

As práticas de gestão e a qualidade do solo em pomares de pereira ‘Rocha’

Management practices and soil quality in ‘Rocha’ pear groves

Ana Raquel Rodrigues¹, João Coutinho² e Manuel Madeira¹

¹ Departamento dos Recursos Naturais, Ambiente e Território, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, E-mail: arfelizardo@isa.utl.pt, author for correspondence

² Centro de Química, Departamento Biologia e Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Recebido/Received: 2013.03.27

Aceite/Accepted: 2013.04.12

RESUMO

Diferentes sistemas de gestão do solo podem induzir alterações ao funcionamento dos ecossistemas. No contexto da crescente preocupação com sustentabilidade e qualidade ambiental é crucial avaliar possíveis modificações no sistema solo, como recurso determinante para a fertilidade e produtividade. Determinaram-se indicadores de qualidade física, química e biológica em quatro pomares de pereira ‘Rocha’ da região Oeste de Portugal, em que as entrelinhas são mantidas: com coberto vegetal natural permanente (NT), por mobilização com incorporação de estrume (CT+M), por mobilização convencional a 15 cm (CT1) e por mobilização convencional até 40 cm de profundidade (CT2). Todas as propriedades relacionadas com a dinâmica da matéria orgânica do solo expressaram alterações decorrentes de mudanças na gestão, apresentando-se a incorporação de estrume e o enrelvamento permanente como os sistemas mais favoráveis à acumulação de matéria orgânica e, conseqüentemente, à actividade microbiológica.

Palavras-chave: coberto vegetal; fracções lábeis de carbono; gestão do solo; matéria orgânica; mobilização

ABSTRACT

Different management systems can induce modifications on ecosystems functioning. In the context of growing concern with sustainability and environmental quality it is crucial to evaluate possible changes in soil, as a determinant resource for fertility and productivity. Physical, chemical and biological soil quality indicators were determined in four ‘Rocha’ pear groves from the Oeste region of Portugal, where interrows are kept by: permanent natural cover crop (NT), tillage with manure incorporation (CT+M), conventional tillage at 15 cm (CT1) and conventional tillage up to 40 cm depth (CT2). All properties related to soil organic matter dynamics have expressed alterations related to changes in management, with manure and permanent cover cropping being the most favourable systems regarding organic matter accumulation and, consequently, microbial activity.

Keywords: cover crop; labile carbon fractions; organic matter; soil management; tillage

Introdução

Os pomares de pereira (*Pyrus communis* L.) da cultivar ‘Rocha’ são de grande importância económica na fruticultura portuguesa, principalmente na região NUT II Centro. Em 2010 existiam em Portugal 10 969 ha de pomar de pereira, a grande maioria dos quais da variedade ‘Rocha’. Apesar da pequena dimensão média das explorações (inferior a um hectare em 2009), as organizações de produtores e cooperativas têm conseguido a concentração, valorização e crescente exportação deste fruto, distinguido com Denominação de Origem Protegida na região NUT III Oeste (ANP, 2010; INE, 2011).

As práticas de gestão do solo podem induzir alterações em vários componentes do ecossistema do pomar, resultando em diferentes microclimas, propriedades físicas, disponibilidades de água e nutrientes, e abundância e prevalência de espécies, incluindo pragas e doenças (Haynes, 1980). No actual panorama de crescente preocupação com a sustentabilidade dos ecossistemas, torna-se fundamental compreender e caracterizar os processos pelos quais a gestão afecta a qualidade do sistema solo e, assim, determinar qual ou quais as práticas mais adequadas.

Em Portugal, a regulamentação da Produção Integrada (Decreto-Lei n.º 180/95) e os apoios dados à implementação de Medidas Agro-Ambientais le-

varam, nos últimos anos, a uma reconversão de técnicas convencionais e à adopção de formas de gestão do solo menos gravosas, ecológica e economicamente. Actualmente, ao abrigo do Decreto-Lei nº. 256/2009, em sistemas de Produção Integrada, é obrigatória a manutenção de um coberto vegetal entre 15 de Novembro e 1 de Março (Cavaco, 2011). A conversão de sistemas tradicionais de mobilização para sistemas de mobilização mínima ou não mobilização tem sido amplamente estudada em diferentes culturas e diferentes condições ecológicas (Gómez *et al.*, 1999; Wright *et al.*, 2005; Ozpinar e Cay, 2006; Celette *et al.*, 2008; Carey *et al.*, 2009; Martins *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2010). Porém, é notória a falta de informação relevante sobre a optimização da gestão do solo de pomares nas condições da região Oeste de Portugal, onde a grande maioria dos fruticultores continua a basear as tomadas de decisão na tradição, nos conhecimentos empíricos e na rentabilidade económica imediata.

Através da determinação de algumas propriedades físicas, químicas e biológicas relevantes para as funções do solo, podem obter-se indicadores de qualidade do mesmo (Schloter *et al.*, 2003). Mas, dada a dinâmica e a interligação dos processos envolvidos, dificilmente um único indicador será suficientemente abrangente para avaliar modificações na qualidade do solo. A escolha dos indicadores deve ter em conta a sensibilidade destes aos processos que pretendemos monitorizar. Enquanto algumas propriedades intrínsecas do solo, como a mineralogia ou a textura, são importantes para as decisões de gestão, mas não manifestam alterações decorrentes desta, outras são susceptíveis de se modificarem tão rapidamente que o seu uso como indicador de qualidade poderá ser problemático, servindo apenas de indicadores de necessidades de intervenção a curto prazo, como será o caso do teor de água e da disponibilidade de nutrientes. Entre estes extremos existem propriedades alteráveis apenas após longos períodos e que têm grande influência sobre processos fundamentais do solo, como é o caso do teor de matéria orgânica, das correspondentes fracções activas ou da biomassa microbiana (Brady e Weil, 2008). Neste contexto, seleccionaram-se áreas representativas dos actuais sistemas de produção de pêra 'Rocha', com o objectivo de avaliar alterações na qualidade do solo decorrentes da mudança de uma gestão tradicional, baseada em mobilizações frequentes, para sistemas com menor perturbação, nomeadamente com manutenção de enrelvamento natural permanente ou incorporação de resíduos orgânicos. Os resultados do presente estudo foram obtidos no âmbito de uma dissertação de mestrado (Rodrigues,

2012), que teve como objectivos principais clarificar a dimensão dos benefícios e desvantagem desta conversão de sistemas de gestão convencionais para sistemas de mobilização mínima, nomeadamente no que respeita a alterações na qualidade do solo, e ainda servir de base para identificar os indicadores mais fiáveis e relevantes para monitorização dessas alterações.

Material e Métodos

Áreas de estudo

Os pomares estudados localizam-se em Alguber, concelho do Cadaval (N39° 16.673, W9° 01.788) e A-dos-Ruivos, concelho do Bombarral (N39° 16.949, W9° 06.543), e inserem-se em paisagem de relevo ondulado suave a ondulado.

A geologia da região compreende formações do Jurássico kimeridgiano, nomeadamente complexos pterocerianos, com predominância de formações margosas e greso-arenosas. Os solos correspondem a Regossolos (*sensu* WRB, 2006), apresentando os de Alguber textura franco-limosa e os de A-dos-Ruivos textura franco-argilosa.

O clima da região é temperado com Verão seco e suave (Csb), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Köppen, 1936). Na estação meteorológica de Caldas da Rainha (39° 24' N, 9° 08' W), que, sendo próxima, melhor descreverá as condições das áreas de estudo, a temperatura média anual é de 15,2 °C, variando a média mensal entre 23,8 °C em Agosto e 10,3 °C em Janeiro. A precipitação média anual é de 608 mm, ocorrendo cerca de 90% no período entre Outubro e Maio. A humidade relativa do ar mantém-se elevada durante todo o ano, rondando os 80%, e varia pouco ao longo do dia, dada a proximidade do oceano (Ferreira, 1970).

