

QUANTIDADE DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS DE PORTUGAL CONTINENTAL E PARTICULARIDADES NOS SOLOS DO NOROESTE E DOS MONTADOS DO SUL

CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO DE LOS SUELOS DE PORTUGAL CONTINENTAL Y PARTICULARIDADES DE LOS SUELOS DEL NOROESTE Y SUR

MANUEL MADEIRA¹, R. P. RICARDO^{1,2}, A. CORREIA¹, A. GARCEZ¹, F. MONTEIRO¹, J. A. RAPOSO², A. T. CONSTANTINO³ & J. M. DUARTE³

¹Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; ²Centro de Estudos de Pedologia do IICT, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa; ³Agroconsultores - Engenharia de Recursos Agrários Lda, Rua Sampaio Pina, 7, 1º D, 1070-248 Lisboa

Abstract. The amount of soil organic C (kg m^{-2}) in Portugal was assessed for the depth of 0-30 cm (surface organic C content), and values were correlated with the mean annual precipitation. In Northwest Portugal the estimation was done for both 0-30 (surface organic C content) and 0-100 cm (total organic C content) depths, taking into account the *Major Soil Groupings* (FAO-Unesco), the mean annual precipitation (MAP) and the main land use/land cover systems. In Southern Portugal, the amounts of soil organic C down to 20 cm depth in areas which have been subjected to cereal crops were compared to those in oak woodlands either with natural understory or improved pastures, both beneath tree canopy and in the open. The amount of organic C down to 30 cm depth, in soils of Portugal vary from 0,21 to 23,50 kg m^{-2} . This amount is strongly correlated with mean annual rainfall (and with biomass productivity), increasing from semiarid to wet areas. In Northwest Portugal (wet climate), *Regosols* show the highest amount of organic C down to 30 cm depth whereas *Anthrosols* have the highest down 100 cm depth. In this region the variation of C in soil is mostly related to land use system, and the highest amount of organic C was observed in soils under shrubland. In Southern Portugal (dry climate) a strong increment of organic C was observed in soils with improved pasture, as compared to those subjected to cereal crops. This increment is enhanced in oak woodlands, especially in areas under tree crown, and carbon is mostly accumulated as non-humified organic matter which show low C/N ratio.

Resumo. Estima-se de forma provisória a quantidade média de C orgânico (kg m^{-2}) na espessura de 0-30 cm (C orgânico superficial) dos solos que ocorrem em Portugal continental, correlacionando-a com os valores da precipitação média anual (PMA). No caso da Região do Noroeste do País, essa avaliação abrangeu além da profundidade de 0-30 também a de 0-100 cm (C orgânico total), apresentando-se os resultados em função dos *Agrupamentos Principais de Solos* (Carta dos Solos do Mundo da FAO-Unesco), da PMA e dos sistemas de uso da terra. Em relação ao Sul do País compara-se a quantidade de C até 20 cm de profundidade de solos em áreas submetidas até recentemente a cultura cerealífera, com a de solos de áreas de montado com vegetação natural ou com pastagem melhorada, tanto sob como fora da influência da copa das árvores.

A quantidade de C orgânico até à profundidade de 30 cm nos solos de Portugal Continental varia entre

0,21 e 23,50 kg m⁻². Esta quantidade está fortemente correlacionada com a PMA (e com a produtividade da biomassa), subindo das áreas de clima semiárido para as de clima húmido. Na região Noroeste de Portugal (clima húmido) os *Regossolos* apresentam a maior quantidade de C orgânico até 30 cm de profundidade, enquanto os Antrossolos são os que mais C contêm até 100 cm de profundidade; nesta região, a variação de C orgânico do solo está sobretudo em correspondência com o sistema de uso da terra, sendo os solos das áreas com formações arbustivas os que apresentam maior quantidade de C orgânico. No Sul do País, em áreas de clima sub-húmido seco, observou-se um nítido acréscimo da quantidade de C orgânico do solo de locais com pastagem melhorada, comparativamente a áreas submetidas à cultura cerealífera; esse acréscimo é especialmente elevado nos solos sob as copas das árvores, sendo devido sobretudo à acumulação de matéria orgânica não humificada, mas com baixa razão C/N.

Resumen. Se estima de forma provisional la cantidad media de C orgánico (kg m⁻²) existente en los 30 cm superficiales de los suelos de Portugal continental correlacionándola con los valores de la precipitación anual media (PAM). En el caso de la región del Noroeste se analizó el contenido de C en las profundidades 0-30 y 0-100 cm presentando los resultados en función de los Grupos Principales de Suelos definidos en el Mapa de Suelos del Mundo de la FAO-UNESCO, la PAM y los sistemas de uso del suelo. En el sur del país se compararon las cantidades de C retenidas en los 20 cm superficiales de suelos sometidos hasta hace poco a uso cerealista con las de los suelos de áreas forestales con vegetación natural o con pastos mejorados, tanto en la zona de influencia de las copas de los árboles como fuera de ella. La cantidad de Carbono orgánico retenida hasta una profundidad de 30 cm en los suelos de Portugal continental varía entre 0,21 y 23, 50 kg m⁻². Esta cantidad está fuertemente correlacionada con la PAM y con la productividad de la biomasa, incrementándose de las áreas de clima semiárido a las de clima húmedo. En el Noroeste de Portugal (clima húmedo), los Regosoles son los suelos que presentan la mayor cantidad de C orgánico en los 30 cm superficiales, mientras que los Antrosolos son los que lo hacen en los 100 cm superficiales. En esta región, la variación del contenido de C orgánico está relacionada fundamentalmente con el sistema de uso del suelo, siendo los de áreas arbustivas los de mayor contenido. En el sur del país, en áreas de clima subhúmedo seco, se observa un claro incremento de C orgánico en los suelos en los que los pastos han sido mejorados frente a la zona de uso cerealista. Este incremento, especialmente alto bajo las copas de los árboles, se debe fundamentalmente a la acumulación de materia orgánica no humificada con baja relación C/N.

INTRODUÇÃO

O C orgânico do solo – principal reservatório do carbono superficial da Terra, que pode mesmo exceder o da atmosfera e da biomassa dos ecossistemas terrestres, considerados conjuntamente – tem um papel destacado no ciclo global do C e, portanto, nas condições ambientais, sendo a sua mineralização responsável por um influxo natural de CO₂ na atmosfera terrestre tão importante como o determinado pelo biota (Batjes, 1996). Reveste-se assim de primordial interesse estimar a sua quantidade nos solos de qualquer área geográfica, quer como informação relevante para explicar desvios dessa quantidade devido a condições ambientais e ao sistema de uso da

terra (Guo & Gifford, 2002), quer tendo em vista o conhecimento mais preciso do “stock” de C existente nos solos do Globo Terrestre.

