

BIOLOGIA E ECOLOGIA DO SOLO

Decomposição *in situ* de folhas senescentes de pereira (*Pyrus communis* L. cv. Rocha)

In situ decomposition of pear (*Pyrus communis* L. cv. Rocha) senescent leaves

C. Neto¹, C. Carranca¹, A. de Varennes², J. Clemente³ & J. Sobreiro⁴

RESUMO

Estudou-se a variação da perda de peso e a contribuição das folhas senescentes de pereira (cv. Rocha) para a restituição de azoto (N) ao solo através da técnica dos sacos de decomposição *in situ*, colocados em Outubro de 2003 à superfície do solo dum pomar situado no Cadaval (Oeste de Portugal). Os sacos contendo folhas senescentes colhidas em pereiras com um ano de plantação e fertilizadas com três níveis de N (0, 10 e 40 kg N/ha), foram recolhidos em Dezembro de 2003, Janeiro, Fevereiro, Maio, Julho e Outubro de 2004 e Março de 2005. No mesmo pomar enterraram-se, em Outubro de 2003, 12 cilindros de PVC, contendo à superfície folhas senescentes de pereiras com três anos de plantação e fertilizadas com 40 kg N/ha de adubo enriquecido com 10% de átomos de ¹⁵N. Os cilindros foram recolhidos em Janeiro, Março, Junho e Novembro de 2004. Determinou-se a variação do peso e os teores de N total e enriquecimento em ¹⁵N nos resíduos, e nas amostras de terra avaliaram-se os teo-

res de N “total”, N-inorgânico e carbono (C) orgânico, bem como os nitratos potencialmente lixiviados e adsorvidos em resinas de troca aniónica, em cada data.

A decomposição *in situ* das folhas senescentes das pereiras ‘Rocha’ jovens variou significativamente com a fertilização azotada após 506 dias. As folhas provenientes da modalidade 0 kg N/ha apresentaram menor peso residual (21% do inicial) e menor teor de N (44% do teor inicial de N) comparativamente com as folhas resultantes das modalidades adubadas com N, no final do período em estudo. Padrão idêntico de comportamento verificou-se na decomposição *in situ* das folhas das árvores com três anos, colocada à superfície do solo dos cilindros de PVC enterrados. A mineralização do N destas folhas levou à disponibilização do N para as árvores no início do abrolhamento e a partir de Junho, não se tendo observado lixiviação do N mineral produzido.

¹ Estação Agronómica Nacional, Quinta do Marquês, Av. República, 2784-505 Oeiras, email: claudia.neto@netvisao.pt; ²Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, email: adevarennes@clix.pt; ³Central de Frutas do Painho, EN 115 – km 6, Dagorda, 2550-417 Vermelha Cdv, email: tecnico@cfpainho.com; ⁴Escola Superior de Biotecnologia - UC, Pólo de Caldas da Rainha, R^a Mestre Mateus Fernandes, 2500-237 Caldas da Rainha, email: justino.sobreiro@netvisao.pt

ABSTRACT

The weight loss of one year-old 'Rocha' pear senescent leaves and their contribution to nitrogen (N) cycling in the soil, were studied using litter bags. The leaves were collected from trees fertilized with ammonium nitrate, using three N rates (0, 10 and 40 kg N/ha). The litter bags were installed in October 2003, at the surface of the soil, in an orchard located in Cadaval (Western Portugal). Litter bags were removed from the soil in December 2003, January, February, May, July and October 2004, and March 2005. Leaves were also collected from three-year old 'Rocha' pear trees fertilized with 40 kg N/ha using ammonium nitrate, double enriched with 10 atom% ^{15}N . These were placed at the surface of non-disturbed soil cores, from cylinders buried in the same orchard in October 2003. The soil cores were removed from the soil in January, March, June and November 2004, and were analysed for the evolution of leaf weight, leaf N and ^{15}N enrichment. Inorganic and "total" soil N, ^{15}N enrichment, and organic carbon (C) in the soil and leached N captured in anion-exchange resins were also determined at each sampling time.

The decomposition of one-year old 'Rocha' pear senescent leaves was affected by N applied to the trees, after 506 days of decomposition in the field. The leaves from the 0 kg N/ha plots had less final weight (21% of the initial) and leaf N content (44% of leaf initial N content) at the end of the studied period, when compared to the leaves from the plots fertilized with N. Decomposition of senescent leaves from three-years-old trees at the soil surface in PVC cylinders showed a similar pattern. N mineralization in these leaves showed the potential availability of inorganic N at the

beginning of trees bud break and after June, without nitrate leaching in the soil.

INTRODUÇÃO

O estudo da decomposição das folhas e subsequente libertação dos nutrientes é essencial para uma melhor gestão dos ecossistemas agro-florestais (Knoepp *et al.*, 2000; Aber & Melillo, 2001). A contribuição das folhas senescentes para a ciclagem dos nutrientes, em particular o azoto (N), em pomares de pomóideas está pouco estudada, apenas existindo alguma informação sobre a decomposição dos resíduos de macieira (folhas e lenha de poda) no Norte de Itália (Tagliavini *et al.*, 2004) e resíduos de lenha de poda em pereira, no Chile (Matus *et al.*, 1998).

