das unidades pedológicas do nordeste (Martins, 1992; Portela, 1993), não estando incluídos neste grupo os solos derivados de rochas ultrabásicas. Dentre estes dois minerais é a ilite a responsável por uma maior adsorção do B, o qual tende a ligar-se aos grupos OH situados no rebordo destes minerais. Tendo em conta que, no Alto Trás-os-Montes, a percentagem de ilite nos solos derivados de materiais xistosos (micaxistos, filitos) e de aluviões é superior à que ocorre nos solos provenientes de granitos (Martins, 1992; Portela, 1993), será de esperar que aqueles tenham maior capacidade de adsorção do B, e portanto estejam menos sujeitos a perdas por lixiviação. Em contrapartida, nos solos com maiores teores de MO (Cambissolos úmbricos, Fluvisolos úmbricos, ou mesmo nos Lep-tossolos úmbricos), como os que ocorrem nas cotas altas e com maior precipitação, é provável que o B esteja também adsorvido nos grupos funcionais – OH (ligados ao alumínio) da superfície da gibsite e no rebordo dos minerais 2:1 hidroxaluminosos (ex. vermiculites–Al) que fazem parte da fracção argilosa destes solos. Com efeito, a gibsite e a vermiculite–Al têm sido identificadas nos solos do Alto Trás-os-Montes (Silva, 1983; Martins, 1992; Portela, 1993) no horizonte superficial, mas sobretudo nos horizontes B e C. Aliás, Martins (1992) fez notar que nos solos do norte de Portugal, o aumento da MO é acompanhado pelo aumento da gibsite e pela diminuição da ilite. Todavia, o carácter ácido da maioria dos solos, aliado aos reduzidos teores de argila (7–11%), contribuem para a sua baixa capacidade de adsorção do B. Já os solos derivados de anfibólitos do distrito de Bragança, ricos em argila e em óxidos de ferro, embora sem ilite contêm vermiculite, cujo espaço intercamada pode desempenhar um papel relevante na retenção do B (Sims e Bingham, 1967). Estes autores mostraram que a adição de potássio a uma vermiculite resultou numa redução drástica da retenção do B (independente do pH), o que podia ser expli-

cado pelo colapso do espaço intercamada da vermiculite por motivo da fixação do K. A hipótese desta situação ocorrer nos solos derivados de anfíbolitos e noutros com teores assinaláveis de vermiculite é muito provável. Com efeito, a fixação do K e o colapso do espaço intercamada (de 1,4 nm para 1,0 nm) foi constatado por Portela (1989) em vários solos do Alto Trás-os-Montes onde a vermiculite estava presente. Nos solos derivados de anfíbolitos, frequentemente exauridos em K, a prática da adubação potássica poderia, eventualmente, aumentar o teor de B disponível, o qual, em função da textura do solo e conteúdo em óxidos de ferro não seria facilmente lixiviado. Porém, um acréscimo de formas de B disponíveis para as plantas parece-nos pouco provável, devido ao facto do teor de B nativo destes solos ser baixo. Na verdade, trata-se de solos que mostram os mais baixos valores de B total e de B extraível (Quadro 2).

Reacção do solo (pH)

A grande maioria dos solos do nordeste e interior centro são ácidos devido à natureza do material originário, como foi já referido anteriormente e, portanto, a carência de B está-lhe naturalmente associada. Não se julgue, porém, que a acidez é a responsável directa pela carência. Aos valores usuais de pH destes solos, o B na solução do solo encontra-se na forma de ácido bórico, $B(OH)_3$, o qual, porque muito móvel, é facilmente lixiviado para uma profundidade fora do alcance das raízes. Todavia, casos há em que a escassez de B está relacionada com o carácter alcalino do solo. Temos o exemplo dos solos derivados de materiais ricos em carbonatos, como por exemplo certas rochas do Complexo Xisto-grauvácico que apresentam aqui e ali intercalações de calcário (formações de Bateiras, Pinhão e Rio Pinhão), as quais originam solos com valores de pH próximos de oito e também possuem calcário activo. Estes solos surgem sobretudo na região do Douro, e neles é possível identificar a carência de B na videira, oliveira, figueira e amendoeira. De facto, a intensidade de adsorção do B quer nas argilas quer em hidróxidos de ferro e alumínio aumenta com o pH, atingindo o seu máximo entre os valores 8 e 10 e declinando em seguida (Sims e Bingham, 1967; Goldberg, 1997). Assim, a menor disponibilidade do B para as plantas naqueles solos será devida ao desvio para a esquerda do equilíbrio $B \text{ adsorvido} \rightleftharpoons B \text{ (aq)}$. Pela mesma razão, é do conhecimento empírico, e experimental, que a seguir a uma calagem pode ocorrer uma escassez temporária do nutriente, sobretudo nos solos de textura grosseira com teores marginais de B (Shorrocks, 1997; Mengel e Kirkby, 2000). Tal fica a dever-se à elevação do valor

de pH e conseqüente aumento de iões OH^- na solução do solo, que provocam a precipitação de hidróxidos de ferro e alumínio. Estas fases sólidas, numa primeira etapa, podem ser não cristalinas ou de fraca cristalinidade. Com o tempo, porém, elas tendem a evoluir para formas mais cristalinas, as quais exibem menor superfície específica e por isso uma menor capacidade de adsorção do B, ficando este mais disponível para ser absorvido pelas plantas.

Contudo, o efeito depressivo da calagem nem sempre acontece, como constatou Vale (1988). Efectivamente a calagem pode ter um efeito positivo para baixos níveis de aplicação. O autor constatou que a aplicação de calcário a um solo franco-arenoso (vale de Vila Pouca de Aguiar), proveniente de sedimentos originados a partir de rochas graníticas e com baixo teor de B, apenas agravou os sintomas da carência de B e a produção de matéria seca, se utilizado em doses elevadas. Naturalmente que a calagem, juntamente com a adição de B, teve efeitos significativos na produção de matéria seca e de semente do trevo subterrâneo utilizado como planta-teste (Vale, 1988). Com efeito, os solos ácidos têm associados outros factores limitantes como a toxicidade de Al que é prioritário corrigir. Isso não significa que a escassez de B não possa ser induzida pela aplicação do calcário, particularmente se for efectuada uma sobre-calagem. No caso vertente dos solos ácidos do nordeste, a calagem juntamente com a aplicação de B ao solo deve ser sistematicamente ponderada, dado o risco de se poder induzir um estado de carência do micronutriente. Ela pode estar mesmo mascarada, a ajuizar por algumas queixas dos agricultores desta região, quando reportam que a calagem não teve muitas vezes o efeito desejado por ter induzido sintomatologia desconhecida em certas culturas, a qual se admite tratar de uma carência de B.

A maior parte dos estudos levados a cabo no nordeste e interior centro incidem, naturalmente, sobre solos ácidos, já que são a esmagadora maioria, havendo apenas um caso em que foi detectada a carência num solo neutro, identificada por Jordão e Silva (1987) quando avaliaram o estado nutritivo do B em oliveiras na localidade de Lagoa (Macedo de Cavaleiros), em solos com pH 6,6 e elevado teor de cálcio permutável.

Matéria orgânica

Tendo em conta que uma grande parte dos solos do norte de Portugal tem texturas grosseiras e consequentemente baixo teor de argila, a matéria orgânica desem-

penha um papel crucial na disponibilidade de B e na sua retenção. Segundo Shorrocks (1997), grande parte do B total dos solos está associado à MO, que o vai libertando por mineralização. Por isso, há mais B disponível na camada superficial de solos virgens, ou cultivados, do que no subsolo, como também verificou Vale (1988) nas determinações de B extraível efectuadas em mais de 90% dos solos amostrados no distrito de Vila Real. Assim, a incorporação de estrumes tenderá a aumentar o teor de B nas plantas, sendo mesmo o principal reservatório deste nutriente nos solos ácidos (Shorrocks, 1997). À MO, através do seu componente húmus, acresce ainda um papel importante na retenção do B devido à formação de complexos entre dióis estruturais e as espécies $B(OH)_3$ ou $B(OH)_4^-$. A ligação entre os componentes da MO e o B é tanto mais forte quanto maior o número de grupos OH, o que ocorre à medida que ela se vai decompondo em compostos orgânicos mais simples. De acordo com Berger e Truog (1945) e Mengel e Kirkby (2001) a MO desempenha um papel relevante na disponibilidade do B. Com efeito, vários estudos (Goldberg, 1997 e Shorrocks, 1997) mostram mesmo que a fracção adsorvida do B se correlacionou significativamente com o teor de MO do solo.

O estudo de Vale (1988) revela haver uma correlação altamente significativa ($r=0,701$) entre o B extraível e o teor de B foliar na planta-teste, e quando se incluiu na regressão um termo para o teor de MO, o valor do coeficiente aumentou para 0,768. Num outro ensaio com trevo encarnado constatou-se que no tratamento sem B havia uma correlação significativa ($r=0,73$) entre o B exportado pelo trevo e o B extraível, e a inclusão do teor de MO na equação de regressão aumentou esse valor para 0,94 (Valente, 1993).

Uma das entradas de B nos ecossistemas agrícolas faz-se através dos dejectos e urina dos animais. A prática sistemática da incorporação de estrume (correctivo orgânico resultante da fermentação duma mistura de dejectos sólidos e líquidos do gado com as camas dos animais, as quais são compostas sobretudo por mato e por porções variáveis de palha de centeio) aos terrenos agrícolas, mesmo em solos com teor elevado de MO, como acontece na eco-região do Barroso e Alturas (Montalegre e Boticas), poderá ser em parte justificado pelo provável aumento da disponibilização do B para as plantas. Como Portela (2002) apurou, os agricultores desta zona atribuem efeitos intangíveis ao estrume que, segundo eles, não podem ser substituídos pelos adubos, numa altura em que o uso do B

como aditivo inorgânico era de todo desconhecido, pelo menos até aos primórdios deste milénio.

Humidade do solo

O transporte do B no solo dá-se fundamentalmente por fluxo de massa, e por isso a sua disponibilidade para a planta está muito dependente da humidade do solo e da precipitação que ocorre durante o ciclo vegetativo.

Como mencionado anteriormente, muitos solos do nordeste e do interior centro exibem reduzida espessura efectiva e/ou teor elevado de fragmentos de rocha, bem como texturas com proporções elevadas de elementos grosseiros. Estas características contribuem para uma baixa capacidade de armazenamento de água, o que determina a secura fácil nos períodos de ausência de chuva. Nos solos derivados de granito, particularmente de granitos de duas micas, por terem as mais baixas proporções de argila e limo, apresentam maior susceptibilidade aos períodos de secura do que os solos formados a partir de granitóides biotíticos calcálicos. Por outro lado, a natureza fracturada dos granitos permite um maior aprofundamento radicular e portanto um melhor aproveitamento da água. Já nos solos derivados de xistos, que proporcionam maior capacidade de armazenamento de água por terem maior teor de limo e argila, aliada ao facto da rocha se organizar em camadas onde ocorre foliação e/ou fracturação, a penetração das raízes fica menos impedida. Porém, nestas regiões a presença de quantidade elevada de elementos grosseiros é uma constante. Os elementos de maior dimensão, blocos e calhaus, surgem em proporção elevada (> 50%) nos solos derivados dos xistos mais siliciosos e de materiais filitoquartzíticos. É por isso que nestes diminui apreciavelmente o contacto solo-raiz e a espessura efectiva do perfil, ficando comprometida a respectiva função de fornecimento de água e B às plantas, sobretudo nos períodos de secura estival. Por seu lado, como o B é um nutriente determinante do desenvolvimento radicular e a sua escassez provoca de imediato uma redução do alongamento, quer da raiz principal, quer das laterais (Marschner, 1995; Dell e Huang, 1997), daí que a absorção de água e de nutrientes fiquem comprometidas. Mais recentemente, Wimmer e Eichart (2013) ao fazerem a avaliação do estado da arte quanto à função do B nas relações hídricas das plantas, evidenciam a sua importância na absorção, transporte e perda de água por transpiração.

Factores climáticos: temperatura e precipitação

Eventos meteorológicos extremos como o frio e a geada, o calor e a secura, têm um efeito agravante, ou mesmo desencadeante dos danos causados pela deficiência de B nas culturas. Além destes, a intensidade luminosa também é mencionada, em vários estudos, como agente potenciador da sensibilidade das plantas à escassez de B (Bell, 1997; Cakmak e Römheld, 1997), por induzir maiores crescimentos e, por essa via, também aumenta as exigências deste micronutriente. Por outro lado, Huang *et al.* (2005, 2007) referem que a escassez de B agrava os estragos provocados pelas geadas tardias, particularmente em locais onde a intensidade luminosa é elevada.

Le Cocq (1894) e Petri (1934) atribuíram as doenças que examinaram nas vinhas e no olival, pelo menos em parte, a episódios meteorológicos. Na verdade, Le Cocq (1894) relatava que as causas da ‘maromba’ não eram permanentes, e tanto menciona que a doença era mais frequente nas encostas quentes como a atribui a ‘*uma causa predisponente*’ como ‘*a geada ou os grandes frios*’. As encostas quentes sugerem-nos que tanto se poderá tratar duma alusão à forte radiação que ocorre no Douro nas encostas expostas a sul, associada a taxas de crescimento elevadas, ou a uma maior secura do terreno. Pode ainda estar relacionada com o fenómeno designado de geadas de radiação, que propiciam maior sensibilidade das plantas à escassez de B (Marschner, 1995; Shorrocks, 1997) e aos danos provocados pela geada (Huang *et al.*, 2005), às quais também Le Cocq (1894) se referiu.

