

Avaliação do estado de nutrição de plantas jovens de *Eucalyptus globulus* por análise foliar e espectroradiométrica

Evaluation of the nutritional state of young plants of *Eucalyptus globulus* by foliar and spectroradiometric analysis

A. C. Madeira¹, M. Carneiro, P. Marques & M. Madeira

RESUMO

Avaliou-se o estado nutritivo de jovens plantas de *Eucalyptus globulus*, num sistema experimental com diferentes opções de gestão de resíduos de abate e de disponibilidade de nutrientes, por análise foliar (teores de N, P, Ca, K e Mg, área foliar, e teores de clorofila e carotenóides) e espectroradiométrica (medidor foliar de clorofila, SPAD-502). Os tratamentos foram: remoção dos resíduos de abate (R); como R e aplicação de fertilizantes (RF); como R e sementeira de leguminosas (RL); distribuição dos resíduos de abate na superfície do solo (S); como S seguido e aplicação de fertilizantes (SF); incorporação dos resíduos de abate no solo por intermédio de gradagem (I); como I e aplicação de fertilizantes (IF); como I e com sementeira de leguminosas (IL). As árvores do tratamento I apresentaram maior crescimento do que as dos tratamentos R e S; a aplicação de fertilizantes apenas levou a acréscimo de crescimento nos tratamentos em que os resíduos foram mantidos no sítio (SF e IF). Os teores de N foram no início positivamente afectados pelas leguminosas (tratamentos IL e RL), mas após a aplicação

de fertilizantes foram substancialmente mais elevados nos tratamentos IF, RF e SF do que nos outros, sendo a diferença reduzida no período outonal seguinte; semelhante padrão foi observado para os valores de SPAD. Os teores de Ca e Mg por seu turno decresceram substancialmente nos tratamentos correspondentes à aplicação de fertilizantes. Os valores do SPAD correlacionaram-se ($P < 0,05$) com os teores de N, Ca e Mg, bem como com a área foliar específica. O método espectroradiométrico, desde que adequadamente calibrado, mostrou ser uma técnica alternativa para monitorizar o estado de nutrição de jovens plantas de *E. globulus*.

ABSTRACT

The nutritional state of young plants of *Eucalyptus globulus* was evaluated, in different scenarios of harvest residues management and nutrient availability, by foliar (N, Ca, Mg, P and K contents and leaf area, chlorophyll and carotenoids contents) and spectroradiometric analysis (SPAD-502 chlorophyll meter). Treatments were removal of harvest residues (R); as R and fer-

¹ Dep. Ciências do Ambiente, Inst. Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal; e-mail: acmadeira@isa.utl.pt

tilizer application (RF); as R and legume seeding (RL); distribution of harvest residues on the soil surface (S); as S and fertilizer application (SF); incorporation of harvest residues into the soil by harrowing (I); as I and fertilizer application (IF); as I and leguminous seeding (IL). Trees of treatment I showed greater growth than those of R and S treatments; the application of fertilizers increased the growth only in treatments where harvest residues were kept in the site (SF and IF). Initially, N contents were positively affected by the leguminous (treatments RL and IL), but, after fertilizer application, the highest N contents were observed in treatments IF, RF and SF compared with the others, the differences being reduced in the next autumn season; a similar trend was observed for values of SPAD. In contrast, contents of Ca and Mg strongly decreased in treatments where fertilizers were applied. SPAD values were correlated ($P < 0.05$) with N, Ca and Mg contents, as well as with specific leaf area. The spectroradiometric technique, since properly calibrated, could be an alternative method to monitor the nutritional state of young plants of *E. globulus*.

INTRODUÇÃO

As plantações de *Eucalyptus globulus* ocupam em Portugal cerca de 7×10^5 ha e são exploradas intensivamente em regime de talhadia. Embora a remoção dos resíduos de abate tenha sido frequentemente praticada para facilitar a preparação do terreno e a plantação inerentes à rotação seguinte, actualmente ela é sobretudo encorajada como forma de aumentar a produção de bioenergia (<http://www.dgrf.min-agricultura.pt/v4/dgf/pub.php?ndx=2407>). Como os resíduos de abate daquelas plantações possuem uma elevada quantidade de

nutrientes (Madeira, 1995; Cortez, 1996; Spangenberg *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 1999), a sua remoção pode conduzir à perda de elevada quantidade dos mesmos e ao consequente declínio da fertilidade do solo. Aliás, o decréscimo da produtividade em virtude da remoção dos resíduos de abate tem sido observado em replantações de várias espécies florestais (Powers *et al.*, 1990; Smethurst & Nambiar, 1990; Proe & Dutch, 1994; Khanna, 1997; Merino *et al.*, 2003). Porém, nas nossas condições, não foi ainda observado qualquer declínio evidente da produtividade das plantações de eucalipto, a curto prazo, em consequência da remoção dos resíduos de abate e das camadas orgânicas, tanto em áreas de replantação como de talhadia (Jones *et al.*, 1999; Magalhães, 2000; Soares *et al.*, 2002; Madeira *et al.*, 2004).

Os estudos realizados sobre a gestão dos resíduos de abate não contemplaram a aplicação de fertilizantes (Jones *et al.*, 1999; Madeira *et al.*, 2004), não se conhecendo, por isso, o potencial de crescimento devido à interacção entre a gestão dos resíduos de abate e a aplicação de fertilizantes. Embora para as nossas condições tenha sido constatado que a aplicação de fertilizantes não tem forte influência no aumento da produtividade das plantações de eucalipto (Pereira *et al.*, 1989; Madeira *et al.*, 1995), dever-se-á ter em consideração que tais estudos foram efectuados na ausência de camadas orgânicas e de resíduos de abate. Nestas circunstâncias, para as nossas condições não são conhecidos os efeitos de diferentes sistemas de gestão dos resíduos de abate em interacção com a aplicação de fertilizantes e de plantas fixadoras de azoto, de forma a assegurar e a reforçar a produtividade das plantações de eucalipto.