Os quatro pomares seleccionados tinham idades compreendidas entre os 12 e os 20 anos e o mesmo compasso de plantação (4x2 m), mas diferiam no tocante à gestão do solo das entrelinhas. Em Alguber, seleccionaram-se três pomares a que correspondem três sistemas de gestão: não mobilização (NT) com manutenção de coberto vegetal natural cortado duas a três vezes por ano desde há 6 anos; mobilização convencional com incorporação de aproximadamente 5000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de estrume de bovino a 15 cm de profundidade (CT+M); e mobilização convencional (CT1) que combina escarificação ou gradagem até 15 cm de profundidade, com fresagem para uniformização da superfície do terreno, duas a três vezes por ano. Em A-dos-Ruivos considerou-se

ainda um pomar em que as entrelinhas são mobilizadas (CT2) com escarificador ou grade de discos até 40 cm seguindo-se fresagem superficial uma a duas vezes por ano. Uma faixa de um metro centrada nas linhas de plantação é mantida limpa por aplicação de herbicidas em todos os pomares. Não tendo sido possível obter uma amostra do estrume adicionado ao pomar CT+M, considerou-se a composição média de estrume de bovino descrita por Pais-de-Sá (1999), pelo que anualmente serão veiculados 32,5 kg de N, 5,5 kg de P, 32,5 kg de K, 17,5 kg de Ca e 6,95 kg de Mg por hectare.

Amostragens

As amostragens do solo foram realizadas antes das primeiras operações de corte do coberto vegetal ou mobilização, em Fevereiro de 2012. Nos sistemas NT, CT1 e CT2 seleccionaram-se aleatoriamente 12 árvores assinalando os locais de amostragem, enquanto no pomar CT+M foram seleccionadas apenas 6, devido à reduzida área da parcela (0,3 ha). Em cada local consideraram-se duas posições: a linha de plantação (L), considerando para amostragem meia distância entre a árvore seleccionada e a árvore vizinha a Norte na mesma linha, e a entrelinha (E), colhendo as amostras a meia distância entre a árvore escolhida e a correspondente na linha adjacente a Oeste (Fig. 1).

Junto de três das árvores seleccionadas, colheram-se em cada posição e pomar três cilindros de solo não perturbado nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Com o auxílio de uma sonda colheram-se amostras perturbadas de solo junto às 12 árvores seleccionadas, às profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Estas foram secas ao ar e passadas por um crivo de 2 mm. Para determinações relacionadas com parâmetros biológicos, colheram-se ainda, em todos os locais seleccionados, amostras de solo de 0 a 5 cm de profundidade, considerando

que esta camada será aquela em que a actividade é mais activa. As 12 amostras de cada posição e cada pomar colhidas em NT, CT1 e CT2 foram aleatoriamente emparelhadas duas a duas e crivadas húmidas a 5 mm, resultando em seis amostras compostas para cada sistema de gestão e posição. Até ser possível efectuar as respectivas determinações, estas amostras foram mantidas em sacos de plástico fechados e refrigerados (aproximadamente 4° C).

Metodologia analítica

Os cilindros contendo as amostras de solo não perturbadas foram pesados à chegada ao laboratório e secos em estufa a 105 °C até peso constante. Registou-se o peso seco dos cilindros cheios e vazios, bem como a sua altura e o diâmetro em dois sentidos aleatórios, o que permitiu calcular a massa volúmica aparente.

O carbono orgânico total (C_{org}) foi determinado nas amostras de solo secas ao ar pelo método de oxidação pelo dicromato de potássio (combustão por via húmida) (Póvoas e Barral, 1992) O carbono orgânico não humificado (C_{nHum}) foi determinado pelo mesmo método, aplicado à fracção de solo maior que 50 µm obtida por crivagem húmida de 10 g de terra fina dispersa em 100 mL de água destilada por agitação durante 60 minutos. O carbono solúvel em água quente (C_{hw}) foi determinado num auto-analisador, usando o extracto resultante da suspensão de 10 g de terra fina em 50 mL de água a 85°C durante uma hora. Determinou-se o teor de azoto total (N_t) pelo método Kjeldahl, com um Sistema Completo Kjeltect™ de digestão, destilação e titulação. Utilizando um potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado, mediu-se o pH em suspensões de 1:2,5 de solo em água (pH- H_2O) e em solução de KCl 1 M (pH-KCl). As chamadas bases de troca (em rigor, iões não ácidos) foram extraídas pelo método do acetato

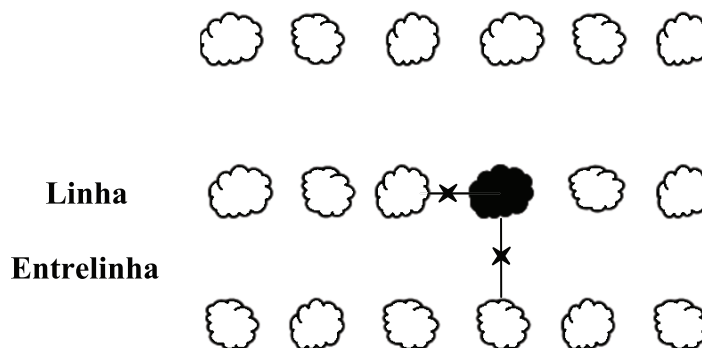


Figura 1 – Esquema geral de amostragem de solo na entrelinha e linha dos pomares em estudo. ✕ - Pontos de colheita de amostras nas imediações de cada árvore seleccionada aleatoriamente.

de amónio a pH 7, calculando-se posteriormente a respectiva soma. Na determinação do fósforo extraível foram usados os métodos de Egnér-Riehm e Olsen (Egnér *et al.*, 1960; Olsen *et al.*, 1954). O extracto obtido pelo método de Egnér-Riehm permitiu também quantificar o potássio extraível.

De acordo com o método proposto por Vance *et al.* (1987) para determinação de C e N da biomassa microbiana, fumigaram-se três repetições de 10 g de cada amostra da camada 0-5 cm de solo húmido com clorofórmio por 24 horas num sistema apropriado. Fez-se a extracção com 50 mL de solução K₂SO₄ 0,5 M, sendo um mesmo número de amostras não fumigadas igualmente tratadas. As soluções filtradas resultantes foram congeladas até ser possível quantificar N e C num auto-analisador, através de detector de quimioluminescência e espectroscopia de infravermelho próximo, respectivamente. Os valores de C e N da biomassa microbiana (C_{mic} e N_{mic}) foram obtidos por diferença entre leituras de extractos de amostras fumigadas e não fumigadas. Recorrendo ao método de medição do dióxido de carbono absorvido por uma solução alcalina em sistema fechado de incubação ao longo de 120 dias (García *et al.*, 2003), foi estimada a respiração basal do solo. Utilizaram-se frascos de vidro com fecho hermético, dentro dos quais se colocaram: 50 g de solo fresco, um contentor com água destilada (apenas para manter a humidade) e um contentor com 30 mL de solução hidróxido de sódio 0,5 M. Os frascos foram colocados em estufa a 25° C, sendo a solução de hidróxido de sódio trocada aos 1, 2, 3, 4, 7, 15, 28, 56 e 119 dias após início da incubação. As soluções obtidas foram tituladas com uma solução HCl 0,5 M, após precipitar o dióxido de carbono com cloreto de bário 0,5 M, para determinar o excesso de NaOH. Através do CO₂ respirado por dia, calcularam-se as respectivas taxas de transformação do carbono (C_{min}). Para o cálculo do quociente metabólico (qCO₂) dividiu-se a taxa de respiração correspondente ao sétimo dia

de incubação pelo carbono da biomassa microbiana inicial. Para o estudo da mineralização potencial de azoto, incubaram-se cerca de 500 g de solo em sacos de plástico a 25° C durante 16 semanas, em condições aeróbias e sem lixiviação (García *et al.*, 2003). Determinou-se o azoto inorgânico em extractos obtidos da adição de 50 mL de solução KCl 2M a subamostras de 10 g de solo após 0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 e 112 dias de incubação. As concentrações de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram determinadas por espectrofotometria de absorção molecular (UV-visível) num auto-analisador, servindo posteriormente para calcular a taxa de mineralização líquida do azoto (N_{min}).

