

Mudanças na paisagem e serviços dos ecossistemas Abandono agrícola e variação no carbono orgânico dos solos Changes in landscape and ecosystem services Agricultural abandonment and soil organic carbon variation

Adélia N. Nunes

Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras, CEGOT, Universidade de Coimbra, Portugal
adelia.nunes@fl.uc.pt
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-4459>

Resumo:

O carbono orgânico do solo (COS) contribui para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e para o fornecimento de bens e serviços vários, de aprovisionamento, regulação ou suporte, que interferem na saúde e bem-estar humano. Com o presente estudo pretende-se analisar os processos sucessão vegetal, na sequência do abandono agrícola, e a respetiva influência na variação do carbono orgânico na camada edáfica superficial, na parte meridional da Beira Transmontana. Os resultados mostram que o processo de abandono agrícola se traduz num aumento do teor de COS, pouco relevante quando coberto vegetal é incipiente, dominado por comunidades herbáceas, mas mais do que duplica quando se verifica a instalação de comunidades arbustivas ou de carvalhal ainda em fase de recuperação (+ 139% e 108%, respetivamente, face aos solos com culturas arvenses de sequeiro). Apesar deste acréscimo de carbono no solo, estas comunidades só contêm aproximadamente metade do valor apurado para o carvalhal representativo da vegetação autóctone. Assim, a gestão adequada do solo, na sequência do abandono, pode constituir, uma boa opção para melhorar a sua qualidade e estratégia para o sequestro do carbono.

Palavras-chave: paisagem, serviços de ecossistemas, abandono agrícola carbono orgânico do solo, Beira Transmontana

Abstract:

Changes in landscape and ecosystem services. Agricultural abandonment and variation in soil organic carbon Soil organic carbon (SOC) contributes to improving the physical, chemical and biological properties of the soil and supply several goods and services of production, regulation and support, which interfere on human health and well-being. This study aim to analyse plant succession processes following the agricultural abandonment and the respective effect on the organic carbon variation in the surface soil layer, in the southern part of Beira Transmontana. The results show that the process of agricultural abandonment promotes an increase in the COS content, which is irrelevant when the vegetation cover is incipient, dominated by herbaceous communities, and more than doubles when there is the establishment of shrub or oak dominated communities (+ 139% and 108%, respectively, compared to soils with arable crops). Despite this increase of carbon in the soil, these communities only contain around half of the SOC obtained for oak woodlands, representative of the native vegetation. Thus, proper soil management, following abandonment, can be a good option to improve its quality and a good strategic measure for carbon sequestration.

Keywords: landscape, ecosystem services, agricultural abandonment, soil organic carbon, Beira Transmontana

1. Introdução

Definidas como a capacidade dos ecossistemas em fornecer bens e serviços que satisfaçam, direta ou indiretamente, as necessidades humanas, são inúmeras as funções associadas às paisagens (MEA, 2005; TEEB, 2010; De Groot et al., 2010). O solo e vegetação são dois dos elementos fundamentais na caracterização do funcionamento da paisagem; o primeiro pelo controle que exerce em múltiplas funções, de regulação, produção e suporte, e o segundo pelo papel que exerce no ciclo dos nutrientes, na regulação de alguns gases e fluxos (água e sedimentos) e no fornecimento de nutrientes e habitat.

Os solos, quer em ecossistemas naturais quer em outros geridos antropicamente, constituem uma das componentes-chave do ecossistema terrestre ao operar na interface da litosfera, biosfera, hidrosfera e atmosfera. Apesar da sua importância, a maioria dos estudos centrados na avaliação das funções e serviços de ecossistemas (Costanza et al., 1997, De Groot et al., 2002, MEA, 2005) pouca relevância lhe tem dado (Hewitt et al., 2015; Adhikari & Hartemink, 2016).

Com efeito, o solo constitui um dos maiores reservatórios de carbono terrestre contendo três a quatro vezes mais carbono do que a vegetação e duas a três vezes mais do que a atmosfera (Petrokofsky et al., 2012; Köchy et al., 2015), sendo também o reservatório mais estável (Vagen & Winowiecki, 2013). O carbono orgânico do solo desempenha importantes funções e contribui de forma decisiva para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, por conseguinte, o fornecimento de bens e serviços vários, quer de aprovisionamento, quer de regulação ou de suporte, que interferem na saúde e bem-estar humano, na estreita dependência das características físicas, químicas e biológicas dos solos.

Esses bens e serviços incluem: a produção de alimentos, combustível e fibra; armazenamento e filtração de água; regulação de gases e do clima; controle de erosão e regulação do ciclo da água; sequestro e armazenamento de carbono; regulação de pragas e doenças; nutrientes para as plantas, habitat e biodiversidade.

A mudança no uso e coberto vegetal do solo é um dos principais motores bióticos da dinâmica do carbono orgânico dos solos (COS) em diferentes domínios espaciais (Zhu et al., 2010; Smith et al.,

2015; Wasak & Drewnik, 2015) embora outros fatores abióticos como a textura do solo, a topografia e o clima também possam influenciar significativamente a sua distribuição (Nadal-Romero et al., 2014; Oertel et al., 2016).