Usualmente os estudos nutricionais são feitos com base em análises foliares tradicionais, os quais incluem a área foliar, os

pesos fresco e seco, e os teores de azoto, fósforo, cálcio, potássio e magnésio. Dado que o azoto tem uma influência marcante na coloração foliar, geralmente relacionada com um aumento do teor de clorofila, este efeito tem sido frequentemente estimado por extracção destrutiva do tecido foliar seguida de espectrofotometria e, mais recentemente, por espectroradiometria (medidor de clorofila portátil, Minolta SPAD-502). Os teores relativos de clorofila, obtidos recorrendo ao SPAD-502, têm-se mostrado correlacionados com o teor de N em plantas hortícolas (Madeira *et al.*, 2003), cereais (Ma & Dwyer, 1997; Ladha *et al.*, 1998), citrinos (Pestana *et al.*, 2004), em pés-mãe de *E. globulus* (Ribeiro *et al.*, 2004) e em plantações jovens de *E. globulus* e *E. nitens* (Pinkard *et al.*, 2006), podendo constituir uma metodologia alternativa aos métodos comuns.

Neste contexto, instalou-se um sistema experimental para avaliar a influência dos resíduos de abate (na superfície do solo ou incorporados) e da aplicação de fertilizantes e de leguminosas no crescimento e estado de nutrição de plantas de eucalipto, a fim de identificar os sistemas de gestão dos resíduos de abate mais apropriados para otimizar a produtividade das plantações de eucalipto. No presente estudo reporta-se os resultados do crescimento das árvores na fase inicial do estudo, bem como do seu estado de nutrição através de análise foliar e do método espectroradiométrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo decorreu na Quinta do Furadouro (Óbidos) (39° 12' lat. N, 09° 09' long. W, alt. 70 m), na região Centro de Portugal. O clima da área é do tipo mediterrânico, com

uma humidade relativa do ar geralmente superior a 80% ao longo de todo o ano, devido à proximidade do Oceano, o que contribui para amenizar os impactos da secura estival. Na estação climatológica das Caldas da Rainha (39° 24' N, 09° 08' W, alt. 70 m), a mais próxima da área de estudo, a temperatura média anual é de 15.2°C, enquanto a média mensal varia de 10,4 °C, em Janeiro, a 19,8 °C em Agosto. A precipitação média anual é de 607 mm, mas apenas 10% ocorre no período compreendido entre Maio e Setembro (Reis & Gonçalves, 1981).

A área de estudo assenta em formações do Cretácico (arenitos) ("Grés de Torres Vedras"; Zbyzewski *et al.*, 1966), cujo relevo geral é aplanado a ondulado suave, com declives compreendidos entre 5 e 12 %. Os solos são maioritariamente Cambissolos dísticos e Regossolos dísticos (WRB, 2006), apresentando textura franco arenosa a franca, valores de pH (H₂O) inferiores a 5,3, baixos teores de C orgânico (10,9 – 24,3 g kg⁻¹) e extremamente baixos de P extraível (< 5 mg kg⁻¹) (Jones *et al.*, 1999).

Tratamentos e desenho experimental

O sistema experimental foi instalado numa área de replantação de *E. globulus*, após o abate da plantação anterior (com 34 anos de idade), o qual ocorreu no Outono de 2001. O sistema foi instalado na Quinta do Furadouro (Óbidos), em Março 2002, e incluiu oito tratamentos (repetidos em quatro blocos): R - remoção da totalidade dos resíduos de abate; RF - como R e com aplicação de fertilizantes no final do Inverno dos dois anos seguintes ao da plantação; RL - como R e com sementeira de leguminosas (*Lupinus luteus*); S - manutenção dos resíduos de abate no sítio e distribuídos na superfície do solo; SF - como S e aplicação de fertilizantes nos dois anos seguintes ao da

plantação; I - incorporação dos resíduos de abate no solo por intermédio de gradagem a uma profundidade média de 20 cm; IF - como I e aplicação de fertilizantes; IL - como I e com sementeira de leguminosas (*L. luteus*).

O sistema experimental foi instalado numa área adjacente a um outro sistema instalado em Abril de 1993 (Jones *et al.*, 1999). A área útil das parcelas foi de 225 m², correspondendo-lhe 25 árvores objecto de monitorização; como a área útil de cada parcela foi envolvida por duas fileiras de árvores, a área total de cada uma delas era de 729 m². A rebentação das touças foi controlada pela aplicação de glifosato. Os resíduos de abate das parcelas dos tratamentos R, RF e RL foram removidos manualmente do sítio; nas parcelas dos tratamentos S e SF os mesmos resíduos foram distribuídos uniformemente na superfície do solo, enquanto nas parcelas dos tratamentos I, IL e IF foram incorporados no solo por intermédio de uma grade de discos de 14 toneladas, com discos de 80 cm de diâmetro. A leguminosa (*L. luteus*) (tratamentos RL e IL) foi semeada por uma escarificação ligeira, aplicando-se 110 kg de semente e 220 kg de superfosfato a 18% por hectare.

Após a aplicação dos tratamentos, a plantação (ao covacho) realizou-se no final de Março de 2002, entre as linhas de touças da plantação anterior, e a um compasso de 3 x 3 m. Aquando da plantação, aplicaram-se a cada planta de todas as parcelas 150 g de adubo composto ternário (com 12% N, 24% P₂O₅ e 12% K₂O) (metade de cada lado da planta) e a cerca de 20-25 cm desta. As plantas de *E. globulus* utilizadas foram produzidas pela Störa Celbi SA e eram de origem seminal. Um (início de Março de 2003) e dois anos (Março de 2004) após a instalação do sistema experimental aplicou-se manualmente (200 kg ha⁻¹) um fertilizante azotado (ENTEC 26, com 26% N, do qual

7,5% de N-NO₃⁻ e 18,5% de N-NH₄⁺ e 32,5% de anidrido sulfúrico, SO₃⁻ solúvel em água) nas parcelas dos tratamentos RF, IF e SF.