Em pomares de caducifólias, a senescência das folhas resulta na adição, ao solo, de grande quantidade de tecidos vegetais ricos em nutrientes, numa altura em que as árvores entram em dormência, com diminuição acentuada da sua actividade radical. A decomposição das folhas senescentes inicia-se ainda na árvore, com a invasão do tecido envelhecido por saprófitas superficiais, juntamente com alterações bioquímicas (síntese de proteases e consequente ruptura das membranas celulares, com a mistura dos conteúdos celulares e auto-oxidação e polimerização de compostos fenólicos). Essa decomposição prossegue no solo, após a abscisão das folhas da árvore, onde os micro e macro invertebrados, comunidades de fungos, actinomicetas e bactérias, que têm nesses resíduos orgânicos a sua fonte alimentar e de energia, exercem uma complexa sequência de acções físicas e químicas que podem levar à assimilação dos nutrientes disponíveis no solo, particularmente o N, à síntese de novos compostos menos susceptíveis à

decomposição (macromoléculas orgânicas), e/ou à disponibilização de nutrientes para posterior absorção pelas plantas (Mitsh & Gosselink, 1993; Groffman *et al.*, 1996; Brady & Weil, 2002).

Numa escala mais abrangente, a temperatura e a precipitação são os principais factores responsáveis pela taxa de decomposição dos tecidos vegetais no solo (Meentemeyer, 1978; Swift *et al.*, 1979), enquanto que numa escala local, essa taxa, bem como a quantidade de nutrientes libertados são influenciados principalmente pela quantidade e qualidade dos resíduos (características morfológicas, estruturais e químicas), condições físico-químicas que afectam *in situ* os organismos decompositores (temperatura e teor de água no solo, pH, teor em oxigénio), e a forma como os resíduos estão em contacto com o solo, a sua dimensão (função, designadamente, da mobilização do solo), a data da sua deposição, o período de permanência e a sua localização no solo (superficial ou em profundidade) (Cortez *et al.*, 1996; Baker III *et al.*, 2001; Brady & Weil, 2002; Burgess *et al.*, 2002; Carranca *et al.*, 2005).

A concentração inicial de N, a razão C/N, a concentração inicial de lenhina e as razões lenhina/N e lenhina/P dos resíduos vegetais são características determinantes na sua decomposição (Melillo *et al.*, 1982; Moro e Domingo, 2000; Brady & Weil, 2002; Simões *et al.*, 2002; Carranca *et al.*, 2005).

Em sistemas de fruticultura sustentável, designadamente a agricultura biológica e a produção integrada, onde se recorre, respectivamente, ao não uso de fertilizantes minerais, e à não mobilização do solo, com racionalização do uso dos fertilizantes químicos, parece importante que se quantifique o impacto nutricional e ambiental resultante da adição anual de folhas senescentes ao solo. Assim, os objectivos deste estudo consistiram na: *i*) determinação da perda de

peso e evolução do teor de N das folhas senescentes de pereira 'Rocha', provenientes de árvores jovens fertilizadas com três níveis de N, e colocadas à superfície dum solo não mobilizado dum pomar da região Ribatejo e Oeste de Portugal (técnica dos sacos de decomposição), e na *ii*) avaliação dos processos de mineralização/imobilização do N no solo contendo folhas senescentes de pereira, usando-se duas técnicas: sacos de decomposição *in situ* e decomposição *in situ* de folhas de pereira enriquecidas com ¹⁵N e colocadas directamente à superfície do solo não perturbado.

METODOLOGIAS

Área de estudo

O estudo foi conduzido num pomar situado na região do Ribatejo e Oeste de Portugal, em Pêro Moniz, Cadaval (39° 14' N; 9° 06' W; 70 m altitude).

O clima da região Oeste pode ser classificado, de acordo com o índice hídrico, entre o sub-húmido seco (tipo C1) e o pouco húmido (tipo B1) (Reis e Gonçalves, 1981). Durante o período em estudo, os dados meteorológicos [temperatura máxima, mínima e média do ar (°C) e precipitação mensal acumulada (mm)] recolhidos na Estação Meteorológica do Painho, Cadaval, situada a cerca de 15 km do local do ensaio, revelaram um Outono/Inverno mais quente e chuvoso em 2003/04 (13,9 °C e 737,8 mm, respectivamente), relativamente ao mesmo período de 2004/05 (11,2 °C e 381,2 mm) (Figura 1). A temperatura média do ar, entre Abril e Setembro de 2004, foi de 19,9 °C, com uma precipitação acumulada de 156,8 mm. Atingiu-se uma temperatura máxima absoluta de 41,1 °C em Setembro de 2004 e mínima absoluta de -4,9 °C em Fevereiro de 2005.

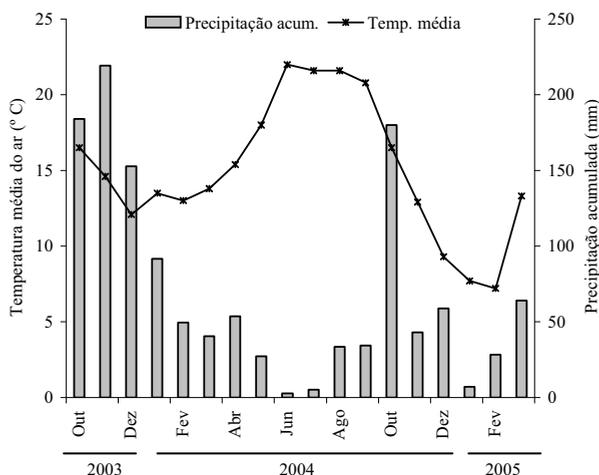


Figura 1 - Valores mensais de temperatura média do ar (°C) e precipitação acumulada (mm) registrados na Estação Meteorológica do Painho, entre Outubro de 2003 e Março de 2005

O solo do pomar pertence à classe dos Antrossolos (FAO-ISRIC-ISSS, 1998), devido ao seu uso agrícola continuado, com mobilizações frequentes e profundas e adição de fertilizantes. O solo apresentava uma textura franco-arenosa, pH ligeiramente ácido (5,4) e baixos teores de matéria orgânica (12 g kg^{-1}) e N “total” ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$). A fração argilosa continha, predominantemente, ilite e caulinite, com menos de 10% de esmectite (indica uma fraca capacidade de “fixação” do N-NH_4^+).