Análise estatística

Realizaram-se análises de variância (ANOVA) para os efeitos dos factores sistema de gestão (NT, CT+M, CT1 e CT2), posição (linha e entrelinha) e, quando aplicável, profundidade de amostragem (0-10 e 10-20 cm) sobre os parâmetros estudados. No Quadro 1, encontram-se resumidos os resultados destas análises. Sempre que se obtiveram diferenças significativas a níveis iguais ou inferiores a $\alpha=0,05$, aplicaram-se testes de Tukey para separação das médias.

Resultados

No Quadro 2, apresentam-se os resultados obtidos nas diversas determinações de características físicas e químicas dos solos dos pomares em estudo. A massa volúmica aparente foi mais elevada nas entrelinhas do que nas linhas em todos os sistemas, mas as diferenças foram mais evidentes na camada superficial de solo (0 a 10 cm) dos pomares com maior perturbação, onde se atingem valores médios na ordem dos 1,70 g cm⁻³. A massa volúmica aparente média determinada nas amostras de solo do siste-

Quadro 1 – Resumo da análise de variância dos parâmetros de qualidade do solo determinados quanto aos efeitos dos factores sistema de gestão (A), posição (B), profundidade de amostragem (C) e respectivas interações.

| Origens de variação | MV _a p | pH | | Soma Bases | P _{ER} | P _O | K | C _{org} | N _t | C _{nHu} m | C _{nHum} /C _{org} | C _h w | C _{hw} /C _{or} g | C _{mic} | N _{mic} | C _{mi} n | N _{min} | qCO ₂ |
|---------------------|----------------------|---------------------|---------|------------|-----------------|----------------|------|------------------|----------------|-----------------------|--|---------------------|--|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|
| | | H ₂ O | KC l | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | n.s. | n.s. | ** | ** | n.s. |
| B | ** | ** | * | n.s. | ** | n.s. | n.s. | ** | ** | ** | n.s. | ** | n.s. | ** | ** | n.s. | n.s. | n.s. |
| C | ** | ** | ** | n.s. | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | * | ** | ** | ** | ** | n.s. |
| A×B | n.s. | ** | ** | n.s. | ** | ** | ** | ** | ** | ** | n.s. | ** | * | ** | ** | ** | ** | n.s. |
| A×C | ** | ** | n.s. | n.s. | ** | ** | n.s. | ** | ** | * | * | ** | ** | | | | | |
| B×C | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | * | ** | ** | ** | ** | ** | n.s. | ** | n.s. | | | | | |
| A×B×C | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | ** | n.s. | ** | ** | * | n.s. | ** | * | | | | | |

**-significativo $\alpha=0,01$; *-significativo $\alpha=0,05$; n.s.-não significativo ($p>0,05$)

Quadro 2 – Médias (\pm desvio padrão) de massa volúmica aparente (MV_{ap}), pH em H_2O e KCl, soma das bases de troca (SB), fósforo extraível pelo método Olsen (P_o) e fósforo e potássio extraíveis pelo método Egnér-Riehm (P_{ER} e K), para cada nível dos factores sistema de gestão (A), posição (B) e profundidade (C), e interação 'AxB' para cada nível de 'C' (MV_{ap} n= 9; restantes propriedades CT+M n=6 e NT, CT1 e CT2 n=12). Valores na mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem significativamente para $\alpha=0,05$.

| Origens de variação | | MV_{ap} g cm ⁻³ | pH | | SB cmol _c kg ⁻¹ | P_{ER} | P_o mg kg ⁻¹ | K | |
|---------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--|--------------------|------------------------------|---------------------|--|
| | | | H ₂ O | KCl | | | | | |
| A | NT | 1,70 \pm 0,11a | 8,13 \pm 0,62b | 7,47 \pm 0,46b | 17,0 \pm 3,2b | 191,2 \pm 133,9b | 47,8 \pm 37,8b | 303,2 \pm 100,8a | |
| | CT+M | 1,53 \pm 0,20b | 7,78 \pm 0,32c | 7,10 \pm 0,37c | 17,4 \pm 3,0b | 443,1 \pm 205,5a | 101,5 \pm 38,3a | 229,9 \pm 49,4b | |
| | CT1 | 1,68 \pm 0,09a | 8,65 \pm 0,27a | 7,83 \pm 0,20a | 20,1 \pm 3,0a | 70,3 \pm 69,5c | 10,6 \pm 12,4c | 112,5 \pm 41,2c | |
| | CT2 | 1,65 \pm 0,13a | 8,18 \pm 0,33b | 6,85 \pm 0,44c | 21,6 \pm 4,6a | 58,9 \pm 28,6c | 5,0 \pm 4,7c | 114,5 \pm 50,8c | |
| B | L | 1,58 \pm 0,16b | 8,12 \pm 0,55b | 7,28 \pm 0,54b | 18,9 \pm 4,3 | 141,8 \pm 128,1b | 34,9 \pm 40,4 | 178,6 \pm 88,4 | |
| | E | 1,69 \pm 0,12a | 8,37 \pm 0,42a | 7,41 \pm 0,54a | 19,6 \pm 3,8 | 167,8 \pm 206,3a | 30,3 \pm 43,6 | 190,1 \pm 124,7 | |
| C | 0-10 | 1,57 \pm 0,15b | 8,11 \pm 0,55b | 7,26 \pm 0,57b | 19,3 \pm 3,9 | 194,0 \pm 185,0a | 43,2 \pm 46,8a | 206,7 \pm 102,7a | |
| | 10-20 | 1,70 \pm 0,12a | 8,38 \pm 0,42a | 7,42 \pm 0,51a | 19,2 \pm 4,3 | 115,7 \pm 148,3b | 22,0 \pm 33,6b | 162,0 \pm 108,9b | |
| AxB | <i>0-10 cm</i> | | | | | | | | |
| | NTxL | 1,61 \pm 0,06abc | 7,47 \pm 0,65c | 7,07 \pm 0,59bc | 17,0 \pm 3,6 | 286,0 \pm 80,5c | 97,1 \pm 34,1b | 292,5 \pm 101,9ab | |
| | NTxE | 1,64 \pm 0,10ab | 8,21 \pm 0,24abc | 7,55 \pm 0,20ab | 17,8 \pm 2,6 | 198,6 \pm 78,5cd | 38,7 \pm 14,5c | 351,7 \pm 69,2a | |
| | CT+MxL | 1,36 \pm 0,19d | 7,66 \pm 0,34cde | 6,98 \pm 0,38bc | 16,7 \pm 3,5 | 433,8 \pm 125,6b | 98,2 \pm 37,1b | 265,1 \pm 31,5ab | |
| | CT+MxE | 1,49 \pm 0,08bcd | 7,59 \pm 0,08de | 7,02 \pm 0,15bc | 17,7 \pm 1,5 | 669,1 \pm 54,1a | 137,3 \pm 11,4a | 236,5 \pm 40,3bc | |
| | CT1xL | 1,58 \pm 0,09abc | 8,54 \pm 0,31ab | 7,76 \pm 0,29a | 20,0 \pm 3,4 | 93,8 \pm 24,4de | 11,7 \pm 4,5d | 165,8 \pm 31,0cd | |
| | CT1xE | 1,70 \pm 0,07a | 8,65 \pm 0,18a | 7,86 \pm 0,15a | 19,9 \pm 2,5 | 51,9 \pm 19,3e | 3,7 \pm 1,3d | 93,7 \pm 14,6d | |
| | CT2xL | 1,47 \pm 0,08cd | 8,08 \pm 0,43bcd | 6,80 \pm 0,50c | 20,9 \pm 4,8 | 82,6 \pm 56,4de | 17,9 \pm 8,4cd | 161,2 \pm 61,4cd | |
| | CT2xE | 1,73 \pm 0,05a | 8,21 \pm 0,38abc | 6,79 \pm 0,54c | 22,1 \pm 4,6 | 93,6 \pm 108,0de | 15,4 \pm 19,5cd | 131,1 \pm 28,3d | |
| | <i>10-20 cm</i> | | | | | | | | |
| | NTxL | 1,74 \pm 0,05ab | 8,11 \pm 0,47c | 7,44 \pm 0,40ab | 16,5 \pm 4,0 | 135,3 \pm 94,8b | 33,3 \pm 24,3bc | 204,4 \pm 65,1b | |
| | NTxE | 1,81 \pm 0,07a | 8,74 \pm 0,17a | 7,82 \pm 0,17a | 16,7 \pm 2,8 | 145,1 \pm 198,4b | 22,2 \pm 21,5cd | 364,4 \pm 81,0a | |
| | CT+MxL | 1,58 \pm 0,20b | 7,94 \pm 0,42c | 7,12 \pm 0,58bc | 16,8 \pm 4,1 | 164,2 \pm 30,4b | 54,8 \pm 20,4b | 216,6 \pm 51,6b | |
| | CT+MxE | 1,69 \pm 0,14ab | 7,95 \pm 0,21c | 7,27 \pm 0,29bc | 18,3 \pm 2,7 | 505,3 \pm 123,7a | 115,7 \pm 20,1a | 201,3 \pm 56,5b | |
| | CT1xL | 1,67 \pm 0,04ab | 8,64 \pm 0,38ab | 7,83 \pm 0,20a | 20,2 \pm 3,3 | 52,8 \pm 19,2b | 3,1 \pm 2,1d | 99,5 \pm 21,3c | |
| | CT1xE | 1,76 \pm 0,06a | 8,76 \pm 0,11a | 7,87 \pm 0,15a | 20,2 \pm 3,3 | 37,1 \pm 14,4b | 1,5 \pm 0,6d | 90,9 \pm 37,7c | |
| CT2xL | 1,65 \pm 0,11ab | 8,20 \pm 0,15bc | 6,99 \pm 0,19bc | 20,8 \pm 4,9 | 43,4 \pm 40,4b | 5,0 \pm 3,6d | 85,7 \pm 30,9c | | |
| CT2xE | 1,73 \pm 0,07ab | 8,24 \pm 0,33bc | 6,83 \pm 0,48c | 22,7 \pm 4,6 | 61,5 \pm 50,4b | 3,9 \pm 4,3d | 79,9 \pm 24,5c | | |

