

# Deficiências de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal

## Magnesium deficiencies in soils and crops in Northern Portugal

E. Portela<sup>1</sup> & J. Louzada

### RESUMO

Diversos estudos realizados no Norte de Portugal têm alertado para a ocorrência de carências de magnésio ou para a possibilidade de deficiente nutrição magnésiana nalgumas culturas. A partir de Julho-Agosto, pode observar-se a sintomatologia de carência de Mg em diversas zonas daquela região em culturas como o milho, em arbóreas e arbustivas, e ainda em espécies florestais.

Em Trás-os-Montes e Alto Douro e no Entre-Douro e Minho, as deficiências de Mg nas culturas têm-se observado sobretudo em solos desenvolvidos em xistos do Silúrico e do Ordovício, em xistos do Precâmbrico e Câmbrico do complexo Xistograuváquico e em solos provenientes de granitos predominantemente alcalinos de duas micas. Nas formações silúricas, ordovícias e do complexo Xisto-grauváquico dominam as seguintes litologias: quartzofilitos feldspáticos, filitos, micaxistos, xistos grafitosos, ampelitos, liditos, psamitos, grauvaques, siltitos e, ainda, quartzitos xistóides e quartzitos. As unidades-solo onde, frequentemente, se tem observado baixas concentrações foliares de Mg, ou mesmo sintomas da carência de Mg são: os Cambissolos e Leptossolos úmbricos; os Cam-

bissolos e Leptossolos dístricos; os Regossolos úmbricos; os Fluvisolos dístricos e úmbricos; e, ainda, os Antrossolos úmbricos, cumúlicos e áricos.

Alguns dos dados aqui apresentados foram coligidos, não só em estudos em que o principal objectivo foi o da confirmação da deficiência de Mg, mas também em levantamentos do estado nutritivo de diversas culturas. Na maioria dos estudos utilizou-se como método de diagnóstico as concentrações foliares de Mg, mas também foram identificadas razões entre nutrientes, nomeadamente Mg/N e Mg/K, associadas à carência de Mg. Nalguns deles determinou-se o limiar a partir do qual se observaram as deficiências de Mg. Em quase todos os trabalhos se encontraram correlações entre as concentrações foliares de Mg e diversos parâmetros químicos do solo, como os teores de  $Mg^{2+}$  na solução do solo e o  $Mg^{2+}$  de troca, com as razões  $Mg^{2+}/K^+$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ,  $Mg^{2+}/CTC$ ,  $Mg^{2+}/NH_4^+$  e  $Mg^{2+}/Al^{3+}+H^+$ , ou com o efeito combinado destas razões.

A carência de Mg parece ser clássica em solos ácidos provenientes de material originário pobre em Mg, mas também pode ser despoletada por factores locais, ou por práticas culturais desajustadas.

<sup>1</sup> Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-911 Vila Real, e-mail: eportela@utad.pt

## ABSTRACT

Several studies carried out in Northern Portugal have drawn attention to the occurrence of magnesium deficiencies or deficient Mg nutrition in different crops. From July-August onwards symptoms of Mg deficiency can be observed in certain areas of this region in maize, fruit crops, fruit-trees and forest species.

In the Trás-os-Montes and Alto Douro region and in the Entre-Douro and Minho region, Mg deficiencies in crops have been detected predominantly in soils located on schists of the Siluric and Ordovician, on schists of Precambrian and Cambrian of the Schist and Greywacke complex, and soils derived from two-mica alkaline granite. The following lithology is found in the schists and in the Schist and Greywacke complex: feldspar quartz-phyllites, phyllites, micaschists, graphytic slates, siltstones, ampelites, lydites, psamites, greywackes, phyllito-quartzites and quartzites. The soil units where low foliar Mg concentrations or visible Mg deficiencies in crops more often observed are: Dystric and Umbric Leptosols, Umbric Regosols, Dystric and Umbric Cambisols, Dystric and Umbric Fluvisols, Umbric and Aric Anthrosols and Cumulic Anthrosols.

Some of the data presented here were gathered from studies where the main purpose was the confirmation of Mg deficiencies and surveys to assess the nutritional status of various crops. The majority of the studies used, as a diagnostic tool, both the foliar Mg concentrations and, in some cases, the nutrient ratios Mg/N and Mg/K. In some studies, the threshold values for the occurrence of Mg deficiencies were determined. Most studies showed correlations between foliar Mg concentrations and several soil chemical parameters, such as soil solution  $Mg^{2+}$ , exchangeable  $Mg^{2+}$ , ratios between

exchangeable cations  $Mg^{2+}/K^+$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+} + Mg^{2+}$ ,  $Mg^{2+}/Ca^{2+} + Mg^{2+}+K^+$ ,  $Mg^{2+}/CTC$ ,  $Mg^{2+}/NH_4^+$  and  $Mg^{2+}/Al^{3+}+H^+$  or the combination of some of these ratios.

Mg deficiency seems to be a classic problem in acid soils derived from parent material poor in Mg, but it can also be triggered by local factors or by inappropriate management practices.

## INTRODUÇÃO

De Junho a Outubro pode observar-se, com certa frequência, a sintomatologia da carência de magnésio em diversas zonas do Entre-Douro e Minho e de Trás-os-Montes e Alto Douro em culturas sachadas como o milho e a batata, em arbóreas e arbustivas, como na vinha, no pessegueiro, na cerejeira, na oliveira e no castanheiro e, ainda, em espécies florestais, como o carvalho e o pinheiro.

Embora a sintomatologia da carência de Mg seja bastante típica e notória nas culturas, a maioria dos agricultores de Trás-os-Montes desconhece-a. Estes, em geral, não relacionam o aspecto visual da deficiência de Mg com a sua carência no solo (Portela & Pinto, 2004). Também na região de Entre-Douro e Minho, Veloso *et al.* (2004a, b) fazem notar que existe bastante desconhecimento por parte dos viticultores da carência de Mg.

Não obstante a deficiência de Mg ser reportada em relatórios e em diversos estudos feitos na região Norte e apesar dos alertas baseados em análises de solos e foliares, ou na necessidade da correcção da acidez do solo através da aplicação de calcários magnesianos ou pulverizações com sulfato de magnésio (Melo, 1980; Portela, 1981; Costa, 1982; Coutinho *et al.*, 1984; Portela & Coutinho, 1986; Jordão, 1989; Pires *et al.*, 1991a,b, 1992; Coutinho &

Veloso, 1997; Portela *et al.*, 1999, 2003; Veloso *et al.*, 2004a,b), esta prática não se encontra generalizada entre os agricultores. Em Trás-os-Montes, a aquisição de calcários magnesianos é bastante difícil, pois raramente estão acessíveis no mercado.

A maioria dos estudos efectuados na região Norte foi motivada por anomalias ou quebras de produtividade observadas em plantas cultivadas ou em árvores com crescimentos reduzidos. Aqueles basearam-se em inventariações efectuadas ao estado nutritivo de culturas, desde plantas pratenses e sachadas até espécies arbóreas e arbustivas. Existem poucos dados que mostrem as relações entre a nutrição magnésiana e a produção-qualidade.

Os estudos mais aprofundados das deficiências de Mg na Europa durante os anos 70-80 do século XX foram despoletados pela generalização do fenómeno da descoloração e desfoliação das árvores em vastas áreas de floresta, o qual foi designado por “declínio da floresta”. Este declínio foi atribuído, em muitos casos, à carência de Mg, tendo-se considerado, como um dos factores potenciadores, as deposições atmosféricas ácidas e as entradas anormais de N nos solos florestais. Ambos conduziram a saídas elevadas de Mg dos ecossistemas, particularmente a perdas por lixiviação. Os dados publicados em Portugal (Portela & Pires, 1995; Coelho *et al.*, 1999) não parecem suscitar, até ao momento, preocupação quanto ao efeito pernicioso das deposições atmosféricas ácidas ou entradas excessivas de N.

Para uma melhor compreensão da ocorrência das carências de nutrientes, nomeadamente de Mg, é da maior utilidade a realização do balanço de nutrientes, quer nos sistemas agrícolas, quer nos florestais. Porém, em Portugal existem poucos estudos deste cariz, tendo surgido alguns que apenas quantificaram algumas parcelas

desse balanço. O material originário do solo e a sua taxa de meteorização são certamente determinantes do estado do Mg nos solos, mas há outros factores que condicionam o balanço do Mg, como as entradas através de precipitação e fertilização e as saídas através da exportação das culturas, podas, lixiviação e erosão. As entradas de Mg através da precipitação bruta, medidas em Trás-os-Montes durante a década de 90 são, no geral, reduzidas. Isto é, da ordem de 1,4 kg/ha (Portela & Pires, 1995), raramente atingindo 2 kg/ha e o pH não desce abaixo de 5,6 (dados não publicados). Para a mesma zona, Portela & Pires (1998) indicam perdas de Mg<sup>2+</sup> por lixiviação da mesma ordem de magnitude das entradas por precipitação. Quanto às saídas de nutrientes, existem hoje mais dados, nomeadamente os referentes à lenha de poda e exportação pelas culturas (Santos *et al.*, 2001; Pacheco *et al.*, 2004).