O pomar de pereiras (*Pyrus communis* L.) ‘Rocha’ enxertadas em BA29 foi plantado em Março de 2003, com um compasso de $4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$. As árvores foram sujeitas a quatro níveis de adubação azotada (0, 10, 20 e 40 kg N/ha), aplicando nitrato de amônio, em fertirrega (Maio a Outubro/03), num sistema de gota-a-gota, com gotejadores de $3,6 \text{ L h}^{-1}$ de débito. O controle das infestantes foi efectuado, na linha, com a aplicação de glifosato, mantendo o “enrelvamento” com espécies espontâneas na entre-linha.

Delineamento experimental e amostragens

Usaram-se blocos casualizados, com três repetições (com cinco árvores cada). Seleccionaram-se três modalidades de N (0, 10 e 40 kg N/ha) para o ensaio da decomposição das folhas senescentes usando sacos de decomposição *in situ* (Bocock *et al.*, 1960). As folhas senescentes destas árvores jovens foram recolhidas, em Outubro de 2003 (mais de 90% de folhas caídas), em redes de “nylon” que cobriam a copa. As amostras de folhas [cerca de 11 g de peso seco (PS)] foram introduzidas em sacos de rede de “nylon” com $24 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}$ e 1 mm de malha e colocadas no pomar, em 24 de Outubro de 2005, à superfície do solo, debaixo da copa das mesmas árvores (dois por árvore), a cerca de 30 cm do tronco, próximos do bolbo de terra humedecido pelos gotejadores. Em cada data de amostragem [15 de Dezembro de 2003 (53 dias no campo), 13 de Janeiro (82 dias), 9 de Fevereiro (110 dias), 4 de Maio (195 dias), 6 de Julho (258 dias) e 6 de Outubro de

2004 (351 dias) e 10 de Março de 2005 (506 dias)] foram recolhidos, aleatoriamente, três sacos por modalidade. Os resíduos orgânicos foram analisados quanto aos teores totais de N e C, lenhina (apenas na primeira data) e cinza.

Noutras três pereiras ‘Rocha’, com 3 anos de plantação, situadas no mesmo pomar e adubadas em 2003 com 40 kg N/ha na forma de nitrato de amónio duplamente enriquecido com 10% de átomos de ^{15}N , colheram-se amostras de folhas senescentes em Outubro de 2003 para outro ensaio de decomposição *in situ*. Cada amostra de folhas senescentes (6 g PS/árvore) foi colocada, em 24 de Outubro de 2003, directamente à superfície do solo, num cilindro de PVC, com 15 cm de diâmetro e 15 cm de altura, enterrado no solo (com perturbação mínima) numa fila de árvores não sujeita a fertilização azotada, e fora da zona de humedecimento dos gotejadores. Na base de cada cilindro foi colocado um saco de “terylene”, com 15 cm de diâmetro, contendo 55 g de resina de troca aniónica Dowex (malha 1 x 8 – 100). Anteriormente à inserção do cilindro de terra, isolou-se a base do buraco com bentonite, para se evitar a perda de algum lixiviado. As folhas foram cobertas com uma rede de “nylon”, com 1 mm de malha. Recolheram-se aleatoriamente três cilindros, em 13 de Janeiro (82 dias no campo), 15 de Março (144 dias), 15 de Junho (236 dias) e 25 de Novembro de 2004 (398 dias). As folhas foram caracterizadas quimicamente quanto aos teores de N, C e lenhina totais (apenas na primeira data). Determinaram-se os teores de N inorgânico (N-NO_3^- e N-NH_4^+), N “total” (Kjeldahl), C orgânico e enriquecimento em ^{15}N na terra dos cilindros e as resinas foram analisadas quanto à presença de azoto nítrico, embora não se determinasse o enriquecimento em ^{15}N , pois o teor em N-NO_3^- foi sempre muito baixo.

Métodos analíticos

O processamento laboratorial dos resíduos orgânicos colhidos no campo consistiu na lavagem com água desionizada, secagem (65 °C durante 48 h), pesagem e moenda (<0,5 mm). O N total no material vegetal foi determinado pelo método micro-Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982), o C total foi determinado em analisador elementar “LECO 2000”, o teor de lenhina insolúvel foi determinado pelo método TAPPI T222 om-98 (TAPPI, 1998) e a lenhina solúvel pelo método TAPPI UM250 (TAPPI, 1991). O teor em cinza foi estimado com calcinação da amostra vegetal a 450 °C durante 6 h.

A terra de cada cilindro recolhido no campo foi dividida em duas camadas: 0-7,5 cm e 7,5-15 cm e crivada a 0,5 mm. O teor de água na amostra de terra foi determinado após 24 h a 105 °C. Os teores de N inorgânico foram determinados em extractos de terra com CaCl_2 0,01 M e lidos em autoanalisador de fluxo contínuo segmentado “SKALAR”, o N “total” foi obtido pelo método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), o C orgânico pelo método de Walkley-Black (Walkley, 1947) e o enriquecimento em ^{15}N por espectrometria de massa.

Cálculos e métodos estatísticos

A proporção do material vegetal residual (%) no tempo i (t_i) foi calculada através da razão entre o PS (isento de cinzas) em t_i e o PS inicial (t_0). A proporção de cada nutriente no resíduo (%) foi calculada através da razão entre o teor do nutriente nas folhas em t_i e o seu teor inicial (t_0). Foi ajustado um modelo exponencial negativo para a perda de peso do material vegetal, e calculada a constante de decomposição (k) média (d^{-1}), durante o período em estudo e para cada uma das técnicas usadas.

