

# Decomposição de agulhas de *Pinus pinaster* e de folhas de *Eucalyptus globulus* em regiões do interior e do litoral de Portugal

## Decomposition of needle litter of *Pinus pinaster* and leaf litter of *Eucalyptus globulus* in the littoral and inland areas of Portugal

C. Ribeiro<sup>1</sup>, N. Cortez<sup>2</sup>, A. Martins<sup>3</sup>, A. Azevedo<sup>4</sup> & M. Madeira<sup>2</sup>

---

### RESUMO

Estudou-se, pela metodologia dos *litterbags*, a decomposição de agulhas de *Pinus pinaster* (PP) e de folhas de *Eucalyptus globulus* (EG), considerando a taxa de decomposição e a dinâmica de libertação dos nutrientes mais relevantes para a sustentabilidade dos sistemas florestais. Os estudos decorreram no litoral da Região Centro (Furadouro, Óbidos), quer com folhas de EG quer com agulhas de PP, no interior da Região Norte (Vila Pouca de Aguiar), com agulhas de PP, e numa situação intermédia com folhas de EG (Pegões e Rio Maior). Para igual período, a taxa de decomposição das agulhas de PP, estimada pelo modelo exponencial simples, foi inferior à determinada para as folhas de EG, sendo a diferença mais acentuada na fase inicial da decomposição (6 meses), em que a perda de peso das agulhas de PP foi cerca de metade da observada para as folhas de EG. Durante a fase inicial decomposição, tanto das folhas de EG como das agulhas de PP, ocorreu uma assinalável libertação

de P, K e de Mg. A libertação do N dependeu da taxa de decomposição, observando-se imobilização para as agulhas de PP com mais baixa taxa de decomposição, e libertação rápida para as folhas de EG com mais elevada taxa de decomposição. No caso do Ca o factor diferenciador foi a espécie, sendo a respectiva libertação baixa para as agulhas de PP, mas acentuada para as folhas de EG. As folhas verdes de resíduos de abate de EG decompuseram-se e libertaram os nutrientes mais rapidamente do que as folhas senescentes da mesma espécie.

### ABSTRACT

Decomposition of needle litter of *Pinus pinaster* (PP) and leaf litter of *Eucalyptus globulus* (EG) was assessed using the *litterbag* methodology. Decomposition rate of these residues and release dynamics of nutrients with more relevance to the sustainability of forest systems were measured. The study was carried out in the

---

<sup>1</sup>Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, 3040-316 Coimbra, Portugal ([cribeiro@mail.esac.pt](mailto:cribeiro@mail.esac.pt));

<sup>2</sup>Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa; <sup>3</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 202, 5001-911 Vila Real; <sup>4</sup>Escola Superior Agrária de Santarém, Quinta do Galinheiro, Apartado 310, 2001-904 Santarém

litoral of Central Portugal (Furadouro, Óbidos), using both PP and EG, in inland of North Portugal (Vila Pouca de Aguiar), using PP, and in an intermediate climate condition (Pegões, Rio Maior), using EG. Decomposition rate of PP was lower than that observed for EG, differences being more pronounced in the initial stage of decomposition (first six months), when weight loss of the former was about one half of that observed for the latter. During the initial phase of decomposition of both PP and EG there was a remarkable release of P, K and Mg. N was rapidly released from EG with highest decomposition rate, and immobilized in PP with lowest decomposition rate. The pattern of Ca dynamics was dependent on species, with a general tendency of releasing from EG and, in contrast to be retained in PP. Green leaves corresponding to harvest residues decomposed and released nutrients faster than senescent leaves of EG.

## INTRODUÇÃO

A produção de folhada nos ecossistemas florestais, bem como a inerente libertação de nutrientes por decomposição, constituem o processo fundamental de devolução de nutrientes ao solo (Pritchett & Fisher, 1987), a qual depende, porém, da taxa de decomposição dos resíduos. Esta taxa de decomposição determina em larga medida a acumulação de carbono orgânico e de nutrientes nas camadas orgânicas dos solos dos ecossistemas florestais, interferindo não só no ciclo do carbono mas também na disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas florestais (Swift *et al.*, 1979). A quantidade de carbono nas camadas orgânicas em decomposição (nos ecossistemas florestais) e nos horizontes minerais dos solos foi estimada, a nível global, em cerca

de  $1450 \times 10^9$  Mg, excedendo por um factor de 2 a 3 a quantidade de carbono existente na biomassa vegetal viva (Schlesinger, 1977; Meentemeyer *et al.*, 1982; Jenkinson, 1988). A quantidade de carbono existente nos solos excede também a acumulada nos organismos e na atmosfera.

As taxas de circulação de carbono e de nutrientes nos ecossistemas florestais são controladas por três grandes grupos de factores: o ambiente físico do sítio (factores de meio físico, como o regime hídrico e a temperatura, e respectivas interações com a matriz do solo), a qualidade do substrato orgânico (composição química dos resíduos) e a natureza e diversidade das comunidades decompositoras (Swift *et al.*, 1979; Oades, 1989; Eijsackers & Zehnder, 1990). Foi demonstrado, em condições de clima temperado, que a evapotranspiração real tem uma influência determinante na taxa de decomposição dos resíduos da folhada (Meentemeyer, 1978). Este efeito foi igualmente verificado num estudo de decomposição realizado num transecto desde a península ibérica até à Escandinávia (Berg *et al.*, 1993). Porém, noutro estudo realizado num transecto na Noruega (Berg, 2000) foi observado que a influência das condições climáticas na taxa de decomposição de folhada era limitada.