Para além da capacidade dos solos fornecerem o Mg, há condicionalismos que podem influenciar a nutrição magnésiana e a severidade da carência de Mg como a exposição à luz, disponibilidade de água e factores de ordem genética (Ende & Evers, 1997).

Neste trabalho de revisão faz-se uma inventariação das litologias onde mais amiúde se têm detectado as carências de Mg, bem como das respectivas unidades pedológicas. Indicam-se para algumas culturas a sintomatologia da carência de Mg e os limiares críticos a partir dos quais se observaram esses sintomas. Também foram identificadas razões entre nutrientes associadas à deficiência de Mg. Quanto aos solos, buscaram-se os parâmetros que melhor se correlacionavam com os teores foliares e que explicavam o aparecimento da carência de Mg.

Teve-se em conta estudos realizados desde 1980 na região Norte de Portugal,

mas também: (i) observações circunstanciais efectuadas nas últimas três décadas; (ii) observações sistemáticas para identificação da carência de Mg em culturas, através de percursos seleccionados com base nas cartas geológicas; e, ainda, (iii) os alertas para as carências de Mg em diversas culturas dados por profissionais. Consideraram-se dados já publicados, mas também resultados apresentados em relatórios de investigação, e ainda, dados não publicados, pertencentes aos autores do presente trabalho. Será dado maior destaque ao castanheiro, já que os estudos que incidiram sobre esta espécie foram mais detalhados. A maior parte dos dados aqui apresentados para o castanheiro encontram-se publicados, excepto os respeitantes às Figuras 1, 2 e 3; todavia, as metodologias de trabalho foram as mesmas que as referidas nos trabalhos anteriores sobre o assunto.

## LITOLOGIA E SOLOS

Em Entre-Douro e Minho e Trás-os-Montes e Alto Douro, as deficiências de Mg nas plantas têm-se observado sobretudo em solos desenvolvidos em xistos do Silúrico e do Ordovício, em xistos do Precâmbrico e Câmbrico do complexo Xisto-grauváquico e em solos provenientes de granitos predominantemente alcalinos de duas micas (Cartas Geológicas à escala de 1:200 000 folhas 1 (Pereira, 1992) e 2 (Pereira, 2000) e à escala 1:50 000 folha 7D (Pereira *et al.*, 2000)). Os xistos estão enquadrados em diferentes formações geológicas complexas denominadas: Pelito grauváquico (SPX), Filito-quartzítica (OFQ), Quartzitos Superiores e Quartzítica (SPQ) e, ainda, do Complexo Xisto-grauváquico (formação De) (Ribeiro, 1974; Pereira, 1992, 2000; Ribeiro, 1998; Pereira *et al.*, 2000). Nestes formações mais ou menos complexas dominam as seguintes

litologias: quartzofilitos feldspáticos, filitos, micaxistos, xistos grafitosos (cinzentos ou negros), ampelitos, liditos, psamitos, grauvaques, siltitos e, ainda, quartzitos e quartzitos xistóides.

No caso das rochas graníticas, o Mg provém quase exclusivamente da biotite. Os valores relativos à composição dos granitos de Trás-os-Montes, onde se têm detectado carências de Mg nas culturas, revelam teores de biotite reduzidos (1- 4%) e teores de MgO na rocha que variam entre 0,02% e 0,85% (Ribeiro, 1980; Sousa, 1982; Vilela de Matos, 1991; Martins, 1998). Já na região de Entre-Douro e Minho, os granitos apresentam composição mais variada e com maior percentagem de biotites (Pereira, 1992; Martins, 1998). Os dados relativos à composição dos granitos biotíticos do Entre-Douro e Minho (Pereira, 1992) mostram, dum modo geral, maiores teores de MgO (0,39-2,27%). Porém, nem sempre isso garante um fornecimento suficiente de Mg às culturas. Por exemplo, a partir dos dados de Veloso (1995) e de Coutinho & Veloso (1997) pôde verificar-se que, embora 90% dos pomares de *Actinidia deliciosa* se encontre em solos derivados de granitos biotíticos, a avaliação feita ao seu estado nutritivo revelou que 30% das amostras apresentavam teor foliar de Mg abaixo do limiar crítico. De igual modo, em videiras da casta Alvarinho, cultivadas em solos originados a partir de granitos biotíticos de Monção, constatou-se que os teores foliares de Mg se situavam, na maioria das amostras, abaixo dos valores de referência (Veloso *et al.*, 2004a).

Os xistos, acima referidos, têm composição variada, mas a biotite continua a ser a principal fonte de Mg. O MgO apresenta teores mais baixos nas rochas quartzofeldspáticas (0,88-2,00%) e nos quartzofilitos (0,26-1,60%), mas são sobretudo muito baixos nos metagrauvaques, nos xistos gra-

fitosos, nos lilitos, nos quartzitos e xistos quartzíticos (0,00-1,25%) conforme dados de Sousa (1982) e de Ribeiro (1998).

Com base nas cartas de solos de Trás-os-Montes e Alto Douro (Agroconsultores-Coba, 1991) e de Entre-Douro e Minho (Agroconsultores-Geometral, 1995) e nos estudos de Coutinho *et al.* (1984), Portela & Coutinho (1986), Jordão (1989), Pires *et al.* (1991a,b, 1992), Trindade *et al.* (1993), Coutinho & Veloso (1997), Portela *et al.* (2003) e de Veloso *et al.* (2004a,b) constata-se que as unidades solo onde se tem observado amiúde carências de Mg são: Cambissolos e Leptossolos úmbricos derivados de granitos e de xistos; Cambissolos e Leptossolos dístricos derivados de xistos; Fluvissolos dístricos e úmbricos desenvolvidos em materiais aluvionares de granitos e de xistos; Regossolos úmbricos espessos derivados de granitos; e, ainda em Antrossolos úmbricos de 'mistura' derivados de granitos e de xistos, bem como em Antrossolos áricos terrácicos úmbricos e dístricos e nos Antrossolos cumúlicos dístricos desenvolvidos em granitos.

Dois dos parâmetros utilizados na caracterização pedológica são o  $Mg^{2+}$  de troca e a capacidade de troca catiónica (CTCp), ambos determinados com o acetato de amónio 1M a pH 7. Se considerarmos o limiar do  $Mg^{2+}$  de troca  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  ou o limiar 4% no complexo de troca ( $Mg^{2+}/CTCp$ ) para a emergência de carências de Mg (Mengel & Kirkby, 2001), é possível verificar, apenas com recurso às memórias descritivas das cartas de solos, que um grande grupo de solos da região Norte propicia a ocorrência de deficiências de Mg nas culturas. Na compilação efectuada por Martins & Coutinho (1988) aos dados da carta de solos de Trás-os-Montes e Alto Douro, verifica-se que no grande grupo dos Cambissolos dístricos e Cambissolos úmbricos, quer desenvolvidos em xisto,

quer em granito, o  $Mg^{2+}$  de troca não chega a atingir o valor de  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  e a proporção  $Mg^{2+}/CTCp$  raramente alcança os 4%. Nos solos formados a partir de granito, os valores de  $Mg^{2+}$  de troca encontram-se, por vezes, bastante abaixo deste limiar, tendo-se obtido um valor médio da ordem de  $0,13 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . O estudo de Coutinho (1989), efectuado em solos de reacção ácida de diversas unidades pedológicas distribuídas pela região Norte, mostra que, num total de 144 solos, cerca de metade apresentavam teores de  $Mg^{2+}$  de troca  $<0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  e mais de 60% das amostras com  $Mg^{2+}/CTCp <4\%$ . Outros levantamentos mais restritos, por exemplo, o de Portela *et al.* (1985), revelam que num total de 57 parcelas cultivadas com centeio no concelho de Montalegre, 80% dos solos apresentavam teores de  $Mg^{2+}$  de troca  $<0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ , tendo atingido em duas parcelas o valor mínimo  $0,02 \text{ cmolc kg}^{-1}$  (em Cambissolos úmbricos derivados de granitos). Também a inventariação de Pires *et al.* (1991a), realizada em Trás-os-Montes, mostra que 20% das 40 parcelas cultivadas com milho apresentavam  $Mg^{2+}$  de troca  $<0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  e em 60% dos casos a proporção  $Mg^{2+}/CTCp$  era  $<4\%$ .

Com excepção dos solos provenientes de rochas dos complexos básicos e ultrabásicos de Morais e de Bragança, a grande maioria dos solos desenvolveram-se a partir de rochas ácidas e pobres em elementos alcalinoterrosos, particularmente em Mg. Portanto, é de esperar que uma parte significativa dos solos apresente teores baixos em  $Mg^{2+}$  de troca. Sem dúvida que uma das principais fontes de Mg para as plantas resulta da meteorização dos minerais primários do solo. Por conseguinte, o material originário e a taxa de alteração dos minerais serão cruciais na disponibilização do Mg para as plantas, pelo menos em Trás-os-Montes, já que os contributos provenientes da precipitação são reduzidos (Portela & Pires, 1995).