Medições e amostragens

Antes da instalação do sistema experimental quantificou-se a massa dos resíduos de abate que existiam nas parcelas delimitadas (Quadro 1), a que se seguiu a caracterização dos respectivos solos por intermédio da abertura e descrição amostragem de seis perfis. Foram colhidas amostras não perturbadas para determinação da massa volúmica aparente, por intermédio de cilindros com 5 cm de altura e 8 cm de diâmetro. A amostragem para a caracterização química de referência dos solos da área experimental foi feita por sondagem às profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-70 cm, fazendo-se cinco sondagens em cada parcela (no centro e em cada um dos cantos), obtendo-se uma amostra composta por cada camada de cada parcela.

Os resíduos de abate procedentes da plantação de *E. globulus* anterior foram separados e individualizados pelas seguintes componentes: folhas, cascas, raminhos, ramos e frutos (cápsulas). A quantificação desses resíduos foi efectuada por amostragem de áreas com um metro quadrado, de um modo totalmente aleatório e num total de 15 repetições para cada uma daquelas componentes. Todo o material foi seco em estufa a 80 °C, procedendo-se, posteriormente, à pesagem das componentes referidas.

A altura de todas as árvores da área útil de cada parcela foi medida por intermédio de uma fita em Outubro de 2002 e Setembro de 2003.

Para as análises foliar (área foliar, pesos fresco e seco, e teores de N, P, Ca, K e Mg) e de teor relativo de clorofila (SPAD-502, Minolta Corporation, Ramsey, NJ) foram

feitas três amostragens (Novembro de 2002, Maio e Novembro de 2003), tendo em duas árvores por tratamento e por bloco sido colhidas oito folhas completamente expandidas em quatro ramos do terço superior da copa, segundo as quatro direcções dos pontos cardeais.

Métodos de análise

A medição da área foliar foi efectuada por intermédio de um *Portable Area Meter Model Li-3000A (LI-COR)*; após esta medição determinou-se o peso fresco das folhas, seguindo-se a sua secagem numa estufa ventilada a 80 °C, durante 48 horas, após a qual foi determinado o peso seco das mesmas.

Para efeito de análise, os materiais orgânicos (componentes dos resíduos de abate e folhas da árvores jovens) foram moídos num moinho centrífugo com um crivo de 1 mm.

O N dos materiais orgânicos foi determinado pelo método de Kjeldahl, usando um sistema de destilação *Kjeltec Auto 1030 Analyser*. A solubilização dos elementos minerais (P, Ca, K, Mg e Mn) dos resíduos obteve-se por digestão destes num *CEM Microwave Digestion System Model MDS-81 D*. Para o efeito colocou-se 0,5 g de material em tubos LDV (Line Digestion Vessel), o qual foi posto em contacto com 10 mL de HNO₃ concentrado a 65 %. A solução resultante foi evaporada em copos de "Fourneau", sendo o respectivo resíduo solubilizado pela adição de 10 mL de HCl 3M. O Ca, K, Mg e Mn foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica e o P por colorimetria (método do ácido ascórbico).

As determinações inerentes às características químicas dos solos foram efectuadas na terra fina (<2 mm), seguindo a metodologia descrita por Póvoas & Barral (1992).

O pH foi determinado pelo método potenciométrico em água (razão solo: solução 1:2.5). O carbono orgânico foi determinado por oxidação húmida. O N total foi determinado como descrito anteriormente. O P extraível foi determinado pela metodologia de Egnér-Riehm. As bases de troca foram extraídas pelo NH₄OAc 1M, ajustado a pH 7,0, e o Al extraível foi determinado após extracção com KCl 1M. As concentrações de Ca, Mg, Na, K e Al foram determinadas por AAS, e a de P por colorimetria.

Os teores de clorofila e de carotenóides totais foram obtidos por extracção em acetona a 100% e ascorbato de sódio, a partir de discos (0,7 cm diâmetro) obtidos de oito folhas por tratamento. As absorvâncias lidas em espectrofotómetro foram: 470, 644,8, 661,6 e 730 nm. Os teores ($\mu\text{g cm}^{-2}$) foram então calculados de acordo com as equações de Lichtenthaler (1987). Nas áreas correspondentes aos discos usados para extracção dos pigmentos foram feitas leituras com o SPAD-502 para posterior correlação e calibração

Análise estatística

O efeito dos tratamentos no crescimento e estado de nutrição das árvores foram testados por análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias dos tratamentos pelo *Tukey multiple range test*. Os procedimentos estatísticos foram efectuados através do *Statistica 6.0 software package* (StatSoft, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nutrientes nos resíduos de abate

A quantidade de resíduos de abate (Quadro 1) no início do estudo era da ordem de 38,4 t ha⁻¹, correspondendo na maior parte a

QUADRO 1 – Quantidade de matéria orgânica (MO) e de nutrientes nos resíduos de abate (RA) da área onde se instalou o sistema experimental.