Assim sendo, a emissão vs. sequestro de carbono em ambientes naturais ou geridos pelo homem resulta da complexa interação entre o uso e ocupação do solo, as atividades de gestão, a composição e estrutura do ecossistema, perturbações naturais ou antrópicas, processos biogeoquímicos e clima e hidrologia local/regional (Zhu et al., 2010; Oertel et al., 2016). De acordo com Zhu (2010), as alterações do uso e ocupação do solo geralmente ocorrem de duas formas: quando se verifica a conversão de um tipo de ocupação do solo para outra ou, mantendo-se a ocupação do solo, ocorrem modificações nas condições em que se encontra a ocupação existente (ex. floresta para áreas agrícolas, ou sistemas agrícolas extensivos para sistemas intensivos). Estas mudanças no uso e coberto vegetal do solo alteram as propriedades edáficas (Nunes et al., 2012) e interferem na dinâmica da matéria orgânica do solo, podendo desencadear processos de acumulação ou de mineralização e, por conseguinte, um aumento do carbono orgânico ou a emissões de CO₂ para a atmosfera, respetivamente.

Com o presente estudo pretende-se analisar as mudanças no uso e coberto vegetal do solo na parte meridional da Beira Transmontana, avaliar os processos de sucessão vegetal na sequência do abandono agrícola e a respetiva influência na variação do carbono orgânico dos solos, nos 20 cm superficiais.

2. Abandono agrícola, sucessão vegetal e variação no carbono orgânico dos solos

2.1. Área de estudo

2.1.1. Breve enquadramento físico do “Planalto da Beira Transmontana”

Os territórios supramediterrâneos da Beira Transmontana constituem uma importante unidade de paisagem da Beira Interior (Figura 1). Em termos geomorfológicos constitui o prolongamento para oeste do planalto de Castela-a-Velha, também designado



Figura 1
Localização da área de estudo.
Elaboração: Adélia N. Nunes.

de Meseta. As classes de altitude preponderantes são as compreendidas entre os 700 e os 900 m, enquanto os declives predominantes se encontram abaixo dos 8%, ocupando os inferiores a 2% uma vasta extensão do território, sobretudo a Este do Rio Côa onde a planitude é mais evidente (Nunes, 2008).

Em termos biogeográficos, integra-se no Superdistrito Altibeirense, onde predominam de forma quase exclusiva as rochas graníticas e onde o clima

apresenta características mediterrâneas sub-húmidas. Os bosques climatófilos deste Superdistrito enquadram-se no *Genisto falcatae-Quercetum pyrenaicae* sendo as suas etapas de substituição mais evidentes os giestais do *Lavandulo sampaioanae-Cytisetum multiflori* e os urzais do *Halimietum alyssoides-ocymoidis* e do *Genistello tridentatae-Ericetum aragonensis* (Costa et al., 1998).

2.1.2. Mudanças recentes no uso e coberto vegetal dos solos

No Quadro 1 sistematizam-se as principais alterações no uso do solo e cobertura vegetal, desde meados da passada centúria até aos primórdios da atual, no planalto da Beira Transmontana. Dos aspetos mais relevantes, destaca-se o domínio em termos territoriais dos usos agrícolas, assente na cultura de cereais de sequeiro, durante as décadas de 1950-60, em mais de metade da área do Planalto da Beira transmontana (Nunes, 2008), e a respetiva regressão nas décadas subsequentes.

Com efeito, a cultura de cereais de sequeiro foi a que sofreu as maiores quebras espaciais, enquanto as culturas permanentes também viram a sua extensão regredir. Os “outros sistemas culturais”, praticamente inexistentes no sistema tradicional de exploração, ampliaram a sua superfície, muito em consequência da difícil classificação de áreas heterogêneas, onde predominam mosaicos constituídos por parcelas de cultivo e importantes espaços ocupados por vegetação natural e seminatural. Significa que uma importante quota-parte deste território, apesar de classificado como área agrícola, não é regularmente explorado pelo Homem.

Quadro 1

Síntese das Principais Alterações Ocorridas no Uso e Ocupação do Solo, na Área de Estudo, desde Meados séc. XX e até Início do XXI (em %)

Uso e ocupação do solo/Anos	1968	1980	2010
Área Agrícola	56,7	25,8	24,2
Culturas Arvenses de Sequeiro	41,4	11,7	9,8
Culturas permanentes	15,3	0,8	0,9
Outros sistemas culturais ⁽¹⁾	na	13,3	13,5
Área Florestal	27,6	15,8	19,3
Resinosas	11,9	6,8	9,2
Folhosas	15,7	9	9,7
Mista	na	0	0,4
Área seminatural	14,9	57,3	55,1
Área Urbana	0,8	1,2	1,3
Totais	100	100	100

1968-69 – Carta Agrícola e Florestal de Portugal, escala 1/25 000, recolha de campo em 1955 e atualização em 1968 e 1969, Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA), Ministério da Economia; **1980 e 2010** – Projeto Landyn, Direção Geral do Território, com base nas Cartas de Ocupação do Solo (COS’90 e COS’10). ⁽¹⁾ Inclui sistemas parcelares complexos, agricultura com espaços naturais e sistemas agro-florestais. na – Não avaliada. **Área seminatural**: abrange as áreas classificadas de incultas e com matos na carta na Carta Agrícola e Florestal de Portugal, e as áreas de matos, vegetação herbácea natural e vegetação esclerófila, na COS’90 e de COS’10.