O carácter imprevisível da manifestação da doença está bem patente na alusão que Monteiro (1911, p.36) faz à ‘maromba’, a qual foi declarada um flagelo cuja evolução era ‘*caprichosa, desnorteante e rapidamente danosa*’. Petri (1934) quanto indagou acerca da ‘doença da oliveira’ em Mirandela (mais tarde identificada como uma carência de B), apurou que ela foi mais gravosa e preocupante no ano de 1932/33. O autor descreveu os indícios do mal e, após ter buscado sem sucesso a causa da doença a um fungo ou ácaro, acabou por atribuir os danos causados a uma geada tardia de primavera.

Tendo em conta as averiguações e pesquisas de Le Cocq (1894) e as inquirições e suposições de Petri (1934), presume-se que o aparecimento da doença da vinha designada ‘maromba’ ou ‘mal-nero’ ou ‘doença de diagalves’ ou ‘gomose da vinha’ e da ‘doença das oliveiras’ se deverá atribuir ao efeito conjugado da carência de B com primaveras frias e/ou geadas

tardias. Os relatos que Le Cocq e Petri fazem dos prejuízos provocados pela doença, nomeadamente a morte das extremidades dos raminhos e pâmpanos, as necroses que ocorrem no floema (e câmbio) do tronco e dos ramos da videira e oliveira, e a convicção que tinham de se tratar de doença parasitária, leva-nos a crer que essas doenças seriam provocadas por organismos oportunistas. Estes organismos teriam invadido os tecidos vegetais após um processo degenerativo das paredes celulares, resultante do frio intenso que terá danificado os tecidos. Como Le Cocq (1894) reconheceu, as geadas produzem no lenho das árvores e arbustos ‘*a mortificação dos tecidos*’ que ‘*...nas camadas exteriores do caule e dos ramos, e na casca, facilitam a invasão e penetração de germens de vários parasitas*’.

A similitude entre os indícios de escassez de B em eucaliptos jovens e a susceptibilidade das zonas apicais à geada foi também constatada por Coutinho *et al.* (1994). A necrose dos meristemas apicais, com aspecto semelhante aos estragos provocados pela geada, foi igualmente observada em sobreiros, nos ensaios instalados em Mogadouro (Penas Roias, nas quintas da Granja e da Freixa). A adição de B (20 g de granubor/árvore) diminuiu muito significativamente a percentagem de árvores com extremidades dos ramos necrosadas (Loureiro *et al.*, 2006). Entretanto, as concentrações foliares médias dos sobreiros, que no outono eram apenas 5–6 mg B/kg nas testemunhas, atingiam, na mesma época 60–70 mg B/kg nos tratamentos com B.

Nas primaveras de 2009 e de 2010 (nesta, com uma geada a 5 de Maio) testemunhou-se, em soutos instalados na região do Alto Trás-os-Montes e Douro, a morte dos ápices vegetativos, necroses de partes apicais e/ou lesões corticais longitudinais no tronco dos castanheiros. Estes indícios são vulgarmente atribuídos a geadas. Dada a semelhança destes sintomas com os resultantes da falta de B, submetem-se alguns soutos a análise e observação empírica. Assim, nestes soutos registaram-se teores marginais de B no solo e nas folhas recolhidas no mês de Junho, e a adição de B ao solo efectuada por baixo da copa promoveu nova rebentação vigorosa nos ramos sãos, recuperação do tecido necrosado dos troncos por compartimentação, cicatrização e recrescimento do floema (Portela e Sismeiro, 2011). Chama-se a atenção para o facto de alguns castanheiros (idade < 20 anos) terem morrido após a geada de 5 de Maio de 2010. Porém, a causa directa da morte das árvores não se deveu à escassez de B, mas

sim à invasão do floema e do câmbio dos castanheiros por fungos do género *Ambrosia*, que aproveitando as galerias feitas por escolitídeos (*Xyleborus dispar* F.) alastraram pelos tecidos do floema até cintarem o tronco das árvores, levando à sua morte (Martins, 2011). Todavia, foram as lesões provocadas pelas geadas que, ao danificarem os tecidos do floema, propiciaram a entrada daqueles escolitídeos. Este episódio não exclui, pois, a hipótese da falta B ter aumentado a susceptibilidade das árvores à geada.

Alguns autores constataram que a resposta mais ou menos acentuada ao B depende da ocorrência ou não de baixas temperaturas (Bell, 1997), facto este corroborado por Portela *et al.* (2015). Com efeito, nos ensaios instalados em Jou (Murça) foi observada uma reacção do castanheiro mais notória em 2008, ano em que ocorreu uma vaga de frio anormal no período da floração. O acréscimo, em termos de vingamento do fruto em 2008 (60%) foi superior ao obtido em 2009 (35%), pelo facto da percentagem de abortamento ter sido maior no ano mais frio.

A pluviosidade elevada, tal como a falta de chuva podem potenciar o desencadeamento de estados de carência de B. A precipitação intensa, particularmente em solos bem ou excessivamente drenados, é tida como uma das suas causas, dado o consequente efeito de lixiviação, e também contribui para minimizar o efeito residual da adubação boratada. Coutinho *et al.* (1997, 2001) atribuíram à lixiviação do B uma quota-parte do decréscimo dos teores foliares em eucaliptos ao longo do tempo, e ao ressurgimento da carência nos tratamentos com doses mais reduzidas de B. Convém aqui referir que as incorporações de B através da chuva podem ser importantes nas zonas próximas do oceano, mas vão-se tornando mais insignificantes à medida que nos afastamos da orla marítima. A água do mar contém B (4-5,5 mg/kg), e a rebentação das ondas produz aerossóis que podem ser arrastados para o interior por acção do vento ou incorporados nas nuvens. Com efeito, a ajuizar pela distribuição dos locais onde a carência de B foi identificada por Branco (1961) no seu estudo exploratório, ficou evidente a maior ocorrência da deficiência de B no interior do país. O mesmo se poderá dizer acerca dos registos de Dias (1953b), ao constatar o desaparecimento dos indícios da 'maromba' nas videiras enviadas do Douro e plantadas em Sacavém em solos derivados de rochas carbonatadas e areníticas, as quais, à partida, eram pobres em B. Nas zonas costeiras, devido à proximidade do mar, as adições

de B através da atmosfera são naturalmente mais elevadas (Shorrocks, 1997; Rose *et al.*, 2000).

O agravamento dos efeitos da carência nos períodos mais secos há muito que é reconhecido, porque a taxa de transpiração está agora mais mitigada, enquanto a maioria das plantas continua a necessitar dum fornecimento constante de B para manter o crescimento normal. A menor absorção do B induzida pela secura estival foi constatada por Jordão e Silva (1987) na oliveira, e por Portela *et al.* (2015) no castanheiro. Neste último trabalho verificou-se que, no ano de 2009 (precipitação nula nos meses de agosto e setembro), a concentração de B no miolo da castanha foi reduzida a metade comparativamente a 2007 e 2008, tanto nas árvores adubadas como nas testemunhas. Também Vale (1988, 1990) e Vale *et al.* (1994) sugerem que os períodos de secura podem agravar as manifestações da carência nos pinheiros e eucaliptos. Aliás, é recorrente a observação de indícios de escassez de B nas fruteiras durante o verão, por agricultores e profissionais, nomeadamente em cerejeira, macieira, pereira, amendoeira, pessegueiro e videira.

A falta de chuva e o défice hídrico no solo diminuem a absorção e transporte do B para as folhas e órgãos reprodutores, mas por outro lado a insuficiência do nutriente nas plantas também restringe, por sua vez, o acesso das mesmas à água, porque o desenvolvimento radicular torna-se mais reduzido. Além disso, como o transporte do B para os diversos órgãos da planta depende da sua taxa de transpiração, os factores ambientais que a controlam, como é o caso da temperatura, humidade do ar e o fornecimento de água, estão estreitamente implicados nas reacções das plantas à aplicação de B. O período do ciclo vegetativo em que ocorrem os fenómenos de seca são críticos, e uma precipitação posterior pode não aliviar os efeitos nefastos entretanto provocados.

As carências de BORO nas culturas

Boro extraível do solo

O método utilizado na avaliação da disponibilidade do B para as plantas baseia-se na extracção com água pelo processo de fervura a refluxo (Berger e Truog, 1939). O B solúvel em água fervente – B extraível – começou a ser testado em Portugal na década de 50 do séc. XX na Estação Agro-

nómica Nacional (Oeiras), com vista à elaboração de uma futura Carta de Micronutrientes de Portugal (Teixeira *et al.*, 1971). Porém, só nos anos 60 é que Sequeira e Lucas (1968) o normalizaram e descreveram a metodologia para a sua utilização em análises de rotina. Todavia, o primeiro valor numérico mencionado para um solo, designado por 'B assimilável', é reportado por Pereira (1957), o qual foi determinado no Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva (LQARS). Com efeito, o autor dá indicação de se ter atingido uma concentração de 'B assimilável' de 0,69 mg/kg no subsolo, após adubação boratada numa parcela plantada com cerejeiras, no Fundão. Este método tem sido reconhecido como o mais adequado na previsão da resposta das plantas à aplicação de B (Shorrocks, 1989; Sillanpää, 1990; Bell, 1997).

Em Portugal, Vale (1988) e Valente (1993) constataram haver correlação elevada entre o teor foliar de B em trevos e o B extraível do solo, e entre este e o B exportado pela planta. Pacheco *et al.* (1996) obtiveram coeficientes de correlação elevados entre o B extraível (0–20 e 20–50 cm de profundidade) e a concentração de B nos limbos das videiras. De igual modo, Rodrigues *et al.* (2005), ao fazerem um estudo exploratório em 27 olivais de Macedo de Cavaleiros e Torre de Moncorvo, obtiveram uma correlação linear significativa entre o B extraível do solo e os teores foliares na oliveira (particularmente nas amostras colhidas em Julho).

Shorrocks (1989) propôs três níveis críticos de concentração para classificar o B extraível em função da textura do solo: 0,3 mg/kg, 0,5 mg/kg e 0,8 mg/kg, consoante as texturas fossem grosseira, média ou fina, e nos solos calcários esse valor sobe para 1,0 mg/kg. Por sua vez, tendo em conta os factores ambientais que afectam a absorção do B, Bell (1997) indicou um intervalo muito amplo de valores críticos para o prognóstico da carência de B, isto é, desde 0,08 mg/kg até 0,90 mg/kg. Cox e Kamprath (1972) e Reisenauer *et al.* (1973) são mais restritos e consideram desejável uma concentração de 1,0 mg/kg para assegurar o crescimento normal de qualquer cultura, em qualquer solo. Com efeito, a absorção do B pelas culturas depende de factores locais e climáticos difíceis de identificar, por isso, o valor 1 mg/kg tem sido adoptado por vários países, certamente para assegurar que as concentrações de B se mantenham suficientemente elevadas de modo a evitar que factores adversos, e algo erráticos, reduzam a absorção deste nutriente para

níveis de deficiência. Por exemplo, quando Gärtel (1974) estabelece as classes de fertilidade relativas ao B do solo, com vista ao prognóstico da carência na videira, toma em consideração condicionantes ambientais como a precipitação e a ocorrência de períodos de secura, e ainda a presença de calcário no solo. Também Cox e Kamprath (1972) entenderam que os factores ambientais deveriam ser incluídos nos critérios de estabelecimento dos níveis críticos do B extraível.

De acordo com os índices de fertilidade estabelecidos em Portugal para avaliar o B extraível pela água fervente, estipulou-se que os valores inferiores a 0,41 mg/kg são considerados baixos (LQARS, 2000), e o escalão médio encontra-se entre 0,41 e 1,0 mg/kg, mas para certas culturas, como a oliveira e as pomóideas, estes valores sobem para 0,60 mg/kg e 0,61–1,20 mg B/kg, respectivamente (DGADR, 2010, 2012).

Com base nas publicações disponíveis, nos estudos constantes de relatórios internos, e informações recolhidas junto de profissionais, expõem-se no Quadro 1 dados referentes a concentrações de B extraível do solo relativos a locais onde a escassez de B foi detectada no campo, em culturas diversas. Tendo em conta esses estudos, e ainda os que ocorreram sob condições controladas, verifica-se que no nordeste e interior centro do país, estão em maioria os casos em que as concentrações de B são inferiores a 0,6 mg/kg. Com base nos dados de Vale (1988), que utilizou o rabanete como planta-teste, 65% dos 34 solos representativos do nordeste tinham concentrações de B extraível inferiores a 0,3 mg/kg e 97% dos solos B extraível < 0,6 mg/kg, isto é, apenas uma amostra ultrapassava este valor. Por sua vez, em olivais instalados em Trás-os-Montes e na Beira Interior, também foi constatado que 80% das amostras de solos (dentre 61 analisadas) apresentavam concentrações baixas de B (isto é, < 0,6 mg/kg), das quais um terço tinham concentrações < 0,3 mg/kg (Jordão *et al.*, 1996).