Hoje em dia é necessário recorrer a tais conhecimentos para consubstanciar decisões no âmbito das mudanças globais e do controlo das emissões de gases com efeito de estufa. Assim, os representantes institucionais devem dispor de informações aprofundadas sobre o assunto que os habilitem a tomar decisões fundamentadas no âmbito das políticas ambientais. Daí, a necessidade de avaliar, ainda que provisoriamente, a quantidade do C orgânico nos solos de Portugal, tanto no Continente como nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, utilizando-se para o efeito sobretudo os resultados inerentes ao reconhecimento e à cartografia de

solos que têm sido levados a cabo no território nacional.

São numerosos os trabalhos relativos à avaliação da quantidade de C orgânico dos solos realizados por diversos investigadores de vários países (Bohn, 1982; Sanchez *et al.*, 1982; Buringh, 1984; Franzmeier *et al.*, 1985; Kobak, 1988; Eswaran *et al.*, 1993; Kern, 1994; Orlov & Biryukova, 1995; Batjes, 1996; Tarnocai, 1997; Janzen *et al.*, 1997; Milne & Brown, 1997; Lal, 1997; Franco *et al.*, 1998 e 2001), todos eles procurando abranger os solos tanto à escala de um país como à escala mundial. Não obstante esta grande informação, sobre Portugal ainda não se realizaram estudos de semelhante índole. Por isso, apresenta-se agora uma primeira abordagem do problema, a qual, dada a exiguidade de informação disponível, tem um carácter necessariamente geral e preliminar. A deficiência de informação radica, por um lado, no facto de parte substancial do território nacional não ter sido ainda objecto de cartografia sistemática dos solos e, por outro, da cartografia disponível em muitos casos ser deficiente em elementos analíticos, nomeadamente a proporção de elementos grosseiros e a massa volúmica aparente, no rigor da localização das observações e na densidade das mesmas.

Assim considerando a informação credível que foi possível reunir sobre os solos do continente, avalia-se a quantidade de C orgânico do solo até 30 cm de profundidade para todo o Portugal continental. Além disso, na Região de Entre-Douro e Minho (Noroeste de Portugal), dada a quantidade e qualidade da informação disponível, a quantificação abrangeu as profundidades de 0-30 cm (C orgânico superficial do solo) e de 0-100 cm (C orgânico total do solo), considerando-se os valores respeitantes a cada um dos *Agrupamentos Principais de Solos* (FAO, 1988), fazendo-se a respectiva discussão atendendo às *condições climáticas* definidas pela precipitação média anual, por um lado, e aos sistemas de uso da

terra, por outro. Por fim, em áreas do Sul do País em que o clima é semiárido ou sub-húmido seco, comparou-se a quantidade de C orgânico no solo de áreas utilizadas em cultura cerealífera com a de áreas de montado de *Quercus rotundifolia* com vegetação natural e pastagem melhorada; uma vez que no montado as árvores são espaçadas, enfatiza-se a importância destas na acumulação de C orgânico no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O material utilizado neste trabalho compreende 354 pédones representativos dos solos de Portugal continental, cuja informação sobre a respectiva localização permitia a sua geo-referenciação pelo menos aproximada. Os pédones em causa distribuem-se por todo o território do Continente e desenvolvem-se sobre diferentes formações litológicas.

Os dados a que se recorreu para quantificação do C orgânico dos solos do Continente, até 30 cm de profundidade, foram extraídos das memórias descritivas das cartas de solos da Região do Nordeste (Agroconsultores & Coba, 1991) e da Região de Entre-Douro e Minho (Agroconsultores & Geometral, 1995 e 1999), do estudo geral dos solos a Sul do Rio Tejo (Cardoso, 1965), do estudo detalhado dos solos do aproveitamento hidroagrícola do Rio Xé-vora (Hidroprojecto & Agroconsultores, 1995), de várias publicações respeitantes à caracterização de solos derivados de rochas graníticas e rochas básicas (Zenhás, 1950; Rogado, 1963; Madeira & Furtado, 1983; Martins *et al.*, 1995; Monteiro *et al.*, 1998), de dissertações relativas à caracterização de solos com carácter hidromórfico do Sul do País (Fonseca, 2000; Monteiro, 2003), bem como de outras publicações que incluem a caracterização rigorosa de unidades-solo localizadas em diversas áreas do País (Madeira, 1986; Gusmão & Madeira, 1986; Fabião *et al.*, 1987; Cortez, 1996; Aze-

vedo, 2000; Magalhães, 2000). Além disso utilizaram-se ainda dados que até à data não foram objecto de publicação (tendo sido restrita a sua divulgação), obtidos pelo Centro de Estudos de Pedologia (do Instituto de Investigação Científica Tropical) e pelo Centro de Pedologia (da Fundação para a Ciência e a Tecnologia) no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto de Superior de Agronomia.

A informação mais detalhada apresentada para o Noroeste de Portugal foi retirada de publicação anterior (Ricardo *et al.*, 2002) e baseia-se em dados constantes da Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho (Agroconsultores & Geometral, 1995 e 1999).

A informação respeitante às áreas de montado do Sul do País consta da publicação de Garcez *et al.* (2003), sendo obtida em locais cuja precipitação média anual é da ordem de 650 mm e em que os respectivos solos apresentam textura franco-arenosa a arenosa-franca nas camadas superficiais.

Métodos

Na determinação do C orgânico dos solos utilizados na estimativa deste elemento até 30 cm de profundidade, seguiu-se o método de combustão por via seca utilizando um aparelho Ströhlein (Póvoas & Barral, 1992) ou o método de combustão por via húmida segundo De Leenheer & Van Hove (1958) ou Walkley-Black (1934), consoante as normas dos laboratórios onde as amostras de solos foram analisadas. Dado que o método utilizado tem influência nos teores de C disponíveis, os valores utilizados necessitam de ser aferidos num futuro próximo através da correlação entre métodos. No caso dos solos do Noroeste de Portugal utilizou-se o método de Walkley-Black (1934), enquanto no dos montados do Sul de Portugal foi utilizado o método de De Leenheer & Van Hove (1958). No último caso considerou-se o carbono das fracções humificada e não humi-

ficada da matéria orgânica.

