

ALTERAÇÕES NA PAISAGEM E SEQUESTRO DE CARBONO NA FREGUESIA DE DEILÃO, NORDESTE DE PORTUGAL¹

Helena Pinheiro², João Paulo Miranda de Castro³ e João Carlos Azevedo⁴

RESUMO – Estimaram-se estoques de carbono ao nível da paisagem ao longo dos últimos 48 anos na freguesia de Deilão (4.197 ha), Distrito de Bragança, Nordeste de Portugal, com o objectivo de analisar a dinâmica do carbono sequestrado numa paisagem em transformação. Construíram-se cartas de uso do solo com base em coberturas aerofotográficas de 1958, 1968, 1980, 1992 e 2006. A classificação do uso do solo foi baseada no sistema COS2005 (Instituto Geográfico Português), sendo a estrutura da paisagem descrita por métricas da paisagem. A biomassa viva e a folhada, bem como os estoques de carbono foram estimados com base em equações de biomassa e carbono e em dados de inventários. A freguesia de Deilão apresentava sinais de abandono, com redução da área agrícola e aumento da área florestal. O carbono sequestrado aumentou de 20.572 tC em 1958 para 75.449 tC em 2006, alteração essa que corresponde a um incremento de 267% durante o período de tempo considerado. Corresponde também a uma taxa média anual de sequestro de 0,27 tC/ha/ano à escala da paisagem. As alterações recentes da paisagem na freguesia de Deilão são acompanhadas pelo aumento muito significativo do carbono fixado na paisagem.

Palavras-chave: Sequestro de carbono; Alteração da paisagem; Abandono da agricultura.

LANDSCAPE CHANGES AND CARBON SEQUESTRATION IN THE DEILÃO PARISH, NORTHEASTERN PORTUGAL

ABSTRACT – We estimated carbon stocks at the landscape level over the last 48 years in the Deilão Parish (4.197ha), Bragança District, Northeastern Portugal, with the purpose of analyzing carbon sequestration dynamics in this changing landscape. We created land use GIS coverages from aerial photographs from 1958, 1968, 1980, 1992 and 2006 based on the COS2005 (IGP) land use/land cover classification system. Below- and aboveground vegetation carbon stocks for each land unit were estimated based upon published biomass equations and inventory data. The parish presented symptoms of abandonment such as a decrease in agriculture area and an increase in forest plantations. Carbon sequestered in the Deilão parish increased from 20.572tC in 1958 to 75.449tC in 2006. This change correspond to a 267% increase during the 48 period of time under consideration. It corresponds also to a mean annual sequestration rate of 0,27tC/ha/year. Landscape change in Deilão is corresponded by a very significant increase in carbon sequestered in the landscape.

Keywords: Carbon sequestration; Landscape change; Agriculture abandonment.

1. INTRODUÇÃO

A regulação do clima e da qualidade do ar através da fixação do dióxido de carbono atmosférico, o principal gás de efeito-estufa de origem antropogénica (IPCC, 2007), na biomassa vegetal e na matéria orgânica do solo é um dos serviços mais relevantes dos ecossistemas (PEREIRA et al., 2009). A redução do CO₂ atmosférico

é prioridade tanto no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change) quanto do Protocolo de Quioto, e a definição de processos de valorização da capacidade de fixação de carbono pelos ecossistemas e o estabelecimento de mercados de carbono são importantes vias para sua concretização (UNFCCC, 1997).

¹ Recebido em 21.08.2010 aceite para publicação em 07.11.2013.

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança e Câmara Municipal de Bragança, Portugal. E-mail: <gtflorestal@cm-braganca.pt>.

³ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. E-mail: <jpmc@ipb.pt>.

⁴ Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. E-mail: <jazevedo@ipb.pt>.