Nas folhas enriquecidas com ^{15}N , a %N derivado do fertilizante (Ndf_f) foi calculada através da razão entre o excesso de átomos de ^{15}N nas folhas senescentes (teor de ^{15}N , deduzida a abundância natural do ^{15}N na atmosfera = 0,3663%) e o excesso de átomos de ^{15}N do fertilizante aplicado (9,6337%). Para o cálculo da %N derivado do resíduo vegetal no solo dos cilindros (Ndr_s), utilizou-se a razão entre o excesso de átomos de ^{15}N no solo e o excesso de átomos de ^{15}N do resíduo vegetal.

A mineralização/imobilização do N foi calculada, para cada intervalo de tempo, através da soma entre o balanço do N amoniacal entre datas (final-inicial) e o balanço do N nítrico nesse período.

O tratamento estatístico dos resultados foi efectuado usando o programa Statistica 6.0 (StatSoft, EUA). Utilizou-se o Modelo Linear Generalizado para testar a existência de diferenças significativas entre tratamentos e períodos de decomposição, e compararam-se as médias através do teste de Schéfé. Compararam-se, também, as médias dos resultados obtidos por ambas as técnicas usadas para a medição da taxa de decomposição das folhas pelo teste-*t*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características das folhas

A selecção das árvores fertilizadas com diferentes níveis de N, para o estudo da decomposição das folhas senescentes pelo método dos sacos de decomposição, foi efectuada com base na análise química das folhas colhidas aos 110 dias após a plena floração (DAFP) nas pereiras, onde se verificou um aumento significativo ($p < 0,05$) do teor foliar de N por aumento da dose de N

(Quadro 1). Todavia, à senescência, as folhas não apresentaram diferenças significativas nos teores totais de N, C, lenhina, e razões C/N e de lenhina/N (Quadro 1). A razão C/N média nessas folhas foi de 27,7 e a de lenhina/N foi de 33,2. As folhas colocadas à superfície dos cilindros de decomposição *in situ*, provenientes de árvores mais velhas, apresentavam teores de N e C mais baixos ($15,6 \text{ g kg}^{-1}$ e $483,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) e razões mais elevadas C/N e lenhina/N (31,0 e 40,4, respectivamente) ($p < 0,05$, teste-*t*).

A razão C/N das folhas senescentes das pereiras jovens, com a técnica dos sacos de decomposição *in situ*, decresceu significativamente ($p < 0,05$) ao longo dos 506 dias de decomposição (dados não apresentados), dum valor médio de 27,7 para 12,5, não se tendo observado diferenças significativas entre modalidades de N, ao longo do período em estudo.

O valor inicial da razão C/N é considerado elevado (> 20), indicando uma potencial imobilização do N no início da decomposição das folhas, ou, pelo menos, uma mineralização lenta nesse período (Cabrera *et al.*, 2005; Carranca *et al.*, 2005). Esta indicação é igualmente suportada pela elevada razão lenhina/N (> 10) (Fox *et al.*, 1990).

Dinâmica da perda de peso das folhas senescentes

No final do primeiro ano de plantação, as pereiras jovens forneceram ao solo $48,3 \pm 9,0 \text{ kg PS/ha}$ de folhas senescentes, correspondendo a $1,0 \pm 0,2 \text{ kg N/ha}$. As pereiras com três anos produziram $300,1 \pm 127,7 \text{ kg PS/ha}$ de folhas senescentes, contendo $2,5 \pm 0,3 \text{ kg N/ha}$. Estes valores são muito inferiores aos determinados por Tagliavini *et al.* (2004), em Itália, em macieiras Gala adultas

QUADRO 1 - Teores totais de N, C e lenhina (g kg⁻¹) aos 110 dias após a plena floração (DAPF) e à senescência (sen.), e razões C/N e lenhina/N na folhas de pereiras ‘Rocha’ (1º ano) fertilizadas com 0, 10 e 40 kg N/ha

Fert. N (kg/ha)	N total (110 DAPF)	N total (sen.)	C total (sen.)	Lenhina total (sen.)	C/N	Lenhina/N
0	20,0 b	17,6 a	512,7 a	610,0 a	29,1 a	34,7 a
10	21,0 ab	19,0 a	514,7 a	601,7 a	27,2 a	31,8 a
40	22,2 a	19,2 a	512,3 a	633,7 a	26,7 a	33,2 a

Médias na mesma coluna com letras iguais não diferem significativamente ($p < 0,05$, teste de Schéffé)

enxertadas em M9 (1,8 a 2,2 t/ha de PS, contendo 24,0- 29,0 kg N/ha).

No final dos 351 dias, as folhas recolhidas nos sacos de decomposição retinham ainda, em média, 64% do seu peso inicial (Figura 2a). A perda média de peso dessas folhas caracterizou-se por um decréscimo significativo ($p < 0,05$) de 40% nos primeiros 195 dias, seguido de reduzida degradação física durante os meses de Verão (dos 195 dias aos 351 dias), registrando-se uma perda significativa ($p < 0,05$) de peso

a partir dos 351 dias (Outubro de 2004) até ao final do ensaio, em Março de 2005 (506 dias). Aos 82 dias, a decomposição das folhas senescentes, nos sacos de decomposição, variou significativamente ($p < 0,05$) por efeito do tratamento azotado, sendo menor na modalidade não fertilizada (Figura 2a). No entanto, aos 506 dias de decomposição, as folhas provenientes da modalidade com 0 kg N/ha apresentavam menor peso ($p < 0,05$) (21% do inicial) que as restantes (40% do inicial).