Com efeito, os ganhos resultantes da precipitação nas zonas do interior são baixos, se comparados com os das zonas mais próximas do litoral (3,6 e 5,4 kg/ha de Mg por ano, referidos por Coelho *et al.*, 1999) ou, se confrontados com os valores >7 kg/ha anuais que ocorrem em certas áreas do litoral da Europa do Norte (Landmann *et al.*, 1997). Estes autores admitem que este valor seja mesmo suficiente para prevenir carências de Mg em espécies florestais.

### A CARÊNCIA DE MAGNÉSIO E AS CONCENTRAÇÕES FOLIARES

#### Sintomas da deficiência de Mg

A sintomatologia da carência de Mg pode passar despercebida se a deficiência de Mg não for grave. Todavia, a observação atenta durante o período de Verão, permite identificá-la em diversas culturas. A sua expressão tem um padrão bastante regular, apesar de existirem diferenças entre culturas. A manifestação mais comum da deficiência de Mg traduz-se no amarelecimento ou clorose entre as nervuras, que se inicia nas folhas mais velhas e que se estende posteriormente para as mais novas. Em casos extremos, as áreas cloróticas tornam-se necróticas. Nas árvores de fruto, sobretudo nos ramos onde há mais frutificação, os sintomas são mais notórios devido ao facto do fruto ser um receptor de Mg (Shear & Faust, 1980; Slovík, 1997). Nos casos mais sérios da deficiência de Mg, pode observar-se desfoliação prematura que se inicia nas folhas mais velhas. A queda prematura das folhas foi observada no Entre-Douro e Minho na videira (Melo, 1980) e em Trás-os-Montes no castanheiro (Portela *et al.*, 2003) e na oliveira (Jordão & Marcelo, 2005). A carência de Mg tam-

bém pode originar distúrbios fisiológicos, sendo o mais conhecido o que ocorre nas videiras e que é designado por *secura do engaço* (Melo, 1980).

Descreve-se, em seguida, os casos específicos reportados em diversos trabalhos ou que observámos na região Norte. Nalgumas espécies, os sintomas traduzem-se no avermelhamento das folhas. Com efeito, a sintomatologia descrita para a vinha da região do Douro refere o avermelhamento das folhas e necrose na margem das folhas (Coutinho *et al.*, 1984). Mas, nas castas brancas, o padrão é o mais vulgar, surgindo o amarelecimento nas margens da folha, o qual vai avançando para o interior das mesmas sob a forma digitada, permanecendo verdes as nervuras. Esta carência de Mg foi descrita por Melo (1980) para a casta Azal branco na região Demarcada de Vinhos Verdes.

No milho, a clorose entre as nervuras observa-se em tiras paralelas de coloração amarelo esbranquiçado, ou pontuações verdes e esbranquiçadas alternadas formando estrias descontínuas. Também pode notar-se um avermelhamento nas riscas cloróticas e nas margens das folhas, que acabam por ficar necróticas. Temos observado este avermelhamento, mais amiúde, nos concelhos de Montalegre e de Vila Pouca de Aguiar.

Jordão & Marcelo (2005) descrevem, para a oliveira, o aparecimento duma coloração verde clara ou amarelada, a qual pode surgir, quer na parte apical das folhas, quer nas suas margens. Neste caso, a clorose evolui da periferia para o centro, permanecendo verdes a base, o topo e a nervura principal. Por vezes observam-se necroses em algumas folhas. Os sintomas surgem normalmente nas folhas mais velhas dos crescimentos do ano, sendo mais facilmente visíveis a partir do Outono.

**QUADRO 1 - Parâmetros biométricos das folhas e das árvores em castanheiros com e sem sintomas de deficiência de Mg**

Sintomas	Folha			Árvore				
	Comp m	Largura m	Área foliar $\times 10^{-4} \text{ m}^2$	IAF $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	Alt m	Dap m	Produção kg/árvore	Calibre frutos/kg
Folhas verdes	0,152a	0,051a	2,04a	2,04a	5,8a	0,26a	8,3a	66a
Clorose ligeira	0,146b	0,051a	1,53ab	1,53ab	4,4b	0,20b	4,9b	78ab
Clorose severa	0,129c	0,047b	0,97b	0,97b	3,1c	0,16c	3,6b	99c

Comp – comprimento; IAF – índice de área foliar; Alt – altura; Dap - diâmetro à altura do peito. Em cada coluna, os valores seguidos duma letra comum não são significativamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ) pelo teste de Duncan. Fonte: Portela *et al.* (1999)

No castanheiro as folhas exibem uma descoloração entre as nervuras, que se inicia no centro da folha; nos casos mais graves, toda a folha fica amarela e com manchas castanho dourado junto da nervura principal (Portela *et al.*, 2003). A carência de Mg também se manifesta na morfologia da folha e da árvore. Assim, as folhas apresentam tamanho mais reduzido e outros parâmetros da árvore como, o índice de área foliar, a altura, o diâmetro à altura do peito, a produção e calibre do fruto são igualmente afectados (Quadro 1).

Saliente-se que, dum modo geral, quando os sintomas da carência de Mg se declaram de forma perceptível já os desequilíbrios nutritivos são marcados e a produção-qualidade terão sido afectados. Daí a importância dos levantamentos ao estado nutritivo das culturas, a fim de se ajustar a fertilização em tempo útil, de modo a prevenir a sua carência.

### Concentrações foliares de Mg e relações com outros nutrientes

A análise foliar mantém-se como um dos instrumentos mais fiáveis para diagnosticar e quantificar a carência de Mg. A concentração foliar de Mg é naturalmente o indicador mais utilizado para avaliar o estado nutritivo das plantas e para confirmar os

sintomas visíveis da carência de Mg, mas também as razões entre o Mg e outros nutrientes, particularmente o N e o K. As razões N/Mg e K/Mg podem mesmo revelar uma nutrição desequilibrada e carência latente de Mg para teores foliares comparativamente mais elevados.

Mengel & Kirkby (2001) indicam, para a generalidade das plantas, o valor  $2 \text{ g kg}^{-1}$  como o limiar para a ocorrência da deficiência de Mg, enquanto Shear & Faust (1980) estabeleceram o intervalo 2-2,5  $\text{g kg}^{-1}$  para fruteiras. Bonneau (1995) indica o limiar  $0,6 \text{ g kg}^{-1}$  para resinosas e o intervalo 1,0-1,4  $\text{g kg}^{-1}$  para folhosas. Kopinga & Burg (1995) referem a amplitude de 1,1-2,0  $\text{g kg}^{-1}$  para folhosas e a razão  $\text{K/Mg} > 9$  acima da qual poderão surgir deficiências de Mg. Quanto à razão N/Mg, Ende & Evers (1997) indicam o intervalo 23-35 acima do qual se pode observar a carência de Mg nalgumas folhosas.

Melo (1980) encontrou, em vinhas com carência de Mg, concentrações foliares da ordem de  $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ , e desequilíbrios acentuados com o K e N. Ambas as razões K/Mg e N/Mg eram superiores a 26. Coutinho *et al.* (1984) apuraram que a carência de Mg em vinhas ocorria sempre que as folhas apresentavam concentrações de Mg inferiores a  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  e acima de  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$  não houve expressão da carência. Estes

autores também verificaram que os sintomas visíveis estavam sempre presentes para valores da razão K/Mg superiores a 10 e quando a razão era inferior a 6 eles não foram detectados.

Jordão (1989) indicou um teor foliar médio de  $0,34 \text{ g kg}^{-1}$  em oliveiras com sintomas de carência de Mg no concelho de Mirandela. É provável que este valor esteja bastante abaixo do limiar a partir do qual se poderá observar a carência de Mg, pelo menos tendo em conta os valores de referência sugeridos para a oliveira em Portugal. Deve salientar-se que quando calculamos as razões K/Mg e N/Mg com base nos dados fornecidos pelo autor, verificamos que estas razões eram excessivamente elevadas (40 e 43 respectivamente), indiciando acentuados desequilíbrios nutritivos. Estes poderão ter sido induzidos por fertilização desajustada, uma vez que o autor refere que a análise de terra não terá sugerido haver falta de Mg no solo. Quanto a esta cultura, Soveral-Dias (2000) indica concentrações foliares de  $1-3 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg como as adequadas, em amostras do terço médio dos lançamentos de primavera recolhidas no repouso invernal.

A carência de Mg é comum no castanheiro, sobretudo em árvores jovens, mas a sua ocorrência pode mesmo observar-se em árvores com 50 anos. No levantamento ao estado nutritivo de 26 soutos (Portela *et al.*, 2003), determinou-se uma concentração foliar média  $0,5 \text{ g kg}^{-1}$  em árvores com sintomas muito evidentes da carência de Mg. Nas árvores de aspecto normal e pertencentes ao mesmo souto obteve-se valores de  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ . Nos soutos com castanheiros vigorosos e sem indícios de carências, as folhas apresentavam um teor médio  $2,7 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg.