Partindo dos respectivos teores, procedeu-se para cada pédone à avaliação ponderada da quantidade de C orgânico (em kg m⁻²) existente na espessura 0-30 cm (C orgânico superficial) e na espessura 0-100 cm (C orgânico total). A estimativa da quantidade de carbono, com base nos respectivos teores, efectuou-se tendo em consideração a massa volúmica aparente do solo. Esta em poucos casos foi determinada directamente na terra total pelo método do cilindro (Blake & Hartge, 1986), em que as amostras do solo não perturbadas colhidas com cilindros metálicos com cerca de 150 cm³ foram secas em estufa à temperatura de 105 °C; noutros foi determinada na terra fina pelo método de Keen-Raczkowski (Wright, 1934); nos casos em que não se dispunha de valores de massa volúmica aparente, esta estimou-se a partir de regressões tendo em consideração a textura e o teor de matéria orgânica do solo. Na estimativa da quantidade de C orgânico no solo teve-se ainda em consideração a proporção de elementos grosseiros no mesmo, obtida por crivagem em laboratório ou, de forma aproximada, a partir da proporção indicada nas descrições de campo.

Apenas foram consideradas as observações com informação analítica credível e possíveis de serem incorporadas numa base geo-referenciada. Foi construída uma base de dados em folhas de cálculo do programa *Microsoft Excel 97* que incluía a informação disponível dos locais de colheita de amostras no tocante à quantidade de carbono e à localização geográfica; esta base teve desenvolvimento mais completo para a região do Noroeste de Portugal. Como na maior parte dos casos não se conheciam as coordenadas exactas do local das observações estas foram incorporadas naquela base através das coordenadas correspondentes à sede da freguesia em que as mesmas foram efectuadas. Os dados foram introduzidos num Sistema de Informação Geográfica para análise espacial, tendo-se utilizado o *Arctview GIS 3.2*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Portugal Continental

A quantidade de C orgânico até à profundidade de 30 cm nos solos de Portugal Continental é extremamente variável (Figura 1), tomando valores entre 0,21 e 23,50 kg m⁻². Os valores mais baixos ocorrem naturalmente nas áreas em que a precipitação média anual é inferior a 600 mm, localizadas sobretudo no Sul do País (Figura 1), em que o clima é semiárido ou sub-húmido seco; pelo contrário, os valores mais elevados observam-se nos solos do Noroeste do País, onde a precipitação média anual

chega a atingir valores próximos de 3000 mm e o clima é húmido. Assim, a variação de C orgânico nos solos de Portugal Continental está fortemente dependente da precipitação média anual (PMA). Como esta tem carácter fortemente orográfico, a quantidade de C no solo aumenta do mesmo modo com a altitude, em que se verifica simultaneamente abaixamento de temperatura – este abaixamento, aliás, também consentâneo com a acumulação de C orgânico no solo.

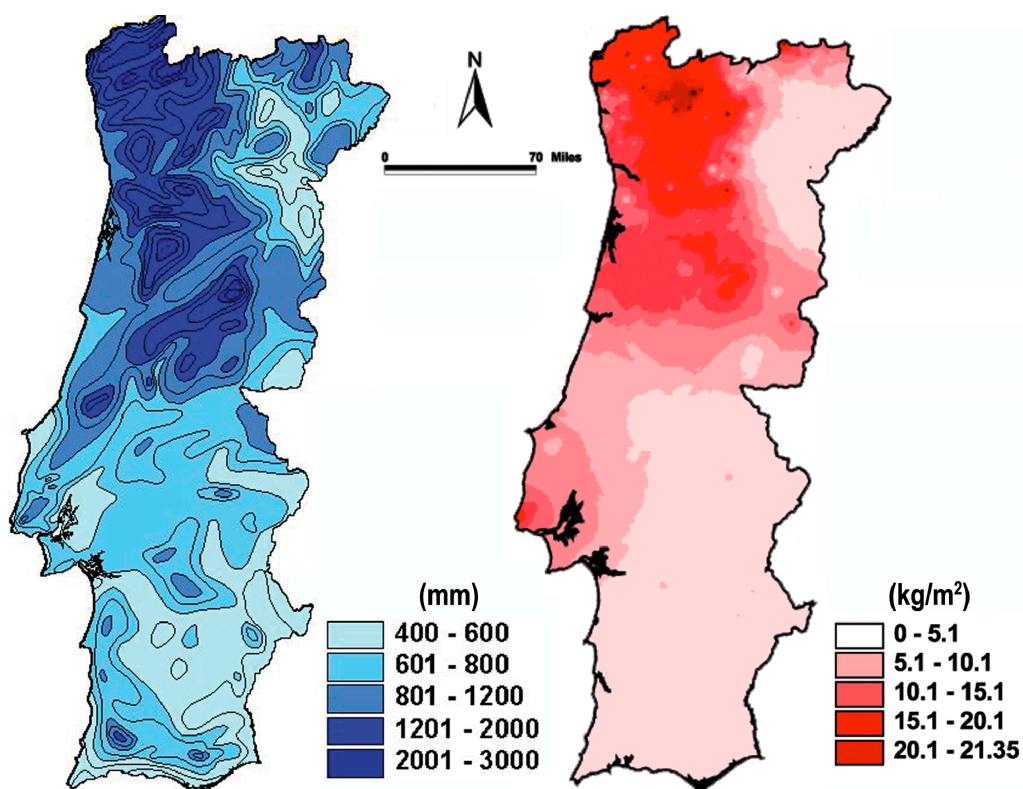


FIGURA 1. Quantidade da precipitação média anual (PMA) (a) e de C orgânico no solo até 30 cm de profundidade (b) em Portugal Continental

A correlação entre a quantidade de C orgânico no solo e a PMA é sobretudo marcada quando se considera o mesmo material originário. Assim, nas áreas com solos derivados de rochas graníticas, em que a precipitação varia de 450 a 2550 mm, verificou-se entre esta e a quantidade de C no solo uma correlação posi-

tiva e significativa (Ricardo *et al.*, 2002). O modelo multiplicativo foi aquele que apresentou melhor ajustamento, traduzindo-se pela seguinte expressão (Figura 2):

$$y = 0,000763 x^{1,2443} \quad (R = 0,72; R^2 = 0,51; p < 0,01);$$

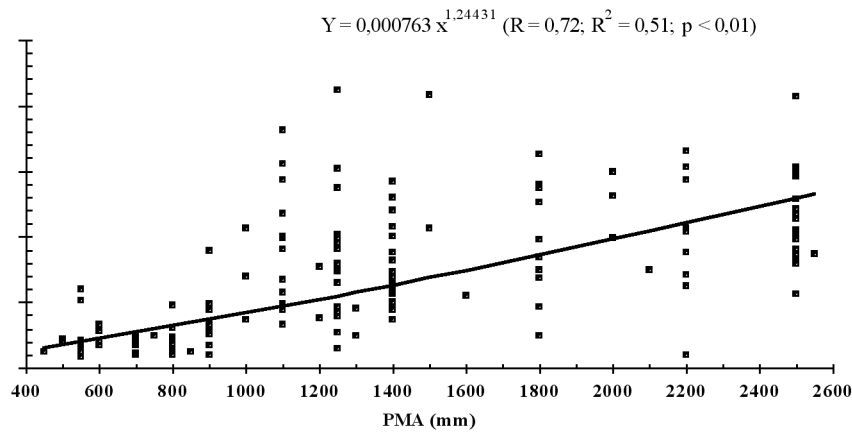


FIGURA 2. Correlação entre a quantidade de C orgânico do solo (kg m^{-2}) na espessura de 0-30 cm e a precipitação média anual (PMA)