ma com incorporação de estrume (CT+M) apresentou valor significativamente mais baixo do que os restantes sistemas de gestão. A profundidade teve efeito positivo sobre este indicador físico, tendo os maiores valores médios sido determinados para a entrelinha do pomar sem mobilização (NT).

Os valores médios de pH determinado em água indicam que a reacção dos solos estudados é levemente a fortemente alcalina. Os valores mais próximos de 7 ocorreram na linha no sistema NT e em ambas as posições do sistema CT+M. O pH-KCl distinguiu o pomar mobilizado CT1 com o pH mais elevado, enquanto o sistema mobilizado convencional CT2 apresentou reacção próxima da neutralidade. A soma das bases de troca foi significativamente influenciada pelo sistema de gestão, mas não variou entre as posições e profundidades amostradas (Quadro 1). Os pomares sujeitos a mobilização convencional distinguiram-se com maior soma de bases de troca, motivada principalmente por maior proporção de cálcio adsorvido (dados não apresentados)

comparativamente aos sistemas sem mobilização e com incorporação de estrume. O fósforo extraído pelo método Olsen correspondeu, em média, a apenas 20% do extraído pelo método de Egnér-Riehm. Diferenças entre posições só foram significativas no caso do sistema em que se incorpora estrume, com a entrelinha a apresentar teores médios até duas vezes superiores aos encontrados na linha. No que respeita à disponibilidade de potássio, o solo do pomar com manutenção de cobertura herbácea permanente apresentou teores significativamente mais elevados de K extraível do que os restantes sistemas. As concentrações de P e K extraíveis decresceram em profundidade em todos os sistemas, com os teores da camada subsuperficial (10-20 cm) a representarem, em média, cerca de metade dos teores da camada superior (0-10 cm).

No Quadro 3, apresentam-se valores médios e desvios padrão do carbono orgânico e azoto totais, fracções lábeis de C (C_{nHum} e C_{hw}) e respectivas proporções em relação a C_{org} .

Quadro 3 – Teores médios (\pm desvio padrão) de carbono orgânico total (C_{org}), azoto total (N_{total}), carbono não humificado (C_{nHum}), carbono solúvel em água quente (C_{hw}), proporções não humificada e solúvel relativamente a C_{org} (C_{nHum}/C_{org} e C_{hw}/C_{org}) para cada nível dos factores sistema de gestão (A), posição (B) e profundidade de amostragem (C) e interação 'AxB' para cada nível de 'C' (NT e CT n=12; CT+M n=6). Valores na mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem significativamente para $\alpha=0,05$.