Num outro estudo (alguns dados publicados em Portela *et al.*, 1999) conduzido em Macedo Cavaleiros em dois soutos

adjacentes, com cerca de 20 anos (um com sintomas de carência de Mg e outro homogéneo e em boas condições de produção), determinou-se uma concentração foliar média de Mg nas árvores com sintomas  $0,7 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 1), bastante inferior às concentrações foliares nos castanheiros sem sintomas ( $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) ou no souto em boas condições de produção ( $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Coutinho & Veloso (1997) consideraram, para a região de Entre-Douro e Minho, que valores inferiores a  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg eram pouco adequados para o crescimento da actínídea. Para a mesma região, Veloso *et al.* (2004a, b) consideraram o intervalo de referência  $2,0-3,0 \text{ g kg}^{-1}$  e  $2,0-4,0 \text{ g kg}^{-1}$  de Mg na fracção pecíolo de videiras, respectivamente em castas Alvarinho e Avesso, para a obtenção de um compromisso produção-qualidade aceitáveis.

Tendo em conta os dados de Costa (1982), verifica-se que a cultura do lúpulo parece exigir níveis mais elevados de Mg que outras culturas. Num estudo exploratório efectuado no concelho de Braga, o autor encontrou, em plantas com sintomatologia da carência, concentrações foliares de Mg cerca de metade do observado nos pés normais (isto é  $2,7 \text{ g kg}^{-1}$  contra  $5,5 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente). O autor considerou que para concentrações foliares de Mg abaixo dos  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  o lúpulo se encontra em situação de deficiência.

Por vezes, na separação entre plantas com carência de Mg e plantas normais, as razões K/Mg e N/Mg revelam-se muito úteis como método de diagnóstico da deficiência de Mg. No estudo já referido, em dois soutos adjacentes de Macedo Cavaleiros, a separação entre árvores com sintomas da carência de Mg e as normais surge mais clara quando se consideram as razões K/Mg ou N/Mg, do que quando se tomam as concentrações foliares (Figuras 1, 2 e 3). Como se observa na Figura 1, as árvores

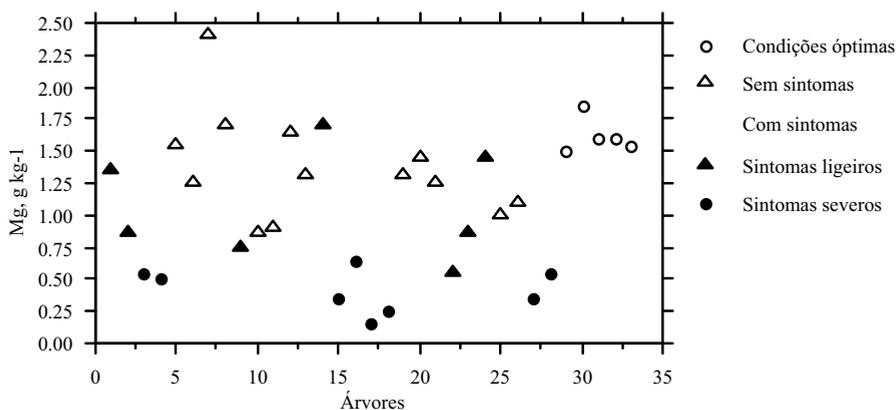
que apresentam sintomas ligeiros da carência encontram-se numa zona de sobreposição com árvores sem sintomas. Nas Figuras 2 e 3 parece haver uma separação mais clara entre as árvores com e sem sintomas (cerca de 20 para a razão N/Mg e 9 para a razão K/Mg). Sempre que a K/Mg foi superior a 10, ou a razão N/Mg foi superior a 24, observaram-se sintomas da carência de Mg. Neste estudo, é de salientar que, quer o teor foliar de Mg, quer as razões N/Mg e K/Mg se correlacionaram com alguns parâmetros da produção e da morfologia das árvores (Quadro 2).

Veloso *et al.* (2004b) também verificaram haver uma correlação negativa significativa entre a produção de uva da casta Avesso com a razão K/Mg no limbo das videiras.

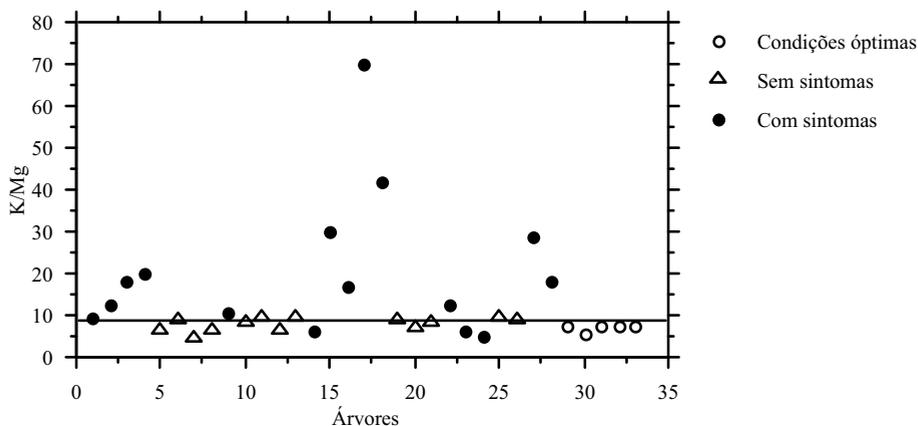
Quando se compilou a informação relativa à probabilidade da ocorrência de carências de Mg e respectivos teores foliares ou razões entre nutrientes, apenas se encontraram dados relativos à vinha e ao castanheiro em Trás-os-Montes, que estão resumidos no Quadro 3.

Como se observa, o limiar 10 da razão K/Mg para a ocorrência de carência de Mg é o mesmo na vinha e no castanheiro, enquanto que se esse valor for muito próximo de 4-5, ou inferior, a carência não deverá verificar-se. Delas (1992) também indica o mesmo limiar 10 acima do qual são de esperar carências de Mg em vinhas, e valores 2-8 como os normais. Quanto à razão N/Mg, Ende e Evers (1997) apresentam dados da mesma ordem de magnitude, considerando a amplitude 8-15 como o óptimo para certas espécies florestais.

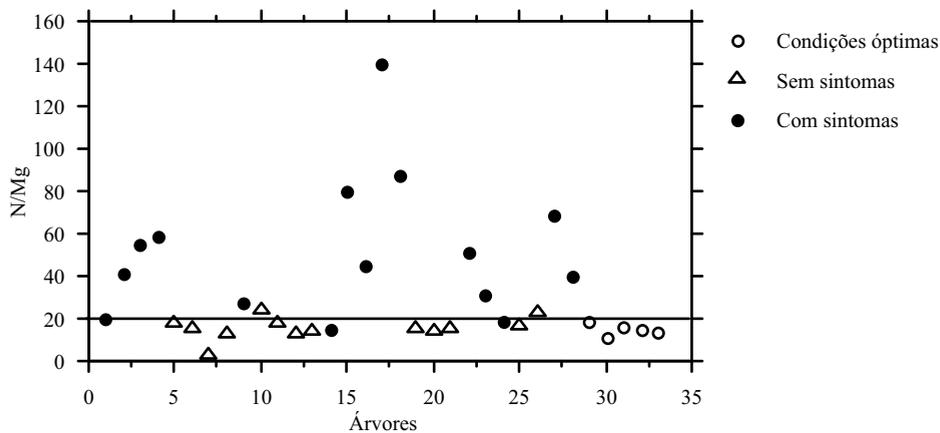
Quanto à razão Ca/Mg, o levantamento efectuado em 26 soutos de Trás-os-Montes revelou que o Ca e o Mg se encontram positivamente correlacionados (Quadro 2). Porém, verificou-se que, quando a carência de Mg era severa, a razão entre as concentrações foliares Ca/Mg era cerca de 7, significativamente mais elevada que o valor 4 apurado para o conjunto de árvores com sintomas ligeiros ou sem sintomas (Portela *et al.*, 2003).