Dos usos não agrícolas, a área ocupada pelas florestas também assinalou uma diminuição, ao passo que a categoria que abrange as áreas seminaturais assinalou uma tendência inversa, bastante mais pronunciada, comparativamente à registada pelo espaço agrícola. Aliás, este tipo de ocupação atinge, de acordo com as últimas fontes cartográficas, mais que o triplo da sua expressão geográfica em 1968, integrando mais de 50% do território em estudo, reflexo do forte abandono das atividades tradicionais, assentes, como já se referiu, na cultura de cereais de sequeiro, mas também devido à ocorrência de outras perturbações, como os incêndios florestais.

2.2. Metodologia

2.2.1. Seleção dos usos/ocupação do solo a monitorizar

As mudanças nos quantitativos de C no solo, após o abandono de terras agrícolas, têm sido estimadas através de estudos de cronosequências, comparando o C no solo em terras agrícolas e em terras abandonadas, em diferentes estádios de sucessão vegetal, preferencialmente em estádios estacionários em termos de COS (Saiano et al., 2013; LaMantia et al., 2013; Novara et al., 2014; Novara et al., 2017). Outra via suscetível de ser utilizada resulta da análise das diferenças de atributos face aos ecossistemas de referência.

Na área de estudo, a dinâmica sucessional progressiva da vegetação, na sequência do abandono de parcelas agrícolas, converge para a instalação de um bosque dominado por *Quercus pyrenaica* Willd. como etapa final (Vegetação Natural Potencial) depois de um período de tempo sem perturbações. Todavia, o surgimento do estrato arbóreo, resultante da progressiva instalação de *Quercus* e aproximação às

condições da etapa final do processo de sucessão vegetal, só surgirá passadas várias décadas.

Foram, assim, na seleção das parcelas a monitorizar (Figura 2), contemplados os usos tradicionais do território assentes na alternância entre o cultivo de cereais e o pousio, sendo que este último também poderá ser expressivo para situações de abandono recente, com 4 a 5 anos. Atestando um processo de abandono mais longo, em termos temporais, identificámos as parcelas de matos, enquanto as de carvalhal em avançado estado de recuperação comprovam uma cessação das atividades agrícolas já bastante antiga, com mais de 3 ou 4 décadas.

A metodologia utilizada assentou na comparação de atributos entre as diferentes áreas-amostra selecionadas, de forma a permitir a comparação dos conteúdos de COS entre diferentes graus de perturbação; desde situações de perturbação intensa (parcelas em cultivo) até situações de máxima proximidade à vegetação potencial, que na área em estudo se associa a carvalhais dominados por *Quercus pyrenaica* Willd., interpretados no âmbito do *Holco mollis-Quercetum pyrenaicae* (entendido como sinónimo do *Genisto falcatae-Quercetum pyrenaicae*, de acordo com Costa et al., 1998). Parte-se, assim, do princípio que a vegetação autóctone da região se encontra em equilíbrio com os solos, tendo sido utilizadas como controlo, de forma a averiguar as principais alterações induzidas pelo Homem e analisar os efeitos, sobretudo temporais, do abandono no carbono orgânico dos solos.

2.2.2. Determinação do carbono nos solos

Segundo o IPCC (2006) o carbono orgânico do solo compreende o “carbono orgânico em solos minerais a uma determinada profundidade, incluindo raízes vivas ou mortas que se encontram no solo”. Normalmente o carbono orgânico do solo é estimado a uma profundidade compreendida entre os 0-30 cm,

Ocupação do solo na sequência do abandono agrícola

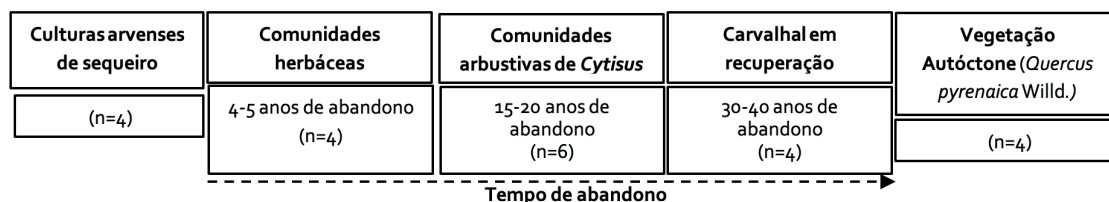


Figura 2

Tipos de uso e cobertos vegetais selecionados e respetivo número de parcelas monitorizadas (n).

Elaboração: Adélia N. Nunes.

uma vez que na maioria das vezes está presente, em geral, nas camadas superiores do solo e a atividade das raízes concentra-se neste horizonte (Ravindranath & Ostwald, 2008).