As diferenças de composição dos resíduos orgânicos nem sempre conduzem a diferente taxa de decomposição, pois Ribeiro *et al.* (2002), num sítio de condições mediterrânicas, não observaram diferenças significativas na taxa de decomposição de folhas de *Eucalyptus globulus*, com diferentes teores de nutrientes, mas tão-somente diferenças na dinâmica de libertação de nutrientes. Como as folhas dos resíduos de abate dos sistemas florestais apresentam uma constituição substancialmente diferente da das folhas da folhada (afectadas pelo processo de senescên-

cia) (Azevedo, 2000; Madeira *et al.*, 1995) é de grande utilidade para a gestão florestal conhecer as peculiaridades do seu processo de decomposição.

Com vista ao aprofundamento de alguns dos aspectos referidos em dois dos sistemas florestais mais representativos do País, apresentam-se os resultados mais marcantes de vários estudos de decomposição de agulhas de *Pinus pinaster* e de folhas de *Eucalyptus globulus*, respeitantes tanto à taxa de decomposição como à dinâmica de libertação/imobilização de nutrientes. Esses estudos, em que foi utilizada metodologia semelhante, foram efectuados em várias regiões do País, no âmbito de estudos mais gerais (Cortez, 1997; Azevedo, 2000; Berg *et al.*, 1996; Azevedo, 1997), tendo os respectivos resultados sido objecto de divulgação restrita ou apenas parcelar.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Locais de estudo

Os estudos conducentes ao presente trabalho foram realizados em quatro locais com condições ambientais bastante distintas (Quadro 1): na Herdade de Espirra (HE), em Pegões, numa plantação de *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* (EG); na Herdade do Bairro Miguel (BM), a cerca de 10 km de Rio Maior, numa plantação de EG; na Quinta do Furadouro (QF), próximo de Óbidos, num povoamento de *Pinus pinaster* Aiton (PP) e numa plantação de EG; numa área próxima de Vila Pouca de Aguiar (VP), num povoamento de PP.

O estudo na plantação de EG do sítio HE (Cortez, 1996), instalada num compasso de 3 m x 3 m, efectuou-se numa parcela situada numa área de relevo aplanado, cujos solos correspondem a Cambissolos distri-

cos (FAO, 1988) formados a partir de grés argilosos do Cretácico (*Complexo gresoso-argiloso de Pegões*). No local BM o estudo incidiu numa plantação de EG, instalada seis meses após o abate da primeira rotação (Azevedo, 2000), com um compasso de 3 m x 3 m; a parcela de estudo situava-se numa área de relevo ondulado em que predominam os Arenossolos dístricos (FAO, 1988) formados a partir de areias e depósitos de terraços do Quaternário. No local QF os povoamentos de EG e de PP (qualquer deles num compasso de 3 m x 3 m) situavam-se numa área de relevo ondulado, com Cambissolos dístricos (FAO, 1988) formados a partir de arenitos da formação de “grés com vegetais fósseis de Torres Vedras e do Cercal”. O povoamento de PP do sítio VP (Azevedo, 1997) apresentava uma densidade de 988 árvores/ha e situava-se numa área de relevo ondulado, em que os Cambissolos dístricos (FAO, 1988) formados a partir de xistos e granitos são os solos dominantes.

### Metodologias

As folhas de EG dos sítios FU e HE foram colhidas no período de máxima queda de folhagem (Junho-Julho), enquanto as do sítio BM colheram-se imediatamente a seguir ao abate das árvores (início de Março) no termo da primeira rotação, tratando-se, por isso de folhas verdes não afectadas, ao contrário das primeiras, pelo processo de senescência. As agulhas de PP do sítio VP foram colhidas também na época de máxima queda (Julho - Agosto), enquanto as de PP do sítio FU corresponderam a agulhas caídas ao solo cerca de um mês antes dessa época. Antes de utilizadas as folhas e agulhas foram secas a 45 °C e colhidas amostras para a respectiva caracterização.

QUADRO 1 - Localização, altitude (AL), precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA), amplitude térmica anual (ATA) e humidade relativa do às 18 horas (HR) dos sítios onde se efectuaram os estudos de decomposição. VP- Vila Pouca de Aguiar; QF- Quinta do Furadouro; HE- Herdade da Espirra; BM- Herdade de Bairro Miguel; EG-*Eucalyptus globulus*; PP-*Pinus*

Sítio	Localização	AL m	PMA mm	TMA °C	ATA °C	HR %	Espécie	Idade anos
QF	39°21'N, 9°15'W	86	607	15,2	8,1	85	EG & PP	33-35
BM	39°15'N, 8°59'W	119	870	15,0	12,0	74	EG	1-6
HE	38°38'N, 8°36'W	85	708	15,6	12,1	66	EG	7-9
VP	41°29'N, 7°36'W	800	1381	11,3	17,9	68	PP	56-58

Nos estudos de decomposição efectuados utilizou-se a metodologia das saquetas ("litterbags"). Foram distribuídos aleatoriamente conjuntos (grupos) de saquetas nas parcelas de PP e EG das áreas de estudo descritas anteriormente. As folhas de EG dos sítios QF e HE foram incubadas em Outubro de 1993, e as do sítio BM em Outubro de 1997; as agulhas de PP dos sítios FU e VP foram incubadas, respectivamente, em Dezembro de 1989 e em Janeiro de 1995. Os estudos de decomposição das folhas de EG nos sítios QF, HE e BM duraram, respectivamente, 643, 900 e 1800 dias; os estudos inerentes às agulhas de PP na QF e em VP duraram, respectivamente, 1600 e 1273 dias. As saquetas foram amostradas bimensal ou trimestralmente, na fase inicial dos estudos, e posteriormente em períodos múltiplos destes. Cada amostragem das folhas de EG correspondeu a 15, 16 e 10 repetições, respectivamente nos sítios QF, HE e BM; as repetições inerentes às agulhas de PP foram 15 e 25, respectivamente em VP e FU. O material de cada saqueta, após secagem a 85°C, foi pesado e em seguida moído de modo a passar por um crivo de 0.2 mm e homogeneizado. Após determinação do teor em cinza, para cada resíduo, foi utilizada uma amostra composta correspondente a cada amostragem para o

respectivo processamento analítico. As análises foram realizadas, quer no material inicial, quer no correspondente a cada data de amostragem.