**Figura 1** - Teores foliares de Mg em castanheiros: num souto com sintomatologia da carência de Mg (28 árvores: sem sintomas, com sintomas ligeiros e com sintomas severos) e num outro souto adjacente homogêneo e com condições ótimas de produção (5 árvores)



**Figura 2** - Razões foliares K/Mg em castanheiros: num soto com sintomatologia da carência de Mg (28 árvores: sem sintomas e com sintomas) e num outro soto adjacente homogêneo e com condições ótimas de produção (5 árvores)



**Figura 3** - Razões foliares N/Mg em castanheiros: num soto com sintomatologia da carência de Mg (28 árvores: sem sintomas e com sintomas) e num outro soto adjacente homogêneo e com condições ótimas de produção (5 árvores)

**QUADRO 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre parâmetros da produção e da árvore e os teores ou razões foliares de certos nutrientes**

	Altura	Dap	IAF	Produção	Calibre	N/Mg foliar	K/Mg foliar	Ca foliar	Mg foliar
					frutos/kg				
Dap	0,81***								
IAF	0,81***	0,85***							
Produção	0,69**	0,83***	0,60**						
Calibre	-0,13	-0,38	-0,32	-0,22					
N/Mg foliar	-0,49*	-0,55*	-0,65**	-0,45	0,64**				
K/Mg foliar	-0,41	-0,47	-0,58*	-0,39	0,65**	0,98***			
Ca foliar	0,34	0,23	0,38	0,17	-0,40	-0,79***	-0,76***		
Mg foliar	0,49*	0,52*	0,61**	0,38	-0,52*	-0,83***	-0,75***	0,88***	
Mn foliar	0,21	0,10	0,15	0,05	-0,48*	-0,63**	-0,61**	0,80***	0,71**

Dap - diâmetro à altura do peito; IAF - índice de área foliar; \* -  $P \leq 0,05$ ; \*\* -  $P \leq 0,001$ ; \*\*\* -  $P \leq 0,0001$ .

**QUADRO 3 - Concentrações foliares de Mg e razões K/Mg e N/Mg. Intervalos em que se observaram sintomas visuais da carência de Mg na vinha e no castanheiro**

	Probabilidade elevada* de ocorrência da carência	Alguma probabilidade de ocorrência da carência	Não ocorreu a carência	Referência
<b>Vinha</b>				
Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5	Coutinho <i>et al.</i> (1984)
K/Mg	> 10	4 - 10	< 4	
<b>Castanheiro</b>				
Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )	< 1,2	1,2 - 1,7	> 1,7	Portela <i>et al.</i> (2003)
K/Mg	> 10	5 - 10	< 5	
N/Mg	> 31	15 - 31	< 15	

\* superior a 75%

Embora muitos solos da região Norte apresentem teores marginais de Mg, as razões N/Mg e K/Mg muito altas poderão ser atribuídas, em grande parte, a fertilizações desajustadas às necessidades das culturas (Melo, 1980; Coutinho & Veloso, 1997; Portela *et al.*, 2003; Veloso *et al.*, 2004a,b), nomeadamente através de adubos compostos N-P-K com formulações desadequadas aos solos (Portela & Pinto, 2004). Com efeito, a origem de certos solos pode explicar a deficiência de Mg e as razões K/Mg elevadas. Por exemplo, os solos provenientes de micaxistos e filitos, onde a presença de minerais micáceos é elevada, asseguram reservas de K facilmente disponíveis para as plantas (Portela,

1993), mesmo para baixos teores de K de troca.

### RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DO SOLO E A DEFICIÊNCIA DE Mg

A análise da terra é uma das técnicas de avaliação da fertilidade do solo mais utilizada, mas, como é bem conhecido, a sua interpretação nem sempre é fácil. Também em relação ao Mg nem sempre é clara a correlação entre o seu teor no solo e a severidade com que se manifesta a sua deficiência numa dada cultura. Efectivamente, há factores locais que interferem, não só com a disponibilidade do Mg, mas

também com a capacidade da planta para absorver o nutriente.

Neste item procurou-se inventariar os parâmetros do solo que se correlacionaram melhor com a carência de Mg, ou com os teores de Mg nas culturas; os valores críticos desses parâmetros, ou os limites entre quais há probabilidade da ocorrência da carência de Mg nas diversas culturas; e, também, se indicam os valores de referência no solo para o desenvolvimento adequado das culturas, isto sempre que os autores os assinalaram.

Como se referiu antes, o  $Mg^{2+}$  de troca e a proporção  $Mg^{2+}/CTCp$  podem ser usados como indicadores para se avaliar a disponibilidade do Mg para as plantas. Dum modo geral, o  $Mg^{2+}$  de troca representa 4-20% da CTC e o intervalo 0,2-0,3 cmolc  $kg^{-1}$  é proposto por Mengel & Kirkby (2001), como o limite abaixo da qual se receiam deficiências de Mg em diversas plantas cultivadas. Em Portugal, o laboratório oficial (LQARS, 2000) ao estabelecer as classes de fertilidade do solo considera muito baixos os valores do  $Mg^{2+}$  de troca inferiores a 0,25 cmolc  $kg^{-1}$ . O limiar de 0,20 cmolc  $kg^{-1}$  no horizonte superficial também foi tido como o mais consensual para as espécies florestais (Ende & Evers, 1997; Landmann *et al.*, 1997). Bonneau (1985) utiliza a designação de pobre e adequado, respectivamente 0,15 cmolc  $kg^{-1}$  e 0,25 cmolc  $kg^{-1}$ , para os teores de  $Mg^{2+}$  de

troca em horizontes minerais de solos florestais. Além do  $Mg^{2+}$  de troca e da proporção  $Mg^{2+}/CTCp$  são também referidas, com frequência, as razões entre o Mg de troca com outros catiões, nomeadamente  $Mg^{2+}/K^+$ ,  $Mg^{2+}/NH_4^+$  e  $Mg^{2+}/Al^{3+}$ .

No levantamento efectuado a 35 campos de lúpulo, Costa (1982) observou que a intensidade das carências de Mg estava bem correlacionada não só com o  $Mg^{2+}$  de troca e a proporção  $Mg^{2+}/CTCp$ , mas também com a percentagem de bases de troca do solo. Coutinho *et al.* (1984) constataram que nenhum pé de vinha mostrou carência de Mg quando o  $Mg^{2+}$  de troca se situou acima de 0,40 cmolc  $kg^{-1}$ , ao passo que a probabilidade da sua ocorrência era elevada quando o  $Mg^{2+}$  era inferior a 0,20 cmolc  $kg^{-1}$ . Portela *et al.* (2003), para um conjunto de soutos com manifestação de carências de Mg, obtiveram um valor médio de 0,09 cmolc  $kg^{-1}$ . Em soutos adjacentes com árvores vigorosas e de aspecto normal, os solos apresentaram um valor médio de 0,31 cmolc  $kg^{-1}$ . Os dados obtidos nestes dois últimos estudos encontram-se resumidos no Quadro 4.

Algumas espécies pratenses responderam à aplicação de Mg em ensaios em vaso efectuados em Cambissolos úmbricos e em Cambissolos distrícos de Trás-os-Montes com 0,14 cmolc  $kg^{-1}$  (Pires *et al.*, 1991b), ou com 0,18 cmolc  $kg^{-1}$  (Pires *et al.*, 1992; Trindade *et al.*, 1993) de  $Mg^{2+}$  de troca.

**QUADRO 4 - Teores de  $Mg^{2+}$  de troca (cmolc  $kg^{-1}$ ) no solo. Intervalos onde se observam sintomas visíveis da carência de Mg na vinha e no castanheiro**

	Probabilidade elevada* de ocorrência da carência	Alguma probabilidade de ocorrência da carência	Não ocorreu a carência	Referência
Vinha	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40	Coutinho <i>et al.</i> (1984)
Castanheiro	< 0,10	0,10 - 0,34	> 0,34	dados não publicados

\* superior a 75%

A baixa produtividade e a má conservação dos frutos de actinídia levaram Veloso & Coutinho (1997) à inventariação do seu estado nutritivo na região de Entre-Douro e Minho e ao estabelecimento de valores críticos do  $Mg^{2+}$  de troca de 0,65 e 0,40 cmolc  $kg^{-1}$ , respectivamente para as camadas 0-20 cm e 20-50 cm e também dum limiar 9% para  $Mg^{2+}/CTC$  efectiva em ambas as camadas.

Como se referiu antes, as razões  $Mg^{2+}/K^+$ ,  $Mg^{2+}/NH_4^+$  e  $Mg^{2+}/Al^{3+}$  do solo também se correlacionam com os teores foliares de Mg, ou com a probabilidade de ocorrência de carências de Mg. Com efeito, a absorção pela raiz e o transporte do Mg dentro da planta é muito afectado pela competição com outros catiões (Mengel & Kirkby, 2001), o que vulgarmente se designa por antagonismo iónico. Entre esses catiões assinalam-se os  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Al^{3+}$ . Marschner (1995) também se refere ao Mn como podendo inibir a absorção do Mg. Em especial entre os quatro primeiros, os teores elevados desses nutrientes no solo e/ou a sua combinação podem restringir a absorção do Mg. Por vezes, é mesmo possível estabelecer correlações mais claras entre a ocorrência da carência de Mg ou as concentrações foliares de Mg e as razões referidas.

O excesso de catiões como o  $K^+$  e o  $NH_4^+$ , frequentemente veiculados através da fertilização, são referidos, na maioria dos estudos efectuados na região Norte, como induzindo carências de Mg nas culturas. Enquanto que em relação ao  $K^+$ ,  $NH_4^+$  e ao  $Al^{3+}$  existe acordo entre os investigadores, já em relação ao  $Ca^{2+}$  há menos consenso. De facto, a influência que o Ca tem na disponibilidade do Mg parece mais difícil de estabelecer, podendo a sua aplicação ao solo ter um efeito imediato positivo ou negativo, ou nenhum. Colomb (1992) reconhece a dificuldade em se

generalizar os valores da razão  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  e discute as condições da interacção entre o  $Ca^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$ . Porém, LQARS (2000) considera que uma razão  $Ca^{2+}/Mg^{2+} > 4$  é desfavorável à nutrição magnésiana.