Os métodos para estimar o carbono orgânico do solo são vários, optando-se, neste estudo, por se recolheram amostras de solo até à profundidade de 20 cm, pois os solos da região estudada são bastante delgados, sobretudo os que foram, durante décadas, intervencionados pelo homem para a cultura de cereais de sequeiro. Para a determinação do COS utilizou-se o método “perda por ignição”, que envolve a destruição de toda a matéria orgânica por aquecimento, sendo que a temperatura não deve ser superior a 440°C para evitar a destruição de qualquer carbono inorgânico presente na amostra (Ravindranath & Ostwald, 2008). Para cada amostra recolhida, num total de 88 (44 entre os 0-10 cm e o mesmo número entre os 10-20 cm), foi ainda calculada a densidade aparente, à mesma profundidade de modo a que os resultados apresentados fossem em t C/ha.

3. Resultados

3.1. Variação do COS em profundidade e nas diferentes etapas de sucessão vegetal

Os resultados obtidos no que se refere à variação do COS, quer em profundidade quer nos solos em cultivo e até situações de máxima proximidade à vegetação potencial, são apresentados no gráfico da Figura 3 e no Quadro 2. Em todos os usos e ocupações do solo se verifica uma maior concentração de carbono nos 10 cm superficiais do solo, oscilando entre os 62% nas parcelas com uso agrícola e os 83% sob vegetação autóctone. Aliás, este aumento gradual resulta do acréscimo de biomassa fornecida ao solo e cuja decomposição ocorre preferencialmente na camada edáfica superficial.

No que se concerne à evolução do teor de COS, tendo com referência um gradiente entre os solos fortemente perturbados pela atividade antrópica e

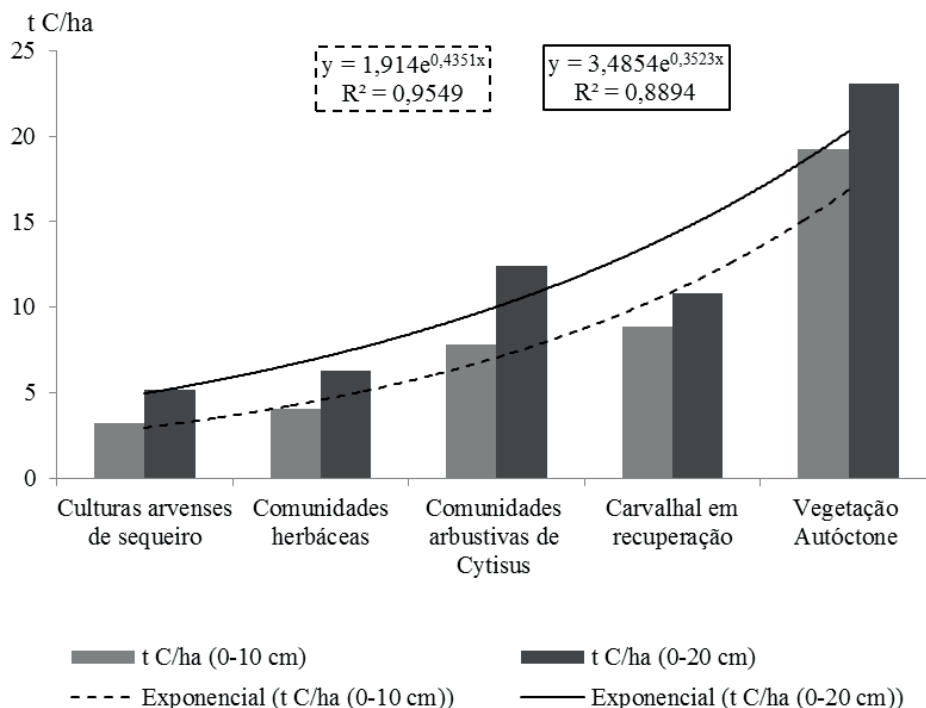


Figura 3
Valores médios de CO obtidos nos 10 e 20 cm superficiais nos diferentes usos e cobertos vegetais monitorizados.
Elaboração: Adélia N. Nunes.

Quadro 2

Variação do Carbono nos Solos (em %) em Função da Transição das Etapas de Sucessão Vegetal Após o Abandono Agrícola até à Vegetação Autóctone

Variação (em %) do teor de COS	Culturas arvenses de sequeiro	Comunidades herbáceas	Comunidades arbustivas de <i>Cytisus</i>	Carvalhal em recuperação
Com. herbáceas	+ 21,0			
Com. arbustivas de <i>Cytisus</i>	+ 139,3	+ 97,9		
Carvalhal em recuperação	+ 108,2	+ 72,2	- 13,0	
Vegetação autóctone	+ 343,6	+ 266,8	+ 85,4	+ 113,1

Elaboração: Adélia N. Nunes

os solos com vegetação autóctone, ou seja, pouco ou nada intervencionados desde há décadas, verifica-se um aumento exponencial, tanto nos 10 cm como nos 20 cm superficiais (Figura 3). Com efeito, os resultados obtidos mostram os baixos teores de COS sob culturas arvenses de sequeiro, corroborando os resultados da bibliografia já referida, em que se assinalava os usos agrícolas como elementos de degradação da qualidade do solo devido à reduzida incorporação de biomassa no solo e à sua rápida mineralização.