Ainda nos estudos de Vale (1988) apurou-se que em solos de texturas grosseiras e médias ocorreram indícios de escassez de B, na planta-teste, para concentrações de 0,12–0,56 mg/kg de B extraível. Na mesma ocasião, mas sob condições de campo, verificou-se que as manifestações de carência de B no pinheiro (*P. pinaster*) também surgiam para valores mais elevados (0,16–0,74 mg/kg) de B extraível. Aliás, Vale (1988, 1990) registou a escassez de

B nesta espécie em diversos solos com origem em rochas graníticas (18 solos com 5–10% de argila na camada superficial) e xistenta (10 solos com 10–16% de argila na camada superficial) distribuídos por diversos concelhos de Vila Real (Quadro 1). Alguns dos solos derivados de granitos do estudo anterior foram testados mais tarde sob condições controladas e constam do relatório de estágio de Valente (1983), sob orientação daquele autor. Nos ensaios efectuados com as 10 amostras de solos derivados de granitos que recolheram em vários concelhos vizinhos de Vila Real, com texturas grosseiras (5–14% de argila), foram observadas carências de B em trevo encarnado, após um ou mais cortes (até quatro) da parte aérea, para concentrações de B extraível no intervalo 0,18–0,37 mg/kg. Efectivamente, este intervalo de variação é bastante mais estreito do que aquele que produziu carência de B no pinheiro em condições de campo. Neste caso, é mais provável a existência de factores de ordem local e ambiental que acabem por influenciar de forma adversa a absorção de B pelas culturas. Porventura é o que terá acontecido em Lagoa (Macedo de Cavaleiros), no olival das ‘Corças’, tal como foi registado por Jordão e Silva (1987) num solo com 0,70 mg/kg de B extraível que, não sendo muito exíguo, originou concentrações foliares baixas (12–15 mg B/kg no repouso invernal) em cinco variedades de oliveira, sendo que esses valores foram inferiores ao nível considerado crítico para esta cultura (16 mg B/kg). Aquelas concentrações foliares foram algo inesperadas para os autores, que atribuíram esta ocorrência ao facto do ano de 1985 ter decorrido demasiado seco. Mais a sul, mas num solo pobre em B, Jordão *et al.* (2004) observaram uma resposta acentuada ao emprego de B num olival em Monforte da Beira (Castelo Branco), num Luvissole háptico com concentração de B extraível de 0,27 e 0,29 mg/kg (respectivamente para as camadas 0–20 e 20–50 cm de profundidade).

A administração localizada dos fertilizantes nos olivais também tem gerado dificuldades de interpretação das análises de solo. Por exemplo, o levantamento ao estado nutritivo de olivais efectuado por Rodrigues *et al.* (2005), em áreas onde a carência era comum, revelou grande variação do B extraível em 27 olivais adultos dos concelhos de Macedo de Cavaleiros e Torre de Moncorvo. Apurou-se que o intervalo de variação do B no solo era algo dilatado e função da localização relativamente aos troncos das oliveiras. Estes investigadores constataram que as concentrações médias de B ex-

traível do solo por baixo das copas eram o dobro dos valores fora da influência das copas (1,3 e 0,6 mg/kg respectivamente), sendo que as concentrações de B se situavam no intervalo 0,1–2,7 mg/kg por baixo da copa e 0,0–1,5 mg/kg fora das copas. Neste estudo os autores obtiveram um intervalo de B no solo bastante amplo e até elevado, 0,7–1,3 mg/kg, para se alcançar o limite considerado crítico de 16 mg/kg do B foliar ao repouso vegetativo.

A explicação para estes valores incomuns de B no solo, e das baixas concentrações foliares de alguns olivais, poderá residir numa adubação boratada recente, seguida ou antecedida de calagem, e/ou da textura fina dos solos (B fortemente adsorvido no rebordo dos minerais argilosos, particularmente para valores de pH próximos da neutralidade), e eventualmente baixo transporte do B através do xilema, assunto este que será tratado mais adiante. No referido estudo, Rodrigues *et al.* (2005) também confirmaram a ideia corrente de que a administração localizada do adubo por baixo das copas era muito conveniente, pois contribui para racionalizar o seu uso, já que o B é muito móvel e pode facilmente ser lixiviado para fora da zona de maior densidade radicular. Embora esta investigação seja um pouco omissa em dados analíticos relevantes, designadamente a análise granulométrica dos solos, é de louvar a separação que foi feita das amostras (por baixo e fora da copa das árvores), pois permite um melhor diagnóstico do estado de fertilidade dos olivais.

Apenas se apurou a existência dum único estudo realizado em vinhas da região do Douro e em que foi fornecido o teor de B extraível do solo. O ensaio foi instalado em solos derivados de xistos da Formação de Bateiras, numa vinha jovem com manifestos indícios de carência (Borges, 1992). A análise de solo revelou uma concentração de B muito baixa (0,16 mg/kg) na camada 0–50 cm de profundidade.

Relativamente ao castanheiro, procurou-se identificar o teor de B do solo abaixo do qual ocorriam carências no Alto Trás-os-Montes e Douro. Assim, durante o período de 1992–2013 foram efectuados levantamentos ao estado nutritivo da cultura em 91 soutos e constatou-se que perto de 50% manifestavam fortes indícios da carência ou concentrações foliares < 20 mg B/kg, valor que foi provisoriamente considerado como crítico (Portela *et al.*, 2011). Mostra-se no Quadro 4 a variação dos resultados das análises de solo dos 43 soutos que mostravam

sintomas óbvios da carência ou concentrações foliares < 20 mg B/kg.

Os resultados das análises dos solos mostram que o B extraível se distribuiu no intervalo 0,08–0,69 mg/kg. Estes dados dizem respeito a três Denominações de Origem Protegida: Padrela (concelhos de Murça e Valpaços), Terra Fria (concelhos de Bragança, Vinhais e Macedo de Cavaleiros) e Soutos da Lapa (concelhos de Sernancelhe e Penedono). A textura dos solos é sobretudo grosseira, tendo variado de arenosa-franca até franco-argilosa, sendo que a franco-arenosa é dominante. Os solos são maioritariamente ácidos, mas há uma certa dispersão nas restantes propriedades químicas. Com base nos resultados obtidos verificou-se que 75% dos sotos apresentavam concentrações de B no solo < 0,60 mg/kg. Será legítimo concluir que, no Alto Trás-os-Montes e Douro, a probabilidade de ocorrência de deficiência de B no castanheiro será bastante elevada para concentrações de B extraível < 0,60 mg/kg, e essa probabilidade será menor no intervalo 0,60–0,70 mg B/kg. Acima deste último valor nunca se observaram, até à data, carências de B nos castanheiros.

Em síntese, e com base nos dados dos Quadros 1 e 4, poderá dizer-se que, no interior norte e centro de Portugal, as carências de B em fruteiras e espécies florestais/agro-florestais se manifestaram, com mais frequência, até concentrações de B extraível de 0,60 mg/kg, e que a probabilidade da sua ocorrência é bastante reduzida para valores de 0,61–0,72 mg B/kg. Acima de 0,72 mg B/kg não se encontraram registos da carência. Todavia, o estabelecimento de níveis críticos de B é difícil, pois certos factores ambientais restringem a sua absorção pelas culturas, como acontece com a textura e o pH do solo, bem como factores de ordem climática (temperatura e precipitação). Os últimos operam de forma temporária, daí que os seus efeitos na nutrição boratada das culturas não sejam fáceis de prever.

Sintomatologia da deficiência de boro

De acordo com a inquirição de Le Cocq (1894), iniciada no Douro em 1881, a ‘maromba’ ‘já existia muito antes de 1880’, e houve testemunhos de agricultores que se lembravam da sua ocorrência desde 1840. Le Cocq (1894) fez um relato detalhado das características da ‘maromba’ nas vinhas do Douro, incluindo a descrição das alterações morfológicas examinadas em cortes histológicos transversais efectuados no caule das videiras

afectadas. No entanto, as primeiras descrições da carência de B em Portugal, com base em experimentação, foram feitas por Dias (1953a) 60 anos nos depósitos. Também Petri (1934) descreveu alguns sintomas na oliveira quando se pensava que o mal que ocorria num olival de Mirandela, desde 1930, era devido a uma doença. Foi Branco (1961) que pela primeira vez em Portugal, baseando-se em ensaios de adubação boratada, fez uma exposição sistemática e muito pormenorizada dos sintomas em diversos órgãos da oliveira e da sua evolução ao longo do ano, em plantas ‘pouco doentes’ e ‘muito doentes’. Ainda na década de 50, Pereira (1957) descreveu algumas manifestações da carência em várias culturas.

Mais tarde, tendo em conta estudos efectuados em solos do nordeste, Vale (1988) descreveu alguns sintomas da carência no rabanete e em *T. subterraneum* (Vale, 1988), em *P. pinaster* (Vale, 1990), em *E. globulus* (Vale *et al.*, 1994) e ainda em *P. pinea* (Vale *et al.*, 1999). Loureiro *et al.* (2006) fizeram o mesmo no caso do sobreiro e Portela *et al.* (2011) no castanheiro. Assim, e com base nestes relatos, e/ou indícios observados de forma sistemática pelos autores, também em fruteiras, tenta-se sumarizar os sintomas mais comuns e característicos da carência de B nalgumas espécies:

- morte apical, em que os rebentos mais novos comecem a fenecer, com início na extremidade e progressão para a base. Alguns raminhos perdem as folhas terminais ficando completamente despídos;
- folhas com clorose apical ou total, folhas quebradiças e/ou necrosadas nas extremidades, por vezes reviradas para a página superior. Folhagem com tonalidade verde-escuro;
- folhas com alterações morfológicas, macrofilia, microfilia, degenerações/modificações da forma da folha para elíptica e arredondada, limbos com recorte assimétrico, perfurados e com aspecto esfarrapado ou ratado, nervuras descentradas e cloroses. As folhas caem prematuramente e podem tornar-se muito esparsas à medida que progride o verão;
- os raminhos ficam com os entrenós curtos dando um aspecto amanjericado ou enrosetado (‘vassouras de bruxa’) nas extremidades dos ramos; ramos despídos devido à queda de grande parte das folhas; paragem de crescimento dos ramos novos e seca de outros, bem como ataques de gomose;

- porte arbustivo das árvores, que se segue à morte repetida da extremidade dos raminhos. A ramificação basilar dá um aspecto envassourado ao conjunto dos novos lançamentos. As plantas adquirem uma conformação prostrada. As árvores adultas podem também exibir fustes torcidos ou bifurcados e conformação anormal da copa;

- floração tardia e esparsa, as flores abortam sem produzir semente. Pode haver mesmo inexistência de floração;

- ausência ou reduzida frutificação ('desavinho' e 'bagoinha' na videira), ou presença de frutos: 1) pouco viáveis e sem tegumento (castanheiro), 2) abortados (castanheiro), 3) brancos (aveleira), 4) mal formados ('rebo' da oliveira), 5) rachados (pessegueiro e a macieira), 6) encortiçados (macieira), 7) com gomose (amendoeira, cerejeira e pessegueiro), 8) frutos mumificados agarrados aos ramos (castanheiro) e, ainda, 9) queda prematura de frutos (castanheiro);

- necroses nos ramos e no tronco. A casca afigura-se enrugada e seca, às vezes fendida ou encortiçada. Os tecidos subjacentes do floema encontram-se escurecidos em manchas por vezes contínuas, muitas vezes necrosadas, que podem atingir o câmbio (oliveira, castanheiro e eucalipto). Na casca do tronco e dos ramos pode observar-se hipertrofia das lenticelas (castanheiro e oliveira).

Os sintomas descritos foram observados em maior ou menor grau consoante a gravidade da carência. A sua expressão tem um padrão bastante regular, apesar de existirem certas diferenças entre culturas e entre espécies. A sintomatologia da carência pode passar despercebida se a deficiência não for grave, todavia na primavera, ao abrolhamento, e no fim do verão, o exame atento das árvores per-

mite identificá-la em diversas espécies fruteiras e florestais. Os sintomas são observados sobretudo nos ápices vegetativos e nos órgãos de reprodução porque, como Brown *et al.* (2002) admitiram, haverá menos transporte do B para as zonas onde a taxa de transpiração é menor, mais do que uma necessidade acrescida do nutriente nesses órgãos.

Há certos sintomas que só podem ser examinados ao microscópio, caso dos cortes histológicos transversais e longitudinais dos caules, como fez Le Cocq (1984) na videira, permitindo-lhe verificar que havia alterações histológicas nos vasos do xilema e do floema. Le Cocq (1894, p.1155) descreve essas alterações narrando: "Parece que a doença vai contaminando pouco a pouco, não só longitudinalmente pelos vasos, mas transversalmente pela desorganização destes e das células...". Ora, esta desorganização vascular poderá ter consequências no transporte da água e de solutos, como referiram recentemente Wimmer e Eichert (2013). Apesar da controvérsia ainda existente acerca do papel que o B tem na diferenciação dos vasos do xilema (Dell e Huang, 1997), as evidências analisadas por vários investigadores e reunidas por Wimmer e Eichert (2013) revelam que a carência prolongada origina alterações anatómicas nos tecidos vasculares. Estas podem traduzir-se em distúrbios e malformações no xilema e no floema das plantas afectadas, capazes de provocar perturbações mais ou menos permanentes no transporte de água e de solutos, ou ter um efeito pernicioso na retranslocação de nutrientes veiculados por via foliar particularmente nas espécies onde o B tem maior mobilidade.