Para produzir estimativas rigorosas do carbono fixado nos ecossistemas e das taxas a que tal fixação ocorre, identificar ecossistemas fontes e sumidouros de carbono e avaliar as respostas destes a alterações ambientais ou a diferentes alternativas de gestão, é necessário quantificar e monitorizar o sequestro de carbono em áreas heterogêneas e de grandes dimensões. A utilização da escala da paisagem na avaliação do sequestro de carbono é, nessa perspectiva, de grande utilidade, uma vez que permite sintetizar a composição do território e os efeitos dos processos de alteração inerentes, assim como analisar a distribuição espacial do carbono fixado e respectivos balanços com base na heterogeneidade espacial. Abordagens a essa escala garantem uma avaliação mais rigorosa de estoques de carbono, o que é particularmente relevante na definição de estratégias de mitigação de alterações climáticas ou no desenvolvimento de mecanismos de comércio de carbono. Paisagens como unidades de trabalho na avaliação física ou econômica do sequestro de carbono têm sido utilizadas em vários continentes e sistemas ecológicos heterogêneos (e.g. Austrália (DEAN et al., 2004); Filipinas (SHIVELY et al., 2004); Finlândia (GARCIA-GONZALO et al., 2007), Suíça (BOLLIGER et al., 2008) ou EUA (BRADFORD et al., 2010)).

Variações no carbono sequestrado na paisagem resultam de alterações do clima, da concentração de CO₂ atmosférico e da deposição de azoto (PAN et al., 2009). No entanto, a uma escala temporal histórica, as alterações da cobertura e do uso do solo são a principal causa das alterações na quantidade de carbono fixado na paisagem (CASPERSEN et al., 2000). A uma escala temporal ligeiramente mais detalhada (anos a décadas), as variações do carbono fixado na paisagem dependem também da dinâmica de cada uso do solo particular, frequentemente associada à sua gestão e, ou, à ocorrência de perturbações. Dessa dinâmica dependem fortemente a exportação de carbono do sistema e as variações nos balanços de carbono a escalas espaciais e temporais particulares. Processos de transporte horizontal de carbono na paisagem podem ocorrer, mas têm expressão mais discreta (FANG et al., 2006).

As paisagens da Europa têm armazenado carbono em quantidades crescentes por via das alterações na sua estrutura (tipos, proporções e diversidade - riqueza e equitabilidade - dos sistemas que a compõem) e na dinâmica particular desses sistemas. Essas alterações resultam da adoção de novas políticas agrárias, do

desenvolvimento de novos sistemas de produção e de modificações na demografia. O abandono da agricultura, particularmente em áreas marginais, é importante promotor de alteração da paisagem, principalmente desde o final da Segunda Guerra Mundial. Do abandono resulta geralmente aumento das comunidades vegetais espontâneas e das culturas lenhosas de baixa manutenção (e.g. floresta, plantações de árvores de Natal e sistemas intensivos de produção de biomassa para energia). Essas alterações resultam, tendencialmente, no aumento do carbono sequestrado na paisagem. Prevê-se que esse processo de aumento da fixação de carbono na paisagem à custa do abandono continua a verificar-se no futuro (BOLLIGER et al., 2008; SCHULP et al., 2008).

O abandono da agricultura em Portugal é um dos processos socioeconômicos em curso com maiores efeitos potenciais nos serviços dos ecossistemas (DOMINGOS et al., 2009). O abandono da agricultura em Portugal fez-se sentir tardiamente, em comparação com outros países da Europa, e os seus efeitos em processos ecológicos só agora começam a ser avaliados (MOREIRA et al., 2001; MOREIRA; RUSSO, 2007; AGUIAR et al., 2009; AZEVEDO et al., 2010). Um dos previsíveis efeitos do abandono é o aumento do carbono sequestrado nos ecossistemas e na paisagem em extensos territórios, sobretudo em regiões de montanha. Não existem, no entanto, em Portugal avaliações do carbono sequestrado na paisagem à escala da paisagem e ao longo do tempo.

A pretensão deste trabalho foi avaliar as alterações da estrutura da paisagem durante a segunda metade do Século XX e os efeitos dessas alterações sobre o carbono sequestrado à escala da paisagem. Pretendeu-se, mais especificamente, quantificar e analisar a dinâmica do carbono sequestrado na paisagem de uma freguesia sujeita a um processo de transformação promovido pelo abandono da agricultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação do sequestro de carbono em áreas heterogêneas é habitualmente efetuada com base em dados recolhidos a escalas finas, através da medição de parâmetros biométricos em parcelas de amostragem homogêneas e posterior extrapolação, na monitorização contínua de balanços de carbonos a partir da avaliação de fluxos ou, ainda, a partir da análise de informação

recolhida por detecção remota (BRADFORD et al., 2010). Neste trabalho, a estimacção do carbono fixado na paisagem e o estudo das suas variações no período de 1958 a 2006 foram feitos por análise da cobertura vegetal a partir de dados recolhidos por detecção remota (fotografia aérea) e aplicação de modelos de biomassa e carbono a diferentes tipos particulares de uso do solo e fases da sua dinâmica. Foi apenas quantificado o carbono presente na biomassa aérea e radicular viva da vegetação e na manta morta (folhada) em cada uma das datas consideradas, não se analisando o carbono ao nível do solo, importante fonte/sumidouro de carbono (FONSECA et al., 2006). Não se analisaram os balanços de carbono ao longo dos ciclos de vida dessas unidades nem as emissões de carbono associadas às práticas culturais dos usos do solo ou à ocorrência de perturbações.