Apenas cerca de 50 % da variação espacial de C orgânico foi susceptível de se explicar pela variação da PMA; a restante variação será devida a diversas causas tais como, por exemplo, o sistema de uso da terra e os procedimentos metodológicos na determinação do C. Os valores médios das quantidades de C orgânico correspondentes às situações extremas de PMA (450 e 2550 mm) extraídas da equação de regressão constante da Figura 2 varia de 1,5 a $13,2 \text{ kg m}^{-2}$, isto é, quase que decuplicam quando se passa de áreas semiáridas para as áreas húmidas a super-húmidas. Esta variação reflecte de forma clara que as possíveis tendências para o decréscimo de precipitação em algumas áreas do País (Cabrinha & Espírito-Santo, 2002) se traduzirão por menor quantidade de C orgânico no solo.

A similitude entre a distribuição espacial dos diferentes níveis de C orgânico no solo e a da PMA (Figura 1) indica que a quantidade de

C no solo está, por outro lado, também, em correspondência com a produtividade da biomassa, dado esta, nas nossas condições, variar fortemente com a PMA. Esta tendência foi verificada experimentalmente por Madeira *et al.* (2002), em plantações de *Eucalyptus globulus*. Com efeito, numa área cuja PMA é da ordem de 600 mm apenas se observaram acréscimos de cerca de $0,2 \text{ kg m}^{-2}$ de C no solo, ao fim de seis anos, nas parcelas-testemunha; pelo contrário, a aplicação de água, simulando situações húmidas, conduziu a um claro acréscimo de biomassa aérea e subterrânea, traduzindo-se por um acréscimo de C no solo da ordem de $0,6 \text{ kg m}^{-2}$. Sublinhe-se ainda que, nesse estudo, também se observou que o acréscimo da fertilidade do solo (aplicação de fertilizantes) em simultâneo com a irrigação se traduziu por uma muito maior acumulação de C no solo (da ordem de $1,8 \text{ kg m}^{-2}$); isto é, não obstante a forte influência da quantidade da precipitação

na acumulação de C no solo, o acréscimo da fertilidade deste reforçará essa capacidade de acumulação.

A precipitação média anual de 1000 mm (Figura 2) parece marcar uma diferença nítida quanto aos valores indicadores da quantidade de C e à sua dispersão. Essa diferenciação talvez se possa explicar pelo sistema de uso da terra, que corresponde essencialmente a áreas de sequeiro abaixo dos 1000 mm e a áreas de regadio e vegetação arbóreo-arbustiva acima de tal precipitação. Além disso, a partir da Figura 2 também se observa que acima da precipitação da ordem de 1000-1200 mm não é evidente o acréscimo da quantidade de C orgânico no solo com o acréscimo de precipitação. Observa-se, outrossim, um forte variação dessa quantidade, o que, como já foi referido, deverá estar em consonância com o sistema de uso do solo e o tipo de coberto vegetal.

Região Noroeste de Portugal

Conteúdos de C orgânico superficial e total dos solos

A região do Noroeste de Portugal apresenta um clima húmido e, por isso, possui condições para forte acumulação de C orgânico nos solos (Figuras 1 e 2). Os valores médios da

quantidade de C orgânico (Quadro 1) respeitante às espessuras 0-30 cm e 0-100 cm, para o conjunto de solos estudados, é de 7,3 kg m⁻² e 12,1 kg m⁻² respectivamente. Concluiu-se destes dados que a quantidade de C acumulada no solo até 30 cm de profundidade é da ordem de 0,24 kg m⁻² cm⁻¹, ao passo que inferiormente (nos 70 cm subjacentes) desce para um valor da ordem de 0,07 kg m⁻² cm⁻¹. A incorporação na superfície do solo dos resíduos da parte aérea da vegetação e a renovação da massa radical aí existente são seguramente os principais factores determinantes de semelhante diferenciação.

Os valores médios da quantidade de C orgânico em relação aos Agrupamentos Principais de Solos (FAO, 1988), na espessura 0-30 cm, variam entre 4,9 kg m⁻² (Leptosolos) e 8,1 kg m⁻² (Regossolos), segundo a ordem: Regossolos > Cambissolos > Antrossolos > Leptosolos. Na espessura 0-100 cm a variação é de 4,9 kg m⁻² (Leptosolos) a 15,6 kg m⁻² (Antrossolos), sendo a ordem a seguinte: Antrossolos > Regossolos > Cambissolos > Leptosolos.

Os Leptosolos apresentam, para a espessura 0-100 cm, a mesma quantidade de C que respeita à espessura 0-30 cm porque, como se sabe, são limitados por rocha dura contínua a profundidade dentro dos 30 cm a partir da superfície.

QUADRO 2. Quantidade média (ME) de C orgânico do solo (kg m⁻²), nas espessuras de 0-30 cm e 0-100 cm, em função da precipitação média anual (PMA), na região do Noroeste de Portugal

		Tabaibal	Matorral estepario	Matorral halófilo
Granulometria (g kg ⁻¹)	Arcilla	303 ± 121 [ab]	348 ± 93 [a]	250 ± 67 [b]
	Limo	446 ± 157 [a]	372 ± 93 [a]	352 ± 123 [a]
	Arena	251 ± 126 [a]	280 ± 133 [a]	393 ± 145 [b]
Estabilidad de agregados (%)		17,5 ± 6,3 [a]	14,5 ± 6,8 [a]	12,7 ± 6,2 [a]
Densidad aparente (g cm ⁻³)		1,1 ± 0,2 [a]	1,2 ± 0,2 [a]	1,2 ± 0,2 [a]
pH		8,6 ± 0,2 [a]	8,8 ± 0,3 [a]	8,8 ± 0,5 [a]
C.E. (1:1 relación suelo:agua, dS m ⁻¹)		6,0 ± 7,5 [a]	2,6 ± 7,2 [b]	10,0 ± 11,0 [a]
Iones solubles (cmol _c kg ⁻¹)	Ca ²⁺	0,9 ± 1,0 [a]	0,7 ± 1,7 [a]	1,4 ± 1,8 [a]
	Mg ²⁺	0,7 ± 0,7 [a]	0,4 ± 1,1 [b]	0,9 ± 1,1 [a]
	K ⁺	0,2 ± 0,2 [ab]	0,1 ± 0,1 [a]	0,7 ± 2,4 [b]
	Na ⁺	3,7 ± 5,1 [a]	1,6 ± 5,3 [b]	5,8 ± 8,0 [a]
	SO ₄ ²⁻	0,5 ± 0,8 [ab]	0,2 ± 0,3 [a]	1,1 ± 1,8 [b]
	Cl ⁻	4,7 ± 6,9 [a]	2,6 ± 8,9 [b]	10,9 ± 15,5 [a]
	HCO ₃ ⁻	0,3 ± 0,3 [a]	0,4 ± 0,3 [a]	0,4 ± 0,3 [a]