Concentrações foliares de boro associadas à carência

A análise foliar mantém-se como um dos instrumentos mais fiáveis para diagnosticar e quantificar a deficiência de B. A concentração deste nutriente

Quadro 4 - Variação de propriedades dos solos (profundidade 0–20 cm) em soutos onde se registaram carências de boro em castanheiro

	pH ^a	MO ^b	P ₂ O ₅ ^c	K ₂ O ^c	Ca ^d	Mg ^d	K ^d	Na ^d	AT ^e	CTC	B ^f
	H ₂ O	g/kg	mg/kg		cmol ₊ /kg						mg/kg
Média	5,0	26,9	92	148	1,21	0,39	0,33	0,06	1,13	3,23	0,39
Máximo	6,0	76,9	339	444	6,86	2,27	0,68	0,13	1,98	10,40	0,69
Mínimo	4,0	3,0	2	39	0,16	0,10	0,15	0,01	0,33	1,19	0,08

^a razão solo/solução de 1:2,5; ^b método de Walkley-Black; ^c método colorimétrico após extracção com lactato de amónio - ácido acético a pH 3,7; ^d solução 1 mol/L de acetato de amónio pH 7; ^e AT (H+Al) pelo método KCl 1 mol/L; ^f água fervente (azometina H).

nas folhas é naturalmente o indicador mais utilizado para avaliar o estado nutritivo das plantas e para confirmar os sintomas visíveis da carência. Todavia, a comprovada imobilidade do B no floema de certas espécies (Brown e Shelp, 1997) é motivo para, em tais casos, as folhas completamente expandidas não serem o melhor tecido indicador, pois o B continua a acumular-se nestas e pode atingir valores não conotados com a deficiência. Não sendo translocável para os tecidos em crescimento, onde o nutriente é imprescindível, torna-se recomendável a selecção de folhas mais jovens ou órgãos em desenvolvimento. Os resultados de Portela e Louzada (2012) mostraram que o melhor tecido indicador na detecção precoce da escassez de B no castanheiro é a folha, sendo este o órgão que se revelou mais eficiente no diagnóstico atempado da carência, e que os tecidos alternativos mais jovens (amentilhos androgínicos e flores femininas) não revelaram qualidade superior ao da folha. Enquanto que as concentrações foliares de B, em Julho e em Setembro, estavam correlacionadas com a produção de castanha, os outros tecidos não mostraram correlação significativa.

As primeiras análises foliares ao B que se fizeram em Portugal foram realizadas no início dos anos 50 do séc. XX na EAN. Essas análises incidiram sobre as vinhas do Douro, mas os resultados não chegaram a ser publicados. Todavia, Dias (1953a) dá a indicação de que as concentrações foliares de B nas videiras sem indícios da carência eram duas vezes superiores às obtidas nos pés com sintomas. Lucas e Sequeira, em 1969, normalizaram o método da análise foliar do B e descreveram a metodologia para utilização em rotina.

No ensaio efectuado por Vale (1988), que utilizou como planta teste o rabanete, houve uma separação nítida entre a concentração máxima de B em plantas com indícios de escassez de B (21,8 mg/kg) e a concentração mínima foliar de B sem ocorrência dos sintomas (23,4 mg/kg), tendo sido utilizado valor crítico de 23 mg B/kg para o aparecimento de manifestações da carência, nas condições daquele ensaio. Num outro estudo, orientado por aquele autor, *Trifolium incarnatum* L. manifestou indícios de escassez de B até valores de 21,3 mg/kg (Valente, 1993).

Vale (1988, 1990) também realizou o levantamento do estado nutritivo de pinheiros (*P. pinaster*) em diversas áreas do distrito de Vila Real, por se observar amiúde uma anomalia que se suspeitava

dever-se a uma carência de B, a qual foi sustentada pelos resultados de análise foliar: 2,1–2,9 mg B/kg de B nas árvores com anomalia e 4,5–10,1 mg B/kg nas árvores sem anomalia, diferença essa altamente significativa.

Borges (1992) confirmou a carência de B em vinhas jovens do Douro, em solos ácidos da Formação de Bateiras num ensaio instalado em Adorigo (Tabuaço). Nas testemunhas foram registados indícios ligeiros de carência em amostras colhidas à floração (39 mg B/kg nos limbos) e ao pintor (61 mg B/kg nos limbos). Porém, nas mesmas épocas, as videiras com sintomas mais graves exibiam concentrações inferiores a 20 mg B/kg. Mesmo nalgumas videiras adubadas com 5 g de bórax/pé e que apresentavam concentrações de 80 mg B/kg nos limbos (à floração) foram observados sintomas da carência. O estado nutritivo óptimo, segundo o autor, atingia-se com concentrações foliares de 90–100 mg B/kg à floração, e não foi notada toxicidade até concentrações de 200 mg B/kg. Estes níveis estão bastante acima daqueles que são apresentados por Magalhães (2008), isto é, 15–60 mg B/kg (nos limbos ao pintor), ou por outros investigadores. Esses resultados sugerem que tal poderá dever-se à eventual presença de um teor elevado de cálcio nalguns destes solos, com possíveis reflexos nas respectivas concentrações foliares. Na verdade, os xistos da Formação de Bateiras são atravessados, aqui e além, por calcários ou por materiais calco-carbonatados. No entanto, não se pôde apurar esta hipótese, ou se existiriam relações Ca/B foliares tendencialmente elevadas, pois as concentrações dos restantes nutrientes não foram fornecidas neste estudo, nem mesmo as concentrações destes dois elementos nos solos.

Esta relação Ca/B deve ser esclarecida. De facto, existirá para as plantas um intervalo desejável para a relação Ca/B, cujo valor será, no entanto, susceptível de variar consoante as espécies (Jones e Scarseth, 1944; Reeve e Shive, 1944; Tariq e Mott, 2007a). Relações Ca/B elevadas reflectiriam um estado de deficiência de B, enquanto valores baixos indicariam um estado de toxicidade. Por exemplo, Jones e Scarseth (1944) referem que uma relação Ca/B inferior a 200 provocaria toxicidade em certas plantas e Tariq e Mott (2007b) apresentam valores indicativos entre 187 e 220 para a produção máxima em condições de ensaio com três hortícolas. O desejável será então a ocorrência de valores intermédios, embora variáveis de espécie para espécie. Poderá assim inferir-se que nos solos ácidos, onde as plantas absor-

vem menos Ca devido à sua menor concentração nos solos, a tolerância das mesmas aos excessos de B é mínima. Pelo contrário, nos solos alcalinos as plantas precisam de absorver maiores quantidades de B para se alcançar uma relação Ca/B mais adequada à sua actividade metabólica.

Vale *et al.* (1994) confirmaram a carência de B em eucaliptos nas imediações de Vila Flor, em solos derivados de xisto da Formação da Desejosa. Os eucaliptos manifestavam diversos graus de anomalias correspondentes a concentrações foliares progressivas (4 a 8 mg B/kg), desde sintomas muito graves a ligeiros. A carência foi confirmada através da aplicação de 50 g de fertibor (tetraborato de sódio pentahidratado) por árvore, tendo-se atingido deste modo concentrações foliares de 50–70 mg B/kg. Este mesmo estudo revelou que os eucaliptos que vegetavam em dois locais de Santa Comba Dão, em solos derivados dum granito biotítico com plagioclase cálcica, não manifestaram sintomas de deficiência com concentrações foliares de 16 e 20 mg B/kg. Além dos ensaios de Vila Flor foram também instalados outros, nomeadamente em Castelo Branco, Oliveira do Hospital e Murça (Coutinho *et al.*, 1997, 2001) e no conjunto dos quatro locais foi registada sintomatologia da carência em eucaliptos jovens no intervalo 4–15 mg B/kg. Decorridos 5–6 anos sobre a adição ao solo de vários níveis de B, os talhões com concentrações foliares de B no intervalo 16–59 mg/kg não manifestaram sintomas da carência.

Num ensaio de campo constatou-se que a adubação boratada teve um efeito notável na produção de azeitona num olival de Monforte da Beira (Castelo Branco), tendo feito subir a concentração foliar de B na oliveira de 12 mg/kg para 58 mg/kg ao fim de quatro meses (Julho) após a adubação (Jordão *et al.*, 2004). Por outro lado, uma avaliação do estado nutritivo da oliveira, levada a cabo durante o inverno de 2003 por Rodrigues *et al.* (2005) revelou que, dos 27 olivais de Macedo de Cavaleiros e Torre de Moncorvo, cerca de 50% tinham concentrações foliares < 16 mg B/kg (limite inferior do intervalo adequado no repouso invernal, conforme as classes estabelecidas por Soveral-Dias *et al.*, 2000). Em 2008, Rodrigues e Arrobas verificaram que o intervalo onde ocorria a deficiência de B em oliveiras era de 11–18 mg B/kg. Estes autores constataram que a distribuição ao solo de 11 g de B (equivalente a cerca de 100 g de bórax) por árvore, no fim de Março, em olivais de Macedo de Cavaleiros, fez subir li-

geiramente a concentração foliar média das amostras recolhidas em Julho desse ano: de 16 mg B/kg passaram para 21 mg B/kg. Arrobas *et al.* (2010), nos ensaios de adubação executados em Mirandela e Bragança, concluíram haver uma relação linear entre a produção de azeitona e as concentrações foliares de B, particularmente quando as folhas foram amostradas em Julho. Assim, esta data de colheita das amostras provou ser mais adequada para o diagnóstico foliar do B comparativamente à colheita de Janeiro. Estes investigadores, reportando-se à década anterior, constataram manifestações crónicas ou latentes da falta de B nos olivais do Alto Trás-os-Montes e consideraram que concentrações foliares inferiores a 14 mg B/kg correspondiam a deficiência. Rodrigues e Arrobas constataram (comunicação particular) que aproximadamente 50% das amostras de folhas (respeitantes à colheita de verão) de olivais comerciais, recebidas nos laboratórios da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB), mostravam concentrações de B inferiores a 19 mg/kg, nível acima do qual estimaram atingir-se uma concentração de B adequada.

Num ensaio realizado em Mogadouro, Loureiro *et al.* (2006), avaliaram o efeito do B em plantações jovens de sobreiro que manifestavam anomalias de crescimento. A adição ao solo de 20 g de granubor/árvore (14,3% de B) originou uma redução muito significativa do número de árvores anómalas e as concentrações foliares médias nos sobreiros aumentaram de 4,6 mg B/kg para valores próximos de 40 mg B/kg.

O levantamento do estado nutritivo do castanheiro no Alto Trás-os-Montes e Douro, conduzido durante 18 anos (1995–2012) por Portela, baseado na recolha de amostras foliares efectuada no fim do verão, mostrou que a concentração de B se encontrava abaixo de 20 mg/kg em cerca de 50% dos 91 soutos amostrados. Tendo por base dados empíricos obtidos em diversos soutos da região, a concentração foliar de B inferior a 20 mg/kg tem sido, provisoriamente, considerada como o valor crítico abaixo do qual existe forte probabilidade de ocorrência da deficiência no castanheiro. Este valor é também estimado por vários autores como o nível crítico de B para diversas árvores produtoras de frutos secos (Shear e Faust, 1980; Shorrocks, 1989). Os sintomas de deficiência no castanheiro, em Trás-os-Montes, foram testemunhados em árvores com concentrações foliares de B no intervalo 7–17 mg/kg. Todavia, a carência encontra-se

dissimulada, bastantes vezes, para valores superiores, embora sem sintomas visuais claros. Foi o que se constatou em 2010, num ensaio realizado em Meixedo (Bragança), no qual concentração foliar média era de 18 mg de B/kg e a percentagem de vingamento do fruto foi apenas de 54%. Mesmo um castanheiro com concentração foliar 25 mg de B/kg originou uma taxa de vingamento do fruto de apenas 68%, valor este bastante aquém dos 80% registados em soutos com concentrações foliares acima de 30 mg B/kg. Por conseguinte, no caso desta espécie a concentração adequada deverá situar-se acima de 20 mg B/kg.

Factores genéticos

As diferenças existentes entre espécies quanto às exigências de B são conhecidas (Shorrocks, 1997) e a susceptibilidade dos génotipos aos baixos/elevados teores do nutriente nos solos, quando crescem em igualdade de circunstâncias, tem vindo a ser identificada para uma grande diversidade de plantas.