O teor de cinza foi determinado por combustão de um grama de amostra, submetida à temperatura de 450°C, durante seis horas. O Ca, o Mg, o K e o P foram extraídos a partir da digestão da cinza com uma mistura de 5 ml de ácido nítrico a 65 % e 5 ml de ácido perclórico a 60 % (por duas vezes), processando-se a solubilização final com ácido clorídrico 3 M. A quantificação de Ca, Mg e K na solução foi feita por espectrofotometria de absorção atómica e a de P foi efectuada por colorimetria (Watanabe & Olsen, 1965). A determinação do N (Kjeldahl) foi efectuada utilizando o sistema de digestão *Kjeltec Auto 1030 Analyser*, baseado no método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Para efeitos de cálculos considerou-se que o teor médio de C orgânico nos resíduos era de 50 %. O teor em lenhina foi determinado após digestão ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%), durante uma hora a 120°C. A metodologia seguida constituiu uma adaptação de TAPPI 13 mm - 54.

A taxa de decomposição dos resíduos foi calculada com base nos dados de percentagem de peso remanescente (isento de cinza), utilizando o modelo exponencial negativo (Olson, 1963) -  $X/X_0 = e^{-kt}$ , em

que  $X/X_0$  é a fração de peso remanescente no tempo  $t$ ,  $t_0$  o tempo decorrido desde o início da decomposição (expresso em anos) e  $k$  a taxa de decomposição anual. As correlações entre os indicadores de qualidade dos materiais orgânicos (folhas de eucalipto e agulhas de pinheiro) e as respectivas perdas de peso foram calculadas a partir da taxa de decomposição ( $k$ ) desses materiais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Materiais de estudo

O teor de nutrientes antes do início da decomposição das folhas e das agulhas estudadas (Quadro 2) está dentro da gama de valores observados para as espécies consideradas, em estudos da mesma índole em condições mediterrânicas (O'Connell, 1988, Wesemael, 1993, Kurz-Besson, 2000,). Sublinha-se, entretanto, que os teores de N ( $11,74 \text{ mg g}^{-1}$ ) e de P ( $0,62 \text{ mg g}^{-1}$ ) das folhas de *E. globulus* (EG) de Bairro Miguel eram muito superiores aos das folhas da mesma espécie da Quinta do Furadouro e da Herdade da Espirra, dado que foram colhidas durante o abate da plantação (Março) e, portanto, antes de ocorrer a translocação de N e de P e o aumento da concentração de Ca, características do processo de senescência das folhas de EG (Madeira *et al.*, 1995); como resultado apresentavam razões C/N (41) e C/P(773) muito inferiores às outras folhas e às agulhas de *P. Pinaster* (PP). Além disso, os teores de N e de P nas agulhas de PP de Vila Pouca de Aguiar eram muito inferiores aos das agulhas da Quinta do Furadouro e das folhas de EG, apresentando, assim, valores das razões C/N e C/P (respectivamente, 145 e 2014) extremamente elevados. Finalmente sublinha-se que o

teor de lenhina das agulhas de PP ( $283-300 \text{ mg g}^{-1}$ ) era bastante mais elevado do que o das folhas de EG ( $185-206 \text{ mg g}^{-1}$ ); assim, a razão lenhina/N das primeiras (43-74) era superior às das segundas (16-38).

### Perda de peso

Observou-se uma acentuada diferença de perda de peso entre as folhas e as agulhas, a qual teve expressão desde o início da respectiva decomposição (Figura 1). Assim, enquanto que as agulhas de PP na Quinta do Furadouro, após 1600 dias de decomposição, apresentavam ainda 33,6% do seu peso inicial, as folhas de EG no Bairro Miguel, em condições climáticas semelhantes, tinham um peso residual da ordem de 10 %, para igual período de decomposição. A diferença de perda de peso entre as folhas de EG e as agulhas de PP foi ainda mais notória, quando se considera a decomposição de agulhas de PP em situação climática de maior interioridade (Vila Pouca de Aguiar), as quais ainda continham 54 % do seu peso inicial, passados 1273 dias de decomposição; para igual período, o peso remanescente nas EG no Bairro Miguel era apenas da ordem de 20%. A diferença entre as agulhas de PP e as folhas de EG atribui-se sobretudo ao facto das primeiras apresentarem teores de lenhina (e também da razão lenhina/N) bastante mais elevados do que as segundas (Quadro 2), o que tem forte influência na rapidez da decomposição dos resíduos orgânicos (Berg, 1986, Taylor *et al.*, 1989).

As folhas de EG, não obstante terem sido sujeitas a decomposição em sítios com condições climáticas pouco diferenciadas, também apresentaram uma forte diferenciação entre si, destacando-se que a perda de peso, para igual período (642 dias), foi bastante mais acentuado nas folhas de EG do Bairro Miguel (70 %) do que nas da Herdade da

**QUADRO 2 - Concentração inicial de N, P, Ca, Mg, K e lenhina (LE) e valores das razões C/N e C/P das folhas de eucalipto (EG) e agulhas de pinheiro (PP) estudadas. VP- Vila Pouca de Aguiar; QF-Quinta do Furadouro; HE-Herdade da Espirra; BM-Herdade de Bairro Miguel**

Material	N	P	Ca	Mg	K	LE	C/N	C/P
	mg g <sup>-1</sup>							
PP-VP	3,80	0,28	5,90	1,50	1,70	283	148	2014
PP-QF	7,00	0,38	3,80	2,22	2,21	300	70	1284
EG-QF	5,38	0,23	16,50	1,50	3,80	206	87	2038
EG-HE	5,34	0,23	20,07	1,72	3,66	nd	87	2020
EG-BM	11,74	0,62	9,92	1,04	5,64	185	41	773

Espirra (cerca de 50 %) e nas da Quinta do Furadouro (cerca de 42 %) (Figura 1).