* Número de observações; DP - desvio padrão; EP - erro padrão; CV - coeficiente de variação (%)

Influência do sistema de uso da terra nos conteúdos de C orgânico dos solos

No que toca à quantidade de C orgânico em função dos sistemas de uso da terra (Quadro 3), consideraram-se os solos cultivados e não cultivados (com vegetação arbóreo-arbustiva), distinguindo-se dentro dos primeiros os casos de culturas de regadio e culturas de sequeiro e dentro dos segundos as situações de ocupação por floresta e por mato. Os solos cultivados são os que apresentam menor quantidade de C, quer no caso das culturas de sequeiro quer mesmo quando se trata de culturas de regadio; a maior quantidade encontra-se, necessariamente, nos solos sob vegetação arbóreo-arbustiva. É sobejamente conhecido que, em geral, as culturas agrícolas reduzem a quantidade de carbono orgânico do solo relativamente às formações arbóreo-arbustivas, evidentemente devido tanto ao efeito das mobilizações do solo como da maior exportação da biomassa produzida.

No caso vertente a redução é de 35% (espessura 0-30 cm) e 16% (espessura 0-100 cm). A redução é, logicamente, maior na parte superficial do solo do que em profundidade, pelas razões acima referidas, Tais reduções, aliás como seria de esperar, aumentam no caso das culturas de sequeiro (para 54% e 44%, respectivamente para as espessuras 0-30 cm e 0-100

cm) e diminuem quando se trata de culturas de regadio (para 29% e 8%, respectivamente nas espessuras 0-30 cm e 0-100 cm), em virtude da sua maior produção de biomassa determinar um enriquecimento do solo em resíduos maior do que o devido aos detritos incorporados pela fraca vegetação de sequeiro.

Comparando agora as culturas de regadio directamente com as de sequeiro, dado a maior produtividade das primeiras, verifica-se obviamente que há aumento da quantidade de C orgânico ao passar-se do sequeiro para o regadio e que esse aumento se cifra em valor da ordem dos 53-65%.

As quantidades de C orgânico nos dois tipos de vegetação arbóreo-arbustiva considerados – coberto florestal e mato – são relativamente próximas. A quantidade é ligeiramente maior no mato em apenas cerca de 7% (espessura 0-30 cm) e 24 % (espessura 0-100 cm). Semelhante diferença resultará da maior produtividade do mato em relação à floresta e possivelmente da mais elevada proporção da biomassa subterrânea em relação à total no caso do mato, como foi verificado nalgumas espécies florestais (Madeira *et al.*, 2002; Simões, 2002). A perda de carbono devido à mobilização do solo em algumas plantações florestais (Madeira *et al.*, 2002) também poderá contribuir para essa diferenciação

QUADRO 3. Quantidade média (ME) de C orgânico do solo (kg m^{-2}), nas espessuras de 0-30 cm e 0-100 cm, em função dos sistemas de uso da terra [SUT: cs – cultura de sequeiro; cr – cultura de regadio; cf – coberto florestal; cm – coberto de formações arbustivas (mato)], na Região Noroeste de Portugal.

Material original	Tipo de Suelo (FAO-90)	Adsorción sulfatos eq/ha	Carga Crítica eq/ha/año
Cuarcitas	Leptosoles	1060	1396-3654
	Regosoles	2120	1819-3795
Filitas y pizarras	Leptosoles	2300	1971-3775
	Regosoles	3080	2523-3775
	Cambisoles	17200-31300	1137-4250
Granitos	Leptosoles	12520	487-3684
	Regosoles	16700	1137-4289
	Cambisoles	42300-69120	1137-4289
Esquistos	Leptosoles	25120	2788-3332
	Regosoles	33500	2788-3332
	Cambisoles	102720	4061-4559
Rocas Básicas	Leptosoles	13880	1019-1190
	Andosoles someros	43420	3030-3566
	Andosoles cumálicos	251780	-4487
	Cambisoles y Ferralsoles	113760-149580	4569-5674

* Número de observações; DP - desvio padrão; EP - erro padrão; CV - coeficiente de variação (%)

Tomando a vegetação arbóreo-arbustiva como padrão da quantidade máxima de C orgânico que os solos são capazes de armazenar no Noroeste de Portugal, pode afirmar-se, com base nos dados do Quadro 3, que os solos cultivados (no seu conjunto e considerando toda a sua espessura) têm uma pequena capacidade adicional de sequestro de C – apenas da ordem de 15-20% – relativamente aos níveis actuais. É lógico que a capacidade de sequestro é ainda mais pequena no caso das culturas de regadio – apenas 9% –, aumentando para 79% no que respeita às culturas de sequeiro.

Montados da Região Sul de Portugal

Nas áreas do Sul do País em que a precipitação média anual é da ordem de 650 mm, ou seja onde o clima é sub-húmido seco, observaram-se teores de C orgânico extremamente baixos (8,21 g kg⁻¹ a 0-10 cm; 6,93 g kg⁻¹ a 10-20

cm) nos solos dos locais em que o sistema de uso da terra tem sido predominante a cultura cerealífera (Quadro 4), sendo da mesma ordem de grandeza dos determinados anteriormente em áreas semelhantes (Madeira *et al.*, 1980). Esses baixos teores estão fortemente dependentes das baixas precipitações que ocorrem naquelas áreas; além disso também estão em correspondência com um sistema de uso da terra que se tem pautado pela exaustão progressiva da matéria orgânica do solo. Com efeito os teores de C orgânico do solo (na camada de 0-10cm) são claramente mais elevados em locais que há vinte e quatro anos estão ocupados por vegetação natural (9,42 g kg⁻¹) e pastagem melhorada (14,04 g kg⁻¹), sendo a diferença, porém, menos marcada na profundidade de 10-20 cm. Nestes locais, os teores de C orgânico sob a copa das árvores são ainda mais elevados, atingindo, respectivamente, 12,79 e 23,42 g kg⁻¹ (Garcez *et al.*, 2003), sendo o acrés-

(a)



(b)



FIGURA 3. Área submetida a cultura cerealífera (a) e área de montado com pastagem melhorada (b).

cimo da ordem de 40 % nos locais com pastagem melhorada (Quadro 4); no caso da pastagem melhorada o acréscimo de C orgânico também é evidente na camada de 10-20 cm de profundidade. Estes resultados põem em evidência que, nas áreas de montado do Sul do País, as pastagens, principalmente as melhoradas, tem um elevado potencial para acumular e

sequestrar C no solo, particularmente nas áreas cujos solos foram degradados por sistemas de agricultura não consentâneos com a conservação dos mesmos como foi observado em estudos anteriores (Madeira *et al.*, 1980).