Uma importante característica associada à espécie vegetal é a (i)mobilidade do B na planta, sendo que na maior parte das plantas o B é pouco móvel no floema. Mas em certas espécies, como as da família das Rosaceae (pomóideas e prunóideas), que utilizam o dulcitol, sorbitol ou manitol (todos eles dióis) no transporte do B no floema (Brown e Shelp, 1997), a sua mobilidade é maior. Nas outras espécies, a reduzida mobilidade pode induzir escassez em certos órgãos, em particular quando a taxa de transpiração é baixa, nomeadamente ao abrolhamento dos ápices vegetativos, e também nos órgãos reprodutores. Estes órgãos são, aparentemente, mais sensíveis à carência de B, a qual pode ocorrer mesmo na ausência de sintomas nos órgãos vegetativos. Segundo Brown *et al.* (2002), a relativa sensibilidade nos órgãos de reprodução à carência é resultado de um menor transporte de B para estes locais (com menor transpiração), mais do que uma indicação de necessidades específicas acrescidas para as respectivas funções.

Em síntese, o transporte do B para a parte aérea e para os órgãos reprodutores difere muito entre espécies e entre génotipos (Hu e Brown, 1997). Já em 1894, Le Cocq referia que havia castas de videiras do Douro mais atacadas pela 'maromba' nomeadamente '...a malvasia fina, malvasia grossa, alvarelhão, coucieira, cachopa e casculho.' e outras mais resistentes, tais como 'touriga, tinto cão, sousão, tinta amarela, alvaraça, muscatel, formosa, trincadeira,

agudanho, rubigato, donzellinho do castelo, mourisco, vianeza, gouveio, mourisco, cerceal, bastardo, tinta-lameira e mureto'. Pereira (1957), fazendo alusão a cerejeiras instaladas no Fundão (região da Cova da Beira), revelou que a variedade Napoleão é mais sensível à escassez de B comparativamente à var. Mirandela. Mais recentemente, Magalhães (2008), tendo em conta as condições do Douro, apontou a casta de videira tinta roriz (corrente no porta enxerto 1103P) como sendo muito sensível à carência de B e recomenda a adubação foliar na pré-floração para evitar o 'desavinho' e a 'bagoinha' sempre que a concentração foliar seja menor que 20–30 mg B/kg. Também Brown *et al.* (1972) deram exemplos de comportamento diferenciado de variedades de videira quanto à sua vulnerabilidade à minguagem de B, tendo ainda revelado que esta não se manifestava quando as mais susceptíveis eram enxertadas em porta-enxertos com maior resistência à mesma. Alguns investigadores admitem mesmo que são os porta-enxertos que controlam a absorção e o transporte do B e que certas variedades são inábeis na sua condução para a parte aérea.

Rerkasem e Jamjod (1997) consideraram que um génotipo será ou não, eficiente, se um ou mais dos seguintes mecanismos se verificar: capacidade na aquisição do B a partir do solo; forma como este é distribuído na planta; e a sua utilização dentro da mesma. A futura identificação deste mecanismo fisiológico, até agora desconhecido, será, certamente, determinante no controlo genético da eficiência no uso de B nas culturas que crescem em solos com baixos níveis deste nutriente.

Efeito da adubação boratada na produtividade das culturas

A utilização de B nas culturas só começou a ser uma prática em Portugal no início da década de 50 do século passado, devido ao aparecimento da 'maromba' no Douro e aos estragos provocados nas videiras e na produção de uva. Os ensaios com vista à correcção da carência incidiram sobre níveis e épocas de aplicação ao solo, tendo-se também testado a adubação foliar (Dias, 1953a,b). Destes estudos surgiram as primeiras recomendações de aplicação de B nas vinhas: 6–8 g de borato de sódio por cepa, e a sugestão de que Março era o melhor mês para efectuar essa adubação (Dias, 1953a,b). Na mesma altura também se constatou que o excesso de B produzia toxicidade e morte de cepas.

No nordeste e no interior centro do país datam de 1954 os primeiros ensaios levados a cabo no Fundão, em cerejeiras, e aos quais se seguiram, no período 1955-1956, alguns olivais de Barca de Alva (Figueira de Castelo Rodrigo) e do Minhocal (Celorico da Beira), bem como outros instalados nos concelhos da Guarda e Covilhã pela Brigada Técnica da VII Região (Pereira, 1957). Esta brigada também conduziu ensaios de cariz qualitativo em pessegueiros e castanheiros. Embora os primeiros estudos tivessem obedecido a um esquema de delineamento, deles não se apuraram dados quantitativos relativos ao acréscimo de produção; tiveram apenas carácter indicativo, com vista à recomendação de níveis de borato de sódio a aplicar nessas frutícolas. A avaliação foi feita com base no critério de desaparecimento dos sintomas das anomalias de crescimento, ou na cessação dos indícios duma certa 'doença'. As avaliações do efeito da adubação boratada também tiveram como base os testemunhos de agricultores que a efectuaram nas mesmas culturas.

Em 1954-1955 foi testada a aplicação de B foliar em cerejeiras no Fundão, bem como ao solo em cerejeiras e pessegueiros (100-300 g/árvore de borato de sódio) e em castanheiros (Pereira, 1957). Em qualquer dos ensaios, o efeito observado foi positivo. No que respeita às cerejeiras foi até registado que se obteve '...coloração verde mais intensa, melhores lançamentos do ano, frutificação mais regular e frutos mais grossos'. Os ensaios realizados em castanheiros adultos, localizaram-se no Vale da Teixeira (Ramela, Guarda), onde foram testados níveis de 500 g/árvore e 1000 g/árvore de borato de sódio. Em todos estes casos o adubo foi sempre localizado em furos abertos no solo por baixo das copas.

Vale (1988) registou acréscimos acentuados de matéria seca (duas vezes) e de semente (seis vezes) nos seus ensaios em vaso com o trevo subterrâneo, adicionando B ao solo. Também Valente (1993) obteve aumento de matéria seca em trevo encarnado.

Coutinho *et al.* (1994) mediram os efeitos da adubação boratada através dos crescimentos de varas de eucalipto (3-4 anos de idade) com sintomas de deficiência, em dois ensaios de campo instalados em Vila Flor e Castelo Branco. Um ano após a adubação registaram acréscimos muito significativos no diâmetro à altura do peito e altura das varas, com maior ênfase para Castelo Branco. Nessas mesmas parcelas obtiveram acréscimos de produtividade de madeira, após três anos de ensaio

(1993-96), de 4,3 e 11,3 m³/ha por ano, respectivamente, naqueles concelhos (Coutinho *et al.*, 1997). Paralelamente a estes ensaios foram instalados outros semelhantes em Oliveira do Hospital e Murça (Coutinho *et al.*, 2001). Os resultados ao fim de seis anos mostraram acréscimos na produtividade da madeira de 61, 118 e 213%, respectivamente, em Vila Flor, Castelo Branco e Oliveira do Hospital, com a adição da dose mais elevada de B (80 g de fertibor/cepa). Foi em Oliveira do Hospital que se registou o maior aumento anual de madeira (15,8 m³/ha por ano). No ensaio instalado em Murça, também em eucaliptos jovens com carência de B, observou-se, ao fim de cinco anos, um acréscimo na produção de madeira de 88% devido à aplicação de 50 g de fertibor/árvore, mas o aumento em volume foi inferior (4,8 m³/ha por ano) aos dos restantes locais.

Segundo Jordão *et al.* (2004), a produção de azeitona quase triplicou num olival instalado em Monforte da Beira (Castelo Branco) após a adição de 3,8 kg de B/ha. O mesmo não se poderá dizer quanto aos parâmetros de qualidade do azeite avaliados, os quais não sofreram alterações significativas. Arrobas *et al.* (2010), em quatro anos de ensaio de adubação boratada em olivais, verificaram haver grande diferença na produção de azeitona entre árvores, entre locais, e variação interanual (relacionada com a safra e contra-safra). Por exemplo, em Bragança após o quarto ano de ensaio (2006) e uma aplicação anual de 7,7g de B/árvore, as produções variaram entre 2,3 e 46,2 kg/árvore na mesma parcela, a qual foi acompanhada por uma variação consistente dos teores foliares de B. A explicação para esta oscilação enorme de produtividade foi atribuída à eventual variabilidade espacial das propriedades do solo e ao potencial produtivo individual das oliveiras testadas. Todavia, põe-se a hipótese das árvores menos produtivas revelarem alguma incapacidade para absorver/transportar o B, devido a possíveis danos provocados pela carência no seu sistema vascular, danos esses que, segundo Wimmer e Eichert (2013), nem sempre são totalmente debelados pela adubação boratada.

No ano de 2008, a aplicação de B a castanheiros num ensaio instalado em Jou (Murça), quadruplicou quer o vingamento do fruto (80% de frutos vingados, contra 19% na testemunha), quer a produção de castanha, que subiu de 4 kg/árvore para 17 kg/árvore (Portela *et al.*, 2011). Além disso, reduziu a infestação da castanha pelo bichado (*Cydia*

splendana Hübner). Todavia, em relação à composição do fruto não houve efeitos significativos do B, a não ser no aumento da gordura bruta (de 1,9 para 2,3%) no conjunto dos três anos (Portela *et al.*, 2015), mantendo-se mesmo assim abaixo do valor médio de 3,6% das castanhas europeias (McCarthy e Meredith, 1988).

Quanto às formas de aplicação do B às arbóreas, registaram-se peculiaridades que em parte podem explicar alguma da heterogeneidade dos níveis de B no solo, e por vezes sintomas localizados de toxicidade que se têm notado fortuitamente em certas fruteiras. Com efeito, aquando dos primeiros ensaios executados no nordeste e interior centro, a administração de B ao solo era efectuada em furos ao redor do tronco das árvores (Pereira, 1957). Esta prática terá ganhado popularidade entre os agricultores e alguns deles terão reduzido o número de furos. Assim, não é raro aplicarem o B de forma localizada, desencadeando toxicidade em certos sectores das copas.

A aplicação de 10 kg/ha de bórax, numa vinha recém-instalada na Cova da Beira com uma concentração inicial de B extraível de 0,23 mg/kg, foi suficiente para elevar os teores foliares para níveis adequados (Pacheco *et al.*, 1996). Todavia, nos três anos de ensaio os autores não obtiveram acréscimos de produção de uva. Presume-se que isso poderia dever-se ao facto das videiras serem ainda muito jovens. Também Natário (2001) não obteve aumento da produção de uva nem melhoria dos seus parâmetros de qualidade, numa vinha do Douro (Vilariça, Torre de Moncorvo) com concentrações de B extraível de 0,22–0,31 mg/kg. De facto, este parâmetro do solo não tinha originado sintomas de carência nas videiras, e a adição de B provocou, sim, indícios de toxicidade, a que corresponderam concentrações foliares de 170–243 mg B/kg, à floração.

O efeito óbvio do B na produtividade das culturas, em certas regiões, tem conduzido, não raro, a exageros na adubação, e portanto ao aparecimento de sintomas de toxicidade. Por exemplo, nalguns soutos foram notados indícios ligeiros de toxicidade em árvores jovens que apresentavam concentrações foliares de 180 mg B/kg, e sintomas graves quando os mesmos eram de 287 mg B/kg.

A observação de indícios de toxicidade é vulgar em ensaios com doses crescentes de aplicação de B, mas que podem desaparecer após as chuvas de

inverno como constataram Coutinho *et al.* (1994). Com efeito, em eucaliptos com 3–4 anos de idade registaram-se esses sintomas para concentrações foliares de 106 mg B/kg, atingidas seis meses após a adubação, mas rapidamente se dissiparam após o primeiro inverno. O mesmo aconteceu noutros ensaios com eucaliptos jovens após adição das doses mais elevadas do adubo boratado (Coutinho *et al.*, 1997, 2001). Neste grupo de ensaios, e para precaver tais efeitos indesejáveis, também foram testados produtos com granulometria e solubilidade diversas, mas as conclusões não se revelaram totalmente esclarecedoras.

Tem-se constatado que a adubação foliar nem sempre tem a mesma eficácia da aplicação do B ao solo. Por exemplo, foi obtida resposta limitada à adubação foliar por Silva *et al.* (2003), num pomar de aveleiras instalado em Vila Seca (Vila Real), com concentração de B extraível relativamente baixa (0,2 mg/kg). Apesar das módicas concentrações foliares (6–22 mg/kg), a pulverização das copas com níveis crescentes de B em diversas fases pós-floração (do ano precedente à avaliação) não produziu acréscimos significativos no vingamento do fruto, na percentagem de frutos brancos e na produtividade, mas apenas na melhoria da massa do fruto e do miolo da avelã. Presume-se que essa fraca resposta em termos de vingamento do fruto (45–68% na testemunha) se ficasse a dever à reduzida retranslocação do B das folhas para os órgãos de reserva, que é depois mobilizado para os órgãos reprodutores. Porém, o facto de ter havido uma maior taxa de vingamento do fruto quando a adubação foliar foi realizada em Maio do ano antecedente, embora sem significado estatístico, foi imputada pelos autores a um eventual acréscimo na mobilidade do B (retranslocação das folhas para os raminhos), atribuível a uma maior actividade foliar nesse período.