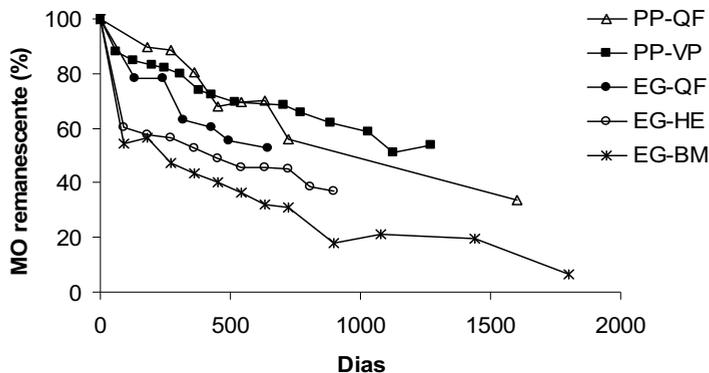
A perda de peso das folhas de EG, quer na Quinta do Furadouro, quer na Herdade da Espirra, foi da mesma ordem de grandeza da determinada por O'Connell (1988) para folhas de *Eucalyptus diversicolor*, em condições de clima mediterrânico (Perth, Austrália). No caso das folhas de EG provenientes de Bairro Miguel, a perda de peso foi superior à observada para as anteriores, mas semelhante à determinada para outras espécies de folhosas, em condições mediterrânicas, como é o caso da de *Fagus angustifolia* e de *Quercus suber* (Gallardo & Merino, 1993). Essa diferença atribui-se ao facto das folhas de Bairro Miguel apresentarem um teor de N bastante mais elevado e menores valores da razão C/N e da razão lenhina/N (Quadro 2) do que as da Herdade da Espirra e as da Quinta do Furadouro, o que é considerado (Berg, 1986, Taylor *et al.*, 1989) determinante na diferenciação da perda de peso e da taxa de decomposição entre resíduos orgânicos, em decomposição em condições climáticas semelhantes.

Também se observaram acentuadas diferenças entre as agulhas de PP, dado as de Vila Pouca terem perdido apenas cerca de 34% do seu peso inicial durante 733 dias, enquanto as Quinta do Furadouro perderam 45% do mesmo peso, durante igual período

(Figura 1). A perda de peso observada no final do período de estudo para as agulhas de PP na Quinta do Furadouro foi bastante superior à que tem sido determinada em clima tipicamente mediterrânico (Wesemael, 1993), mas no caso das agulhas de PP em decomposição em Vila Pouca de Aguiar, foi da mesma ordem de grandeza da determinada na Toscânia (Itália) para a mesma espécie por Wesemael (1993).

A diferença da perda de peso entre as agulhas estudadas atribui-se tanto à respectiva constituição (Quadro 2) como às condições ambientais dos sítios de estudo (Quadro 1). Presume-se que o segundo factor possa ser determinante, dado que num estudo em que utilizou o mesmo tipo de agulhas (de *Pinus silvestris*) verificou-se, ao fim do primeiro ano de decomposição, que a perda de peso determinada na região litoral de Portugal (em QF) e da Galiza variou entre 40 e 50%, enquanto que na região Centro de Espanha e Itália, com forte pendor continental, foi somente da ordem de 20-30% (Berg *et al.*, 1993). Tendência semelhante foi também observada em Portugal por Magalhães (2000) num estudo com resíduos de abate (folhas, raminhos e ramos) de eucalipto.

As taxas de decomposição anuais (Quadro 3) determinadas para as folhas e agulhas estudadas (entre -0,16 e -0,44) (Quadro3) estão dentro da gama dos valores estimados



**Figura 1** - Matéria orgânica remanescente (%) de folhas de eucalipto (EG) provenientes da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como de agulhas de pinheiro (PP) da QF e da área de Vila Pouca de Aguiar (VP), durante a respectiva decomposição

para agulhas de PP (entre -0,12 e -0,26) e para folhas de EG (entre -0,22 e -0,44) em situações de clima mediterrânico, nos estudos anteriormente referidos. No entanto, os valores das taxas de decomposição das agulhas de PP na Quinta do Furadouro (-0,26) e das folhas de EG no Bairro Miguel (-0,44) encontram-se no limite superior da referida gama para cada uma das espécies. Os baixos valores de taxa de decomposição obtidos para as agulhas de PP em Vila Pouca (-0,16) são, ainda assim, o dobro dos determinados (-0,08) para a mesma espécie, em condições mediterrânicas, mas de clima semi-árido (Santa Regina, 2001).

A diferença de perda de peso entre as folhas de EG e as agulhas de PP, estimada pela taxa de decomposição, foi sobretudo acentuada quando se considera a totalidade dos períodos experimentais (Quadro 3). Os valores da taxa de decomposição das folhas de EG, excluindo a fase inicial de decomposição (primeiros 90 dias), foram menores do que os obtidos para todo o período de

estudo (Quadro 3), o que indica a existência de duas fases do processo de decomposição. Ao invés, a taxa de decomposição das agulhas de PP tomou valor semelhante para as duas situações, o que sugere a uniformidade da perda de peso das agulhas de PP ao longo do processo de decomposição. Aliás, o modelo de decomposição linear, embora menos fortemente do que o exponencial, também se ajustou significativamente, à perda de peso das agulhas de PP, obtendo-se valores de  $R^2$  de 0,94 e 0,92, respectivamente, para as agulhas de Vila Pouca e da Quinta do Furadouro. Não obstante, na situação de maior influência continental (Vila Pouca) a taxa de decomposição foi bastante inferior aquela observada em condições próximas do oceano (Quadro 3).