QUADRO 4. Teor médio (\pm desvio padrão) de C (g kg^{-1}), a 0-10 e 10-20 cm, em áreas com cultura cerealífera (CC) e em áreas de montado com vegetação natural (VN) e pastagem melhorada (PM), sob (SC) e fora da copa da árvore (FC). Para a mesma área de estudo, letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$)

Profundidade (cm)	CC		VN			PM		
	n		n	SC	FC	n	SC	FC
0-10	36	8,21 \pm 2,91	72	12,79 \pm 4,32 ^a	9,42 \pm 1,78 ^b	93	23,42 \pm 6,82 ^a	14,04 \pm 1,56 ^b
10-20	36	6,93 \pm 1,91	72	7,65 \pm 2,55 ^a	6,13 \pm 0,95 ^b	93	11,89 \pm 2,75 ^a	8,6 \pm 3,46 ^b

País, as pastagens, principalmente as melhoradas, tem um elevado potencial para acumular e sequestrar C no solo, particularmente nas áreas cujos solos foram degradados por sistemas de agricultura não consentâneos com a conservação dos mesmos como foi observado em estudos anteriores (Madeira *et al.*, 1980).

O acréscimo do teor de C orgânico do solo sob a copa das árvores ocorre sobretudo por intermédio da fracção da matéria orgânica no seu todo não humificada (fracção superior a 50 μm), como se constata a partir dos resultados constantes no Quadro 5. Isto é, a acumulação de carbono correspondente à matéria orgânica é muito mais rápida do que a correspondente à fracção humificada dessa matéria orgânica; a acumulação de C sob forma humificada, isto é a forma mais estável, pode ser reforçada pela presença de pastagem melhorada, como sugerem os resultados (Quadro 5).

A quantidade média de C orgânico no solo até 20 cm de profundidade nas áreas de

cultura cerealífera é bastante baixa (1,96 kg m^{-2}) e está conforme o padrão de acumulação de carbono até 30 cm de profundidade apresentado na Figura 1. Essa quantidade é naturalmente mais elevada nas áreas com pastagem natural e compastagem melhorada, sobretudo nos locais de influência do coberto arbóreo. Com efeito, no segundo caso, a quantidade de C orgânico até 20 cm de profundidade (4,57 kg m^{-2}) aproxima-se do valor máximo ($\approx 5 \text{ kg C m}^{-2}$) considerado para a região semiárida e extensões apreciáveis da região sub-húmida seca do Sul de Portugal (Figuras 1 e 4); além disso, essa acumulação é tanto mais elevada quanto maior a proximidade ao tronco das árvores (Figura 5), sendo o respectivo gradiente muito mais acentuado na área de pastagem melhorada, o que sugere uma forte interacção positiva entre a influência da copa das árvores e a da pastagem melhorada na acumulação de C orgânico no solo.

QUADRO 5. Teor médio (\pm desvio padrão) de C humificado (CH) e C não humificado (CNH) (g kg^{-1}), a 0-10 e 10-20 cm, sob (SC) e fora da copa da árvore (FC) em áreas com vegetação natural (VN) e pastagem melhorada (PM). Para a mesma área de estudo, letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$)

Profundidade (cm)	n	CH			CNH		
		SC	FC	SC/FC	SC	FC	SC/FC
VN							
0-10	13	8,08 \pm 1,82 ^a	6,26 \pm 1,74 ^a	1,29	6,18 \pm 2,72 ^a	2,62 \pm 0,42 ^b	2,36
10-20	13	6,90 \pm 3,22 ^a	6,00 \pm 0,46 ^a	1,15	1,94 \pm 1,04 ^a	1,52 \pm 0,18 ^a	1,28
PM							
0-10	18	14,07 \pm 4,15 ^a	9,51 \pm 1,93 ^b	1,48	10,56 \pm 4,88 ^a	4,43 \pm 1,90 ^b	2,38
10-20	18	9,22 \pm 2,55 ^a	7,86 \pm 1,39 ^a	1,17	3,46 \pm 2,02 ^a	2,21 \pm 0,97 ^a	1,57

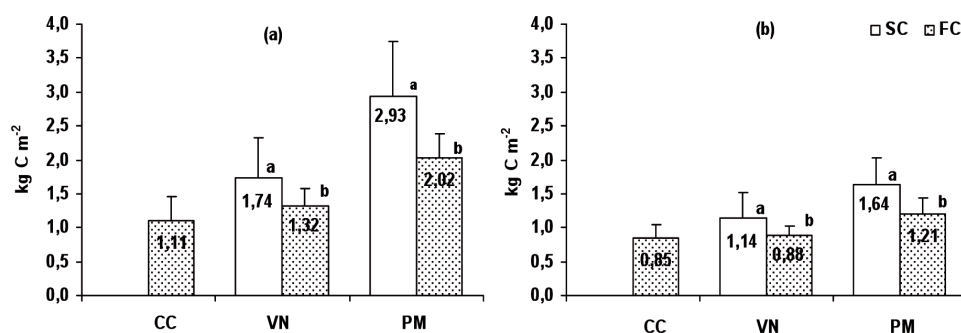


FIGURA 4. Quantidade média (\pm desvio padrão) de C (kg m^{-2}), obtido a 0-10 cm (a) e a 10-20 cm (b) de profundidade, nos solos com cultura cerealífera (CC), e em solos sob (SC) e fora da copa (FC) de áreas de montado com vegetação natural (VN) e com pastagem melhorada (PM). Letras diferentes para a mesma profundidade e para a mesma área de estudo correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$)

A proporção de C orgânico acumulada sob a forma de matéria orgânica humificada na camada 0-10 cm dos solos localizados sob a copa das árvores atinge 58-59 %, enquanto naqueles situados em locais fora da influência das

mesmas ascende a 69-70 % (Figura 6). Constatase, por um lado, que a natureza da vegetação herbácea não influenciou a proporção das formas de carbono e, por outro, que os resíduos provenientes da folhada e das raízes das raízes