RA	MO	N	Ca	Mg	K	Mn	P
	t ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
Total	38,39	165,3	442,8	37,7	68,2	31,3	15,3
Folhas	10,98	109,9	160,6	14,7	23,8	13,1	8,6
Ramos	17,76	31,2	139,4	11,9	25,6	10,3	3,8
Raminhos	5,09	14,7	70,9	5,2	14,0	3,9	1,8
Cascas	4,26	8,4	70,1	5,6	3,8	3,9	0,9
Outros	0,31	1,2	1,8	0,3	1,0	0,1	0,1

folhas (10,98 t ha⁻¹) e a ramos (17,76 t ha⁻¹); a quantidade de raminhos e de cascas era respectivamente 5,09 e 4,26 t ha⁻¹. A quantidade de azoto (165 kg ha⁻¹) acumulada nos resíduos de abate era substancial, sendo a de Ca bastante mais elevada (443 kg ha⁻¹) e da ordem de grandeza da que tem sido reportada para as plantações de *E. globulus* em Portugal (Madeira, 1995). Aliás, a quantidade destes nutrientes e dos demais considerados (Mg, K, Mn e P) era da ordem de grandeza da observada numa área experimental instalada anteriormente numa área adjacente ao do presente sistema experimental (Jones *et al.*, 1999). A quantidade de P nos resíduos de abate era muito mais baixa (15,3 kg ha⁻¹) do que a dos outros nutrientes, mas representava ainda assim uma elevada pro-

porção (cerca de 70%) da quantidade extraível do solo até 30 cm de profundidade. O N e o P estavam sobretudo alocados nas folhas, enquanto o Ca estava distribuído fundamentalmente nas folhas, ramos e cascas.

Características dos solos

O teor de C orgânico (Quadro 2) no solo era semelhante ao determinado na área experimental instalada em 1993 (Jones *et al.*, 1999; Madeira *et al.*, 2004); a razão C/N era bastante elevada (25,9) sobretudo na camada 0-10 cm. Os teores de bases de troca indicavam uma disponibilidade razoável das mesmas e a sua distribuição com a profundidade do solo (teor máximo na camada 0-10 cm) indica que a plantação anterior,

QUADRO 2 - Teores de C orgânico e N, bases de troca, alumínio extraível (Al) e P e K extraíveis, bem como os valores da razão C/N e do pH (H₂O e KCl), referentes às diferentes profundidades, no início do estudo (n=32).

Prof. (cm)	C ----g kg ⁻¹ ----	N	C/N	BASES DE TROCA				Al	P	K	pH	
				Ca	Mg	K	Na				H ₂ O	KCl
				-----cmol _c kg ⁻¹ -----							----µg g ⁻¹ ----	
0-10	13,6	0,53	25,9	2,96	0,66	0,27	0,08	0,15	6,2	91,9	5,0	4;1
10-20	6,8	0,36	19,5	0,75	0,49	0,17	0,05	0,62	5,9	70,3	5,0	4,0
20-30	5,4	0,24	23,0	0,75	0,49	0,17	0,05	0,81	6,3	61,8	5,0	4,2
30-50	3,2	0,24	13,3	0,62	0,67	0,17	0,07	-	2,8	64,2	5,3	4,4
50-70	2,7	0,21	13,0	1,34	0,99	0,16	0,17	-	1,6	51,1	5,0	4,1

embora possa ter levado à depleção das bases do solo, também conduziu à sua acumulação (sobretudo do Ca) na camada superficial do solo; tal facto atribui-se ao ciclo de nutrientes e, sobretudo, à grande longevidade da plantação anterior.

O teor de P extraível até 30 cm de profundidade era da ordem de 6 mg kg⁻¹; a quantidade até 20 cm de profundidade é equivalente àquela existente nos resíduos de abate no início do estudo. O teor de K disponível, pelo contrário era bastante elevado (62-91 mg kg⁻¹) e em nível suficiente para suplementar as necessidades das árvores.

Altura das árvores

Cerca de sete meses após a plantação (Outubro de 2002), as árvores dos tratamentos com leguminosas, tanto com incorporação (IL) como com remoção

(RL) de resíduos de abate, apresentavam um crescimento inferior às dos demais tratamentos, o que se atribui a uma eventual competição por recursos hídricos. Porém, em Setembro de 2003 (cerca de seis meses após a aplicação de fertilizantes), o maior crescimento das árvores foi observado nos tratamentos I,

IF e SF (Figura 1). Estes resultados sugerem em primeiro lugar que, na fase inicial da plantação, a incorporação dos resíduos de abate foi mais favorável do que a sua remoção ou manutenção na superfície do solo, o que está em linha com resultados obtidos anteriormente em Portugal e na Galiza (Jones *et al.*, 1999). Em segundo indicam que a fertilização azotada teve resultados positivos apenas nos tratamentos (IF e SF) em que os resíduos de abate foram mantidos no sítio, ou seja, a aplicação de fertilizantes não compensou o efeito da remoção dos resíduos de abate.

Análise foliar

Na amostragem de Novembro de 2002 (Quadro 3) – efectuada oito meses após a plantação, mas antes da aplicação de fertilizantes – os teores de N foram superiores nas folhas das árvores dos tratamentos IL (26,7 mg g⁻¹) e RL (25,5 mg g⁻¹) do que nas dos outros (21,0-21,8 mg g⁻¹); semelhante padrão foi observado para a razão N/P, cujos valores foram 12,7 e 12,4, respectivamente. Este facto atribui-se pelo menos em parte ao fornecimento de N pelas leguminosas; entretanto, o menor crescimento observado para as árvores dos tratamentos

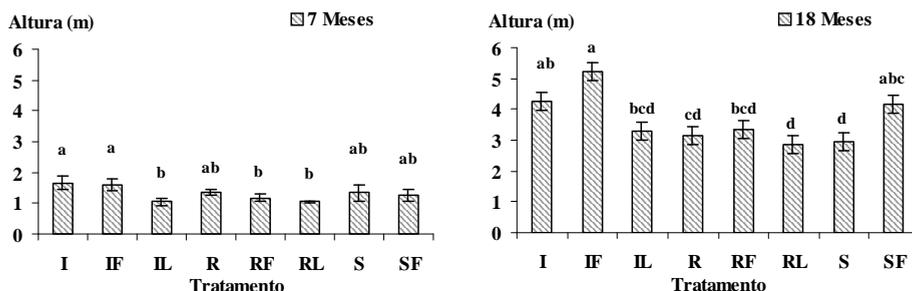


Figura 1 – Altura das árvores, 7 e 18 meses após a plantação; a barra corresponde ao desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre tratamentos pelo teste de Tukey

IL e RL (Figura 1) também terá afectado esse teor. O teor de Ca foi superior quando os resíduos de abate foram deixados à superfície do solo (tratamento S), o que deverá estar em correspondência com a concentração na camada superfície do solo do Ca proveniente da decomposição dos resíduos de abate.