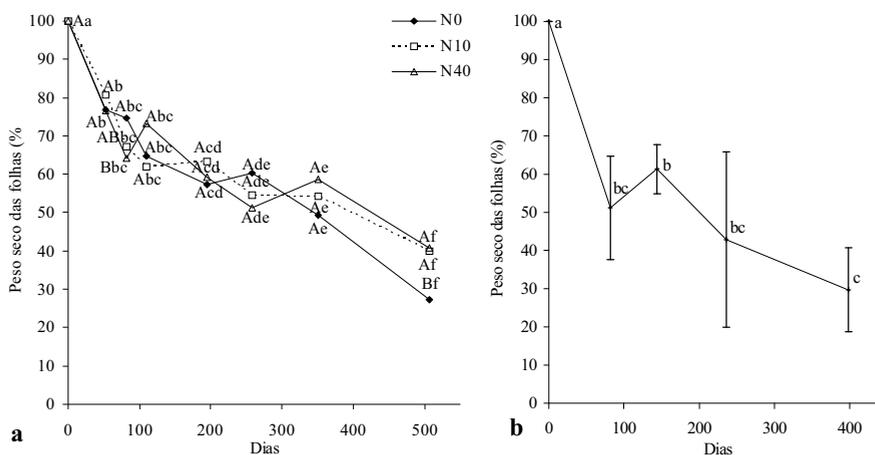


Figura 2 - a) Variação da perda de peso de folhas senescentes de pereira ‘Rocha’ (1º ano), fertilizadas com 0 (N0), 10 (N10) e 40 kg N/ha (N40), durante 506 dias (23/10/2003 a 15/03/2005), nos sacos de decomposição *in situ*; **b)** Variação da perda de peso de folhas senescentes de pereira ‘Rocha’ (três anos), fertilizadas com 40 kg N/ha, durante 398 dias (23/10/2003 a 25/11/2004), nos cilindros de decomposição *in situ*; letras minúsculas e maiúsculas diferentes correspondem a médias significativamente diferentes ($p < 0,05$, teste de Schéffé) entre datas e níveis de N, respectivamente

Foi encontrada uma relação linear positiva significativa entre a perda de peso das folhas senescentes das pereiras 'Rocha', nos sacos de decomposição, e a precipitação acumulada ao longo dos 506 dias, bem como uma relação logarítmica, também significativa, entre a perda de peso dessas folhas e a temperatura nesse mesmo período de tempo (dados não apresentados).

Nos cilindros, a perda de peso das folhas senescentes de pereiras com três anos resultou na recuperação de apenas 30% do valor inicial, após 398 dias de decomposição (Figura 2b); todavia, a perda de peso por esta técnica não diferiu significativamente (teste-*t*, $p > 0,05$) da obtida usando os sacos de decomposição, apesar do maior contacto das folhas com a superfície do solo, onde seria de esperar uma maior actividade microbiana. Provavelmente a maior razão C/N inicial não terá permitido uma taxa de decomposição das folhas mais acelerada.

Em folhas senescentes de macieiras Gala enxertadas em M9, cultivadas em Itália, com razão C/N inicial de 35, cerca de 55% da matéria seca original ainda estava presente nos sacos de decomposição um ano após a sua colocação no campo (Tagliavini *et al.*, 2004). Na decomposição das folhas de *Quercus suber* L., também em clima Mediterrânico, Sá *et al.* (2001) registaram uma perda de 30% do peso inicial (com razão C/N inicial de 60) durante o primeiro ano de decomposição (365 dias), apresentando ainda 16% do peso inicial no final do quarto ano de ensaio.

Os modelos exponenciais ajustados à variação do peso residual das folhas, no presente ensaio, não diferiram significativamente entre modalidades de N, pelo que a constante de decomposição média das folhas (k , d^{-1}), calculada usando os

sacos de decomposição *in situ*, durante o período de 506 dias, foi de -0,0023 ($R^2=0,83$; $p < 0,001$; $n=24$) e de -0,0025 ($R^2=0,73$; $p < 0,001$; $n=21$) no primeiro ano de decomposição (351 dias), correspondendo a taxas de decomposição média de 0,021 g/dia e de 0,016 g/dia, respectivamente. Nos cilindros, a constante de decomposição diária das folhas no período de 398 dias foi de -0,0044 ($R^2 = 0,53$; $p < 0,001$; $n=15$), correspondendo a uma perda de peso média diária de 0,014 g/dia.

Em folhas de *Quercus suber* L. foi obtido um $k = -0,0021$ (d^{-1}) para os primeiros 128 dias de decomposição (Sá *et al.*, 2001), enquanto que em *Cistus salvifolius* e *C. ladanifer* a constante variou entre -0,0021 (d^{-1}) e -0,0011 (d^{-1}), respectivamente (Simões *et al.*, 2002). Os valores das constantes de decomposição estimadas para as folhas senescentes de pereira 'Rocha' jovens foram superiores (em módulo) aos obtidos nos outros estudos referidos, em condições climáticas semelhantes, demonstrando maiores perdas diárias de peso das folhas, provavelmente devido às menores relações C/N iniciais.

Dinâmica do N das folhas senescentes em decomposição

O teor de N total nos tecidos vegetais em decomposição decresceu significativamente ($p < 0,05$) a partir dos 110 dias nas folhas dos sacos de decomposição, e desde o início da experiência no caso das folhas colocadas à superfície dos cilindros (Figura 3). As folhas colocadas à superfície dos cilindros apresentavam menos N (42% do teor inicial) no final de 398 dias no campo, do que a média das folhas presentes nos sacos de decomposição no final de 506 dias de decomposição (60% do N inicial). A adubação azotada influenciou significativamente ($p < 0,05$) o teor de N

dos resíduos foliares na última data de amostragem (506 dias), com valores inferiores nas folhas não fertilizadas com N. A perda relativa de N foi de 56% (N0), enquanto que nas outras modalidades de adubação foi de apenas 33%.