| Origens de variação | | C_{org} | N_{total} | C_{nHum} | C_{nHum}/C_{org} | C_{hw} | C_{hw}/C_{org} | |
|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| | | g kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | % | g kg ⁻¹ | % | |
| A | NT | 7,4 \pm 4,7b | 0,94 \pm 0,44b | 1,58 \pm 1,3b | 20,9 \pm 7,5a | 0,40 \pm 0,22b | 6,0 \pm 2,0a | |
| | CT+M | 16,2 \pm 6,6a | 1,84 \pm 0,64a | 3,54 \pm 2,1a | 21,6 \pm 7,4a | 0,59 \pm 0,17a | 3,9 \pm 0,8b | |
| | CT1 | 6,4 \pm 2,2b | 0,81 \pm 0,23b | 1,04 \pm 0,5bc | 16,0 \pm 4,1b | 0,26 \pm 0,10c | 4,3 \pm 1,0b | |
| | CT2 | 6,5 \pm 2,1b | 0,59 \pm 0,19c | 0,80 \pm 0,6c | 11,1 \pm 5,8c | 0,25 \pm 0,09c | 3,8 \pm 0,8b | |
| B | L | 7,5 \pm 3,3b | 0,87 \pm 0,37b | 1,27 \pm 0,8b | 16,7 \pm 7,0 | 0,32 \pm 0,14b | 4,6 \pm 1,3 | |
| | E | 8,8 \pm 6,4a | 0,99 \pm 0,66a | 1,69 \pm 1,8a | 16,9 \pm 7,9 | 0,37 \pm 0,23a | 4,8 \pm 2,1 | |
| C | 0-10 | 10,6 \pm 5,4a | 1,17 \pm 0,58a | 2,37 \pm 1,8a | 19,3 \pm 7,4a | 0,49 \pm 0,22a | 4,4 \pm 1,2 | |
| | 10-20 | 5,6 \pm 3,3b | 0,69 \pm 0,37b | 0,95 \pm 1,0b | 15,0 \pm 8,9b | 0,26 \pm 0,12b | 4,7 \pm 1,9 | |
| AxB | <i>0-10 cm</i> | | | | | | | |
| | | NTxL | 7,6 \pm 2,1cd | 1,00 \pm 0,23cd | 1,54 \pm 0,5c | 21,0 \pm 6,5 | 0,39 \pm 0,09c | 5,2 \pm 0,9 |
| | | NTxE | 14,0 \pm 3,5b | 1,51 \pm 0,39b | 3,28 \pm 1,5b | 22,8 \pm 8,7 | 0,71 \pm 0,18ab | 5,1 \pm 0,8 |
| | | CT+MxL | 15,8 \pm 2,1b | 1,76 \pm 0,20b | 3,04 \pm 1,3b | 20,1 \pm 9,3 | 0,62 \pm 0,06b | 4,0 \pm 0,4 |
| | | CT+MxE | 25,5 \pm 1,2a | 2,74 \pm 0,10a | 6,07 \pm 2,0a | 23,9 \pm 7,7 | 0,82 \pm 0,11a | 3,2 \pm 0,5 |
| | | CT1xL | 9,3 \pm 1,0c | 1,12 \pm 0,13c | 1,72 \pm 0,40c | 18,5 \pm 3,4 | 0,36 \pm 0,11c | 3,9 \pm 1,0 |
| | | CT1xE | 6,7 \pm 1,4d | 0,83 \pm 0,11de | 1,14 \pm 0,32c | 17,3 \pm 3,4 | 0,30 \pm 0,05c | 4,7 \pm 0,9 |
| | | CT2xL | 8,6 \pm 2,1cd | 0,76 \pm 0,14de | 1,30 \pm 0,6c | 15,2 \pm 5,8 | 0,33 \pm 0,05c | 3,9 \pm 0,9 |
| | | CT2xE | 7,5 \pm 1,4cd | 0,73 \pm 0,13e | 1,17 \pm 0,4c | 15,4 \pm 3,3 | 0,32 \pm 0,07c | 4,2 \pm 0,5 |
| | | <i>10-20 cm</i> | | | | | | |
| | | NTxL | 4,1 \pm 2,0c | 0,61 \pm 0,23cd | 0,76 \pm 0,4bc | 19,6 \pm 7,6 | 0,23 \pm 0,07cd | 6,0 \pm 1,4b |
| | | NTxE | 3,9 \pm 1,0c | 0,64 \pm 0,10cd | 0,74 \pm 0,2bc | 20,3 \pm 7,7 | 0,28 \pm 0,05bc | 7,8 \pm 2,9a |
| | | CT+MxL | 8,2 \pm 1,6b | 1,09 \pm 0,23b | 1,76 \pm 0,5b | 21,3 \pm 4,5 | 0,39 \pm 0,07ab | 4,8 \pm 0,5bc |
| | | CT+MxE | 15,5 \pm 3,2a | 1,76 \pm 0,33a | 3,30 \pm 1,6a | 21,3 \pm 9,1 | 0,53 \pm 0,03a | 3,5 \pm 0,8c |
| | | CT1xL | 5,5 \pm 0,7bc | 0,74 \pm 0,08c | 0,76 \pm 0,21bc | 14,2 \pm 4,3 | 0,22 \pm 0,05cd | 4,1 \pm 1,0c |
| | | CT1xE | 4,1 \pm 1,3c | 0,57 \pm 0,09cd | 0,53 \pm 0,06bc | 13,9 \pm 3,4 | 0,17 \pm 0,02d | 4,4 \pm 1,1bc |
| | CT2xL | 5,3 \pm 1,2bc | 0,45 \pm 0,12d | 0,42 \pm 0,3c | 7,7 \pm 3,8 | 0,18 \pm 0,05cd | 3,5 \pm 0,8c | |
| | CT2xE | 4,8 \pm 0,6c | 0,43 \pm 0,06d | 0,29 \pm 0,2c | 6,1 \pm 2,7 | 0,17 \pm 0,03d | 3,5 \pm 0,7c | |

O carbono orgânico total foi significativamente influenciado por todos os factores e interações (Quadro 1). O pomar CT+M apresentou teores mais elevados do que os outros sistemas de gestão. Na camada de solo até 10 cm de profundidade o teor médio de carbono orgânico total do sistema com enrelvamento permanente das entrelinhas foi duas vezes superior ao determinado para CT1 e CT2. Em NT e CT+M o carbono orgânico total foi significativamente maior na entrelinha do que na linha, tendência contrária à que se verificou em CT1 e CT2. O carbono orgânico decresceu em profundidade em todos os sistemas, mas a diferença foi mais significativa no caso da entrelinha do sistema com enrelvamento, em que a camada superficial de 10 cm apresentou teores médios três vezes superiores aos da camada mais profunda analisada (10-20 cm).

O azoto total variou aproximadamente da mesma forma que o carbono orgânico total, sendo a correlação entre os dois parâmetros positiva ($r=0,954$). O sistema CT+M diferiu significativamente dos restan-

tes, com CT2 a apresentar teores totais de N até quatro vezes inferiores aos determinados para o pomar com incorporação de estrume.

Também as fracções lábeis de carbono, não humificada e solúvel em água quente, apresentaram uma forte correlação positiva com o teor total de C orgânico ($r=0,943$ e $r=0,873$, respectivamente), com os teores absolutos a variarem de forma semelhante à observada para o C_{org} . Não obstante, considerando os valores médios globais determinados para cada sistema de gestão, ao contrário do teor de carbono orgânico total, o teor de carbono na fracção não humificada distinguiu o sistema NT do pomar com mobilização mais profunda, CT2, enquanto o teor de carbono solúvel em água quente distinguiu o primeiro dos dois sistemas convencionais mobilizados (CT1 e CT2). Percentualmente, os sistemas convencionais mobilizados apresentaram menor proporção de C na forma não humificada do que as formas de gestão com enrelvamento e adição de estrume. A proporção C solúvel em água quente em relação

ao C total foi significativamente superior no solo do sistema com coberto vegetal permanente, distinguindo-se a camada 10-20 cm da entrelinha com as maiores percentagens de carbono nesta forma.

Os resultados respeitantes à quantificação da biomassa microbiana e respectiva actividade encontram-se sumarizados no Quadro 4.

Os teores médios de carbono e azoto correspondentes à biomassa microbiana não foram significativamente afectados pelo factor gestão (Quadro 1), enquanto o efeito da posição se deveu aos elevados teores médios determinados nas entrelinhas do sistema com coberto vegetal permanente, onde C_{mic} e N_{mic} foram, respectivamente, três e quatro vezes superiores aos da correspondente linha.

A taxa de transformação de carbono no solo da entrelinha do sistema mobilizado convencional CT2, atingiu os 8%. Este resultado diferiu principalmente do obtido no sistema com incorporação de estrume de bovino, onde, em média, pouco mais de 3% do carbono orgânico total foi respirado em 120 dias de incubação. Nos restantes sistemas o *turnover* de C rondou, em média, os 5%.

O quociente metabólico calculado não foi significativamente afectado pelos factores sistema de gestão e posição de amostragem (Quadro 1).

A taxa de mineralização líquida de azoto, no final de 16 semanas de incubação aeróbia, foi maior no sistema com coberto vegetal permanente, atingindo

do quase 10% do teor de azoto total inicial. A taxa de mineralização líquida da entrelinha do sistema CT+M foi significativamente inferior à de NT, totalizando cerca de 3,8% do N total.