2.1. Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na freguesia de Deilão, localizada no Nordeste de Portugal, Concelho e Distrito de Bragança, constituída pelas aldeias de Deilão, Vila Meã e Petisqueira e com uma área de 4.197 ha. O relevo é globalmente ondulado transitando entre planaltos a altitudes médias entre os 600 e os 900 m e vales encaixados com declives acentuados. A cota mínima surge no leito do rio Maças (500m) e a máxima na povoação de Deilão (958 m). O clima, segundo a classificação bioclimática de Gonçalves (1991), é do tipo Terra Fria de Planalto, com uma precipitação anual de 732 mm e uma temperatura média anual de 12,2 °C. Os solos são predominantemente Cambissolos úmbricos e dístricos (AGROCONSULTORES; COBA, 1991).

A paisagem caracteriza-se por grande diversidade de usos do solo. Essa heterogeneidade reflecte o grau de antropomorfização passado e presente decorrente das diferentes práticas culturais, incluindo o ciclo do fogo, que ao longo da história vão descontinuando as áreas sob domínio da sucessão natural da vegetação, conjugadas com os diferentes tipos de solo e as condições microclimáticas presentes na área de estudo.

A freguesia de Deilão tem elevada importância para a conservação da biodiversidade, encontrando-se integrada ao Parque Natural de Montesinho (PNM), Área Protegida de importância nacional, desde a sua criação, em 1979. Faz parte ainda da Rede Natura 2000 (União Europeia) como Sítio de Importância Comunitária (PTCON0002 – Montesinho/Nogueira) e como Zona

de Protecção Especial para as Aves Selvagens (PTZPE0003-Serras de Montesinho e da Nogueira).

No conjunto das três localidades da freguesia estão registados 219 habitantes, o que corresponde a uma densidade populacional de 5,2 habitantes/km² (INE, 2001). Associado ao crescente declínio do número de habitantes, observa-se aumento do índice de envelhecimento. A taxa de atividade tem registado uma diminuição passando de 42,5% em 1981 para 32,4% em 1991 e apresentando em 2001 um valor de 29% (INE, 1981, 1992, 2001). A população presente dedica-se, maioritariamente, à atividade agrícola. Em 2001, o setor primário (agricultura, produção animal e silvicultura) ocupava 43,5% da população ativa, segundo dados do INE (2001). A população ativa restante da freguesia reparte-se de igual modo (28,3%) pelos setores secundário e terciário.

2.2. Métodos

Utilizaram-se versões digitalizadas (formato TIFF) de fotografias aéreas verticais pancromáticas de largo formato, correspondentes aos anos 1958, 1968, 1980 e 1992 (Instituto Geográfico do Exército, Portugal), posteriormente georreferenciadas e ortoretificadas. Foram também utilizados ortofotomapas de 2006 em formato digital (TIFF), correspondentes ao último Inventário Florestal Nacional realizado em Portugal (Autoridade Florestal Nacional).

Para elaboração das cartas de uso e ocupação do solo das cinco datas em análise, procedeu-se à fotointerpretação em ambiente SIG das respectivas imagens, com base no sistema de classificação do Instituto Geográfico Português, COS2005 (Carta de Ocupação do Solo para Portugal Continental de 2005) (CAETANO et al., 2006). A dimensão mínima utilizada foi de 0,5 ha. Foram feitas verificações de campo nos casos duvidosos relativos aos dados de 2006. A cada polígono das coberturas SIG foi atribuído o código de identificação do nível mais detalhado do sistema de classificação (cinco níveis de agregação).