Um efeito semelhante parece ter afectado a clorofila total, dado que o teor mais elevado de N observado em IL and RL parece ter contribuído para uma AFE mais elevada nestes tratamentos (186,1 e 179,9 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente) do que nos outros (149,5-174,0 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) (Quadro 3). A incorporação dos resíduos de abate no solo (I), tal como foi observado para a altura das árvores, parece ter afectado positivamente a área foliar específica (174,0 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), relativamente à sua remoção (R, 164,4 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) ou quando os mesmos foram colocados na superfície do solo (S, 154,2 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).

Na amostragem de Maio de 2003 (Quadro 4) – realizada dois meses após a fertilização azotada em IF, RF e SF – os teores

de N nas folhas das árvores destes tratamentos foram significativamente mais elevados (22,4-23,6 mg g^{-1}) do que nas dos outros (14,7-16,5 mg g^{-1}). Tendência inversa foi observada para os teores de Ca e Mg, podendo a competição ou antagonismo entre cationes, de acordo com Mengel & Kirkby (2001), ter tido um papel importante na diminuição da absorção de Ca e Mg observada nesta amostragem. Daí que as razões N/P, N/Ca e N/Mg tenham sido significativamente mais elevadas (em média 15,2, 4,1 e 17,3, respectivamente) em IF, RF e SF relativamente aos outros tratamentos (em média 11,7, 1,9 e 8,7, respectivamente). Na amostragem em apreço, a razão N/P nos tratamentos objecto de fertilização está próxima do valor óptimo (13-15) para plantações de eucalipto sugerido por Cromer (1996) e Prado & Toro (1996), mas é muito inferior ao obtido por Merino *et al.* (2003), na Galiza, em sítios onde os teores de N no solo eram pelo menos dez vezes superiores aos do presente estudo, enquanto os de P eram da mesma ordem de grandeza.

QUADRO 3 - Determinação de nutrientes foliares (mg g^{-1}), pigmentos fotossintéticos (SPAD e extracção, $\mu\text{g cm}^{-2}$), área foliar específica (AFE, $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), peso fresco e peso seco (g/folha) relativa à amostragem realizada em Novembro 2002 (sete meses após a plantação). Clorofila total (CLT); carotenóides (CAR)

Tratam.	I	IF	IL	R	RF	RL	S	SF
N	21,8 ab	24,5 ab	26,7 a	21,2 ab	21,0 b	25,5 ab	21,8 ab	23,3 ab
P	2,1 a	2,1 a	2,1 a	2,2 a	2,0 a	2,1 a	2,0 a	2,0 a
Ca	3,9 a	3,8 a	4,4 a	3,9 a	4,0 a	4,4 a	5,5 a	5,3 a
K	12,1 a	12,5 a	11,8 a	11,5 a	12,0 a	10,9 a	10,8 a	10,5 a
Mg	1,4 a	1,2 a	1,5 a	1,4 a	1,5 a	1,5 a	1,6 a	1,6 a
SPAD	37,4 a	40,0 a	38,1 a	35,8 a	35,8 a	37,3 a	37,5 a	43,5 a
CLT*	26,3 ab	28,8 ab	26,9 ab	24,7 b	24,9 ab	26,3 ab	26,5 ab	33,6 a
CAR.*	6,7 a	7,2 a	6,8 a	6,3 a	6,3 a	6,6 a	6,7 a	8,0 a
AFE	174,0 ab	169,1 ab	186,1 a	164,4 ab	158,1 ab	179,9 ab	154,2 ab	149,5 b
Peso fresco	1,18 a	1,36 a	1,20 a	1,14 a	1,20 a	1,06 a	1,13 a	1,44 a
Peso seco	0,34 ab	0,40 ab	0,34 ab	0,34 ab	0,34 ab	0,3 b	0,34 ab	0,45 a

* Valores estimados com base na calibração do SPAD para Maio 2003. As médias numa linha seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes (Teste de Tukey, $P < 0,05$)

QUADRO 4 - Determinação de nutrientes foliares (mg g⁻¹), pigmentos fotossintéticos (SPAD, sem unidade e extracção, µg cm⁻²), área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), peso fresco e peso seco (g/folha), em Maio e Novembro de 2003, respectivamente dois e oito meses após a fertilização. Clorofila total (CLT); carotenóides (CAR)