Em estudos da dinâmica da decomposição e libertação de nutrientes das folhas de *Cistus salvifolius* e *C. ladanifer* sob condições de clima Mediterrânico, os teores foliares de N atingiram valores da ordem dos 118% e 130% dos teores iniciais nas folhas, ao fim de um e três anos, respectivamente (Simões *et al.*, 2002). Estes aumentos do N nas folhas foram inferiores aos observados no presente estudo, em qualquer uma das técnicas, considerando idênticos períodos de tempo.

O ^{15}N recuperado no material vegetal em decomposição nos cilindros diminuiu significativamente ($p < 0,05$) (de 8,9 para 3,5 mg/cilindro) ao longo do período de decomposição, representando 33% do inicial no final dos 398 dias (Figura 4).

A %Ndf_r não variou significativamente durante os 398 dias de decomposição *in situ* (Figura 4), sendo, em média 8,5%. Este facto indica que não se verificou alteração na concentração do marcador nos resíduos ao longo do período experimental, mas os teores totais de ^{15}N nas amostras vegetais decresceram significativamente a partir dos 82 dias, evidenciando o decréscimo de peso dos tecidos vegetais marcados após esta data.

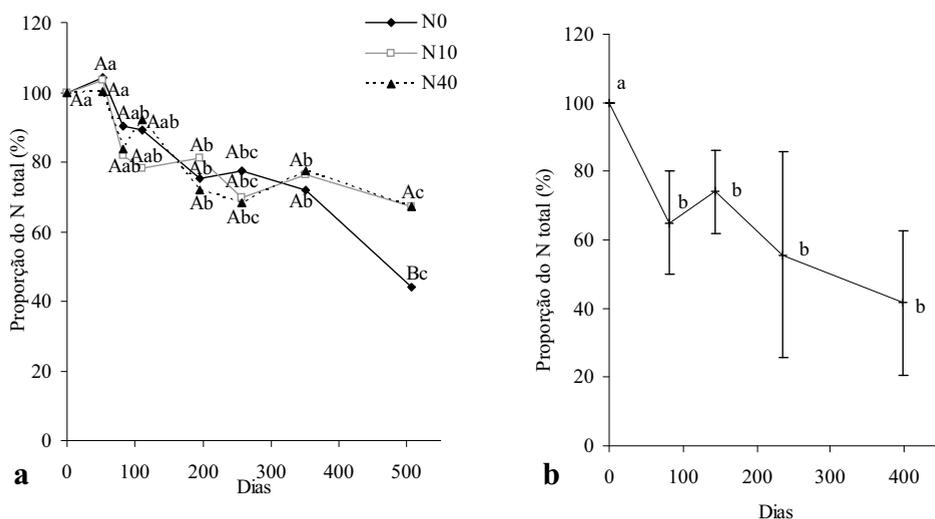


Figura 3 - a) Proporção do N total nos resíduos (%) das folhas de pereiras ‘Rocha’ (1º ano) fertilizadas com 0 (N0), 10 (N10) e 40 kg N/ha (N40), durante 506 dias (23/10/2003 a 15/03/2005), nos sacos de decomposição *in situ*; **b)** Proporção do N total nos resíduos (%) das folhas de pereiras ‘Rocha’ (três anos), fertilizadas com 40 kg N/ha, durante 398 dias (23/10/2003 a 25/11/2004) nos cilindros de decomposição *in situ*; letras minúsculas e maiúsculas diferentes correspondem a médias significativamente diferentes ($p < 0,05$, teste de Schéffé) entre datas e entre níveis de N, respectivamente

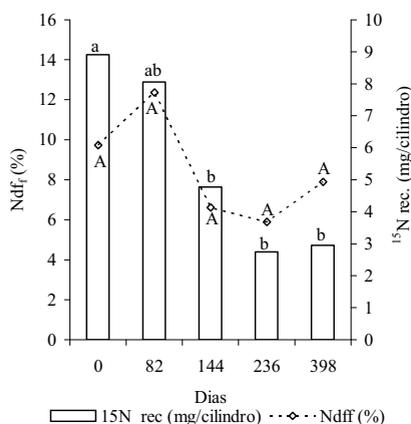


Figura 4 - Teor de N derivado do fertilizante (Ndf_f , %) e ^{15}N recuperado (mg/cilindro) nas folhas senescentes e decomposição de pereira 'Rocha' com três anos, fertilizadas com 40 kg N/ha, durante 398 dias (24/10/2003 a 25/11/2004); letras minúsculas e maiúsculas diferentes correspondem a médias significativamente diferentes ($p < 0,05$, teste de Schéffé) entre datas, para ^{15}N recuperado e Ndf_f , respectivamente

Teores de N e C residuais no solo dos cilindros

Não se verificaram diferenças significativas nos teores residuais de N "total" e N inorgânico no solo dos cilindros, ao longo do período de decomposição (Quadro 2), com exceção para o $N-NH_4^+$ presente na camada 7,5-15 cm, que, apesar de vestigial, aumentou significativamente ($p < 0,01$) ao longo do tempo, em especial aos 144 dias e 398 dias. Apenas o teor residual de $N-NO_3^-$ variou significativamente ($p < 0,05$) com a profundidade, sendo superior na camada de 0 - 7,5 cm. Dado que os valores do N inorgânico eram muito baixos, o enriquecimento em ^{15}N nesta fracção azotada era vestigial, indicando que o N mine-

ral resultante da decomposição das folhas, e presente no solo em cada data, era muito baixo. Este facto indica que o ^{15}N das folhas foi incorporado como constituinte celular da flora microbiana, uma vez que não se encontra disponível na solução do solo em quantidades mensuráveis.