Também num ensaio efectuado num souto com oito anos instalado em Meixedo (Bragança), no qual se fez uma pulverização às copas com bórax a 0,5% (25 mg/5L por árvore), em plena floração feminina (início de Julho), o vingamento do fruto apenas aumentou de 19 para 54%. Com efeito, o vingamento do fruto ficou aquém do observado noutros soutos vizinhos (cerca de 80%) adubados ao solo em Março com 100 g de bórax/árvore. Também os acréscimos das concentrações foliares de B dos castanheiros pulverizados (que subiram de 7 para 18 mg B/kg) foram menores do que os dos castanheiros adubados

ao solo (> 30 mg/kg). Repare-se que, naquele tratamento, o B na folha nem sequer atingiu a concentração que se considerou ser o nível crítico de 20 mg/kg, embora seja provável que uma única pulverização da copa não tivesse sido suficiente para elevar as concentrações foliares, e produzir um efeito mais notório no vingamento do fruto.

Num outro ensaio, levado a cabo em Suções (Mirandela), os teores foliares de B na oliveira foram superiores com uma adubação ao solo do que com uma pulverização à copa, apesar de terem sido atingidas as mesmas produções de azeitona (Rodrigues *et al.*, 2007).

Por sua vez, a distribuição do B no solo teve, por vezes, efeitos surpreendentes em termos de rapidez nas respostas das plantas. Por exemplo no nordeste, durante os anos de 2009 e 2010 observou-se que a adição de bórax no início de Maio a pés jovens (4–10 anos) de castanheiro com manifestações da deficiência de B (nomeadamente morte apical) originou respostas notórias em três semanas. Esta prática foi, afortunadamente, seguida de precipitação, e quando não choveu foi efectuada uma rega a cada árvore. Com efeito, houve reacções em termos de recrescimento das folhas por baixo das áreas mortas dos raminhos, bem como nas extremidades de raminhos ainda sãos. Esta recuperação das árvores também foi constatada por produtores de castanha e técnicos regionais, e registada por Portela e Sismeiro (2011) entre Junho e Setembro desses anos, em castanheiros localizados num conjunto de parcelas de várias freguesias do Alto Trás-os-Montes. A reacção quase imediata das plantas à adubação revela a rapidez do transporte do B, quer no solo quer no xilema desta espécie. Contudo, a mobilidade elevada do B no solo também significa facilidade de lixiviação, havendo necessidade de adubações boratadas mais frequentes do que tem sido corrente no Alto Trás-os-Montes, tal como propuseram Portela *et al.* (2011).

Em resumo, a textura grosseira e a reacção ácida da maioria dos solos do nordeste, e do interior centro do país, contribuem para que o B esteja fracamente retido e tenha uma grande mobilidade no solo. Por outro lado, a precipitação elevada em certas regiões, concentrada no inverno, cria as condições para uma lixiviação acentuada do nutriente. Já nas regiões menos húmidas, os períodos de secura estival fazem com que a absorção do B seja mais reduzida. Haverá também factores de natureza fi-

siológica que proporcionam uma menor mobilidade do nutriente nas plantas, ocasionando falta de respostas à aplicação do B bastante inesperadas, ou aquém das expectativas.

Paradoxos do boro e estratégias de adubação

A imprevisibilidade do despontar da carência de B começa com a dificuldade na delimitação das manchas geológicas sobre as quais se desenvolveram os solos onde a deficiência será mais provável. Por outro lado, os factores de ordem climática que desencadeiam e/ou amplificam os efeitos danosos da carência são erráticos. Na verdade, os exemplos apresentados ao longo deste artigo revelam que as anomalias fisiológicas podem surgir de forma algo aleatória, e as reacções das plantas à adubação boratada são frequentemente inesperadas, surpreendentes, e até, por vezes, paradoxais. O cariz errático da manifestação das anomalias parece estar sobretudo associado a factores de ordem ambiental, enquanto que as reacções inesperadas das culturas ao B aparentam depender, além destes, de factores intrínsecos às próprias espécies, tais como a (i) mobilidade do B na planta e a duração e gravidade dos danos provocados pela deficiência.

A este respeito, a recente actualização dos aspectos fisiológicos da carência feita por Wimmer e Eichert (2013), trouxe nova luz acerca do tema, o que ajuda a decifrar alguns dos paradoxos. Para além das lesões que a míngua de B pode provocar no sistema vascular das plantas (xilema e floema), também pode induzir modificações estruturais na própria superfície das folhas. Estas modificações poderão ter efeitos irreversíveis nas plantas e explicar a menor eficácia de algumas adubações foliares, mesmo em espécies onde o B tem mobilidade no floema. Apresenta-se em seguida, com maior detalhe, cada um dos aspectos acabados de mencionar.

A ocorrência mais ou menos aleatória dos minerais que podem libertar B (algumas vezes acessórios das rochas a partir das quais se desenvolveram os solos) leva a que as relações entre a geologia/litologia e a disponibilidade do nutriente para as plantas sejam, amiúde, difíceis de estabelecer. Por outro lado, nos solos incipientes do nordeste e interior centro, a heterogeneidade da morfologia e propriedades são a regra, daí que seja frequente encontrar indivíduos sem sintomas aparentes de carência ao lado de outros com anomalias graves. Convém lembrar que o

B é bastante móvel nos solos, sendo facilmente lixiviado do perfil cultural, particularmente nos de textura grosseira e pobres em matéria orgânica, ou nos mais delgados e com maior pedregosidade. Nestes casos a aplicação de B ao solo numa base anual parece ser a forma mais adequada.

Recordando o que já ficou dito, a ocorrência de episódios meteorológicos adversos, como baixas temperaturas durante a primavera, a secura estival no verão, e ainda a exposição de certas vertentes à radiação solar, são factores que afectam a disponibilidade do B no solo, a sua absorção/transporte pelas plantas e até as respectivas exigências no que a este nutriente diz respeito. Os períodos muito frios e prolongados junto da raiz (sobretudo nas baixas plano-côncavas e no fundo dos vales) inibem a absorção/transporte do B para os órgãos vegetativos, e não menos importante, para os órgãos reprodutores. Além disso, o facto de o B ter fraca mobilidade no floema de algumas espécies pode agravar os danos, pelo menos temporariamente. A redistribuição do B nas plantas é particularmente importante ao abrolhamento, quando a condutância estomática e a absorção do B são limitadas pelas baixas temperaturas (Lehto *et al.*, 2010). Se não houver redistribuição do nutriente os crescimentos podem ser muito afectados. Além disso, tal como foi mencionado, o processo de absorção/transporte também depende da humidade do solo, da ocorrência de episódios de seca, e ainda da radiação. Durante os episódios de seca, o transporte do B para órgãos que possuem baixa transpiração é limitado, deslocando-se sobretudo para as folhas. O B pode estar em concentração adequada nas folhas e os indícios da carência manifestarem-se nos órgãos de reprodução. A radiação solar intensa aumenta a secura do ar, induzindo também maior transporte de B para as folhas dado o acréscimo da transpiração. Em suma, e porque o transporte do B para os diversos órgãos da planta depende, em larga medida, da taxa de transpiração, os factores ambientais que a controlam, como sejam a temperatura, humidade relativa e disponibilidade de água no solo, estão implicados na variação espacial e temporal das respostas das plantas ao B, como sugerem Dell e Huang (1997).

A absorção de B decorre ao longo de todo o ciclo de crescimento das plantas, que vai desde o enraizamento, ou abrolhamento (nas perenes), até à fase de floração e vingamento do fruto. Assim, o B começa por ser essencial à formação da raiz, e para que isso aconteça é necessário que ele exis-

ta disponível no solo em quantidade suficiente na zona de absorção radicular. Aliás, há pouca evidência de que ocorra transporte significativo do B da parte aérea para a raiz (Shorrocks, 1997). Por conseguinte, a adição de B ao solo aquando da instalação das culturas parece crucial (à superfície e bem distribuído), desde que o B extraível seja baixo ou haja um prognóstico de carência de B na zona. Segundo Wimmer e Eichert (2013), nas plantas que se desenvolvem sob condições de reduzido fornecimento de B durante um período prolongado, podem ocorrer danos no sistema vascular, particularmente no que respeita à diferenciação do xilema. As lesões procedentes dificultam o transporte da água e diminuem as taxas de transpiração e de fotossíntese/funcionamento dos estomas. Além disso, as lesões também podem exercer um efeito adverso e prolongado na retranslocação de nutrientes adicionados por via foliar, dificultando-a ou mesmo anulando-a.

A eficácia da adubação boratada depende, como foi dito, da mobilidade do B na planta, sabendo-se que esta é geralmente reduzida no floema. Em certas espécies onde o B é pouco móvel, aquele que chega aos órgãos reprodutores tem origem na absorção pela raiz como mostraram Brown *et al.* (1999), daí que, nestes casos, a adubação ao solo seja mais adequada. Porém, na família das Rosaceae (pomóideas e prunóideas) a sua mobilidade é maior, e assim sendo, tanto a adubação ao solo como à folha, têm efeitos comprovados na correcção da carência. Boaretto *et al.* (2006) também constataram que em espécies como a laranjeira, a mobilidade do B é limitada. Estes investigadores mostraram que a percentagem de B nos novos ramos e frutos proveniente do adubo adicionado ao solo foi de 60–65%, mas apenas de 10–20% quando adicionado à folha. Há ainda outras espécies, como a pistácia e a noqueira, em que o B foi avaliado como pouco móvel (Brown e Shelp, 1997) e onde se prevê, portanto, que a sua adição ao solo seja mais eficaz. Todavia, mesmo numa espécie onde o B é móvel (Delgado *et al.*, 1994), como é o caso da oliveira, a adubação ao solo foi considerada uma forma adequada de aumentar os níveis foliares nos olivais (Rodrigues e Arrobas, 2008), a qual se mostrou mais eficaz que a adubação foliar (Rodrigues *et al.*, 2011).

Em condições de campo, Brown e Shelp (1997) atribuíram uma menor mobilidade do B, nas espécies em geral, sempre que o nutriente se encontrasse em maiores concentrações nas folhas comparativamen-

te aos teores nos diferentes componentes do fruto. Seguindo este raciocínio, admite-se que o B no castanheiro poderá ter mobilidade reduzida. Como foi comprovado a partir dos resultados obtidos num ensaio efectuado em Jou (Murça), e já anteriormente referido (Portela *et al.*, 2015), quando o B foi amplamente fornecido às plantas via solo, o elemento apresentou tendência para se concentrar nas folhas e não nos tecidos componentes da castanha (Quadro 5). Será ainda de realçar que nas situações de escassez do nutriente se registou uma baixa concentração de B em todos os componentes da castanha, mas uma melhor redistribuição em cada um deles. Em qualquer caso, o teor de B no miolo da castanha foi significativamente inferior ao das folhas.

Apesar do B apresentar alguma imobilidade no castanheiro, o órgão em que o teor de B se mostrou mais bem correlacionado com a produção de castanha foi o da folha amostrada em Julho ou em Setembro (Portela e Louzada, 2012). Assim, o diagnóstico precoce da deficiência de B nesta espécie deverá passar por uma análise foliar executada no início de Julho, dada a eventualidade de ser necessário efectuar uma intervenção célere (adubação à copa) aquando da plena floração que ocorre uma semana depois.

Face ao exposto, pode afirmar-se que naquelas fruteiras onde a mobilidade do B é reduzida, este nutriente tende a acumular-se nas folhas mais velhas, havendo por vezes fraca redistribuição pelos órgãos reprodutores. Esta poderá ser agravada se entretanto sobrevier uma seca durante o período crítico de reprodução, por motivo da menor ab-

sorção de B pelas plantas. Nestes casos, a adubação foliar pode não ter os efeitos esperados, sendo mais aconselhável uma pulverização centrada nos órgãos florais, como sugeriram Wells *et al.* (2008) na pecana. Nas espécies onde o B dispõe de mobilidade no floema é possível obter uma reacção muito positiva à aplicação foliar comparativamente a espécies de outras famílias; porém, quando a mobilidade do B é reduzida a aplicação do nutriente ao solo produz resultados mais eficazes (Brown e Shelp, 1997). Todavia, nos solos de textura fina e pH alcalino a adubação foliar pode revelar-se mais apropriada do que a aplicação ao solo (Mengel, 2002), porque nestas condições as espécies $B(OH)_3/B(OH)_4^-$ são mais fortemente adsorvidas nos minerais argilosos, sob pena de haver necessidade de adubações mais abundantes.

A adubação foliar, através da pulverização dos órgãos florais, também deve ser preferida sempre que a escassez de B seja detectada demasiado tarde para se tomarem medidas correctivas ao solo. Em qualquer caso, a adubação foliar antecedendo a floração, durante e após a mesma, tem efeitos comprovados no vingamento do fruto e na produtividade (Nyomara e Brown, 1999; Perica *et al.*, 2001). A pulverização da copa no período da floração não retira a necessidade de distribuição imediata do B no solo, porque as fruteiras continuam a absorver nutrientes durante o restante ciclo vegetativo (verão e outono). Ora, será o B absorvido neste período que poderá garantir a sua presença nos órgãos de reserva (floema), durante o repouso vegetativo (no inverno), e aceder aos botões florais e zonas apicais ao abrolhamento (na primavera). Como bem

Quadro 5 - Distribuição do B na folha e componentes da castanha em 2009. As amostras foram recolhidas em Jou (Murça) nas mesmas árvores em Setembro (folha) e Outubro (castanha)

		Concentração de B (mg/kg)	
		Sem B	Fertilização com B
Folha		9,3 b A	61,4 c B
Castanha	Casca exterior	10,3 b A	19,8 b B
	Película	8,7 b A	14,2 ab B
	Miolo	2,8 a A	5,2 a B

Os valores com uma letra comum dentro da mesma coluna (minúscula) ou dentro da mesma linha (maiúscula) não são diferentes ($P > 0,05$), pelo teste de Duncan.

notaram Brown e Shelp (1997), em várias fruteiras a floração precede a absorção de nutrientes pela raiz, portanto o fornecimento de B às zonas florais provém dos órgãos de reserva. Estes autores recomendam mesmo, nas fruteiras onde o B tem maior mobilidade, a pulverização da copa no fim do ciclo vegetativo, quando as plantas ainda estão fotosinteticamente activas. Mas também consideram como boa prática, nas espécies em que o B é pouco móvel, a administração directa do adubo foliar sobre os gomos inchados, feita no início da primavera. A aplicação do adubo boratado ao solo, embora eficaz, se for demasiado precoce pode conduzir à sua lixiviação parcial pelas chuvas de inverno.