Na região Norte, o Ca tem mostrado ter um efeito positivo na absorção do Mg pelas plantas. Pires *et al.* (1991b) constataram que a aplicação de Ca (através dum calcário calcítico) propiciou a absorção de Mg pelo azevém. Os autores admitiram que o Ca estimulou o crescimento radicular, o que terá potenciado a absorção do Mg. Portela *et al.* (2003) encontraram correlações positivas tanto no solo (entre o  $Ca^{2+}$  e o  $Mg^{2+}$  de troca), como no castanheiro (entre as concentrações foliares de Ca e Mg). Coutinho *et al.* (1984) também verificaram que as baixas concentrações foliares de Mg das videiras com carência de Mg eram sempre acompanhadas de valores baixos do Ca.

Em quase todos os casos aqui mencionados, os solos são bastante ácidos e com teores elevados de  $Al^{3+}$ , o que faz com que, dum modo geral, os baixos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  sejam concomitantes. Não é, pois, de estranhar que a aplicação de Ca ao solo através dum calcário calcítico se traduza numa influência positiva na absorção do Mg porque, muitas vezes, é difícil distinguir o efeito da redução da toxicidade do Al (através da subida do pH) do aumento da disponibilidade do cálcio e do papel deste no crescimento radicular. Um melhor desenvolvimento radicular propicia naturalmente uma melhor eficiência da absorção do Mg. É claro que se os níveis de Mg forem muito baixos, aumentando a concentração de Ca e promovendo o crescimento das plantas, pode de novo aumentar-se o risco de carência de Mg, como foi demonstrado por Shamsuddin *et al.* (1992).

É quase conhecimento adquirido que o Al interfere na absorção do Mg e que a

aplicação deste ao solo pode reduzir os efeitos da toxicidade do Al (Marschner, 1995). A interferência do Al na absorção do Mg e o respectivo desequilíbrio na razão  $Mg^{2+}/Al^{3+}$  tem sido amiúde referido para as espécies florestais (Huttl & Shaaf, 1995; Bonneau, 1992). Bonneau (1992) indica o valor 0,05 para a razão molar Mg/Al como induzindo carência de Mg em certas espécies florestais.

Já em relação ao Mn, são escassos os estudos que o relacionam com a absorção do Mg. É de assinalar que o Mn atinge valores elevados em certos solos do concelho de Vinhais (100-800 mg kg<sup>-1</sup>, pelo método de Lakanen) onde surgem as carências de Mg. A estes solos correspondem concentrações foliares igualmente elevadas nos castanheiros (>2000 mg kg<sup>-1</sup>). Estes solos ricos em Mn surgem em zonas de contacto entre a formação Filito-quartzítica (OFQ) e o Complexo Vulcano-Silicioso (SVS), e não é invulgar encontrar-se aqui os chamados xistos borra de vinho (Pereira *et al.*, 2000), onde é possível identificar-se a pirolusite, mineral rico em Mn. Como se observa no Quadro 2, o Mn e o Mg foliares encontram-se positivamente correlacionados, indiciando que a planta tende a manter um certo equilíbrio entre os dois nutrientes. Verificou-se nesta zona que, quer os solos, quer as folhas apresentavam teores mais elevados de Mn e de Mg e que as carências de Mg surgiam para níveis relativamente mais altos do  $Mg^{2+}$  de troca. Com efeito, a carência de Mg ocorreu nestes solos com  $Mg^{2+}$  de troca de 0,34 cmolc kg<sup>-1</sup>, o que é elevado comparativamente ao que se observou noutras áreas de Trás-os-Montes onde esse parâmetro foi inferior a 0,15 cmolc kg<sup>-1</sup>. A ocorrência da deficiência de Mg para este nível do  $Mg^{2+}$  de troca poderá ser explicada por um certo efeito inibidor que o Mn tem na absorção do Mg, tal como Marschner (1995) men-

cionara. A correlação positiva entre os dois nutrientes na planta e a importância da razão Mg/Mn foi realçada por Carvalho *et al.* (1991) e Goss *et al.* (1992) para o trigo e o trevo em solos do Alentejo. Adverte-se que, neste caso, o que se evidencia é o efeito positivo do Mg na redução da toxicidade do Mn.

Relativamente ao K é bem conhecido o antagonismo iónico com o Mg, e quase todos os estudos que alertam para as carências de Mg mencionam a razão K/Mg como determinante da expressão da deficiência. Os dados de Melo (1980) mostram valores de 2,4 da razão  $K^+/Mg^{2+}$  para os catiões da fracção de troca do solo (ou  $Mg^{2+}/K^+=0,42$ ) numa vinha onde se manifestou a *secura do engaço*. Coutinho *et al.* (1984) apuraram que para razões entre os catiões de troca  $K^+/Mg^{2+}$  superiores a 4 (ou  $Mg^{2+}/K^+<0,25$ ) havia sempre sintomas visíveis da carência de Mg, enquanto que para valores abaixo de 2 (ou  $Mg^{2+}/K^+>0,5$ ) esses sintomas não eram observados.

Também se tem verificado, muitas vezes, que a razão  $Mg^{2+}/K^+$  do solo, comparativamente ao  $Mg^{2+}$  de troca, se encontra melhor correlacionada com os teores foliares de Mg. Com efeito, no levantamento efectuado à cultura do milho (Pires *et al.*, 1991a), verificou-se que não foi o  $Mg^{2+}$  de troca que se correlacionou com os teores foliares de Mg, mas os quocientes entre o  $Mg^{2+}$  e outros catiões de troca. Neste estudo alerta-se para o valor da razão  $Mg^{2+}/K^+$  do solo que deverá ser superior à unidade, para que a concentração de Mg na folha esteja acima do nível crítico 1,8 g kg<sup>-1</sup>.

Não é fácil encontrar um valor universal para a razão  $Mg^{2+}/K^+$ , pois os valores ideais dependerão muito do valor absoluto de cada um deles, do tipo de solo e mine-rais argilosos dominantes, do equilíbrio com outros nutrientes e da cultura. Por exemplo, Quéméner (1992) refere limiares

mínimos para esse quociente que variam na amplitude 0,8-1,7 em função do teor de argila ou da CTC. Tisdale *et al.* (1985) indicam valores da mesma razão no intervalo 0,7-1,7 em função do tipo de cultura.

Tendo como base os diversos estudos realizados na região Norte, sintetizou-se no Quadro 5 a informação respeitante aos parâmetros do solo que se correlacionaram melhor com a concentração de Mg nas plantas (folha, pecíolo, limbo, ou parte aérea) ou que serviram como indicadores mais claros da carência de Mg.

Como se mencionou antes, é vulgar a adubação N-P-K na região Norte, mas tendo em conta que muitos dos solos derivados de micaxistos e de filitos têm reservas de K biodisponíveis durante o ciclo cultural, a adubação potássica torna-se, por vezes, excessiva, o que pode induzir carências de Mg. Nas pastagens e forragens, a concentração foliar do Mg adquire uma importância elevada por duas razões principais: por um lado, há necessidade de se evitar o risco da ocorrência de doenças nos animais (tetania da erva, ou hipomagnesia); por outro lado, o pastoreio e/ou a aplicação de estrumes e chorumes em sistemas agrários intensivos leva, por vezes, à incorporação de doses excessivas de K e de  $\text{NH}_4^+$ , o que por si só pode induzir a carência de Mg. Acrescente-se que a acidez excessiva de certos solos pode também potenciar a falta de Mg na pastagem. Em contraste com o Mg e o Ca, a absorção do K não é influenciada pelo Al, o que conduz a um aumento da razão  $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  na parte aérea, podendo provocar não só a deficiência destes dois nutrientes, mas também o risco de hipomagnesia nos animais que dela se alimentem (Rengel & Robinson, 1989; Colomb, 1992).

Além de parâmetros químicos, existem factores de ordem pedológica localizados

que influenciam a nutrição magnésiana das culturas. Tomemos o caso dos soutos de Trás-os-Montes. Por um lado, constata-se que na grande maioria dos soutos onde se observam carências de Mg, os castanheiros são jovens (menos de 15 anos). Isto leva-nos a admitir que as árvores ainda se encontrem numa fase incipiente de enraizamento e, portanto, poderão sofrer de deficiência hídrica no período estival. Por outro lado, a textura e pedregosidade também determinam a absorção do Mg, porque diminui a fracção fina e o contacto solo-raiz. Apesar destes dois factores não terem sido sistematicamente avaliados, é notória a textura mais grosseira e a maior pedregosidade à superfície (calhaus e blocos) sob o copado das árvores com clorose severa (Portela *et al.*, 2003). As lavouras efectuadas nos soutos trazem à superfície elementos grosseiros de dimensão elevada, o que revela tratarem-se de solos delgados e portanto o volume de solo explorado pelas raízes é reduzido. Estes factores são determinantes para o fornecimento de água e para a absorção do nutriente pelas árvores. Com efeito, o défice hídrico tem sido frequentemente associado aos sintomas mais severos da deficiência de Mg. Melo (1980) também alvitrou esta possibilidade para explicar a ocorrência da *secura do engaço* na vinha. Vários autores mencionam o defice hídrico como potenciador da carência de Mg em culturas e espécies florestais (Zottl & Mies, 1988; Colomb, 1992; Feger, 1997; Landmann *et al.*, 1997).