Tratamentos	I	IF	IL	R	RF	RL	S	SF
Maio de 2003								
N	16,5 b	23,6 a	16,2 b	15,5 b	23,5 a	14,8 b	14,7 b	22,4 a
P	1,4 ab	1,7 a	1,4 ab	1,3 b	1,5 ab	1,3 b	1,3 b	1,5 ab
Ca	8,4 ab	5,7 c	9,5 a	9,2 a	5,8 bc	8,8 a	8,1 ab	5,9 bc
K	9,3 a	8,4 ab	9,2 a	8,0 ab	8,0 ab	7,4 b	8,9 ab	8,5 ab
Mg	1,9 a	1,4 b	1,9 a	1,8 a	1,4 b	1,9 a	1,6 ab	1,3 b
SPAD	37,8 b	44,9 a	36,3 b	38,2 b	46,3 a	37,6 b	36,0 b	45,1 a
CLT	29,0 b	44,3 a	27,1 b	27,8 b	40,2 a	28,3 b	25,8 b	39,6 a
CAR.	7,0 b	9,8 a	6,4 b	7,1 b	9,6 a	7,1 b	7,0 b	9,1 a
AFE	108,2 ab	116,9 ab	115,9 ab	107,7 ab	122,3 ab	104,5 b	109,0 ab	112,4 ab
Peso fresco	1,63 ab	1,56 ab	1,18 c	1,31 abc	1,46 abc	1,14 c	1,33 abc	1,54 b
Peso seco	0,56 a	0,54 ab	0,40 b	0,46 ab	0,50 ab	0,41 b	0,48 ab	0,54 ab
Novembro de 2003								
N	25,8 b	28,0 a	25,1 a	25,1 a	26,9 a	26,4 a	26,0 a	27,5 a
P	2,2 a	2,5 a	2,1 a	2,1 a	2,5 a	2,2 a	2,2 a	2,4 a
Ca	5,2 abc	3,4 d	5,2 abc	5,3 ab	3,4 d	4,5 bcd	6,4 a	3,7 cd
K	11,8 a	12,3 a	12,3 a	11,3 a	11,9 a	12,3 a	12,3 a	12,6 a
Mg	1,8 a	1,5 a	1,6 a	1,7 a	1,6 a	1,7 a	1,6 a	1,7 a
SPAD	41,2 ab	44,0 a	40,8 ab	41,1 ab	39,6 ab	39,7 ab	36,7 b	43,1 ab
CLT	38,7 a	42,4 a	38,1 a	37,4 a	34,6 a	32,4 a	34,8 a	43,7 a
CAR	8,3 a	9,6 a	8,2 a	8,3 a	7,8 a	7,1 a	7,7 a	9,6 a
AFE	139,0 a	129,1 a	142,6 a	123,9 a	138,8 a	150,2 a	150,5 a	133,8 a
Peso fresco	0,94 a	1,13 a	0,99 a	0,90 a	0,86 a	0,83 a	0,73 a	1,03 a
Peso seco	0,28 a	0,35 a	0,3 a	0,31 a	0,26 a	0,24 a	0,21 a	0,33 a

Os teores de N observados em Maio de 2003 foram inferiores aos medidos em Novembro de 2002, sendo o decréscimo menos acentuado nos tratamentos IF, RF e SF (Quadros 3 e 4), isto é, os que foram fertilizados em Março de 2003. Este decréscimo pode possivelmente ser também atribuído ao surgimento de zonas foliares necróticas produzidas por um fungo do género

Mycosphaerella (comunicação pessoal da Eng.^a Clara Araújo) que afectou as árvores durante este período. Os teores de P e K também diminuiram, enquanto que os de Ca e Mg aumentaram na maioria dos tratamentos (decrecendo em seguida em Novembro de 2003, Quadro 4).

A área foliar específica, em Maio de 2003, foi semelhante na maioria dos tra-

tamentos, verificando-se no entanto um aumento em RF relativamente a R e RL (122,3, 107,7 e 104,5 cm² g⁻¹, respectivamente), sugerindo que a fertilização azotada teve um efeito positivo quando os resíduos foram removidos do solo. Este efeito não foi tão evidente nos tratamentos com incorporação dos resíduos, tendo sido semelhante ao efeito da introdução de leguminosas (Quadro 4).

Na amostragem de Novembro de 2003 (Quadro 4), oito meses após a aplicação de fertilizantes azotados, observou-se um aumento do teor de N, relativamente a Maio de 2003, nas folhas das árvores de todos os tratamentos, sendo a diferença entre os tratamentos RF, SF e IF (26,9-28,0 mg g⁻¹) e os outros (25,1-26,0 mg g⁻¹) muito reduzida, comparativamente com o observado na amostragem anterior; este padrão atribui-se ao facto da amostragem de Novembro coincidir com uma época de menor crescimento. No entanto, a razão N/P variou entre 10,8 (RF) e 12,1 (R), não havendo diferenças significativas entre tratamentos. A razão N/Ca aumentou em RF (8,8), SF (7,5) e IF (6,3), relativamente a Maio de 2003 e aos outros tratamentos (em média 4,8).

Calibração do SPAD

A maioria dos autores apenas relacionou os teores de clorofila total com os valores de SPAD (Ma & Dwyer, 1997; Ladha *et al.*, 1998; Pinkard *et al.*, 2006), não havendo, assim, informação sobre a correlação com os carotenóides totais. Assim, no presente estudo correlacionaram-se os teores de clorofila total e de carotenóides totais com os valores de SPAD. Devido à evolução do crescimento das árvores (em termos de área e espessura foliar) foram realizadas duas calibrações para o SPAD: (i) relativamente à

extracção dos pigmentos realizada em Maio de 2003 e utilizada para determinar os valores de SPAD em Novembro de 2002, e (ii) incluindo os valores de Maio de 2003 e os de Novembro de 2003. As expressões analíticas obtidas na primeira calibração foram:

$$CLT = 0,014 (SPAD)^2 - 0,029 (SPAD) + 8,185$$

$$(R^2=0,92)$$

$$CAR = 0,219 (SPAD) - 1,553$$

$$(R^2=0,86);$$

e na segunda:

$$CLT = 5,989 \exp (0,0403 SPAD)$$

$$(R^2=0,90)$$

$$CAR = 1,763 \exp (0,0346 SPAD)$$

$$(R^2=0,89).$$

Embora os coeficientes de determinação sejam semelhantes para as duas calibrações, verificou-se que a primeira calibração (Maio de 2003) não deveria ser utilizada em Novembro de 2003 devido à evolução observada nas folhas em termos de maturidade. A segunda calibração (Maio de 2003 + Novembro de 2003) aproximou-se dos valores de clorofila e carotenóides extraídos em Novembro de 2003, o que poderá permitir comparar os teores de clorofila e os valores de SPAD a obter em próximas amostragens.