O processo de abandono agrícola traduz-se, assim, num aumento do teor de COS, pouco relevante quando ainda é recente e o coberto vegetal é incipiente, dominado por comunidades herbáceas, mas mais do que duplica quando se verifica a instalação de comunidades arbustivas ou de carvalhal ainda em fase de recuperação (+ 139% e +108%, respectivamente, face aos solos com culturas arvenses de sequeiro) (Quadro 3). Apesar deste acréscimo de carbono no solo, estas comunidades ainda só contêm aproximadamente metade do valor apurado para o carvalhal representativo da vegetação autóctone.

3.2. Variação temporal na estimativa de carbono armazenado nos solos (0-20 cm)

Com as mudanças no uso e ocupação do solo, registadas nestas últimas décadas, verificaram-se alterações nos *stocks* de carbono nos solos, assinalando-se uma tendência de acréscimo de cerca de 16% quando comparados os valores de 1968 (cerca de 2,18 milhões de t C) com os de 2010 (com 2,52 milhões de t C) (Figura 4). Este incremento resulta do significativo acréscimo dos meios seminaturais, dominados por comunidades arbustivas, cuja expansão se deve principalmente ao abandono dos campos de cultivo, que concentram em média mais carbono orgânico nos 20 cm superficiais do solo quando comparados com os solos agrícolas.

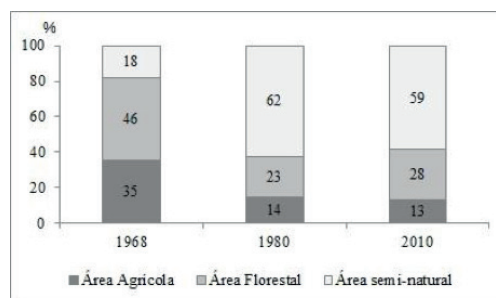


Figura 4

Estimativa do carbono armazenado na camada edáfica superficial (0-20cm) nos usos e ocupação do solo, em 1968, 1980 e 2010, na área de estudo.

Elaboração: Adélia N. Nunes.

Com efeito, se em 1968 eram principalmente as áreas florestais que concentravam a maior parte de carbono (46%), seguidas da área agrícola (35%), devido à sua maior expressão territorial, na atualidade são os meios seminaturais que passaram a ter o maior peso no carbono armazenado no solo, cerca de 60%. O decréscimo de importância das áreas florestais enquanto principal *pool* de carbono no solo deve-se à sua diminuição no período de 1968 até 1980, em cerca de 50%, devido principalmente à ocorrência de incêndios florestais. De 1980 para 2010, regista-se um ligeiro incremento na sua expressão territorial (de cerca de 3,5%), acompanhada de um aumento, de 23 para 28%, do total de carbono armazenado no solo.

Os mapas da Figura 5 mostram a variação temporal no uso do solo e simulam-se, com base nessas mudanças, os ganhos e as perdas no teor de carbono armazenado nos solos (0-20 cm), entre 1968-2010, nas Cabeceiras da Ribeira do Boi, afluente do rio Côa.

De um modo geral, para esta área de estudo, assinala-se uma diminuição do COS resultante sobretudo da conversão da floresta, em meios seminaturais e um incremento nas áreas que transitaram de agrícolas para seminaturais e de seminaturais para floresta.

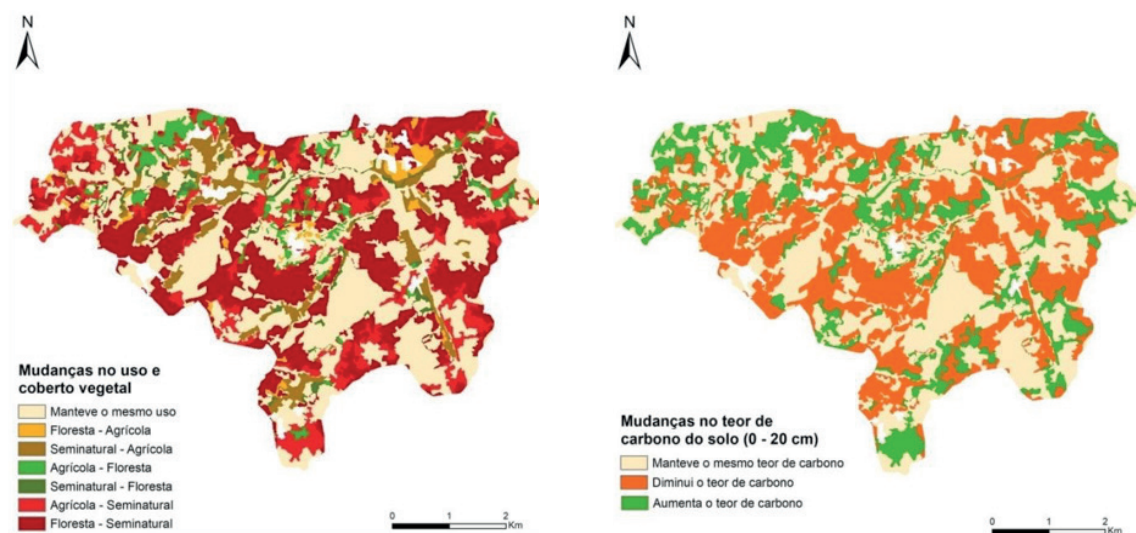


Figura 5

Variação temporal no uso do solo e mudanças no teor de carbono armazenado nos solos (0-20 cm), entre 1968-2010 (Cabeceiras da Ribeira do Boi, afluente do rio Côa).