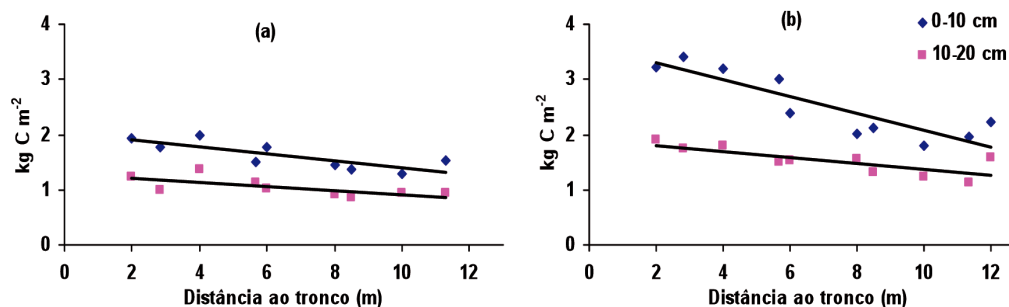


FIGURA 5. Variação da quantidade de C orgânico no solo (kg m^{-2}) com a distância ao tronco das árvores (m) nas áreas de montado com vegetação natural (a) e com pastagem melhorada (b), nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. A linha a cheio indica a recta de regressão

das árvores exercem clara influência nessa proporção, aumentando a das formas de carbono pouco humificadas, cujo tempo de residência é bastante limitado. A partir da Figura 6 também se constata que a proporção das formas de carbono na camada 10-20 cm dos solos sob e fora da influência da copa das árvores é semelhante,

corroborando que a acumulação de C nesta camada se processa em muito pequena extensão comparativamente com o que se verifica na camada 0-10 cm.

Não obstante a diferença entre a proporção das formas de carbono nos solos sob e fora da influência das copas das árvores, não se ve-

rificaram diferenças apreciáveis entre os valores da razão C/N da matéria orgânica (Quadro 6); isto é, a matéria orgânica pouco humificada apresenta uma razão C/N que não é muito diferente da observada para a humificada. Também se verifica que esses valores da razão C/N

são da mesma ordem de grandeza dos determinados para áreas com cultura cerealífera. A elevada proporção de matéria orgânica não humificada nos solos sob a copa das árvores não conduzirá, assim, a modificações apreciáveis na taxa de mineralização do azoto.

QUADRO 6. Razão C/N para 0-10 e 10-20 cm, em áreas de cultura cerealífera (CC) e em áreas de montado com vegetação natural (VN) e pastagem melhorada (PM), sob (SC) e fora da copa da árvore (FC). Na mesma área de estudo, letras diferentes na mesma linha correspondem a diferenças significativas ($p < 0,05$)

Profundidade (cm)	CC	VN		PM	
		SC	FC	SC	FC
0-10	11,3	13,2 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a	11,5 ^b
10-20	11,7	12,9 ^a	11,8 ^a	13,0 ^a	11,2 ^b

CONCLUSÕES

O conteúdo de carbono orgânico até 30 cm de profundidade, nos solos de Portugal Continental, varia de 0,21 a 23,50 kg m⁻² correlacionando-se significativamente com a precipitação média anual e, portanto, com a produtividade da biomassa. Na Região Noroeste de Portugal, onde a precipitação média anual é superior a 1000 mm, a variação do conteúdo não é acentuada com o acréscimo da precipitação, verificando-se, outrossim, uma forte influência do sistema de uso da terra nessa variação; especificamente, nessa região, os Antrossolos acumulam quantidades importantes de carbono nas camadas para além dos 30 cm de profundidade. Os solos com formações arbustivas apresentam quantidade de carbono ligeiramente superior à observada para os das formações florestais. No Sul de Portugal, a instalação de pastagens melhoradas apresenta um elevado potencial de acréscimo de carbono no solo, o qual é reforçado substancialmente pela presença de árvores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a João Paulo Gomes Crespo a disponibilização de áreas de amostragem na Herdade dos Esquerdos (Vaia-

monte); ao Prof. Francisco Gonçalves Abreu agradecem esclarecimentos respeitantes ao clima de Portugal; ao Bacharel Paulo Jorge Pires Marques agradecem a contribuição técnica para a organização do texto; ao pessoal do Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Ambiente, do Instituto Superior de Agronomia, agradecem o apoio analítico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroconsultores & Coba. 1991. Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal (Memórias e Anexos), 2 volumes. Projecto de Desenvolvimento Rural Integrado de Trás-os-Montes. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. (Policopiado).
- Agroconsultores & Geometral. 1995. Carta de Solos e Carta da Aptidão da Terra de Entre-Douro e Minho (Memórias). Direcção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho, Braga. (Policopiado).
- Agroconsultores & Geometral. 1999. Carta de Solos e Carta da Aptidão da Terra para a Agricultura (1:25 000) em Entre-Douro e Minho (Memórias). Direcção Regional de Agricultura de Entre-

- Douro e Minho, Braga. (Policopiado).
- Azevedo, A.P. 2000. Estudo da Dinâmica do Azoto e do Carbono em Plantações Florestais Intensivas. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European J. Soil Sci.*, 47: 155-163.
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In A. Kleite (ed) *Methods of Soil Analysis*, Agronomy 9, part 1, 2 nd ed., pp. 515-544. Am. Soc. Agronomy and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Bohn, H.L. 1982. Estimate of organic carbon in world soils: II. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 1118-1119.
- Buringh, P.A. 1984. Organic carbon in soils of the world. *SCOPE*, 23: 91-109.
- Cabrinha, V. & Espírito-Santo, F. 2002. Caracterização e monitorização de situações de seca em Portugal Continental. *Revista de Ciência Agrárias*, 25 (3 e 4): 426-438.
- Cardoso, J. V. J. de Carvalho. 1965. Os Solos de Portugal. Sua Classificação e Génese. 1 – A Sul do Rio Tejo. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Secretaria de Estado da Agricultura, Lisboa.
- Cortez, N.R. 1996. Compartimentos e Ciclo de Nutrientes em Plantações de *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus* e *Pinus pinaster* Aiton. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- De Leenheer, L. & Van Hove, J. 1958. Determination de la teneur en carbone organique des sols. Études critiques des methodes tritrimétriques. *Pédologie*, 8: 39-77.
- Eswaran, H., Berg, Van der & Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 192-194.
- Fabião, A., Madeira, M. & Steen, E., 1997. Root mass in plantations of *Eucalyptus globulus* in Portugal in relation to soil characteristics. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1: 185-194.
- FAO.1988. *FAO-Unesco Soil Map of the World*. Revised Legend with Corrections. World Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1994.
- Fonseca, M. M. C. S. S. 2000. Solos Argiluviosos Pouco Insaturados. Caracterização Físico-Química e Mineralógica de Pédones Típicos de Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não-Calcareos. Centro de Estudos de Pedologia, Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa. (Policopiado).
- Franco, E. P. Cardoso, Ricardo, R. Pinto & Raposo, J. A. 1998. Teores médios de matéria orgânica dos solos de Angola. Sua distribuição geográfica. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 47: 71-97.
- Franco, E. P. Cardoso, Ricardo, R. Pinto & Raposo, J. A. 2001. Carbono orgânico nos solos de Angola. Alguns números curiosos. *Revista de Ciência Agrárias*, 24 (3 e 4): 31-38.
- Franzmeier, D. P., Lemme, G. D. & Miles, R. J. 1985. Organic carbon in soils of north central United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 702-708.
- Garcez, A. C. C., Madeira, M, Monteiro, F. & Nunes, J. 2003. Influência do montado e de pastagens melhoradas na acumulação de carbono orgânico no solo. *Revista de Ciência Agrárias*. (em publicação).
- Guo, L. B. & Giffors, R. M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8: 345-360.