Análise foliar e SPAD

Os teores de clorofila total e de carotenóides e os valores de SPAD apresentaram pequenas diferenças entre tratamentos em Novembro de 2002 e 2003 (Quadros 3 e 4). Apenas em Maio de 2003 (dois meses após a aplicação de fertilizantes) foram observadas diferenças significativas entre tratamentos. Com efeito, as folhas das árvores dos tratamentos IF (44,9), RF (46,3) e SF (45,1) – os que foram objecto de aplicação de fertilizantes – apresentaram valores de SPAD significativamente superiores às dos outros

(36,0-38,2). Esta diferença está em correspondência com os teores foliares mais elevados de N nas árvores dos primeiros, na sequência da fertilização azotada efectuada em Março de 2003. Os teores de clorofila total também foram significativamente mais elevados nas árvores dos tratamentos IF (44,3 $\mu\text{g cm}^{-2}$), RF (40,2 $\mu\text{g cm}^{-2}$) e SF (39,6 $\mu\text{g cm}^{-2}$) do que nas dos outros (25,8-29,0 $\mu\text{g cm}^{-2}$); padrão semelhante foi observado para o teor de carotenóides, dado o respectivo teor nos primeiros (9,1-9,8 $\mu\text{g cm}^{-2}$) ter sido significativamente maior do que nos segundos (6,4-7,1 $\mu\text{g cm}^{-2}$).

Pinkard *et al.* (2006), para plantações de *E. globulus* em dois locais na Tasmânia (Austrália), obtiveram teores de clorofila total (médias de 59 e 39 $\mu\text{g cm}^{-2}$) e de SPAD (médias de 49,6 e 40,6), os quais variaram com o local de plantação, apesar das árvores terem a mesma idade (dois anos e meio de idade) e a folhagem ser predominantemente juvenil. No entanto, os segundos valores de clorofila total e SPAD obtidos por estes autores enquadram-se na gama de valores encontrados no presente estudo para árvores relativamente mais jovens (Quadro 4, Novembro de 2003).

Em Maio de 2003, catorze meses após a plantação e dois meses após a aplicação de fertilizante nos tratamentos IF, RF e SF, o coeficiente de determinação (R^2) obtido entre os teores de N e os valores de SPAD (0,74; $P < 0,05$) foi bastante alto (Figura 2). Este coeficiente foi muito mais elevado do que o reportado por Pinkard *et al.* (2006) na Tasmânia ($R^2=0,47$). Os coeficientes de determinação estimados em Novembro de 2002 e de 2003 foram muito baixos ($R^2 < 0,15$), sugerindo que a época do ano parece condicionar a correlação entre os teores de N e os valores de SPAD.

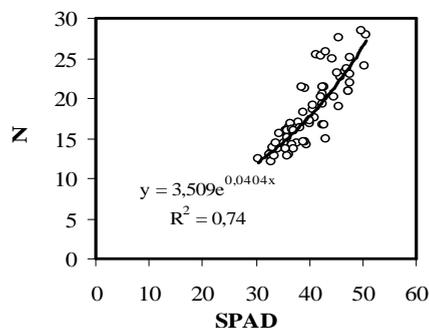


Figura 2 – Relação entre os teores de N (mg g^{-1}) e os valores de SPAD em Maio de 2003.

Ainda em Maio de 2003, os teores de P, Ca e Mg correlacionam-se não-linearmente com os valores de SPAD ($R^2 = 0,61, 0,42$ e $0,50$, respectivamente), mas o coeficiente de determinação foi muito baixo nas outras amostragens, tal como observado para o N.

Em Novembro de 2003, o coeficiente de determinação entre a área foliar específica e os valores de SPAD e (correlação não-linear) foi muito mais elevado (0,67) do que nas outras amostragens. Em Novembro de 2002 e de 2003, a correlação linear entre o peso seco foliar e os valores de SPAD foi de 0,62 e 0,76, respectivamente, tendo sido muito mais baixa em Maio de 2003.

CONCLUSÕES

Na fase inicial da plantação, a incorporação dos resíduos de abate no solo determinou o maior crescimento das árvores, enquanto a sementeira de leguminosas, não obstante a tendência positiva no teor de azoto nas folhas, conduziu ao menor. A aplicação de fertilização azotada, um ano após a plantação, conduziu a teores foliares significativamente mais elevados de N, independentemente da remoção ou manutenção dos resíduos de abate. Esse efeito foi observado

sobretudo a curto prazo (mormente na ausência de resíduos de abate) e apenas se expressou por acréscimos de crescimento nos tratamentos em que os resíduos de abate foram mantidos no sítio. Dada a correlação dos dados do método espectroradiométrico com os teores de azoto foliar, o mesmo, desde que devidamente calibrado, poderá ser uma técnica promissora na avaliação do estado de nutrição de jovens plantas de *E. globulus*. Esta possibilidade, porém, é dependente da época do ano e da idade das árvores.