Elaboração: Adélia N. Nunes.

4. Discussão

O solo, considerado o principal reservatório de carbono nos ecossistemas terrestres, é sensível e dinâmico às mudanças que ocorrem no seu uso. O estudo realizado por Houghton (1990) compara diferentes reservas de carbono associadas a várias alterações do uso e ocupação do solo, mostrando que geralmente a degradação, corte ou conversão de áreas florestais para outros tipos de ocupação está associada à libertação de carbono, enquanto ações que visam o aumento da área florestal tendem a fixar carbono. No trabalho de Guo & Gifford (2002), tendo por base os resultados de 74 publicações, é demonstrado que os *stocks* de C orgânico declinam na sequência de mudanças de uso do solo de pastagem para plantação (10%), de mata autóctones para plantações (- 13%), de floresta autóctones para área de cultivo (- 42%) e de pastagem para área de cultivo (- 59 %). Em contrapartida, o *stock* de C orgânico aumenta após mudanças de área de cultivo para pastagem (+ 19%), para plantação (+ 18%) e para floresta secundária (+ 53%).

De um modo geral, os estudos realizados são unânimes ao considerarem que a desflorestação e a subsequente utilização do solo para fins agrícolas, promove uma deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, devido à destruição dos microagregados (Elliott, 1986) através, por exemplo, da utilização de maquinaria, e sobretudo

devido à diminuição dos *inputs* em matéria orgânica (Fraterrigo et al., 2005; Nunes et al., 2012; Adugna & Abegaz, 2016). Também a conversão de pastagem nativa em área de cultivo mostra alterações muito significativas nas principais propriedades dos solos, com a diminuição da densidade aparente, da estabilidade dos agregados, da condutividade hidráulica, do teor de humidade e do conteúdo de matéria orgânica (Li et al., 2007). O armazenamento do carbono no solo reflete o balanço entre a entrada (ganhos) a partir de materiais provenientes da matéria orgânica acima do solo e as perdas (saída) a partir da decomposição e mineralização da matéria orgânica (Petrokofsky et al., 2012).

Quando se verifica o abandono de terras agrícolas e a recuperação do coberto vegetal ocorrem várias consequências ao nível das funções dos ecossistemas e dos respetivos serviços prestados (Cammeraat et al., 2010; Lasanta et al., 2015; Novara et al., 2017). Na área de estudo, à semelhança do que se verifica na região mediterrânea, o abandono dos ecossistemas resulta na recuperação da vegetação (Nunes et al., 2010; Sil, 2014; Lasanta et al., 2015; Nadal Romero et al., 2016) com consequências nos processos de escoamento superficial e de erosão (Nunes et al., 2011; López-Vicente et al., 2016; Rodrigo Comino et al., 2016) e qualidade dos solos (Nunes et al., 2012; Romero-Díaz et al., 2017). O incremento do teor de COS, ainda que pouco relevante quando o coberto vegetal é incipiente, mais do que duplica quando se

verifica a instalação de comunidades arbustivas ou de carvalhal ainda em fase de recuperação. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Pinheiro et al. (2014), quando estudaram a relação entre as transformações na paisagem e a fixação de carbono numa freguesia de Bragança, entre 1958 e 2006 (cujas características biogeográficas não diferem significativamente da área de estudo), tendo observado um aumento do carbono fixado na paisagem de 4,9 t C/ha para 18,0 t C/ha, devido à expansão das áreas de floresta, à redução de áreas agrícolas e de matos e ao uso de menor biomassa por unidade de referência.

A gestão adequada do uso solo, na sequência do abandono, pode constituir, assim, uma boa opção para melhorar a sua qualidade e uma estratégia para o sequestro do carbono (Hombegowda et al., 2016; Poeplau et al., 2016; Novara et al., 2017).

Por outro lado, vários autores sugerem que os solos são determinantes do estatuto económico de uma nação (Daily et al., 1997), enfatizando a necessidade de avaliar e valorizar as funções e serviços prestados pelo solo, assim como promover a sua articulação no desenvolvimento de políticas e na gestão dos recursos naturais (Robinson et al., 2012; McBratney et al., 2014). Apesar de lhe ser reconhecida uma crescente importância e de se terem multiplicado os estudos de caso sobre o COS, só no *Simpósio Global de Carbono Orgânico do Solo (GSOC)*, realizado na sede da FAO em 2017, emergiram algumas recomendações, destinadas a apoiar o desenvolvimento de políticas e ações com vista à implementação de estratégias de manejo de solo que promovam a proteção e o sequestro de COS. Reafirmam, também, a necessidade de medir, mapear e monitorizar o carbono dos solos, no intuito de manter e/ou aumentar as suas reservas (fomentar o sequestro), como estratégia para incrementar a sua qualidade e como medida de adaptação às mudanças climáticas.