Quanto ao nordeste e centro interior de Portugal, a adubação foliar tem sido recomendada por diversos investigadores para mitigar a escassez de B: i) nas videiras do Douro, no início do seu ciclo vegetativo (antes da floração), como complemento da adubação ao solo ou sempre que sejam observados indícios precoces da carência (Dias, 1953b); ii) também nas vinhas do Douro, Magalhães (2008) recomenda a adubação foliar antes do abrolhamento e pré-floração para prevenir a carência nas castas mais sensíveis, ou sempre que a concentração foliar de B seja inferior a 20–30 mg/kg, para evitar o ‘desavinho’ e a ‘bagoinha’; iii) nas oliveiras, através de três aplicações, sendo a primeira um mês antes da floração se surgirem sintomas de escassez de B (Jordão e Marcelo, 2005); iv) no castanheiro, ao qual são sugeridas pulverizações com B à floração nos casos em que for possível efectuar o diagnóstico precoce da deficiência e seja demasiado tarde para aplicar o B ao solo (Portela *et al.*, 2012).

As reacções surpreendentemente favoráveis de castanheiros jovens, que se observaram três semanas após a adição de B ao solo, ilustram bem a rapidez da absorção/transporte para as zonas com exigências elevadas do nutriente. Assim, esta forma de aplicação evidencia-se como prática muito eficaz desde que se proporcione humidade suficiente no solo. Por conseguinte, havendo necessidade, a adubação boratada ao solo desde a instalação das culturas parece muito adequada, sobretudo num quadro de cada vez maior incerteza na agricultura, agravada pelas alterações climáticas. Por um lado, porque o B é necessário nas fases iniciais do crescimento das plantas, o enraizamento e a diferenciação do tecido vascular, e por outro, devido à sua facilidade de distribuição no solo e manifesta eficácia.

Agradecimentos

Os nossos agradecimentos vão para os colegas Pedro Jordão e Amélia Castelo Branco do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), Eugénio Sequeira da Liga para a Protecção da Natureza (LPN), Ângelo Rodrigues e Margarida Arrobas da ESAB, José Louzada, Nuno Magalhães, Afonso Martins e Elisa Preto da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), pela disponibilização de relatórios internos das respectivas instituições, pelo empenho na recolha bibliográfica e no fornecimento de informação relevante para este trabalho. Ao José Louzada, pelo tratamento estatístico de alguns dados aqui apresentados. Ao Alberto Santos, pela disponibilização de dados de análises de solo e foliares e pela revisão do texto. Ao Afonso Martins, pela ajuda prestada na classificação dos solos. Ao José Manso, pela disponibilização de dados de análises de solo e foliares de várias quintas do Douro. As análises químicas apresentadas nos quadros 4 e 5 foram efectuadas no Laboratório de Solos e Plantas da UTAD e tiveram o apoio financeiro do CITAB. José Carlos Rego colaborou nas tarefas de campo.

Referências bibliográficas

- Agroconsultores-Coba. (1991) - *Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*, Escala 1:100000. Peças Desenhadas e Memórias Descritivas. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Arrobas, M.; Lopes, J.I.; Pavão F.M.; Cabanas; J.E. e Rodrigues, M.A. (2010) - Comparative boron nutritional diagnosis for olive based on July and January leaf samplings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 41, n. 6, p. 709-720. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620903563949>
- Barber, S.A. (1985) - *Soil Nutrient Bioavailability*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 398 p.
- Bell, R.W. (1997) - Diagnosis and prediction of boron deficiency for plant production. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 149-168. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004268110139>
- Berger, K.C. e Truog, E. (1939) - Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition*, vol. 11, p. 540-545.
- Berger, K.C. e Truog, E. (1945) - Boron availability in relation to soil reaction and organic matter

- content. *Soil Science Society of American Proceedings*, vol. 10, p. 113-116.
- Boaretto, R.M.; Giné, M.F. e Boaretto, A.E. (2006) - Mobility of root and leaf absorbed boron in orange trees. *Acta Horticulturae*, vol. 721, p. 325-330.
<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.721.46>
- Borges, M.V.L. (1992) - *Correcção da deficiência em boro numa vinha da Região Demarcada do Douro*. Trabalho de fim de curso de Produção Agrícola, Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária, Coimbra. 38 p.
- Branco, E.M. (1961) - *Contribuição para o estudo da deficiência de boro na oliveira*. Relatório final de curso de engenheiro agrónomo, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa, 70 p.
- Brown, J.C.; Ambler, J.E.; Chaney, R.L. e Foy, C.D. (1972) - Differential responses of plant genotypes do micronutrients. In: Mortvedt, J.J. Giordano, P.M. e Lindsay, W.L. (Eds.) - *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, p. 389-418.
- Brown, P.H. e Shelp, B.J. (1997) - Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 85-101.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004211925160>
- Brown, P.H.; Bellaloui, N.; Wimmer, M.A.; Bassi, E.S.; Ruiz, J.; Hu, H.; Pfeffer, H. Dannel, F. e Romheld, V. (2002) - Boron in plant biology. *Plant Biology*, vol. 4, n. 2, p. 205-223.
<http://dx.doi.org/10.1055/s-2002-25740>
- Brown, P.H.; Bellaloui, N.; Hu, H. e Dandekar, A. (1999) - Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem boron transport and increases tolerance of tobacco to boron deficiency. *Plant Physiology*, vol. 119, n. 1, p. 17-20.
<http://dx.doi.org/10.1104/pp.119.1.17>
- Cakmak, I. e Romheld, V. (1997) - Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 71-83.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004259808322>
- Coutinho, J.; Bento, J. e Vale, R. (1997) - *Efeito da aplicação do boro em povoamentos de Eucalyptus globulus no norte e centro de Portugal*. Relatório do Triénio 1994-1996 do projecto de investigação aplicada do CEDR-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Instituto Raiz e Bórax Europe Ldt, 40 p.
- Coutinho, J.; Bento, J. e Vale, R. (2001) - *Efeito da aplicação do boro em povoamentos de Eucalyptus globulus no norte e centro de Portugal*. Relatório do Triénio 1997-1999 do Projecto de investigação aplicada do CEDR-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Instituto Raiz e Bórax Europe Ldt. 78 p.
- Coutinho, J.; Bento, J.; Vale, R. e Rafael, J. (1994) - Efeito do boro em *Eucalyptus globulus* no norte e centro interiores de Portugal. In: *Actas do III Congresso Florestal Nacional*, Figueira da Foz, 1. p. 364-372.
- Cox, F.R. e Kamprath, E.J. (1972) - Micronutrient soil tests. In: Mortvedt, J.J. Giordano, P.M. e Lindsay, W.L. (eds.) - *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. p. 289-317.
- Delgado, A.M.; Benlloch, M. e Fernández-Escobar, R. (1994) - Mobilisation of boron in olive trees during flowering and fruit development. *Hortscience*, vol. 29, n. 6, p. 616-618.
- Dell, B. e Huang, L. (1997) - Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 103-120.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004264009230>
- DGADR (2010) - *Produção integrada do olival*, 2ªed. Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, MADRP, Lisboa.
- DGADR (2012) - *Normas Técnicas para a produção integrada de pomóideas*. Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, MAMAOT, Lisboa.
- Dias, H.F. (1953a) - *Relatório sobre os estudos da 'Maromba' do Douro*. Estação Agronómica Nacional, Oeiras, 7 p.
- Dias, H.F. (1953b) - *Informação sobre a 'Maromba' do Douro. Seu Tratamento*. Separata do Boletim da Casa do Douro nº 85: 1167-1169. Federação dos Viticultores da Região do Douro (Casa do Douro). Imprensa do Douro, Régua.
- Ferreira da Silva, A. e Ribeiro, M.L. (1991) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 15A Vila Nova de Foz Côa e respectiva Notícia Explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Ferreira da Silva, A. e Ribeiro, M.L. (1994) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, Folha 15B Freixo de Espada à Cinta, e respectiva Notícia Explicativa*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Ferreira, N. e Castro, P. (coord.) (2009) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 17A Viseu*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa.
- Ferreira, N.; Sousa, B.M. e Romão, J.C. (1987) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 14B Moimenta da Beira*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Gärtel, W. (1974) - Boron nutrition of vines. Micro-nutrients - their significance in vine nutrition

- with special regard to boron deficiency and toxicity. *Weinberg und Keller*, vol. 21, p. 435-508.
- Goldberg, S. (1997) - Reactions of boron with soils. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 35-48.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004203723343>
- Gonçalves, L.S.V. (coord.) (1990) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 17B Fornos de Algodres*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Gupta, U.C. (1979) - Boron nutrition of crops. *Advances in Agronomy*, vol. 31, p. 273-307.
- Harder, H. (1959) - Contribution to the geochemistry of boron. I- Boron in minerals and igneous rocks and in the geochemical cycle. In: Walker, W. (ed.) - *Geochemistry of Boron*. Benchmark papers n° 23, Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, Penn, p. 47-63.
- Harder, H. (1961) - Contribution to the geochemistry of boron. III- Boron in the metamorphic rocks and in the geochemical cycle. In: Walker, W. (ed.) - *Geochemistry of Boron*. Benchmark papers n° 23, Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, Penn, p. 70-77.
- Hou, J.; Evans, I.J. e Spiers, G.A. (1994) - Boron fractionation in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 25, n. 9-10, p. 1841-1853.
<http://dx.doi.org/10.1080/00103629409369157>
- Hu, H. e Brown, P.H. (1997) - Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*, vol. 193, p. 49-58.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004255707413>
- Huang, L.; Bell, R.W. e Dell, B. (2007) - Boron modulation of chilling and freezing tolerance in leaf cells of warm season species. In: Xu, F.; Goldbach, H.; Brown, P.H.; Bell, R.W.; Fujiwara, T.; Hunt, C.D.; Goldberg, S. e Shi, L. (eds.) - *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition*. Springer, p. 31-46.
- Huang, L.; Zhengoian Y.; Bell, R.W. e Dell, B. (2005) - Boron nutrition and chilling tolerance of warm climate crop species. *Annals of Botany*, vol. 96, n. 5, p. 755-767.
<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci228>
- Jones, H.F. e Scarseth, G.D. (1944) - The calcium-boron balance in plants as related with boron needs. *Soil Science*, vol. 57, p. 15-24.
- Jordão, P.V. e Marcelo, M.E. (2005) - *Olival, Fertilização Racional*. Cadernos Rurais n°6, INIAP, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva, Associação para a Valorização Agrícola em Protecção Integrada, Alcobaça, 39 p.
- Jordão, P.V. e Silva, A.M. (1987) - *Caracterização do estado nutritivo do olival das 'Corças' e do estado de fertilidade do seu solo (trabalho preliminar com base nos resultados da campanha de 1985-86)*. INIA, Lab. Químico-Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, 10 p.
- Jordão, P.V.; Marcelo, M.E.; Lopes J.I. e Lopes P.S. (2010) - A long term experiment on olive tree with nitrogen, phosphorus and limestone fertilization. *Acta Horticulturae*, vol. 868, p. 313-318.
<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.868.41>
- Jordão, P.V.; Marcelo, M.E. e Calouro, F. (1996) - Análise da terra como meio de suporte à fertilização da oliveira em Portugal. *Ao Serviço da Lavoura*, vol. 204, p. 18-23.
- Jordão, P.V.; Marcelo, M.E.; Sempiterno, C.M.; Henriques, J.H.; Fernandes, A.; Mateus, J.; Soares, F.M. e Pinheiro-Alves, M.C. (2004) - Influência da aplicação de azoto e boro na produção da oliveira, cultivar galega e na qualidade do azeite. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 27, p. 444-453.
- Le Cocq, A.C. (1894) - *Relatório acerca da doença das vinhas do Douro, denominada maromba*. Ministério das Obras Públicas, Comércio e Indústria. Boletim da Direcção Geral de Agricultura. V (13), Imprensa Nacional, Lisboa, p. 1059-1177.
- Lehto, T.; Ruhola, T. e Dell, B. (2010) - Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, vol. 260, n. 12, p. 2053-2069.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.028>
- Loureiro, A.; Bento, J.; Vale, R.; Coutinho, J.; Lousada, J. e Altino, G. (2006) - *Relatório Final do Projecto AGRO 164 (medida 8, Acção 8.1) 2001-2005. Desenvolvimento experimental e demonstração de técnicas de produção do sobreiro em Trás-os-Montes*. Vila Real, UTAD. 31 p.
- LQARS (2000) - *Manual de fertilização de culturas*. Ed. INIA - Lab. Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, 221 p.
- Lucas, M.D. e Sequeira, E.M. (1969) - Determinação do boro nas plantas. *Pedologia*, vol. 4, p. 71-75.
- Magalhães, N. (2008) - *Tratado de Viticultura. A Videira, a Vinha e o Terroir*. Chaves Ferreira, Publicações SA, Lisboa, 605 p.
- Marcelo, E.; Maia, I.; Carvalho, T.; Lopes, J. e Madeira, C. (2005) - Equilíbrio nutricional e protecção sanitária no controlo de anomalias florais nas cultivares de oliveira Santulhana e Conserva de Elvas. In: *Actas Portuguesas de Horticultura, V Congresso Ibérico de Ciências Horticolas*, vol. 2, p. 537-543.
- Marschner, H. (1995) - *Mineral Nutrition, of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, London, 889 p.
- Martins, J.A.; Medeiros, C.; Pilar, L.; Ferro, M.N.; Mesquita, L.P. e Teixeira, C. (1963) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 18C Guarda*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