As modificações do uso/ocupação do solo ocorridas na freguesia de Deilão ao longo do período de 1958 a 2006 foram descritas quantitativamente com base no cálculo das áreas respectivas e de probabilidades de transição, com base na classe de uso do solo do nível hierárquico mais elevado (menos detalhado). Foram calculadas probabilidades de transição entre cada par

de datas consecutivas e entre a primeira (1958) e a última (2006) data da série temporal. As alterações da estrutura da paisagem foram quantificadas para cada data a partir de métricas de composição e configuração da paisagem calculadas em FRAGSTATS (MACGARIGAL; MARKS, 1995).

A metodologia utilizada para estimar os estoques de carbono na paisagem resultou de uma conjugação de distintos métodos de quantificação de biomassa e estimação de carbono, tendo por base trabalhos publicados, cujos resultados ou descrevem ou são aplicáveis aos sistemas presentes na área de estudo e representados na cartografia produzida no passo anterior. Para determinação dos valores de biomassa, dada a variabilidade de informação disponível, optou-se por agrupar as classes de uso do solo de nível 1. Para efeitos de análise, excluiu-se a classe “Área urbana”, restando três classes: (i) Área agrícola, (ii) Área florestal e (iii) Área seminatural. A cada uma dessas classes, aplicaram-se metodologias distintas para a estimação de biomassa e carbono.

Dentro de cada uma das classes, a estimação da biomassa e do carbono foi efetuada em nível da classe mais desagregada, nível 5. Em cada nível, incluíram-se os diferentes componentes do sistema presentes. Para a biomassa das unidades da classe “Área florestal”, foram considerados três componentes: (i) biomassa das árvores, incluindo parte aérea e radicular, (ii) biomassa da folhada e (iii) biomassa da vegetação arbustiva da subcobertura. Para as componentes aérea e radicular do componente arbóreo, recorreu-se às equações de Montero et al. (2005) relativas às 32 principais espécies florestais da Espanha. Essas equações foram utilizadas para os bosques de azinheira (*Quercus rotundifolia*) e povoamentos de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*). Foram determinados valores médios para os parâmetros DAP e densidade, e as estimativas obtidas em nível da árvore individual média foram extrapoladas para o nível do povoamento pela sua multiplicação pela densidade. Consideraram-se por esse motivo as unidades da paisagem internamente homogêneas para efeitos de modificação de escala (upscaling). Para determinação dos parâmetros dendrométricos dos bosques de azinheira (*Quercus rotundifolia*), foram utilizados valores recolhidos por Possacos (2008), numa área que inclui a freguesia de Deilão. Dado o seu pequeno peso na área e o seu lento crescimento e a ausência de um modelo de crescimento para a espécie, considerou-se que, no

período em análise, o diâmetro e a densidade nesses bosques não se alteraram. Para os povoamentos de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) puros e, ou, mistos, usaram-se os dados de Branco (1994) obtidos no Perímetro Florestal de Deilão e de Martins (2005), obtidos numa área ligeiramente superior à da freguesia. A análise diacrônica foi efetuada do presente para o passado. Em cada caso era conhecido o ano aproximado do estabelecimento dos povoamentos, uma vez que todos foram estabelecidos depois de 1958. Foi, dessa forma, estabelecido para cada caso um percurso do diâmetro e da densidade ao longo do tempo, da plantação ao ano das medições registadas por Branco (1994) e Martins (2005). Para a biomassa radicular de ambas as espécies, procedeu-se de forma semelhante, obtendo estimativas de biomassa para a árvore individual extrapoladas para o nível do povoamento pela sua multiplicação pela densidade.

O carbono em nível das unidades florestais foi calculado com base na biomassa estimada no passo anterior e nas porcentagens apuradas por Montero et al. (2005): 47,5% de C/kg de matéria seca no caso da azinheira e 51,1% C/kg de matéria seca no caso do pinheiro-bravo. Para estimação da biomassa e do carbono da folhada e da vegetação arbustiva nos sistemas florestais, adotaram-se os valores de Silva et al. (2006). Neste trabalho, foi quantificada a biomassa consumida em fogos florestais para cada um dos estratos de diferentes tipos de uso do solo naturais e culturais em Portugal.

Na classe “Área seminatural” foram assumidos os valores de biomassa e carbono estabelecidos por Silva et al. (2006) para as subclasses “área ardida” e “vegetação esparsa”. Para as subclasses restantes desta categoria, onde estão incluídos os estevais (matos de *Cistus ladanifer*), urzais (matos de *Erica* spp.) e giestais (matos de *Cytisus* spp.), foram considerados os valores obtidos por Ramos (2008) numa área do Parque Natural de Montesinho.