Discussão

A massa volúmica aparente é um dos parâmetros de caracterização física mais utilizados, servindo de indicador de possíveis problemas de impedimento ao desenvolvimento de raízes e da resposta do solo às operações culturais e ao tráfego de máquinas (Marshall *et al.*, 1996). As incorporações de resíduos orgânicos no pomar CT+M parecem explicar a menor massa volúmica aparente, tal como Marinari *et al.* (2000) observaram, num estudo sobre a influência de vários tipos de fertilização sobre propriedades físicas e biológicas do solo. Nas entrelinhas de NT, a não mobilização associada ao tráfego de máquinas traduziu-se no acréscimo do valor deste indicador, da mesma forma que Gómez *et al.* (1999) registaram maior massa volúmica aparente em olivais não mobilizados, quando comparados com sistemas mobilizados de forma convencional. Porém, no presente estudo os sistemas de mobilização convencional não demonstraram ser particularmente eficientes, a médio prazo, na redução deste parâmetro, apresentando níveis de compactação das entrelinhas na

Quadro 4 – Teores médios (\pm desvio padrão) de carbono e azoto da biomassa microbiana (C_{mic} , N_{mic}), taxa de mineralização de carbono (C_{min}) ao 120º dia de incubação, taxa de mineralização líquida de azoto em 16 semanas de incubação aeróbia (N_{min}) e quociente metabólico (qCO_2) para cada nível dos factores sistema de gestão (A) e posição (B) e respectiva interação ($n=6$). Valores na mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem significativamente para $\alpha=0,05$.

| Origens de variação | | C_{mic} | N_{mic} | C_{min} | qCO_2 | N_{min} |
|---------------------|--------|----------------------|--------------------|---|----------------|--|
| | | mg kg ⁻¹ | | mg C-CO ₂ g ⁻¹ C _{org} | | mg N _{mineral} g ⁻¹ N _t |
| A | NT | 825,1 \pm 516,0 | 127,5 \pm 92,8 | 58,55 \pm 17,36a | 11,5 \pm 5,2 | 79,5 \pm 28,0a |
| | CT+M | 730,8 \pm 236,9 | 144,2 \pm 42,4 | 39,38 \pm 10,05b | 14,9 \pm 4,8 | 44,6 \pm 15,8b |
| | CT1 | 636,4 \pm 181,0 | 116,8 \pm 21,3 | 56,29 \pm 10,64ab | 11,1 \pm 5,2 | 48,7 \pm 7,49b |
| | CT2 | 845,6 \pm 317,8 | 154,3 \pm 35,9 | 65,19 \pm 21,54a | 11,7 \pm 8,2 | 67,2 \pm 28,0ab |
| B | L | 600,5 \pm 236,0b | 113,7 \pm 52,3b | 53,65 \pm 12,53 | 13,1 \pm 5,5 | 58,6 \pm 16,9 |
| | E | 918,5 \pm 352,4a | 157,7 \pm 50,2a | 56,06 \pm 22,31 | 11,5 \pm 6,6 | 61,4 \pm 31,8 |
| A×B | NT×L | 409,6 \pm 69,4c | 50,1 \pm 23,8c | 59,71 \pm 17,90ab | 15,3 \pm 4,4 | 61,37 \pm 17,81bc |
| | NT×E | 1240,7 \pm 407,9a | 204,9 \pm 63,4a | 57,71 \pm 18,43ab | 7,8 \pm 2,6 | 97,58 \pm 24,05a |
| | CT+M×L | 671,7 \pm 313,7bc | 137,8 \pm 59,3ab | 46,60 \pm 8,68bc | 15,2 \pm 5,9 | 50,97 \pm 15,96bc |
| | CT+M×E | 789,9 \pm 129,4abc | 150,6 \pm 18,5ab | 32,17 \pm 4,71c | 14,6 \pm 4,1 | 38,24 \pm 13,98c |
| | CT1×L | 521,9 \pm 128,3bc | 115,5 \pm 23,0bc | 58,28 \pm 9,44ab | 14,8 \pm 3,4 | 47,5 \pm 5,51bc |
| | CT1×E | 750,9 \pm 155,4bc | 118,1 \pm 21,7bc | 54,31 \pm 12,28bc | 7,4 \pm 3,9 | 49,96 \pm 9,46bc |
| | CT2×L | 798,7 \pm 178,9abc | 151,5 \pm 26,1ab | 50,03 \pm 9,59bc | 7,2 \pm 3,9 | 74,68 \pm 13,04ab |
| | CT2×E | 892,5 \pm 430,0ab | 157,1 \pm 46,3ab | 80,35 \pm 19,43a | 16,2 \pm 9,2 | 59,71 \pm 37,63bc |

ordem dos observados no pomar não mobilizado, apenas alguns meses após as últimas operações de mobilização. Poderá ainda considerar-se uma ligeira redução (não significativa) da MV_{ap} na camada superficial de NT mantida com cobertura vegetal permanente nos últimos 6 anos, relativamente à camada subjacente (10-20 cm), mas também às respectivas camadas de solo de CT1 e CT2, o que está em linha com os resultados de vários autores, tais como Morlat e Jacques (2003), que estudaram efeitos do enrelvamento em vinha, ou Ramos *et al.* (2010), em ensaios de enrelvamento em solos de pomares de amendoeira. Estes resultados atestam a fiabilidade da massa volúmica aparente como indicador para detecção de alterações no estado físico do solo, decorrentes da mudança de sistema de gestão.

A adição de resíduos orgânicos pode modificar a reacção do solo. O processo de mineralização envolve a libertação de hidrogeniões e, portanto, acidificação do solo (Brady e Weil, 2008). Deste modo, a natureza alcalina dos solos em estudo parece ter sido compensada pela incorporação de estrume em CT+M, aproximando o pH do solo da neutralidade. No entanto, outros efeitos neutralizantes foram detectados, possivelmente associados à aplicação localizada de herbicidas nas linhas e à aplicação de fertilizantes amoniacais, também estes reconhecidos por provocarem acidificação do solo (Atkinson e White, 1976; Brady e Weil, 2008).

A grande diferença nos resultados da quantificação de fósforo extraível pelos dois métodos utilizados põe em evidência algumas questões importantes. O método Egnér-Riehm, habitualmente usado em análises de rotina pelos laboratórios em Portugal, determina que os solos analisados sejam classificados de fertilidade 'Média' a 'Muito Alta' (INIAP-LQARS, 2006), enquanto os resultados obtidos pelo método de Olsen revelam alguns teores disponíveis próximos do limite crítico de 10 mg P kg^{-1} , que poderão ser considerados restritivos para o bom desenvolvimento das árvores (Olsen *et al.*, 1954). Tendo em conta o pH relativamente elevado dos solos das áreas de estudo, os teores de fósforo extraível pelo método de Olsen serão os que melhor expressam a realidade encontrada pelas raízes das árvores, pelo que esta determinação deveria ser tida em conta juntamente com os teores foliares da cultura nas decisões de aplicação de fertilizantes fosfatados. Do ponto de vista ambiental, será ainda importante considerar os elevados níveis de P_o determinados na camada superficial da linha de NT e em toda a área de CT+M. Ao revelarem concentrações acima de 50 mg kg^{-1} , como limite médio da capacidade de retenção de P para solos portugueses indicado por

Horta e Torrent (2010), estes teores alertam para a possibilidade de contaminação de meios aquáticos próximos, o que constituirá um importante risco de eutrofização. O sistema com enrelvamento permanente das entrelinhas apresentou a maior quantidade de potássio extraível, à semelhança do relatado por Morlat e Jacques (2003), que associaram o aumento da disponibilidade deste nutriente no solo das entrelinhas de vinhas com cobertura vegetal permanente, ao constante retorno e mineralização dos resíduos orgânicos resultantes desta. É provável que o fósforo e o potássio aplicados em fertilizantes excedam o consumo da cultura em todos os sistemas de gestão estudados, embora tenha sido difícil caracterizar e quantificar essas aplicações junto dos agricultores.

Os indicadores de natureza química considerados demonstraram-se capazes de fornecerem informações relevantes sobre a disponibilidade de nutrientes para absorção e utilização pelas árvores, mas a facilidade e a rapidez com que estes se modificam, bem como as dificuldades encontradas na caracterização concreta da gestão actual e passada, dificultaram grandemente a sua interpretação, pelo que o seu uso como indicadores de qualidade do solo resulta bastante limitado.