Não se observaram correlações significativas, para qualquer dos materiais estudados, entre o valor de taxa de decomposição e a composição inicial desses materiais, nomeadamente os teores de N ou de P. Observou-se uma correlação positiva e muito

**QUADRO 3 - Período de estudo de decomposição, massa remanescente após a lixiviação inicial (MRi) e no final do estudo (MRf) e taxa de decomposição anual para todo o período de estudo (kf) e para o período excepto a fase inicial de lixiviação (ki) das folhas e agulhas objecto de estudo. EG-folhas de eucalipto; PP-agulhas de pinheiro; VP-Vila Pouca de Aguiar; QF-Quinta do Furdouro; HE-Herdade da Espirra; BM-Bairro Miguel**

Material	Período Dias	MRi %	MRf %	kf Ano <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>	ki Ano <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
PP-VP	1273	87,8	54,0	-0,16	0,82	-0,17	0,87
PP-QF	1600	89,8	33,7	-0,26	0,97	-0,26	0,97
EG-QF	643	78,5	52,8	-0,37	0,93	-0,33	0,90
EG-HE	900	60,5	36,7	-0,29	0,82	-0,22	0,96
EG-BM	1800	54,3	6,7	-0,44	0,91	-0,40	0,92

significativa ( $p < 0,007$ ) entre os valores da taxa de decomposição de todos os materiais estudados, considerando todo o período de estudo, e os valores da taxa de decomposição calculados sem a fase inicial de lixiviação. Este facto pode indicar que a fase inicial de perda de peso rápida no processo de decomposição não é determinante para o cálculo da respectiva taxa de decomposição, mesmo quando esta perda inicial representa mais de 40% do peso inicial, como foi o caso das folhas de EG do Bairro Miguel.

### Dinâmica de nutrientes

O padrão de evolução da proporção de N e de P remanescentes nas folhas e agulhas ao longo dos respectivos períodos de estudo foi semelhante (Figura 2). No caso do resíduo com menor taxa de decomposição (agulhas de PP em Vila Pouca de Aguiar), ocorreu uma forte imobilização destes elementos, atingindo no final do período de estudo (1124 dias, relativamente a nutrientes) 121% e 104% do N e do P iniciais, respectivamente. Inversamente, o resíduo com a taxa de decomposição mais elevada (folhas de EG no Bairro Miguel), libertou em larga proporção esses elementos ao longo de todo o período de estudo, atingin-

do no final do mesmo apenas cerca de 6%, tanto do N como do P iniciais.

O padrão de evolução das proporções de N e P remanescentes dos restantes resíduos estudados, isto é, aqueles com taxas de decomposição intermédias, foi semelhante. Embora inicialmente tenha ocorrido lixiviação desses elementos, a partir dos 400 dias de decomposição observaram-se ligeiras variações da quantidade de N remanescente, enquanto que no caso do P ocorreu claramente imobilização (Figura 2). A longo prazo, as diferenças de libertação de N e de P das folhas de EG e das agulhas de PP parece dependente dos valores da razão C/N e da razão C/P (Figura 3), respectivamente, uma vez que essa libertação apenas deverá ocorrer quando esses valores forem adequados à mineralização desses nutrientes (Wesemael, 1993).

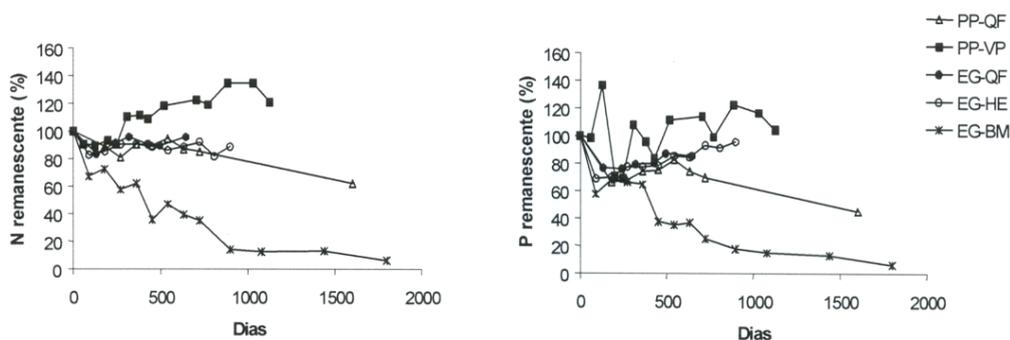
A libertação de N e de P não seguiu o padrão observado para a perda de peso tanto nas folhas como nas agulhas. Com excepção das agulhas de PP em Vila Pouca, estes nutrientes foram libertados durante a fase inicial do processo de decomposição, a uma taxa dependente do respectivo teor inicial, ou seja quanto mais elevado o teor em N, de um modo mais nítido, ou em P, maior a respectiva libertação durante essa fase (Figura 2). Aliás, as agulhas de

PP na QF libertaram uma proporção de N sensivelmente semelhante à das folhas de EG, com teor inicial de N equivalente (na QF e na HE).

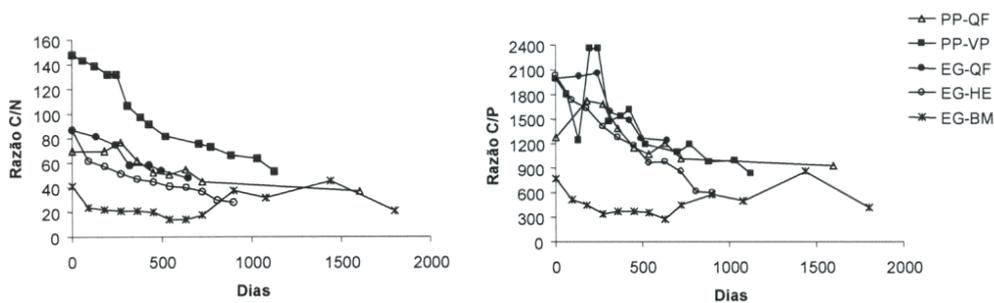
A imobilização de N tem sido observada durante a fase inicial do processo de decomposição de folhas e agulhas de várias espécies florestais (Edmonds, 1980; O'Connell, 1988; Wesemael, 1993), sendo atribuída à baixa disponibilidade de N nesses substratos. No entanto, os nossos resultados indicam que o N pode ser liber-

tado, durante a fase referida, mesmo de folhas com baixo teor inicial em N. De facto, somente no caso das agulhas de PP em Vila Pouca, com um teor de N extremamente baixo, ocorreu imobilização de N desde o início da respectiva decomposição, a corroborar as observações daqueles autores.