- Martins, A. (1992) - *Génes e evolução de solos derivados de granitos. Estudo duma climo-sequência no norte de Portugal*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 576 p.
- Martins, L.M.P. (2011) - *Relatório acerca da fitossanidade do castanheiro em vales: Vimioso e Rio Frio, Bragança*. UTAD, Vila Real, 23 p.
- McCarthy, M.A. e Meredith, F.I. (1988) - Nutrient data on chestnuts consumed in the United States. *Economic Botany*, vol. 42, n. 1, p. 29-36. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02859026>
- Mengel, K. e Kirkby, E.A. (2001) - *Principles of Plant Nutrition*, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 849 p.
- Mengel, K. (2002) - Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition. *Acta Horticulturae*, vol. 594, p. 33-47. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.1>
- Monteiro, M. (1911) - *O Douro: Principais Quintas, Navegação, Culturas Paisagens e Costumes*. Emílio Biel & C^a Editores, Porto, 215 p.
- Natário, M.J.V. (2001) - *Efeitos da aplicação de boro na produção de Vitis vinifera L. cv Touriga Nacional*. Relatório Final de Estágio da Licenciatura de Engenharia Agrícola, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 53 p.
- Neiva, A.M.R. (1974) - Geochemistry of tourmaline (schorlite) from granites, aplites and pegmatites from Northern Portugal. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, vol. 38, p. 1307-1317. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90124-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(74)90124-0)
- Nogueira, B.T.E. (2008) - *Validação para a viticultura duriense de uma metodologia inovadora na aplicação de boro ao solo*. Relatório Final de Estágio da Licenciatura de Engenharia Agrícola, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 74 p.
- Nyomara, A.M.S. e Brown, P.H. (1999) - Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. *HortScience*, vol. 34, n. 2, p. 242-245.
- Oliveira, J.T. e Pereira, E. (coord.) (1992) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:500000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pacheco, C.; Calouro, F.; Duarte, L.; Vicente, M.A.; Santos R. e Santos, F. (1996) - The effect of boron application on the yield of a vineyard in the Portuguese region of Beira Interior. In: *Proceedings of the IX International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition, 8-15 September, 1996, Prague*. p. 213-217.
- Pereira, A. (1957) - *Ensaio de elementos mínimos em algumas espécies cultivadas*. Ministério de Economia DGSA, Brigada Técnica VII Região, Guarda, 23 p.
- Pereira, E. (coord.) (2000) - *Carta Geológica de Portugal à escala 1:200000 folha 2*, Instituto Geológico, Lisboa.
- Pereira, E. (coord.) (2006) - *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal à esc. 1:200000, folha 2*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Perica, S.; Brown, P.H. e Connell, J.H. (2001) - Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. *HortScience*, vol. 36, n. 4, p. 714-716.
- Petri, L. (1934) - Rassegna dei casi fitopatologici osservati nel 1933. Parte I- B. Mollatie dell'olivo. Disseccamento di piante di olivo nel continente di Mirandella (Portugallo). *Bolletino della Stazione di Patologia Vegetale*, vol. 14, p. 11-19.
- Portela, E. (2002) - Manuring in Barroso: fertilizer value of manures and manuring practices. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 25, p. 40-56.
- Portela, E. e Louzada, J. (2012) - Early diagnosis of boron deficiency in chestnuts. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 35, n. 2, p. 304-310. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2012.636132>
- Portela, E. e Pinto, R. (2004) - *Práticas culturais em soutos de Trás-os-Montes e relação com a incidência do cancro*. Relatório do Projecto AGRO 151. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 48 p.
- Portela, E. e Portela, J. (1996) - *Práticas Culturais nos Soutos da Padrela*. PDRITM II. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 32 p.
- Portela, E. e Sismeiro, R. (2011) - Morte súbita do Castanheiro: geada ou falta de boro? *Frutas, Legumes e Flores*, vol. 117, p. 58-62.
- Portela, E.; Ferreira-Cardoso, J.; Louzada J. e Laranjo, J. (2015) - Assessment of boron application in chestnuts: Nut yield and quality. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 38, n. 7, p. 973-987. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2014.963116>
- Portela, E.; Ferreira-Cardoso, J. e Louzada, J. (2011) - Boron application on a chestnut orchard. Effect on yield and quality of nuts. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 34, n. 9, p. 1245-1253. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2011.580812>
- Portela, E.; Martins, A.; Pires, A.L.; Raimundo, F. e Marques, G. (2007) - Cap. 6 - Práticas culturais no soto: o manejo do solo. In: Gomes-Laranjo, J. Ferreira-Cardoso, J. Portela, E. e Abreu, C.G. (Eds.) - *Castanheiros*. Programa Agro 499. UTAD, Vila Real, p. 207-264.
- Portela, E.A.C. (1989) - *Avaliação da Disponibilidade de Potássio em Solos de Trás-os-Montes*. Contribuição para

- o seu Estudo*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 220 p.
- Portela, E.A.C. (1993) - Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. *Plant and Soil*, vol. 154, p. 13-20.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00011065>
- Reeve, E. e Shive, J.W. (1944) - Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Science*, vol. 57, n. 1, p. 1-14
- Reisenauer, H.M.; Walsh, L.M. e Hoelt, R.H. (1973) - Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Walsh L.M. e Beaton, J.D. (eds.) - *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA, p. 173-200.
- Rerkasem, B. e Jamjod, S. (1997) - Genotypic variation in plant response to low boron and implication for plant breeding. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 169-179.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004220226977>
- Ribeiro, O. e Ferreira, C.R. (1966) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 24D Castelo Branco*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Ribeiro, O.; Teixeira, C. e Ferreira, C.R. (1967) - *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 24D Castelo Branco*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Rodrigues, M.A. e Arrobas, M. (2008) - Effect of soil boron application on flower bud and leaf boron concentrations of olives. *Acta Horticulturae*, vol. 791, p. 393-396.
<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.791.57>
- Rodrigues, M.A.; Arrobas, M. e Bonifácio, M. (2005) - Análise de terras em olivais tradicionais de sequeiro. O efeito da aplicação localizada de fertilizantes. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 28, n. 2, p. 167-176.
- Rodrigues, M.A.; Correia, C.M.; Lopes, J.I. e Pavão, F.M. (2007) - *Relatório final do projecto AGRO 743, Estratégias para a minimização da safra e contra safra do olival*. CIMO-IPB, Bragança, 43 p.
- Rodrigues, M.A.; Pavão, F.; Lopes, J.I.; Gomes, V.; Arrobas, M.; Moutinho-Pereira, J.; Ruivo, S.; Cabanas, J.E. e Correia, C.M. (2011) - Olive yields and tree nutritional status during a four-year period without nitrogen and boron fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 42, n. 7, p. 803-814.
<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2011.552656>
- Rose, E.F.; Carignan, J. e Chaussidon, M. (2000) - Transfer of atmospheric boron from the oceans to the continents: An investigation using precipitation waters and epiphytic lichens. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 10. Paper number 2000GC000077. AGU and Geochemical Society.
- Santos, J.S.P.; Teixeira Lopes, J.V. e Correia Pereira, V.M. (1972) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 14D Aguiar da Beira*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Sequeira, E.M. e Lucas, M.D. (1968) - Determinação do boro extraível dos solos. *Pedologia*, vol. 3, p. 95-99.
- Shear, C.B. e Faust, M. (1980) - Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Horticultural Reviews*, vol. 2, p. 142-163.
<http://dx.doi.org/10.1002/9781118060759.ch3>
- Shorrocks, V.M. (1989) - *Boron deficiency. Its prevention and cure*. London: Borax Consolidated Ltd, 44 p.
- Shorrocks, V.M. (1997) - The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, vol. 193, n. 1-2, p. 121-148.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004216126069>
- Sillanpää, O. (1990) - *Micronutrient assessment at country level: an international study*. FAO Soils Bulletin 63, Rome, 178 p.
- Silva A.P.; Rosa, E. e Haneklaus, H. (2003) - Influence of boron application on fruit set and yield of hazelnut. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 26, n. 3, p. 561-569.
<http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120017665>
- Silva, J.M.V. (1983) - Estudo mineralógico da argila e do limo de solos derivados de granitos e rochas básicas da região de Trás-os-Montes. *Garcia de Orta - Série de Estudos Agronómicos*, vol. 10, n. 1-2, p. 27-36.
- Sims, J.R. e Bingham, F.T. (1967) - Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: I. Layer silicates. *Soil Science Society of American Proceedings*, vol. 31, p. 728-732.
- Soveral-Dias, J.C.; Jordão, P.V.; Marcelo, M.E.; Calouro, F.; Antunes, A.F.; Cordeiro, A.M.; Santos, L.S. e Morais, N. C. (2000) - *Produção integrada da oliveira. Fertilização e outras práticas culturais*. DGPC, INIA, DGD, Lisboa, 47 p.
- Tariq, M. e Mott, C.J.B. (2007a) - Effect of applied calcium-boron ratio on the accumulation of nutrient-elements by radish (*Raphanus sativa* L.). *Journal of Agricultural and Biological Science*, vol. 2, n. 2, p. 4-13.
- Tariq, M. e Mott, C.J.B. (2007b) - Effect of applied calcium-boron ratio on the availability of each to radish (*Raphanus sativa* L.). *Sarhad Journal of Agriculture*, vol. 23, p. 357-363.
- Teixeira, A.J.S.; Sequeira, E.M.; Lucas, M.D.; Coutinho, A.S. e Castro, L.F.M. (1971) - Soil micronutrients map of Portugal. *Agronomia Lusitana*, vol. 30, p. 293-304.
- Teixeira, A.J.S.; Sequeira, E.M.; Lucas, M.D. e Santos, M.J. (1981) - Solos derivados de granitos e xistos da região noroeste de Portugal. Micronutrientes totais e extraíveis. *Pedologia*, vol. 16, p. 1-99.
- Teixeira, A.P.F.; Fernandes, A.P. e Peres, A. (1967)

- *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 10C Peso da Régua*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Teixeira, C.; Martins, J.A.; Medeiros, A.C.; Pilar, L.; Mesquita, L.P. e Ferro, M.N. (1963) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50 000, folha 18C Guarda*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C.; Santos, G.P. e Carvalho, H.F. (1974) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 20B Covilhã*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C.; Santos, G.P.; Lopes, V.T.; Pilar, L. e Pereira, V.C. (1972) - *Carta Geológica de Portugal à esc. 1:50000, folha 14D Aguiar da Beira*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Vale, R. (1988) - *O boro em solos e culturas do nordeste de Portugal*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 179 p.
- Vale, R. (1990) - Anomalia ocorrida em *Pinus pinaster* provocadas por deficiência de boro. In: *Actas do II Congresso Florestal Nacional*, Porto, p. 325-336.
- Vale, R.; Coutinho, J. e Bento, J. (1994) - Deficiência de boro em eucalipto na região de Trás-os-Montes. In: *Actas do III Congresso Florestal Nacional*, Figueira da Foz, 1. p. 356-363.
- Vale, R.; Coutinho, J. e Bento, J. (1999) - Boron deficiency in a young *Pinus pinea* plantation. In: Beech, J. (Ed.) - *Extended Abstracts of the 6th International Meeting of Soils with Mediterranean Type Climate*. 4-9 July, Barcelona, p. 363-365.
- Valente, C.M. (1993) - *A disponibilidade de boro nos solos derivados de granitos de duas micas no distrito de Vila Real*. Relatório Final de Estágio da Licenciatura de Engenharia Agrícola, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 32 p.
- Wells, M.L.; Conner, P.J.; Funderburk, J.F. e Price, J.G. (2008) - Effects of foliar-applied boron on fruit retention, fruit quality, and tissue boron concentration of pecan. *HortScience*, vol. 43, n. 3, p. 696-699.
- Wimmer, M.A. e Eichert, T. (2013) - Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, vol. 203-204, p. 25-32.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.12.012>