Na biomassa da área agrícola foram utilizados os valores apresentados por Silva et al. (2006) relativos à biomassa consumida pelo fogo por unidade de área e por tipo de ocupação. No trabalho desses autores, a biomassa das áreas agrícolas foi calculada com base nos modelos de combustível do “National Forest Fire Laboratory” (NFFL), que se fizeram corresponder às diferentes classes de ocupação do solo do tipo agrícola

ou agroflorestal e respectivos valores de biomassa (carga de combustível) associados. Para estimação da biomassa radicular, foi assumido que esta é igual a 0,5 da biomassa área. Estimou-se o carbono presente, utilizando o fator de conversão de biomassa em carbono de 0,5 (WATSON et al., 2000a; COTTA, 2008).

Todos os cálculos foram efetuados por unidade de área (ha), sendo depois multiplicados pela área de cada polígono. Os procedimentos descritos foram seguidos de igual modo para todos os anos em análise. Para construção dos mapas de carbono total acumulado na paisagem em cada data em análise, foi utilizada a informação do uso do solo relativa ao nível da classe mais desagregada (nível 5). Uma descrição pormenorizada da metodologia seguida pode ser encontrada em Pinheiro (2009).

3. RESULTADOS

3.1. Alterações na composição e configuração da paisagem

Entre 1958 e 2006, verificaram-se alterações relevantes na ocupação do solo na freguesia de Deilão, sendo a mais distinta o aumento da área florestal (Tabela 1). No ano 1958 havia uma ocupação residual de cerca de 33 ha (menos de 1% da área), chegando a 2006 com 1.354 ha (32%) de ocupação. O valor máximo de área florestal foi obtido em 1992, com 1.635 ha (39%) (Tabela 1). A área agrícola decresceu de 53% da área da freguesia (2.228 ha) em 1958 para cerca de 37% (1.525 ha) em 2006, mas de forma gradual (Tabela 1). Uma análise mais detalhada da alteração do uso/ocupação do solo pode ser feita com base nas probabilidades de transição entre usos do solo para cada par de anos consecutivos e entre o início e final do período de observações que quantificam, efetivamente, as trocas (ou a sua manutenção) entre usos do solo ocorridas na freguesia (Tabela 2).

Na totalidade do período em estudo (1958-2006), constatou-se que a área florestal foi a que, entre os usos não urbanos, maior tendência apresentou para se manter inalterada, seguida pela área agrícola e área seminatural. As áreas de agricultura abandonadas foram, sobretudo, ocupadas por matos (27,15%) ou por florestas (15,73%). As florestas cresceram, no entanto, sobretudo à custa das áreas de matos (50,82%), embora estes, no mesmo período, tivessem ocupado 19,35% das áreas florestais (Tabela 2). Genericamente, verificaram-se, em nível dos períodos entre observações, as tendências descritas para a totalidade do período de análise. Podem se observar, no entanto, as transições associadas a processos particulares com o aumento das florestações (1980-1992 e 1992-2006), em que aumentou a frequência da área seminatural que transita para a área florestal, ou o decréscimo de área agrícola entre 1958 e 1968, com elevada frequência das áreas desta classe a serem ocupadas por áreas de matos.

Apesar de não ter havido alteração dos grandes tipos de unidades da paisagem nesse período, observou-se uma repartição desses usos na paisagem de forma mais equilibrada (Figura 1). Isso é expresso, principalmente, pelos índices de diversidade e equitabilidade (Figura 1a), mas também pelo aumento muito acentuado do número de manchas e pelo aumento da extensão de orlas e diminuição do índice de contágio (Figura 1b). O índice LPI, que indica a porcentagem da paisagem ocupada pela maior mancha presente na paisagem, diminuiu muito acentuadamente entre 1958 e 2006 (Figura 1b). O aumento da heterogeneidade na paisagem assim verificado é mais bem explicado considerando os usos do solo em nível individual. Observou-se que a área florestal e a área seminatural aumentaram em número de manchas, enquanto a área agrícola diminuiu (Figura 1c). Aumentou também a área média das manchas e as orlas da classe área florestal, diminuindo no caso da área agrícola e área seminatural

Tabela 1 – Área ocupada por classe de uso do solo (nível 1) na freguesia de Deilão, ao longo do período entre 1958 e 2006.
Table 1 – Land use class areas (level 1) in the Deilão parish over the 1958-2006 period.