A libertação de P observada durante a fase inicial de decomposição de folhas de EG e agulhas de PP corrobora os resultados obtidos para folhas ou agulhas de várias



**Figura 2** - Proporção de N e P remanescentes (%) nas folhas de eucalipto (EG) provenientes da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como de agulhas de pinheiro (PP) da QF e da área de Vila Pouca de Aguiar (VP)



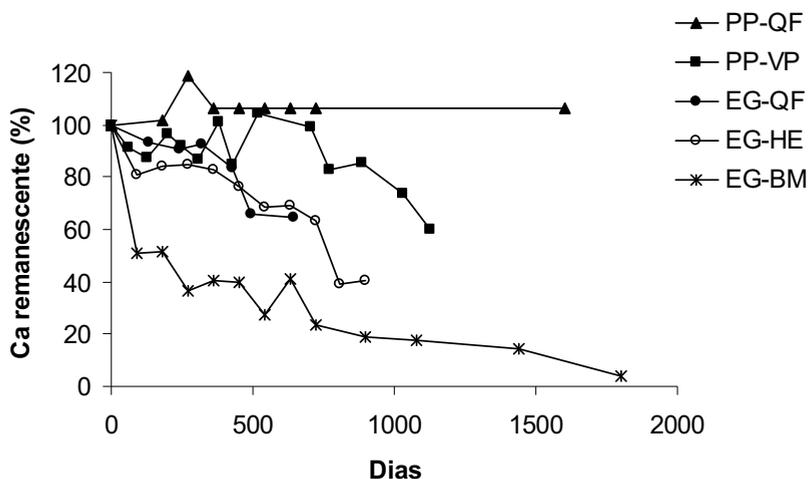
**Figura 3** - Razões C/N e C/P de folhas de eucalipto (EG) provenientes da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como de agulhas de pinheiro (PP) da QF e da área de Vila Pouca de Aguiar (VP)

espécies florestais (Lousier & Parkinson, 1978; Granhall & Slapokas, 1984; Blair, 1988; Slapokas & Granhall, 1991; Polglase *et al.*, 1992; Prescott *et al.*, 1993). No entanto, Wesemael (1993) e O'Connell (1988) verificaram que agulhas de PP e folhas de *E. diversicolor*, com teor de P mais baixo ( $0,10 \text{ mg g}^{-1}$ ) do que o das folhas e agulhas estudadas, apresentavam forte imobilização deste nutriente na fase inicial de decomposição. Assim, os teores de P das folhas e agulhas consideradas estarão acima do limiar conducente à respectiva libertação.

A correlação positiva determinadas entre os teores iniciais de N e de P e a proporção de libertação destes durante a fase inicial de decomposição, implicam que os materiais orgânicos após esta fase têm uma constituição mais homogênea do que inicialmente (Figura 2), tal como, aliás, tem sido reportado por diversos autores (Gra-

nhall & Slapokas, 1984; Prescott *et al.*, 1993, Ribeiro *et al.*, 2002) para folhas de várias espécies florestais.

As agulhas de PP não libertaram aparentemente Ca durante o período de estudo (nomeadamente o mais longo), enquanto as folhas de EG libertaram-no desde o início da decomposição, sobretudo as folhas verdes correspondentes aos resíduos de abate do Bairro Miguel que libertaram cerca de 50 % do Ca inicial durante os primeiros 90 dias (Figura 4). Em geral considera-se que o Ca é libertado com alguma lentidão durante a decomposição dos resíduos orgânicos devido à sua fraca mobilidade nos mesmos (Lousier & Parkinson, 1978; Blair, 1988), estando a sua libertação dos resíduos muito mais dependente da actividade biológica do que da lixiviação. Assim, a ausência de libertação de Ca das agulhas de PP está, em parte, em consonância com a sua baixa taxa



**Figura 4** – Proporção de Ca remanescente (%) de folhas de eucalipto (Eg) provenientes da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como de agulhas de pinheiro da QF e da área de Vila Pouca de Aguiar (VP)

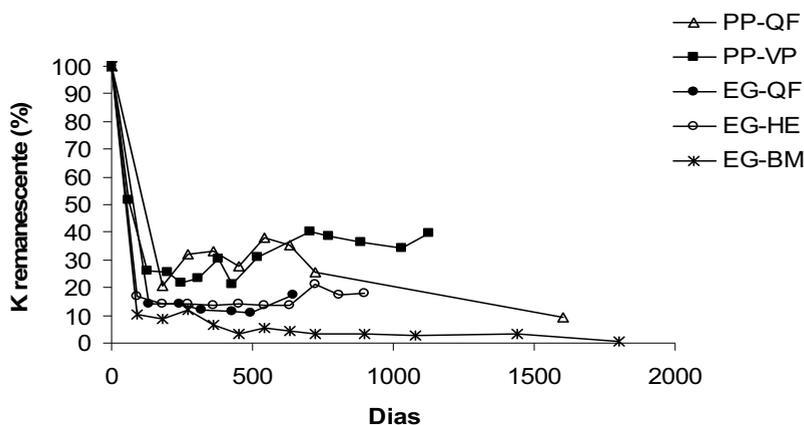
de decomposição, quando comparada com a das folhas de EG; além disso, é evidente a ocorrência de imobilização desse elemento (Figura 4), como foi observado por Wese-mael, (1993) para vários resíduos orgânicos. Essa retenção e imobilização de Ca segundo Granhall & Slapokas (1984) serão tanto mais acentuadas quanto menor o seu teor nos resíduos, o que explica o facto das agulhas com menor teor de Ca (Quadro 2; Figura 4) terem sido as que apresentaram imobilização deste mais acentuada. Deste modo as agulhas de PP contribuirão para a retenção e acumulação de Ca nas camadas orgânicas do solo.