O teor de C orgânico no solo dos cilindros aumentou significativamente ($p < 0,05$) ao longo do período de decomposição das folhas (398 dias) na camada superficial (0-7,5 cm) (Quadro 2), mas não se registaram diferenças significativas entre profundidades.

O teor médio de $N-NO_3^-$ lixiviado e recolhido nas resinas de troca aniónica foi de $2,61 \pm 0,61$ mg N kg^{-1} resina (correspondente a $0,10 \pm 0,02$ kg N/ha), aparentemente não resultante da mineralização do N das folhas uma vez que o teor de $^{15}N-NO_3^-$ foi vestigial.

A mineralização do N no solo ocorreu no período de Janeiro de 2004 a Março de 2004 (82 a 144 dias), e de Junho a Novembro de 2004 (236 a 398 dias) (Figura 5), coincidindo com os períodos de maior decomposição dos resíduos foliares (Figura 2), com o aumento significativo do teor de N no material vegetal e com o aumento do $N-NH_4^+$ no solo. Ocorreu imobilização do N entre Março e Junho de 2004 (144 a 236 dias), numa altura em que se verificou uma perda reduzida de peso do material vegetal original (Figura 2).

Ao abrolhamento das árvores (Março de 2004), havia N na solução do solo ($1,9$ mg kg^{-1}) potencialmente disponível para absorção radical. Seguiu-se um período em que o N mineral ficou potencialmente imobilizado, tornando-se, de novo, potencialmente disponível no solo ($2,1$ mg kg^{-1}) entre Julho e Novembro de 2004.

QUADRO 2 - Teores médios de N “total” (g kg⁻¹), N inorgânico (mg kg⁻¹) e C orgânico (g kg⁻¹) no solo dos cilindros (0 - 7,5 cm e 7,5 - 15 cm de profundidade), ao longo de 398 dias de decomposição das folhas

Dias	N “total” (g kg ⁻¹)		N inorgânico (mg kg ⁻¹)				C orgânico (g kg ⁻¹)	
			N-NO ₃ ⁻		N-NH ₄ ⁺			
	0 - 7,5	7,5 - 15	0 - 7,5	7,5 - 15	0 - 7,5	7,5 - 15	0 - 7,5	7,5 - 15
82	0,35 a	0,39 a	2,12 a	1,73 a	0,51 a	0,46 b	3,30 b	3,50 a
144	0,36 a	0,37 a	2,74 a	2,44 a	1,54 a	1,65 ab	4,34 ab	5,26 a
236	0,34 a	0,35 a	2,37 a	1,49 a	0,61 a	0,49 b	4,73 ab	4,73 a
398	0,31 a	0,43 a	3,08 a	2,21 a	1,77 a	2,05 a	5,83 a	6,01 a

Na mesma coluna, médias com letras diferentes diferem significativamente ($p < 0,05$, teste de Schéffé)

A percentagem de N total derivado do resíduo (folhas) no solo (Ndr_s) foi significativamente superior ($p < 0,001$) na camada 0 - 7,5 cm (3,3% Ndr_s), relativamente à camada inferior (0,5% Ndr_s), mas não variou significativamente ao longo do tempo de decomposição das folhas, tal como sucedera com os valores do N no solo.

na solução do solo, proveniente da decomposição das folhas, bem como o do lixiviado recuperado nas resinas foram muito baixos, o elevado valor do ¹⁵N total medido, particularmente na camada superficial do solo e resultante da decomposição das folhas terá sido incorporado na biomassa microbiana à superfície do solo, confirmando dados anteriormente obtidos para outras culturas (Carranca *et al.*, 2005).

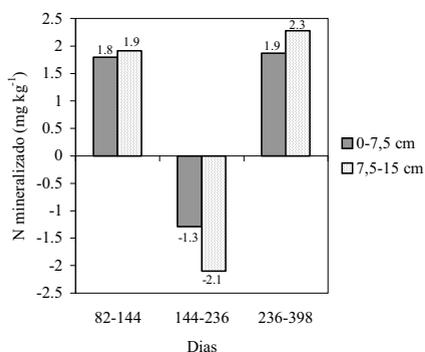


Figura 5 - Evolução do N mineralizado (mg kg⁻¹) nos cilindros de decomposição *in situ* das folhas de pereiras ‘Rocha’ com três anos, nas profundidades de 0 - 7,5 cm e 7,5 - 15 cm durante 398 dias

O teor médio de ¹⁵N recuperado no solo foi de 10,8 ± 6,0 mg N kg⁻¹ (12,9 ± 7,2 kg N/ha) na camada 0 - 7,5 cm e de 1,9 ± 0,5 mg N kg⁻¹ (2,3 ± 0,6 kg N/ha) na camada 7,5 - 15 cm. Atendendo a que o N mineral,

CONCLUSÕES

Após 506 dias, a decomposição *in situ* das folhas senescentes da pereira ‘Rocha’ variou significativamente com a fertilização azotada aplicada às árvores ($p < 0,05$). As folhas provenientes da modalidade com 0 kg N/ha apresentaram menor peso residual (21% do inicial) e menor teor de N (44% do teor inicial) em relação às folhas resultantes das modalidades adubadas com N.