AGRADECIMENTOS

O estudo foi realizado no âmbito dos projectos AGRO 19 – OFLORINT (INIAP) e POCTI/AGG/42985/2001 (FCT). À empresa Celulose Beira Industrial S.A. (CELBI), proprietária da Quinta do Furadouro, agradece-se a disponibilização e a supervisão da área experimental. Ao pessoal do laboratório de solos do Departamento de Ciências do Ambiente agradece-se as análises de solos e de materiais orgânicos. Agradece-se ainda o apoio nas amostragens por Mário Abrantes e Luís Hilário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cortez, N.R.S, 1996. *Compartimentos e Ciclos de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp. globulus e Pinus pinaster Aiton*. Doctoral Thesis. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Cromer, R.N. 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Australia. In P.M. Attiwill & M.A. Adams (eds) *Nutrition of Eucalypts*, pp. 259-274. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Fabião, A., Martins, M.C., Cerveira, C., Santos, C., Lousã, M., Madeira, M. & Correia, A. 2002. Influence of soil and organic residue management on biomass and biodiversity of understory vegetation in a *Eucalyptus globulus* Labill. plantation. *For. Ecol. Manag.* **171**: 87-100.
- Jones, H.E., Madeira, M., Herraiez, L., Dighton, J., Fabião, A. González-Río, F., Fernandez-Marcos, M., Gomez, C., Tomé, M., Feith, H., Magalhães, M.C. & Howson, G. 1999. The effect of organic matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. *For. Ecol. Manag.*, **122**: 73-86.
- Ladha, J.K., Tirol-Padre, A., Punzalan, G.C., Castillo, E., Singh, U. & Kesava Reddy, C. 1998. Non destructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. *Agronomy Journal*, **90**: 33-40.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, **148**:350-382.
- Khanna, P.K. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *For. Ecol. Manag.*, **94**: 105-113.
- Ma, B.L. & Dwyer, L.M. 1997. Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. *Journal of Plant Nutrition*, **20**: 1-8.
- Madeira, A.C., Varennes, A. & Falcão, L. 2003. Avaliação do efeito da fertilização azotada em pimenteiros por um medidor portátil de clorofila. *Programa e Resumos do Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, O Solo – Factor de Qualidade Ambiental* (Coimbra, 10-12 Julho

- 2003), pp. 68.
- Madeira, M. 1995. Efeito das plantações de *Eucalyptus globulus* nas características do solo nas regiões mediterrânicas (Portugal). *Revista Florestal*, **8(1)**: 3-22
- Madeira, M., Araújo, M.C. & Pereira, J.S. 1995. Effects of water and nutrient supply on amount and on nutrient concentration of litter fall and forest floor litter in *Eucalyptus globulus* plantations. *Plant and Soil*, **168-169**: 287-295.
- Magalhães, M.C.S. 2000. *Efeitos de Técnicas de Preparação do Solo e Gestão dos Resíduos Orgânicos em Características Físico-Químicas do Solo de Plantações Florestais*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 5th edition.
- Merino, A., López, A.R., Brañas, J. & Rodriguez-Soalleiro, R. 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Ann. For. Sci.*, **60**: 509-517.
- Pereira, J.S., Linder, S., Araújo, M.C., Pereira, H., Ericsson, T., Borralho, N. & Leal, L. C. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations - A case study. In J. S. Pereira & J. J. Landsberg (eds) *Biomass Production by Fast-Growing Trees*, pp.101-121. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Pestana, M., Varennes, A., Goss, M.J., Abadia, J. & Faria, E.A. 2004. Floral analysis as a tool to diagnose iron chlorosis in orange trees. *Plant and Soil*, **259**: 287-295.
- Pinkard, E.A., Patel, V. & Mohammed, C. 2006. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. *Forest Ecology and Management*, **223**: 211-217.
- Powers, R.F., Alban, D.H., Miller, D.H., Tiarks, A.E., Wells, C.G., Avers, P.E., Cline, R.G., Loftus, Jr., N.S. & Fitzgerald, R.O. 1990. Sustaining productivity in North America forests: problems and prospects. In S.P. Gessel *et al.* (eds) *Sustained Productivity of Forest Soils. Proc. of 7th North American For. Soils Conf., Vancouver, Canada, 21-28 July 1988*, pp. 49-79. University of British Columbia, Faculty For. Publ., Vancouver.
- Prado, J.A. & Toro, J.A. 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Chile. In P.M. Attiwill & M.A. Adams (eds) *Nutrition of Eucalypts*, pp. 357-370. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Pritchett, W.L. & Fisher, R.F. 1987. *Properties and Management of Forest Soils* (2nd edition). John Wiley & Sons, New York.
- Proe, M. F. & Dutch, J. 1994. Impact of whole tree harvesting on second-rotation growth of Sitka spruce: the first ten years. *For. Ecol. Manag.*, **65**: 39-54.
- Reis, R.M.M. & Gonçalves, M. Z. 1981. *Caracterização Climática da Região Agrícola do Ribatejo e Oeste*. O Clima de Portugal, Fasc. XXXII. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa
- Ribeiro, H.M., Vasconcelos, E., Ramos, A. & Coutinho, J. 2004. Avaliação do estado nutricional azotado de pés-mãe de *Eucalyptus globulus* Labill. com recurso a um medidor portátil de clorofila. *Programa e Resumos do I Con-*

- gresso Ibérico da Ciência do Solo* (Bragança, 15-18 Junho 2004), pp. 217.
- Smethurst, P.J. & Nambiar, E.K.S. 1990. Effect of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a *Pinus radiata* plantation. *Can. J. For. Res.*, **20**: 1498-1507.
- Soares, H., Madeira, M., Fabião, A., Azevedo, A., Kätterer, T., Abreu, F. & Cortez, N. 2002. Efeitos da gestão de resíduos de abate no crescimento inicial de *Eucalyptus globulus* Labill.: resultados de um estudo lisimétrico. *Revista de Ciências Agrárias*, **25** (3 e 4): 394-410.
- Spangenberg, A. Grimm, U., Silva, J.R.S. & Folster, H. 1996. Nutrient store and export rates of *Eucalyptus globulus* plantations in eastern Amazonia (Jari). *Forest. Ecol. Manag.*, **80**: 225-234.
- WRB. 2006. *World Reference Base for Soil Resources*. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Zbyszewski, G. & Almeida, F. 1960. *Carta Geológica de Portugal (1:50 000)*. *Notícia Explicativa da Folhas 26D (Caldas da Rainha)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.