5. Conclusão

O significativo aumento de CO₂ na atmosfera, e a sua conexão com o aquecimento global, desencadeou um crescente interesse na redução das suas emissões e na promoção de medidas com vista ao incremento do seu sequestro. As consequências das mudanças do uso do solo nos *stocks* de carbono têm, por isso, constituído motivo de preocupação no

contexto das agendas políticas internacionais sobre a mitigação das emissões de gases com efeito de estufa.

Com efeito, usos e manejos do solo em que se verifique a rápida mineralização da matéria orgânica podem transferir grandes quantidades de gases com efeito de estufa para a atmosfera, como é o caso do CO₂. Em contrapartida, uma gestão sustentável do solo, que inclua por exemplo restauro do coberto vegetal/ florestal ou práticas agrícolas alternativas, pode levar ao armazenamento de grandes quantidades de CO₂. Assim, o solo e suas formas de manejo, especialmente pelo facto de o solo ser considerado fonte de emissão ou sumidouro de carbono, interfere diretamente na troca de gases, com efeito de estufa, entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera, afetando o teor de dióxido de carbono na atmosfera e a respetiva dinâmica.

Assim, a gestão do uso e ocupação solos em áreas de forte abandono agrícola, como o que se assinala na área de estudo, mas também em vastos territórios do Interior Centro e Norte e Alentejo, pode representar uma estratégia, de baixo custo, para o sequestro de C e mitigação das emissões antrópicas de CO₂. Esta gestão, em áreas de baixa densidade, terá, no entanto, de passar pela redução da massa vegetal de modo a evitar a ocorrência frequente de incêndios florestais, pois a combustão da biomassa vegetal e da camada orgânica superior do solo liberta para a atmosfera grandes quantidades de CO₂ e reduz drasticamente os conteúdos de COS.

Do mesmo modo, a gestão das paisagens para o armazenamento e sequestro de carbono requer informações sobre onde e em que quantidades o carbono é armazenado, quanto carbono é sequestrado ou perdido, ao longo do tempo, com as mudanças que afetam o uso e coberto vegetal do solo. Esta informação poderá constituir uma ferramenta útil para integrar os princípios da multifuncionalidade e da sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, ao nível da paisagem.

Referências bibliográficas

- Adhikari, K., & Hartemink, A. (2016). Linking soils to ecosystem services – A global review. *Geoderma*, 262, 101-111.

- Adugna, A., & Abegaz, A. (2016). Effects of land use changes on the dynamics of selected soil properties in northeast Wellega, Ethiopia. *Soil*, 2, 63-70.
- Cammeraat, E. L., Cerdà, A., & Imeson, A. (2010). Ecohydrological adaptation of soils following land abandonment in a semi-arid environment. *Ecohydrology*, 3(4), 421-430.
- Costa, J. C., Aguiar, C., Capelo, J. H., Lousã, M., & Neto, C. (1998). Biogeografia de Portugal Continental. *Quercetea*, 0, 5-57.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R. S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruel, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem service and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Daily, G.C. (ed.) (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272.
- De Groot, R. S., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Elliott, E. T. (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 627-633.
- Fraterrigo, J. M., Turner, M. G., Pearson, S. M., & Dixon, P. (2005). Effects of past land use on spatial heterogeneity on soil nutrients in Southern Appalachian forests. *Ecological Monographs*, 75(2), 215-230.
- Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345-360.
- Hewitt, A., Dominati, E., Webb T., & Cuthill, T. (2015). Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. *Geoderma*, 241-242, 107-114.
- Hombegowda, H.C., van Straaten, O., Köhler, M., & Hölscher D. (2016). On the rebound: Soil organic carbon stocks can bounce back to near forest levels when agroforests replace agriculture in southern India. *Soil*, 2, 13-23.
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J., & Ephraums, J. J. (Eds.) (1990). *Report prepared for intergovernmental panel on climate change by working group I*. Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia: Cambridge University Press,
- IPCC (2006). In Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe K. (Eds), *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan.
- Köchy, M., Hiederer, R., & Freibauer, A. (2015). Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil*, 1, 351-365.
- LaMantia, T., Gristina, L., Rivaldo, E., Pasta, S., Novara, A., & Rühl, J. (2013). The effects of postpasture woody plant colonization on soil and aboveground litter carbon and nitrogen along a bioclimatic transect. *iForest*, 6, 238-246.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Arnáez, J. (2015). Managing abandoned farmland to control the impact of re-vegetation on the environment. The State-of-the-Art in Europe. *Environmental. Science & Policy*, 52, 99-109.
- Li, X. G., Li F. M., Zed, R., Zhan, Z. Y., & Singh, B. (2007). Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland. *Geoderma*, 139, 98-105.
- López-Vicente, M., Nadal-Romero, E., & Cammeraat, E. L. H. (2016). Hydrological connectivity does change over 70 years of abandonment and afforestation in the Spanish Pyrenees. *Land Degradation & Development*, 28(4), 1298-1310. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.253>
- McBratney, A., Field, D. J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC.: Island Press.
- Nadal-Romero, E., Cammeraat, E., Serrano-Muela, M. P., Lana Renault, N., & Regúes, D. (2016). Hydrological response of an afforested catchment in a Mediterranean humid mountain area: A comparative study with a natural forest. *Hydrological Processes*, 30, 2717-2733.
- Nadal-Romero, E., Cortesi, N., & González-Hidalgo, J.C., (2014). Weather types, runoff and sediment yield in a Mediterranean mountain landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(4), 427-437.
- Novara, A., Gristina, L., Crescimanno, M., La Mantia, T., Galati, A., Badalamenti, E., & Cerdà, A. (2017). Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, 576, 420-429.
- Novara, A., La Mantia, T., Rühl, J., Badalucco, L., Kuzyakov, Y., Gristina, L., & Laudicina, V. A. (2014). Dynamics of soil organic carbon pools after agricultural abandonment. *Geoderma*, 235-236, 191-198.
- Nunes A. N., Almeida A. C., & Coelho, C. O. A. (2011). Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, 31(2), 687-699.