A decomposição das folhas senescentes das pereiras ‘Rocha’ com três anos, fertilizadas com 40 kg N/ha, contendo maiores razões C/N e lenhina/N iniciais, deu-se com uma mineralização do N das folhas nos primeiros 144 dias e nos 236-398 dias, disponibilizando N para as árvores no início do abrolhamento e a partir de Junho. As fases de maior perda de peso das folhas coincidiram com as fases onde ocorreu a

mineralização do N no solo e de maior precipitação mensal. A decomposição das folhas no solo não mobilizado conduziu a uma acumulação do N assimilado pelos microrganismos na camada superficial do solo (0 - 7,5 cm), daí não resultando lixiviação de nitratos produzidos durante a decomposição das folhas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, através do projecto PID-DAC 111/02, pelo FEDER/OE e Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do projecto POCI/AGR/58325/04, e pela FCT, no âmbito de uma bolsa de Doutoramento. Agradecemos, ainda, a colaboração dos estagiários curriculares Inês Rocha e Bruno Mateus e da Dra. Ângela Prazeres pela preparação de amostras e realização de algumas análises químicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aber, J.D. & Melillo, J.M. 2001. *Terrestrial Ecosystems*. 2nd ed., Academic Press, San Diego, USA.
- Baker III, T.T., Lockaby, B.G., Conner, W.H., Meier, C.E., Stanturf, J.A. & Burke, M.K. 2001. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities. *Soil Sci. Am. J.*, **65**:1334-1347.
- Bocock, K.L., Gilbert, O., Capstick, C.K., Twinn, D.C., Waid, J.S. & Woodman, M.J. 1960. Changes in leaf litter when placed on the surface of soils with contrasting humus types. I. Losses in dry weight of oak and ash leaf litter. *J. Soil Sci.*, **11**: 1-9.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13th ed., Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen – total. In Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, D.R. (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., Agron. (9), pp. 595-624. Am. Soc. Agron., Inc., Publish., Madison, USA.
- Burgess, M.S., Mehuys, G.R. & Madramootoo, C.A. 2002. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **66**: 1350-1358.
- Cabrera, M.L., Kissel, D.E. & Vigil, M.F. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J. Environ. Qual.*, **24**: 75-79.
- Carranca, C., Oliveira, A., De Varennes, A., Pampulha, M.E., Torres, M.O., Neto, C. & Baeta, J. 2005. Mineralization of oat residues, microbial abundance and dehydrogenase activity in sandy soil under till and no till. *Abstracts of the 14th Nitrogen workshop – N Management in Agrosystems in Relation to the Water Framework Directive*, pp. 154, Maastricht, NL.
- Cortez, J., Demard, J.M., Bottner, P. & Jouteur Monrozier, L. 1996. Decomposition of Mediterranean leaf litters: a microcosm experiment investigating relationships between decomposition rates and litter quality. *Soil. Biochem.*, **28**: 443-452.
- FAO-ISRIC_ISSS 1998. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports*, **84**: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm>
- Fox, R.H., Myers, R.J.K. & Vallis, I. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant and Soil*, **129**: 251-259.

- Groffman, P.M., Hanson, G.C., Kiviat, E. & Stevens, G. 1996. Variation in microbial biomass and activity in four different wetland types. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **60**: 622-629.
- Knoepp, J.D., Coleman, D.C., Crossley, D.A.J., Clark, J.S. 2000. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *For. Ecol. Manag.*, **138**: 357-368.
- Matus, F.J., Retamales, J.B., Maire, C. & Sánchez, P. 1998. Effect of particle size and age of pruning residues of *Pyrus communis*, cv. Beurré Bosc and *Pyrus pyrifolia*, cv. Hosui on C- and N- mineralization. *Acta Hort.*, **475**: 327-33.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, **66**: 266-275.
- Melillo, J.M., Aber, J.D. & Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, **63**: 621-626.
- Mitsh, W.J. & Gosselink, J.G. 1993. *Wetlands*. 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Moro, M.J. & Domingo, F. 2000. Litter decomposition in four woody species in a mediterranean climate: weight loss, N and P dynamics. *Annals of Botany*, **86**: 1065-1071.
- Reis, R.M.M. & Gonçalves, M.Z. 1981. *O Clima de Portugal. Caracterização Climática da Região Agrícola do Ribatejo e Oeste*. **32**, INMG, Lisboa.
- Sá, C., Madeira, M. & Gazarini, L. 2001. Produção e decomposição da folhada de *Quercus suber* L.. *Revista de Ciências Agrárias*, **25 (3-4)**: 245-256.
- Simões, M.P., Madeira, M. & Gazarini, L. 2002. Dinâmica da decomposição e da libertação de nutrientes da folhada de *Cistus salvifolius* L. e *Cistus ladanifer* L.. *Revista de Ciências Agrárias*, **25 (3-4)**: 508-520.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Sanderson, J.M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Studies in Ecology 5, Blackwell Scientific Publications, London, UK.
- Tagliavini, M., Tonon, G., Solimando, D., Gioacchini, P., Toselli, M., Boldreghini, P. & Ciavatta, C. 2004. Nitrogen uptake by ryegrass (*Lolium perenne*) as affected by the decomposition of apple leaves and pruning wood in soil. In Hatch, D.J., Chadwich, D.R., Jarvis, S.C. & Rocher, J.A. (eds) *Proceedings of the 12th N Workshop: Controlling N flows and losses*, pp 239-241. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, NL.
- TAPPI. 1998. *T222 om-98 - Acid-insoluble lignin in wood and pulp*. TAPPI Test Methods, Norcross, USA.
- TAPPI. 1991. *UM 250 - Acid-soluble lignin in wood and pulp*. 1991 TAPPI Useful Methods, pp 47, Norcross, USA.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, **63**: 251-263.