A libertação de Ca durante a fase inicial de decomposição das folhas de EG (Figura 4), ao contrário do reportado por Granhall & Slapokas (1984) para folhas de outras espécies florestais, bem como por O'Connell (1988) para folhas de *E. diversicolor*, não se correlacionou positivamente com a concentração inicial, dado as folhas com menor teor de Ca terem sido as que o libertaram mais rapidamente (Quadro 2; Figura 4). Foi com a perda de matéria orgânica que a libertação de Ca das folhas de EG, sobretudo no caso das folhas verdes, se correlacionou positiva e significativamente ( $r = 0,942$ ,  $p < 0.001$ ). As folhas verdes devolveram o Ca ao solo mais rapidamente do que as folhas senescentes; pois a libertação deste elemento até se correlacionou com a do K ( $r = 0,745$ ,  $p < 0.01$ ). Este facto sugere que a rapidez de libertação de Ca das folhas de EG está também dependente de elas terem sido afectadas ou não pelo processo de senescência.

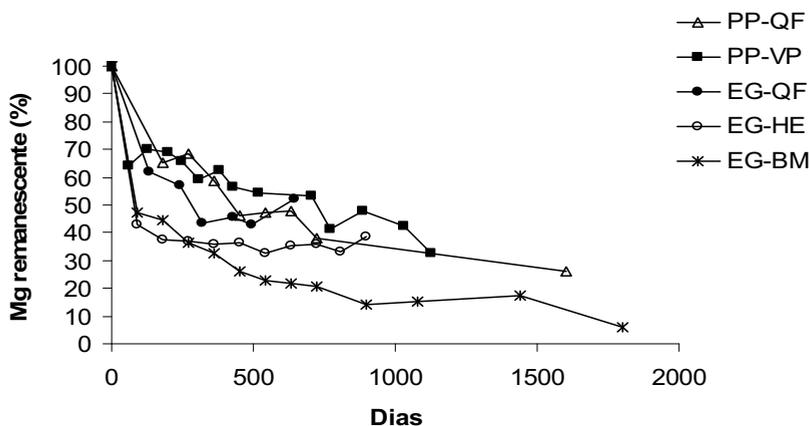
O K, ao contrário do observado para o Ca, foi libertado em larga extensão durante a fase inicial da decomposição das folhas e das agulhas, embora mais fortemente das primeiras do que das segundas (Figura 5). A rápida libertação de K e o conseqüente decréscimo da sua concentração nos resí-

duos corrobora os resultados reportados pela generalidade dos estudos de decomposição de folhas e agulhas de várias espécies florestais (Lousier & Parkinson, 1978; Swift *et al.*, 1979), sendo atribuída à sua elevada mobilidade nos resíduos orgânicos e portanto à facilidade com que é objecto de de lixiviação. Os resultados do presente estudo estão, além disso, em linha com as observações de Azevedo (2000) e de Magalhães (2000) que observaram forte lixiviação de K de resíduos de abate (folhas raminhos cascas e ramos) de eucalipto, independentemente da respectiva taxa de decomposição, bem como com as de Raimundo (2003) para folhas e ouriços de castanheiro. Sublinha-se que após a fase de lixiviação, as agulhas de PP, sobretudo as que apresentaram menor taxa de decomposição (Vila Pouca), apresentaram imobilização de K, o que se atribui às entradas deste elemento através da precipitação sob coberto e da lixiviação de resíduos mais recentes.

Tal como foi constatado para o Ca e o K, o Mg foi libertado em muito maior extensão das folhas verdes de EG do Bairro Miguel do que das outras folhas e das agulhas (Figura 6). O grau de libertação de Mg foi intermédio entre o observado para o K e para o Ca, corroborando resultados reportados para estudos da mesma índole (Granhall & Slapokas, 1984; Blair, 1988). A estabilidade da quantidade de Mg remanescente e o incremento do respectivo teor durante o segundo ano de decomposição, sugere a sua imobilização pela biomassa microbiana, como foi salientado por Blair (1988). Sublinha-se, entretanto, que a libertação do Mg das folhas de EG, assim como a de K, tende a ocorrer sobretudo na fase inicial da decomposição ou, seja, em coincidência com a fase de lixiviação mais acentuada. As agulhas de PP que apresentaram menor taxa de decomposição, foram também as que libertaram o Mg mais lentamente.



**Figura 5** – Proporção de K remanescente (%) nas folhas de eucalipto (EG) da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como nas agulhas de pinheiro (PP) da QF e de Vila Pouca de Aguiar (VP)



**Figura 6** – Proporção de Mg remanescente (%) nas folhas de eucalipto (EG) provenientes da Quinta do Furadouro (QF), da Herdade da Espirra (HE) e da Herdade de Bairro Miguel (BM), bem como de agulhas de pinheiro (PP) da QF e da área de Vila Pouca de Aguiar (VP)

### CONCLUSÕES

A taxa anual de decomposição das folhas de eucalipto e das agulhas de

pinheiro está na gama de valores observados em estudos semelhantes na área mediterrânica. Na fase inicial, as folhas de eucalipto decompõem-se mais rapidamente

te do que as agulhas de pinheiro, atribuindo-se a diferença sobretudo aos elevados teores de lenhina das segundas. No entanto, a longo prazo, em condições ambientais semelhantes, as diferenças tendem a esbater-se. As folhas resultantes do abate das plantações de eucalipto decompõem-se mais rapidamente do que as folhas senescentes da mesma espécie.