Embora a incorporação de estrume de bovino em CT+M tenha proporcionado aumentos dos teores de carbono orgânico e azoto totais em maior escala, a acumulação de matéria orgânica no solo da entrelinha do sistema não mobilizado com coberto vegetal foi evidente na camada de 0 a 10 cm de profundidade, com NT a apresentar cerca do dobro dos teores de C e N dos sistemas de mobilização convencional, CT1 e CT2. Estes resultados corroboram os relatados por outros autores, como Hernández *et al.* (2005) após 5 anos de enrelvamento em olivais de sequeiro, ou Morlat e Jacques (2003) após 17 anos de enrelvamento em vinha. A não mobilização e consequente deposição de resíduos orgânicos à superfície do solo no pomar com enrelvamento determinou a forte influência da profundidade de amostragem sobre as concentrações de carbono orgânico e azoto total, como Wright *et al.* (2005) observaram em sistemas de produção de milho e algodão não mobilizados. As diferenças dos teores totais de carbono e azoto das linhas e das entrelinhas dos pomares estudados sugerem que as mobilizações convencionais funcionam como estímulo à mineralização da matéria orgânica do solo, por permitirem o acesso dos microrganismos a substratos e condições favoráveis à decomposição dos resíduos (Brady e Weil, 2008). Sendo a deposição de resíduos orgânicos (lenha de poda, resíduos de infestantes e, no caso de CT+M,

estrupe) feita preferencialmente nas entrelinhas, é natural que se encontrem maiores teores de C e N nas entrelinhas dos sistemas NT e CT+M. Mas nos sistemas mobilizados CT1 e CT2, em que, possivelmente, menores quantidades de resíduos são devolvidas ao solo e as mobilizações promovem a rápida mineralização dos mesmos, os teores de C_{org} e N_{total} foram maiores nas linhas não perturbadas do que nas respectivas entrelinhas.

Por representarem a parte activa da matéria orgânica do solo, com uma taxa de transformação elevada, as fracções lábeis constituem uma importante e acessível fonte de carbono e nutrientes para os microrganismos do solo, respondendo rapidamente às alterações de gestão (Haynes, 2000). No presente estudo, os teores médios globais de carbono da fracção não humificada e solúvel em água quente, para cada pomar, foram mais eficientes a distinguir diferenças entre os quatro sistemas de gestão do que o carbono orgânico total, comprovando o potencial destas fracções como indicadores das tendências de alteração da matéria orgânica do solo, mesmo antes de serem visíveis diferenças no seu teor total. As mobilizações frequentes nos pomares CT1 e CT2 terão sido responsáveis pela redução das proporções destas fracções lábeis relativamente ao total de carbono orgânico. Cambardella e Elliot (1992) encontraram resultados semelhantes ao compararem sistemas com vegetação nativa e sistemas cultivados com ou sem mobilização, tendo verificado menores decréscimos na fracção particulada da matéria orgânica do solo, sempre que a gestão se baseou em práticas de não mobilização. Já a maior percentagem do C total na forma solúvel em água quente obtida nas amostras de solo da entrelinha da área NT sugere uma melhoria da actividade biológica do solo. De facto, a esta fracção têm sido associados substratos facilmente disponíveis para os microrganismos do solo, compostos solúveis resultantes da actividade dos mesmos e também da actividade das raízes das espécies vegetais (Haynes, 2000; Ramos *et al.*, 2010; Marinari *et al.*, 2000). O facto de a maior proporção de carbono solúvel ter sido encontrada na segunda camada amostrada da entrelinha do sistema NT resulta da grande mobilidade destes compostos com os fluxos de água, comparativamente a outras formas de C (Marschner e Bredow, 2002).

A sensibilidade da fracção correspondente à biomassa microbiana do solo às condições ambientais terá influenciado os resultados da sua quantificação, impedindo a detecção de diferenças mais marcantes entre sistemas de gestão (Powlson, 1994, cit. in Schloter *et al.*, 2003). A ausência de correlações positivas e significativas entre C_{mic} e C_{org} ($r=0,109$), e

entre N_{mic} e N_{total} ($r=0,151$) sugere a prevalência de factores supressores do desenvolvimento da comunidade microbiana do solo que não dependem da quantidade de substrato disponível (Haynes, 2000; McLaughan e Hobbie, 2004). Não obstante, poderá considerar-se evidente um efeito positivo da cobertura herbácea da entrelinha de NT sobre os teores de C e N da biomassa microbiana do solo, o que está de acordo com outros estudos em que formas de gestão com menor perturbação e manutenção de coberto vegetal do solo contribuíram para o aumento da biomassa microbiana (Hernández *et al.*, 2005; Wright *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2007), o que se traduzirá numa maior capacidade de armazenamento e reciclagem de nutrientes e energia (Iqbal *et al.*, 2010). Tal como esperado, a maior disponibilidade de matéria orgânica activa no sistema CT+M (não humificada e solúvel em água quente) motivou maiores taxas respiratórias da comunidade microbiana do solo (dados não apresentados), mas a taxa de mineralização de carbono foi a mais baixa, atingindo apenas 3% do C orgânico total. Estes resultados corroboram o exposto por McLaughan e Hobbie (2004), que sugeriram que maiores proporções de matéria orgânica na fracção lábil indicam existência de materiais mais recalcitrantes, o que tornará mais lenta a sua transformação. No extremo oposto identificou-se a entrelinha do pomar CT2, capaz de mineralizar mais de 8% do carbono orgânico total em apenas 120 dias. Este rápido consumo de carbono poderá até certo ponto explicar os menores teores de matéria orgânica encontrados neste sistema, como, aliás, é sugerido para outros sistemas (Brady e Weil, 2008).

Porém, a razão do carbono respirado na forma de CO_2 por unidade de carbono da biomassa microbiana (qCO_2) não apontou diferenças de eficiência entre as comunidades microbianas do solo dos quatro pomares, conforme proposto por Sakamoto e Oba (1994). A validade dos resultados do cálculo deste quociente poderá ter sido comprometida pela já referida interferência das condições ambientais sobre a biomassa microbiana, mas também pela preparação e incubação das amostras de solo, que poderão ter induzido alterações significativas aos microrganismos que a compõem (Walley *et al.*, 1996).

A taxa de transformação potencial líquida de azoto, em condições aeróbias, foi maior no sistema NT, o que está de acordo com resultados de outros autores, em que maiores potenciais de mineralização foram associados à não mobilização do solo e à acumulação de resíduos orgânicos provenientes da cobertura herbácea (Gregorich *et al.*, 1994; Wright *et al.*, 2005; Carey *et al.*, 2009). Apesar do mais elevado teor de azoto total, a mineralização líquida de azoto

no solo do pomar CT+M não diferiu da observada nos sistemas convencionais (dados não apresentados). Como resultado, a taxa de mineralização líquida do N foi mais baixa, o que poderá ter origem em diferenças na qualidade do substrato orgânico, ou na estrutura da população microbiana do solo (Stanford e Smith, 1972).

Estes resultados demonstram que as alterações de qualidade do solo decorrentes das mudanças de gestão são particularmente evidentes quando se consideram indicadores relacionados com a dinâmica da matéria orgânica do solo. Esta componente funciona como regulador da disponibilidade de nutrientes, da estabilidade estrutural, da capacidade de retenção e do movimento da água e do ar no solo, pelo que o seu estudo tem sido consistentemente considerado como fundamental na avaliação da qualidade dos solos (Gregorich *et al.*, 1994).