- Gusmão, M. R. B. & Madeira, M. A. V. 1986. Estudo de solos podzolizados de Portugal Continental a partir de extracções selectivas do carbono, alumínio e ferro. *Pedon*, 6: 55-81.
- Hidroprojecto & Agroconsultores. 1995. Aproveitamento Hidroagrícola do Rio Xévorá. Estudo Detalhado dos Solos. Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural, Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.
- Janzen, H. H., Campbell, C. A., Gregorich, E. G. & Ellert, B. H. 1997. Soil carbon dynamics in canadian agroecosystems. In R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet & B. A. Stewart (eds) *Soil Processes and the Carbon Cycle*, pp. 57-80. Series: *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kern, J. S. 1994. Spatial patterns of soil organic carbon in the contiguous United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 439-455.
- Kobak, K. I. 1988. *Biotic Components of Carbon Cycles*. Hydrometeoizdat Publ., Leningrad.
- Lal, R. 1997. Land use and soil management effects of soil organic carbon dynamics on Alfisols in western Nigeria. In R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet & B. A. Stewart (eds) *Soil Processes and the Carbon Cycle*, pp. 109-126. Series: *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Madeira, M. A. V. 1986. Influência dos Povoamentos de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) no Solo, Comparativamente aos Povoamentos de Sobreiro (*Quercus suber*) e de Pinheiro (*Pinus Pinaster*). Dissertação de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Madeira, M. A. V. & Furtado, A. F. A. Sanches. 1983. Os solos formados a partir de rochas graníticas sob clima temperado super-húmido (Parque Nacional da Peneda-Gerês). Suas características mais relevantes. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 41: 9-54.
- Madeira, M. A. V., Costa, D. M. & Santos J. C. M. 1980. Nota acerca do estado de agregação de solo argiluvitados pouco insaturados sujeitos a diferentes utilizações. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 39: 67-85.
- Madeira, M., Azevedo, A., Soares, P., Tomé, M. & Araújo, M. C., 2002. Efeitos da lavoura profunda e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus globulus*. *Revista de Ciências Agrárias*, 25 (1 e 2): 158-169.
- Madeira, M., Fabião, A., Pereira, J. S., Araújo, M. C. & Ribeiro, C. 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology and Management*, 171: 75-85.
- Magalhães, M. C. S. 2000. Efeitos de Técnicas de Preparação do Solo e Gestão dos Resíduos Orgânicos em Características Físico-Químicas do Solo de Plantações Florestais. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Martins, A. A. A., Madeira, M. V. & Furtado, A. F. A. S. 1993. Características e classificação de solos derivados de granitos consoante as condições climáticas (Portugal). *Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, 2: 1036-1044. Salamanca.
- Milne, R. & Brown, T. A. 1997. Carbon in the vegetation and soils of Great Britain. *J. Env. Manag.*, 49: 413-433.
- Monteiro, F. M. G. 2003. Factores Determinantes do Hidromorfismo de Solos do

- nantes do Hidromorfismo de Solos do Alentejo. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agrónoma. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. (Em elaboração).
- Monteiro, F. G., Sousa, E. C. & Madeira, M. V. 1998. Características mineralógicas dos solos derivados de rochas básicas do complexo Polimetamórfico de Bragança. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 47: 41-69.
- Nunes, J. D., Sá, C., Soares-David, T., Madeira, M. & Gazarini, L. 2001. Influência de árvores isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam. nas características do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, 24 (3 e 4): 213-226.
- Orlov, D. S. & Biryukova, O. N. 1995. Organic carbon storage in the soils of the Russian Federation. *Pochvovedeniye*, 1: 21-32.
- Póvoas, I. & Barral, M. F. 1992. Métodos de Análise de Solos. Comunicações IICT, Série de Ciências Agrárias, 10. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa.
- Ricardo, R. P., Madeira, M. & Raposo, J. A. 2002. Quantidade de carbono orgânico nos solos derivados de granitos e rochas afins, em Portugal. *Revista de Ciência Agrárias*, 25 (3,4): 94-106.
- Robert, M. 2001. Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management. *World Resources Reports 96*. FAO, Rome.
- Rogado, N. J. Quintino. 1963. Contribuição para o Estudo dos Solos Derivados de Granitos Existentes em Portugal. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. (Policopiado).
- Sanchez, P. A., Gichuru, M. P. & Katz, L. B. 1982. Organic matter in major soils of the tropical and temperate region. Trans. 12th Int. Cong. *Soil Sci.*, 99-144. New Delhi.
- Simões, M. P. D. 2002. Dinâmica da Biomassa (Carbono) e Nutrientes em *Cistus salvifolius* L. e *Cistus ladanifer* L. Influência nas Características do Solo. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.
- Tarnocai, C. 1997. Amount of organic carbon in various soil orders and ecological provinces in Canada. In R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet & B. A. Stewart (eds) *Soil Processes and the Carbon Cycle*, pp. 81-92. Series: *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Zenhas, J. Abrantes. 1950. Estudo dos Solos Florestais. Caso do Montado de Sobreiro e do Pinhal em Manchas Graníticas (da Serra de Sintra) e Pliocénicas (do Rio Frio). Relatório Final do Curso de Engenheiro Silvicultor. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. (Policopiado).
- Walkley, A. & Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.
- Wright, C.H. 1934. *Soil Analysis. A Handbook of Physical and Chemical Methods*. Thomas Murby & Co, London.