A dinâmica de libertação de nutrientes das folhas e das agulhas parece correlacionar-se com a respectiva concentração inicial, nomeadamente nos casos do N e do P. No caso do Ca observou-se um forte efeito diferenciador atribuível à espécie, uma vez que as agulhas estudadas, ao contrário das folhas, não libertaram este elemento muito mais lentamente. Os diversos nutrientes foram libertados muito mais rapidamente das folhas verdes de eucalipto do que das folhas que foram afectadas pelo processo de senescência, não sendo indiferente, por isso, considerar os resultados de umas ou outras para efeitos de avaliação da dinâmica de nutrientes após o abate das respectivas plantações. As agulhas de pinheiro apresentaram um elevado potencial de imobilização de N, P e Ca nas camadas orgânicas do solo.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao pessoal dos Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia e do Departamento de Edafologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro o processamento analítico das amostras. Ao pessoal do Departamento de Ciências Exactas e do Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra a preparação de parte das mesmas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, A.P. 2000. *Estudo da Dinâmica do Azoto e do Carbono em Plantações Florestais Intensivas*. Dissertação de doutoramento. ISA, UTL, Lisboa.
- Azevedo, S.C. 1997. *Evolução da Composição Química Estrutural da Folhada de Quatro Espécies Florestais Durante o Processo de Decomposição*. Estágio Curricular de Licenciatura. em Engenharia Florestal. UTAD, 60 págs.
- Berg, B. 1986. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils - a mini review. *Scan. J. For. Res.*, **1**: 359-369.
- Berg, B., Berg, M.B., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, A., Calvo de Anta, R., Couteaux, M., Escudero, A., Gallardo, A., Kratz, W., Madeira, M., Malkonen, E., McClaugherty, C., Meentemeyer, V., Muñoz, F., Piussi, P., Remacle, J. & Virzo de Santo, A. 1993. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, **20**:127-159.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *For. Ecol. Manag.*, **133**: 13-22.
- Blair, J.M. 1988. Nutrient release from decomposing foliar litter of three tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. *Plant and Soil*, **110**: 49-55.
- Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen - total. In A. L. Page, R.H. Miller & D.Keeney (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monograph n.º 9 (2<sup>nd</sup>. Edition), pp. 595-624. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

- Cortez, N.R.S. 1996. *Compartimentos e Ciclos de Nutrientes em Plantações de Eucalyptus globulus Labill. ssp globulus e Pinus pinaster Aiton*. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Edmonds, R.L. 1980. Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock and Pacific silver fir ecosystem in western Washington. *Can. J. For. Res.*, **10**: 327-337.
- Eijsackers, H. & Zender A.J.B. 1990. Litter decomposition: a Russian matriochka doll. *Biogeochemistry*, **11**:154-174.
- FAO. 1988. FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections. *World Resources Report 60*, FAO, Rome. (Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1994).
- Granhall, U. & Slapokas, T. 1984. Leaf litter decomposition in energy forestry. In K. Pertu (ed) *Ecology and Management of Forest Biomass Production Systems*, pp., 131-153. Department Ecology and Environmental Research, Swedish University Agricultural Sciences.
- Jenkinson, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. In A. Wild (ed) *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*, pp. 564-607. Longman, Harlow, U. K.
- Jones, H.E., Madeira, M., Herraéz, L. Dighton, J., Fabião, A., Gonzales-Rio, 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**: 73-8.
- Kurz-Besson, C. 2000. *Décomposition des Litières de Pin (Pinus sylvestris, P. halepensis et P. pinaster) dans un Transect Européen : Role de la Qualité des Litières e du Climat*. Thèse de Doctorat. Université Paris-Sud, UFR Scientifique D'Orsay.
- Lousier, J.D. & Parkinson D. 1978. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. *Can. J. Bot.*, **56**: 2795-2812.
- 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. 2000. *Efeitos de Técnicas de Preparação do Solo e Gestão dos Resíduos Orgânicos em Características Físico-Químicas do Solo de Plantações Florestais*. Tese de doutoramento em Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, **59 (3)**:465-472.
- Meentemeyer, V., Box, E.O. & Thompson, R. 1982. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *BioScience*, **32**: 125-128.
- Oades, J.M. 1989. An introduction to organic matter in mineral soils. In J. B. Dixon & S. B. Weed (eds) *Minerals in Soil Environments*, pp. 89-159. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- O'Connell, A.M. 1988. Nutrient dynamics in decomposing litter in karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muel.) forests of South-western Australia. *Journal of Ecology*, **76**: 1186-1203.

- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, **44**: 322-331.
- Polglase, P.J., Jokela, E.J. & Cornerford, N.B. 1992. Nitrogen and phosphorous release from decomposing needles of southern pine plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56**: 914-920.
- Prescott, C.E., Taylor, B.R., Parsons, W. F.J., Durall, D.M. & Parkinson, D. 1993. Nutrient release from decomposing litter in Rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability. *Can. J. For. Res.*, **23**: 1576-1586.
- Pritchett, W.L. & Fisher, R.F. 1987. *Properties and Management of Forest Soils*. Second edition. John Wiley & Sons, New York.
- Ribeiro, C., Madeira, M. & Araújo, M.C. 2002. Decomposition and dynamics of nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* plantations growing under different water and nutrient regimes. *For. Ecol. Manag.*, **171**: 31-41.
- Santa Regina, I. 2001. Litterfall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Douro basin, Spain. *Forestry*, **79**: 347-358.
- Schlesinger, W.H. 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **8**: 51-81.
- Slapokas, T. & Granhall, U. 1991. Decomposition of litter in fertilized short-rotation forests on a low-humified peat bog. *For. Ecol. Manag.*, **41**: 143-165.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Taylor, B.R., Parkinson, D. & Parsons, W.F.J. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decays: a microcosm test. *Ecology*, **70**: 97-104.
- Watanabe, F.S. & Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **29**: 677-678.
- Wesemael, V. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *For. Ecol. Manag.*, **57**: 99-114.