Conclusões

Os resultados sugerem que os sistemas de gestão em estudo podem, num período relativamente curto, influenciar de forma significativa vários parâmetros de qualidade do solo essenciais à sustentabilidade destes agroecossistemas. Em relação à mobilização convencional, a manutenção de coberto vegetal beneficia a qualidade física, química e biológica do solo, enquanto a incorporação de estrume melhora de forma mais evidente as propriedades físico-químicas, mas não tanto a actividade microbiológica. Não obstante a natureza deste estudo - retrospectivo, pontual e extremamente afectado pela variabilidade da amostragem - pode concluir-se que propriedades relacionadas com o teor e a actividade da matéria orgânica respondem positivamente a mudanças do sistema de gestão, podendo ser úteis na detecção e previsão de alterações importantes nos processos e funções do solo. Por existirem poucos resultados consistentes, baseados em ensaios locais de médio e longo prazo, quanto à adequação de diferentes formas de gestão às condições dos pomares de pereira na região Oeste de Portugal, as diferenças encontradas reforçam a necessidade de se considerarem sistemas experimentais de referência que permitam estudos mais abrangentes e alongados sobre esta temática.

Agradecimentos

A realização deste trabalho contou com a disponibilidade da APAS - Associação dos Produtores Agrícolas da Sobrena, para a selecção e acesso aos

pomares representativos de cada sistema de gestão. Os autores agradecem ao pessoal do Laboratório de Solos do DRAT, Instituto Superior de Agronomia (UTL), o apoio prestado na realização de determinações analíticas.

Referências Bibliográficas

- ANP (2010) - *Existências de pêra rocha, colheita de 2010* (em linha). Cadaval, Associação Nacional de Produtores de Pera Rocha. (Acesso em 2012.01.10). Disponível em <http://www.perarocha.pt/_uploads/ColheitaPeraRocha2010.pdf>.
- Atkinson, D. e White, G. C. (1976) - Soil management with herbicides - the response of soils and plants. *In: Proceedings of the 1976 British Crop Protection Conference - Weeds*, 3: 873-883.
- Brady, N. C. e Weil, R. R. (2008) - *The Nature and Properties of Soils*. 14.^a ed. Upper Saddle River, Pearson-Prentice Hall, 960 p.
- Cambardella, C. e Elliot, E. T. (1992) - Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 3: 777-783.
- Carey, P. L.; Benge, J. R. e Haynes, R. J. (2009) - Comparison of soil quality and nutrient budgets between organic and conventional kiwifruit orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132, 1-2: 7-15.
- Cavaco, M. ed. lit (2011) - *Normas técnicas para a produção integrada de pomóideas*, vol. 1, Lisboa, Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, 86 p.
- Celette, F.; Gaudin, R. e Gary, C. (2008) - Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 29, 4: 153-162.
- Decreto Lei n.º 180/95 de 26 de Julho. Diário da República n.º 171/95 - Série I-A. Lisboa, Ministério da Agricultura.
- Decreto Lei n.º 256/2009 de 24 de Setembro. Diário da República n.º 186/2009 - 1.^a Série. Lisboa, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Egnér, H.; Riehm, H. e Domingo, W.R. (1960) - Untersuchungen über die chemische bodenanalyse als grundlage für die beurteilung des narkstoffzustandes der böden. II. Chemische extraktionsmethoden zur phosphor und kaliumbestimmung. *Kunliga Lantbrukshögskolans Annaler*, Stockholm, 26: 199-215.
- Ferreira, H. A. (1970) - *O clima de Portugal: Normais climatológicas do Continente, Açores e Madeira corres-*

- pondentes a 1931-1960. 2ª ed. Lisboa, Serviço Meteorológico Nacional, p. 88-89. (Fascículo XIII).
- García, C.; Gil, F.; Hernández, T. e Trasar, C. (2003) - *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Murcia, Mundi-Prensa, 371 p.
- Gómez, J.A.; Giráldez, J. V.; Pastor, M. e Fereres, E. (1999) - Effects of tillage methods on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil and Tillage Research*, 52, 3-4: 167-175.
- Gregorich, E. G.; Carter, M. R.; Angers, D. A.; Monreal, C. M. e Ellert, B. H. (1994) - Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74, 4: 367-385.
- Haynes, R.J. (1980) - Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems*, 6, 1: 3-32.
- Haynes, R. J. (2000) - Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soil in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2: 211-219.
- Hernández, A. J.; Lacasta, C. e Pastor, J. (2005) - Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77, 1-3: 232-248.
- Horta, M. C. e Torrent, J. (2010) - *Dinâmica do fósforo no solo, perspectiva agronómica e ambiental*. Castelo Branco, Edições IPCB, 97 p.
- INE (2011) - *Estatísticas agrícolas 2010* (em linha). Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 118 p. (Acesso em 2012.01.10). Disponível em <http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=123297571&PUBLICACOESstema=55505&PUBLICACOE_Smodo=2/>.
- INIAP-LQARS (2006) - *Manual de fertilização das culturas*. Lisboa, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas / Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas / Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, 282 p.
- Iqbal, J.; Hu R.; Feng, M.; Lin, S.; Malghani, S. e Ali, I. M. (2010) - Microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen strongly affect soil respiration in different land uses: a case study at Three Gorges Reservoir Area, South China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137, 3: 294-307.
- Köppen, W. (1936) - Das geographische system der klimate. In: Köppen, W. e Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der klimatologie*, vol. 1, parte C. Berlin, Gebrüder Borntraeger, p. 1-44.
- Marinari, S.; Masciandaro, G.; Ceccanti, B. e Grego, S. (2000) - Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72, 1: 9-17.
- Marshall, T. J.; Holmes, J. W. e Rose, C. W. (1996) - *Soil physics*. Cambridge, Cambridge University Press, 472 p.
- Martins, A.; Raimundo, F.; Borges, O.; Linhares, I.; Sousa, V.; Coutinho, J. P.; Gomes-Laranjo, J. e Madeira, M. (2010) - Effects of soil management practices and irrigation on plant water relations and productivity of chestnut stands under Mediterranean conditions. *Plant and Soil*, 327, 1-2: 57-70.
- Marschner, B. e Bredow, A. (2002) - Temperature effects on release and ecologically relevant properties of dissolved organic carbon in sterilised and biologically active soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 4: 459-466.
- McLaughlan, K. K. e Hobbie, S. E. (2004) - Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Science Society American Journal*, 68, 5: 1616-1625.
- Morlat, R. e Jacques, A. (2003) - Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54, 1: 1-7.
- Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, F. S. e Dean, C. A. (1954) - *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Washington, USDA, 22 p. (Circular 939).
- Ozpinar, S. e Cay, A. (2006) - Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. *Soil and Tillage Research*, 88, 1-2: 95-106.
- Pais-de-Sá, A. E. R. (1999) - *O agroecossistema bouça-campo na região de Entre-Douro e Minho*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 60 p.
- Póvoas, I. e Barral, M. F. (1992) - *Métodos de análise de solos*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, 61 p. (Série de Ciências Agrárias, Comunicação 10).
- Ramos, M. E.; Benítez, E.; García, P. A. e Robles, A. B. (2010) - Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44, 1: 6-14.
- Rodrigues, A. R. M. S. F. (2012) - *Indicadores de qualidade do solo em pomares de Pereira 'Rocha' - enrelvamento permanente versus mobilização*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 60 p.

- Sakamoto, K. e Oba, Y. (1994) - Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 17, 1: 39-44.
- Schlöter, M.; Dilly, O. e Munch, J. C. (2003) - Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 98, 1-3: 255-262.
- Stanford, G. e Smith, S. J. (1972) - Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36, 3: 465-472.
- Vance, E. D.; Brookes, P. C. e Jenkinson, D.S. (1987) - An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 6: 703-707.
- Walley, F. L., Van Kessel, C. e Pennock, D. J. (1996) - Landscape-scale variability of N mineralization in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 3: 383-391.
- Wright, A. L.; Hons, F. M. e Matocha, J. E. (2005) - Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology*, 29, 1: 85-92.
- Yang, Y.; Wang, H.; Tang, J. e Chen, X. (2007) - Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. *Soil and Tillage Research*, 93, 1: 179-185.