- Nunes, A. (2008). *Abandono do espaço agrícola na “Beira Transmontana”*. Iberografias 13. Lisboa: Ed. Campo das Letras SA.
- Nunes, A. N., Coelho, C. O. A., Almeida, A. C., & Figueiredo, A. (2010). Soil erosion and hydrological response to land abandonment in a central Inland area of Portugal. *Land Degradation and Development*, 21(3), 260-273.
- Nunes, A., Figueiredo, A., & Almeida, A. C. (2012). The effects of farmland abandonment and plant succession on soil properties and erosion processes: A study case in central of Portugal. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 2, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, 165-190.
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, & F., Erasmí, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils: A review. *Chemie der Erde*, 76, 327-352.
- Petrokofsky, G., Kanamaru, H., Achard, F., Goetz, S. J., Joosten, H., Holmgren, P., Lehtonen, A., Menton, M. C. S., Pullin, A. S., & Wattenbach, M. (2012). Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 1(6).
- Pinheiro, H., Miranda de Castro, J. P., & Azevedo, J. C. (2014). Alterações na paisagem e sequestro de carbono na freguesia de Deilão, nordeste de Portugal. *Revista Árvore*, 38(1), 41-52.
- Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K., & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage – a case study on public lawns in three Swedish cities. *Soil*, 2, 175-184.
- Ravindranath, N. H., Ostwald, M. (2008). *Carbon inventory methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects*. Netherlands: Springer.
- Robinson, D. A., Hackley, N., Dominati, E. J., Lebron, I., Scow, K. M., Reynolds, B., Emmett, B. A., Keith, A. M., de Jonge, L.W., Schjonning, L.W., Moldrup, P., Jones, P., & Tuller M. (2012). Natural Capital, ecosystem services, and soil change: Why soil S. B. science must embrace an ecosystem approach. *Vadose Zone J.*, 11, 5-10.
- Rodrigo Comino, J., Iserloh, T., Lassu, T., Cerdà, A. , Keestra, S.D., Prosdoci, M., Brings, C., Marzen, M., Ramos, M. C., Senciales, J. M., Ruiz Sinoga, J. D., Seeger, M., Ries, J. B. (2016). Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards. *Science of the Total Environment*, 565, 1165-1174.
- Romero-Díaz, A., Ruiz-Sinoga, J. D., Robledano-Aymerich, F., Brevik, E., & Cerdà, A. (2017). Ecosystem responses to land abandonment in Western Mediterranean mountains. *Catena*, 149, 824-835.
- Saiano, F., Oddo, G., Scalenghe, R., La Mantia, T., & Ajmone-Marsan, F. (2013). DRIFTS sensor: Soil carbon validation at large scale (Pantelleria, Italy). *Sensors*, 13, 5603-5613.
- Sil, A. (2014). *Alterações da paisagem e serviços de ecossistema: Quantificação e valoração do sequestro de carbono na bacia superior do Rio Sabor*. Dissertação de Mestrado. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Sil, A., Fonseca, F., Gonçalves, J., Honrado, J., Marta-Pedroso, C., Alonso, J., Ramos, M., & Azevedo, J. C. (2017). Analysing carbon sequestration and storage dynamics in a changing mountain landscape in Portugal: Insights for management and planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 13(2), 82-104.
- Smith, P., Cotrufo, M. F., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P. J., Elliott, J. A., McDowell, R., Griffiths, R. I., Asakawa, S., Bustamante, M., House, J. I., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P. C., Gerber, J. S., Clark, J. M., Adhya, T., Scholes, R. J., & Scholes, M. C. (2015). Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil*, 1, 665-685.
- The Economics of Ecology and Biodiversity (TEEB) (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*. London and Washington: Earthscan.
- Vagen, T.G., & Winowiecki, L. A (2013). Mapping of soil organic carbon stocks for spatially explicit assessments of climate change mitigation potential. *Environmental Research Letters*, 8 (015011) (9 p.).
- Wasak, K., & Drewnik, M. (2015). Land use effects on soil organic carbon sequestration in calcareous Leptosols in former pastureland – a case study from the Tatra Mountains (Poland). *Solid Earth*, 6, 1103-1115.
- Zhu, Z. (2010) (ed.). *A method for assessing carbon stocks, carbon sequestration, and greenhouse-gas fluxes in ecosystems of the United States under present conditions and future scenarios*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.