O stress hídrico a que certas plantas estão sujeitas pode também ser provocado por factores de ordem química, nomeadamente a toxicidade de Al. Como é bem conhecido, o excesso de  $\text{Al}^{3+}$  no solo impede o desenvolvimento radicular de

**QUADRO 5 - Parâmetros do solo que se correlacionaram melhor com as concentrações de Mg na planta**

	Parâmetros do solo	Referência
Vinha	$K^+/Mg^{2+}$	Coutinho <i>et al.</i> (1984)
Milho	$Mg^{2+}/K^+ > Mg^{2+}/Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}/(Ca^{2+}+K^+)$ , $Mg^{2+}/(Ca^{2+}+K^++Mg^{2+})$	Pires <i>et al.</i> (1991a)
Azevém*	$Mg^{2+}$ , $Mg^{2+}/CTC$ efectiva, $Mg^{2+}$ em solução	Pires <i>et al.</i> (1991b)
Actinídea	$Mg^{2+}$ , $K^+/Mg^{2+}$ , $Mg^{2+}/CTC$ efectiva	Veloso & Coutinho (1997)
Castanheiro	$Mg^{2+}/NH_4^+ > Mg^{2+}/K^+$ , $Mg^{2+}/(H^++Al^{3+})$	Portela <i>et al.</i> (2003)

$Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $H^++Al^{3+}$  de troca; CTC-capacidade de troca catiônica;  $NH_4^+$ -pelo KCl 2M; \*-ensaios em vaso

muitas espécies vegetais e interfere com a absorção do Mg. Porém, há certos génotipos capazes de desenvolver mecanismos de adaptação a solos ácidos e à toxicidade do Al (Marschner, 1995). Por exemplo, Portela & Coutinho (1986) observaram que os génotipos de centeio mais tolerantes ao Al, nomeadamente os de Vila Pouca de Aguiar e de Montalegre, apresentavam concentrações mais elevadas de Mg na sua parte aérea comparativamente a outros cereais de inverno. Observou-se, igualmente que estes génotipos induziram subidas do pH do solo que podem chegar à unidade (Portela & Coutinho, 1987 e dados não publicados). Admite-se que esta poderá ter sido uma estratégia de adaptação destes centeios regionais às condições de acidez excessiva dos solos daquelas zonas.

## CONCLUSÕES

A disponibilidade de Mg dos solos da região Norte parece ser, em grande parte, o reflexo do material originário que lhe deu origem. Com excepção dos solos desenvolvidos a partir das rochas dos complexos básicos e ultrabásicos de Morais e de Bragança, a grande maioria dos solos das regiões de Trás-os-Montes e

Alto Douro e Entre-Douro e Minho formaram-se a partir de substratos ácidos e pobres em elementos alcalinoterrosos, particularmente em Mg.

A carência de Mg, para além da sintomatologia mais corrente que se observa nas folhas, pode traduzir-se em quebras de produção e da qualidade do fruto e, ainda, na redução do crescimento das árvores.

A maioria dos estudos utilizou como método de diagnóstico as concentrações foliares de Mg, mas também foram identificadas razões entre nutrientes. As razões Mg/N e Mg/K excessivas estão associadas à ocorrência da carência de Mg. O cálcio mostrou ter, dum modo geral, um efeito positivo na absorção do Mg pelas plantas, o que poderá estar associado à correcção da acidez através de calcário e à redução da toxicidade do Al.

Poucos estudos relacionam o Mn com a absorção do Mg pelas culturas. Todavia, e a partir dos dados existentes até ao momento pode inferir-se que, quando o teor de Mn nos solos é elevado a carência de Mg verifica-se para valores mais altos do  $Mg^{2+}$  de troca.

Mesmo considerando que muitos solos apresentam teores marginais de Mg, as razões N/Mg e K/Mg excessivas poderão ser atribuídas, em grande parte, a fertili-

zações desajustadas às necessidades das culturas. Assim, as respostas das culturas à aplicação de Mg estarão muito condicionadas pela correção da acidez e pela relação entre o  $Mg^{2+}$  de troca e os níveis de  $K^+$  e de  $NH_4^+$  do solo.

Apesar da deficiência de Mg ser reportada em relatórios e em diversos artigos e, não obstante os alertas para carência latente de Mg e para a necessidade da sua correção através da aplicação de calcários magnesianos ou pulverizações com sulfato de magnésio, estas práticas continuam desconhecidas de muitos agricultores.

### AGRADECIMENTOS

É devida uma palavra de gratidão ao Professor Coelho Pires pelo seu contributo na caracterização geológica e litológica de grande número de sotos em que se baseou este trabalho. Os autores agradecem também à Professora Manuela Abreu, do ISA/UTL, o seu empenho na revisão do texto e pelas suas sugestões. Este trabalho foi elaborado no âmbito do CEGE – Centro de Estudos em Gestão de Ecossistemas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroconsultores-Coba. 1991. *Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. UTAD/PDRITM, Vila Real.
- Agroconsultores-Geometral. 1995. *Carta de Solos e Carta de Aptidão da Terra de Entre-Douro e Minho*, DRAEDM. Braga
- Bonneau, M. 1992. Le magnésium chez les arbres forestiers: connaissances générales et problèmes identifiés en France. In C. Huget, & M. Coppenet (Coord. Ed) *Le Magnésium en Agriculture*, pp. 174-185. INRA, Paris.
- Bonneau, M. 1995. *Fertilization des Forêts dans les Pays Tempérés*. ENGREF, Nancy.
- Carvalho, M.J.G.P.R., Carvalho, R.J.M. & Luttickem, R. 1991. Toxicidade de manganês em trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.) em solos Pg. Efeito da Aplicação de cálcio e magnésio. *Pastagens e Forragens*, **12**: 133-139.
- Coelho, C.O.A., Pinheiro, J., Barros, C., Ferreira, A.J.D., Lobo, A.G. & Rodrigues, J.M. 1999. Vigilância da poluição atmosférica sobre florestas. *6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, vol 2, pp. 241-252. Lisboa.
- Colomb, B. 1992. Le magnésium: système de recommandation de fumure. In Huget, C. & Coppenet, M. (Coord. Ed) *Le Magnésium en Agriculture*, pp. 187-209. INRA, Paris.
- Costa, A.S.V. 1982. Deficiências de magnésio e potássio na cultura do lúpulo. DGER, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa. 21p.
- Coutinho, J.F., Ahlrichs, J.L. & Magalhães, N.P. 1984. Nutrition en magnésium, potassium et calcium dans les vignoles, A. Sols acides de la vallée du Douro (Portugal). 1<sup>er</sup> Symposium sur la Viticulture en Sols Acides. *Prog. Agric. Vitic.*, **28**: 128-135.
- Coutinho, J.F. 1989. *Acidez do Solo e Toxicidade de Alumínio. Calibração de Métodos de Avaliação da Necessidade de Cal*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 709p.
- Coutinho, J.F. & Veloso, A. 1997. Plant analysis as a guide of the nutritional status of kiwifruit orchards in Portugal.

- Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **28**: 1011-1019.
- Delas, J. 1992. Le magnésium en viticulture. In Huget, C. & Coppenet, M. (Coord. Ed) *Le Magnésium en Agriculture*, pp. 158-173. INRA, Paris.
- Ende, H.P. & Evers, F.H. 1997. Visual magnesium deficiency symptoms (coniferous, deciduous trees) and threshold values (foliar, soil). In Hüttl, R.F. & Schaaf, W. (eds) *Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems*, pp. 3-22. Kluwer Academic Publ., London.
- Feger, K.H. 1997. Biochemistry of magnesium in forest ecosystems. In Hüttl, R.F. & Schaaf, W. (eds) *Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems*, pp. 67-99. Kluwer Academic Publ., London.
- Goss, M.J., Carvalho, M.J.G.P.R., Cosimini, V. & Fearnhead, M.L. 1992. An approach to the identification of potentially toxic concentrations of manganese in soils. *Soil Use and Management*, **8**: 40-43.
- Hüttl, R.F. & Schaaf, W. 1995. Nutrient supply of forest soils in relation to management and site history. *Plant and Soil*, **168-169**:31-41.
- Jordão, P.V. 1989. *Nutrição e Fertilização da Oliveira*. INIA, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa. 83p.
- Jordão, P.V. & Marcelo, M.E. 2005. *Olival-Fertilização Racional*. Cadernos Rurais nº6, AVAPI, Alcobaça. 39p.
- Kopinga, J. & Burg, J. 1995. Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees. *J. of Arboriculture*, **21**: 17-23.
- Landmann, G., Hunter, I.R. & Hendershot, W. 1997. Temporal and spatial development of magnesium deficiency in forest stands in Europe, North America and New Zealand. In Hüttl, R.F. & Schaaf, W. (eds) *Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems*, pp. 23-64. Kluwer Academic Publ., London.
- LQARS, 2000. Manual de Fertilização de Culturas. INIA, LQARS, Lisboa. 221p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2ª Ed. Academic Press, London.
- Martins, A. & Coutinho, J. 1988. Principais características físicas e químicas dos solos de Trás-os-Montes e Alto Douro relacionadas com a sua fertilidade. 1-Dados preliminares. *Anais UTAD*, **1**: 205-224.
- Martins, H.C.B. 1998. *Geoquímica e Petrogênese de Granitóides Biotíticos Tarditectónicos e Pós-Tectónicos. Implicações Metalogénicas*. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 228 p.
- Melo, I.F.S. 1980. *Secura do Engaço*. INIA, Estação Agronómica Nacional, Oeiras. 33p.
- Mengel, K. & Kirkby E.A. 2001. *Principles of Plant Nutrition*, 5ª Ed. Kluwer Academic Publ. London.
- Pacheco, C., Neves, N., Rodrigues, S., Vieira, S., Cardoso, A., Santos, F. & Calouro, F. 2004. Exportações de nutrientes pelos frutos e lenha de poda de pomares de actínea da Beira Litoral. *X Simp. Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas, Nutrição Mineral: Causas e Consequências da Dependência da Fertilização*, pp. 263-269, Lisboa.
- Pereira, E. (Coord.) 1992. *Carta Geológica de Portugal na Escala 1:200 000, Folha 1, e Notícia Explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pereira, E. (Coord.) 1992. *Carta Geológica de Portugal na Escala 1:200 000, Folha 2*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pereira, E., Ribeiro, A. & Castro, P. 2000. *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha*

- 7D. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Pires, A.L., Portela, E., Ahlrichs, J. & Rhykerd, C. 1991a. Levantamento das concentrações de Ca, Mg e K em Trás-os-Montes. II - Milho. *Pastagens e Forragens*, **11**: 103-111.
- Pires, A.L., Ahlrichs, J.L. & Rhykerd, C.L. 1991b. Hybrid ryegrass response to acid soil treatment with calcitic and dolomitic lime. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **22**: 575-588.
- Pires, A.L., Ahlrichs, J. & Rhykerd, C. 1992. Response of eleven forage species to treatment of acid soil with calcitic and dolomitic lime. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **23**: 541-558.
- Portela, E. 1981. *Influence of Liming and Potassium Fertilization on the Competition between a Legume and a Grass*. Master. of Science Thesis. Agricultural University of Wageningen, Netherlands. 44p.
- Portela, E.A.C. 1993. Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. *Plant and Soil*, **154**: 13-20.
- Portela, E.A.C. & Coutinho, J.F. 1986. Tolerância à acidez do solo de triticales, trigos e centeios. *Revista de Ciências Agrárias*, **IX (II)**: 67-82.
- Portela, E.A.C. & Coutinho, J.F. 1987. Tolerância à acidez do solo de cereais. Efeito da aplicação de calcário ou de cálcio. *IV Reunião Portuguesa sobre Triticales*, p 22. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Portela, E. & Pires, A.L. 1995. Nutrient deposition and leaching by rainwater in low and intensively managed chestnut groves. *Proceedings Conference on Erosion and Land Degradation in Mediterranean*, pp. 307-317. Universidade de Aveiro, Portugal.
- Portela, E. & Pires, A.L. 1998. Nutrient leaching as influenced by fertilization in chestnut groves in Northern Portugal. *Proceedings 11th World Fertilizer Congress on Fertilization for Sustainable Plant Production and Soil Fertility*, pp. 538-547. CIEC, Braunschweig, Hungary.
- Portela, E. & Pinto, R. 2004. *Práticas Culturais em Soutos de Trás-os-Montes e Relação com a Incidência do Cancro*. Relatório técnico do Projecto AGRO 151, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 64p.
- Portela, E., Roboredo, M. & Louzada, J. 2003. Assessment and description of magnesium deficiencies in chestnut groves. *J. Plant Nutrition*, **26**: 503-523.
- Portela, E., Ferreira-Cardoso, J., Roboredo, M. & Pimentel-Pereira, M. 1999. Influence of magnesium deficiency on chestnut (*Castanea sativa* Mill.) yield and quality. In D. Anaç & P. Martin-Prével (eds) *Improved Crop Quality by Nutrient Management*, pp. 153-158. Kluwer Academic Publ. Dordrecht.
- Portela, J.F., Coutinho, J.F. & Portela, E.A.C. 1985. *Introdução de Inovações no Cultivo de Cereais em Trás-os-Montes: Experimentação Recorrente e sua Avaliação Técnica, Económica e Social*. Relatório do projecto de I&D, UTAD-JNICT, Vila Real. 144p.
- Quémérer, J. 1992. Conséquences de la dynamique du magnésium sur le diagnostic des sols et le conseil de fumure. In C. Huget & M. Coppenet (Coord. Ed) *Le Magnésium en Agriculture*, pp. 63-80. INRA, Paris.
- Rengel, Z. & Robinson, D.L. 1989. Aluminum effects on growth and macronutrient uptake by annual ryegrass. *Agron. J.*, **81**: 208-215.
- Ribeiro, M.L. 1980. Algumas observações sobre a petrologia e o quimismo dos granitóides da região de Tourém-

- Montalegre (N de Portugal). *Comun. Serv. Geol. Portugal*, **66**: 33-48.
- Ribeiro, A.M 1998. *Estudo Litogeoquímico das Formações Metassedimentares Encaixantes de Mineralizações em Trás-os-Montes Ocidental. Implicações Metalogénicas*. Tese de doutoramento, Universidade do Porto. (Folha 6D da Carta Geológica de Portugal 1:50 000).
- Santos, F., Pacheco, C., Vieira, S., Cardoso, A. & Calouro, F. 2001. Exportação de nutrientes pelos cachos e lenha de poda de vinhas do Oeste e Cova da Beira. *Actas do 6ª Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo*, pp. 120-128, Évora.
- Shamsuddin, Z.H., Kasran, R., Eduards, D.G. & Blamey, F.P.C. 1992. Effects of calcium and aluminium on nodulation, nitrogen fixation and growth of groundnut in solution culture. *Plant and Soil*, **144**: 273-279.
- Shear, C.B. & Faust, M. 1980. Nutritional ranges in deciduous trees, fruits and nuts. In J. Janik (ed) *Horticultural Reviews* **2**, pp. 142-163. AVI Publishing Comp. Inc. Westport, Connecticut, USA.
- Slovik, S. 1997. Tree Physiology. In Hüttl, R.F. & Schaaf, W. (eds) *Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems*, pp. 101-214. Kluwer Academic Publ., London.
- Sousa, M.B. 1982. *Litostratigrafia e Estrutura do "Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovício"- Grupo do Douro (Nordeste de Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra. 222p.
- Soveral-Dias, J.C. (Coord.) 2000. *Produção Integrada da Oliveira. Fertilização e outras Práticas Culturais*. Min. da Agric. Desenv. Rural e Pescas. INIA-DGPC, Oeiras. 47p.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. & Beaton, J.D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*, 4ª Ed. Macmillan Publishers, New York.
- Trindade, H., Moreira, N. & Martins, F. 1993/4. Efeito sobre o trevo subterrâneo da calagem e da aplicação de nutrientes em dois solos xistosos de baixa fertilidade. I- Produção de matéria seca e desenvolvimento radicular. *Pastagens e Forragens*, **14/15**: 153-163.
- Veloso, A.C.P. 1995. *Condições de Nutrição da Actinídea no Noroeste de Portugal*. Tese de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa. 110p.
- Veloso, A. & Coutinho, J. 1997. Relação entre o teor de P, K, Ca e Mg no solos e nas folhas de *Actinidia deliciosa* no noroeste de Portugal. *Actas de Horticultura*, **15**: 496- 503.
- Veloso, A., Afonso, J.M. & Pereira, O.M. 2004a. *Caracterização e Fertilização de Vinhas da Casta Alvarinho - Fertilidade do Solo, Estado Nutricional das Videiras e Características Quanti-qualitativas da Produção*. Coleção Estudos nº 17. DREDM, Braga. 52p.
- Veloso, A., Afonso, J.M. & Pereira, O.M. 2004b. *Caracterização e Fertilização de Vinhas da Casta Avesso - Fertilidade do Solo, Estado Nutricional das Videiras e Características Quanti-qualitativas da Produção*. Coleção Estudos nº 18. DREDM, Braga. 52p.
- Vilela de Matos, A. 1991. *A Geologia da Região de Vila Real*. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 312p.