Ano	Área agrícola		Área florestal		Área semi-natural		Área urbana	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1958	2227,9	53,1	33,1	0,8	1922,1	45,8	14,2	0,3
1968	1871,7	44,6	459,2	10,9	1849,8	44,1	15,9	0,4
1980	1778,3	42,4	1023,6	24,4	1377,1	32,8	17,9	0,4
1992	1576,0	37,5	1635,4	39,0	964,7	23,0	21,2	0,5
2006	1542,9	36,8	1353,8	32,3	1277,7	30,4	23,2	0,6

Tabela 2 – Matrizes de probabilidade de transição entre os principais usos do solo na freguesia de Deilão em anos consecutivos e limites (1958 e 2006).**Table 2** – Probability transition matrices among major land uses in the Deilão parish for consecutive and limit years.

	Área agrícola	Área florestal	Área seminatural	Área urbana
1958-1968				
A. agrícola	0,6996	0,0942	0,2052	0,0010
A. florestal	0,0138	0,7262	0,2600	0,0000
A. seminatural	0,1627	0,1173	0,7200	0,0000
A. urbana	0,0296	0,0000	0,0000	0,9704
1968-1980				
A. agrícola	0,8293	0,0667	0,1029	0,0011
A. florestal	0,0324	0,7906	0,1770	0,0000
A. seminatural	0,1138	0,2894	0,5968	0,0000
A. urbana	0,0033	0,0000	0,0000	0,9967
1980-1992				
A. agrícola	0,8287	0,0673	0,1031	0,0010
A. florestal	0,0342	0,9045	0,0613	0,0000
A. seminatural	0,0492	0,4280	0,5217	0,0012
A. urbana	0,0039	0,0000	0,0004	0,9957
1992-2006				
A. agrícola	0,9354	0,0198	0,0449	0,0000
A. florestal	0,0243	0,8223	0,1534	0,0000
A. seminatural	0,0778	0,3844	0,5377	0,0000
A. urbana	0,0477	0,0000	0,0403	0,9120
1958-2006				
A. agrícola	0,5675	0,1573	0,2715	0,0036
A. florestal	0,0091	0,7975	0,1935	0,0000
A. seminatural	0,1443	0,5082	0,3468	0,0006
A. urbana	0,0196	0,0000	0,0000	0,9804

(Figura 1d-e). O índice LPI decresceu acentuadamente na área agrícola e na área seminatural e aumentou na área florestal (Figura 1f).

3.2. Estimativas de biomassa e carbono

A biomassa viva e folhada presente na área de estudo passou de 41.285 t (toneladas de matéria seca, designada por t daqui em diante, neste artigo) em 1958 para 149.197 t em 2006 (Tabela 3). Representando apenas 2.842 t de biomassa em 1958 (7% da biomassa da paisagem), as florestas atingiram, em 2006, cerca de 131.445 t (88%). Contrariamente, a área agrícola, com uso de menor biomassa por unidade de área, foi ao longo dos tempos diminuindo de importância e passou de 11.205 t em 1958 (27%) para 6.469 t em 2006 (5%). Também, a biomassa da área seminatural sofreu forte diminuição: totalizava 27.239 t (66%) em 1958 e 11.850 t (7%) em 2006. Essas diminuições se deveram à redução da área agrícola à seminatural (em termos absolutos) e à diminuição menos que proporcional da sua biomassa

no conjunto dos usos. Em termos de produção de biomassa no período em consideração, observou-se crescimento médio anual a uma taxa de 0,54 t/ha/ano.

As variações descritas para a biomassa são seguidas muito de perto pelas variações em carbono, dada a proporcionalidade entre ambas. O carbono total fixado na paisagem aumentou de 20.572 tC (4,9 tC/ha) em 1958 para 75.449 tC (18,0 tC/ha) em 2006, o que corresponde a uma taxa anual média de fixação de carbono de 0,272 tC/ha/ano (Tabela 3).

Biomassa e carbono na área agrícola por unidade de área são relativamente baixos em qualquer das datas consideradas (Tabela 3). A área seminatural apresentou ligeiras oscilações nesse período, com decréscimo em 2006. A área florestal, em contrapartida, depois de sofrer redução em 1968, resultante da plantação de uma área muito significativa que diluiu a biomassa por uma área muito extensa, aumentou sistematicamente a biomassa e o carbono por unidade de área, particularmente entre

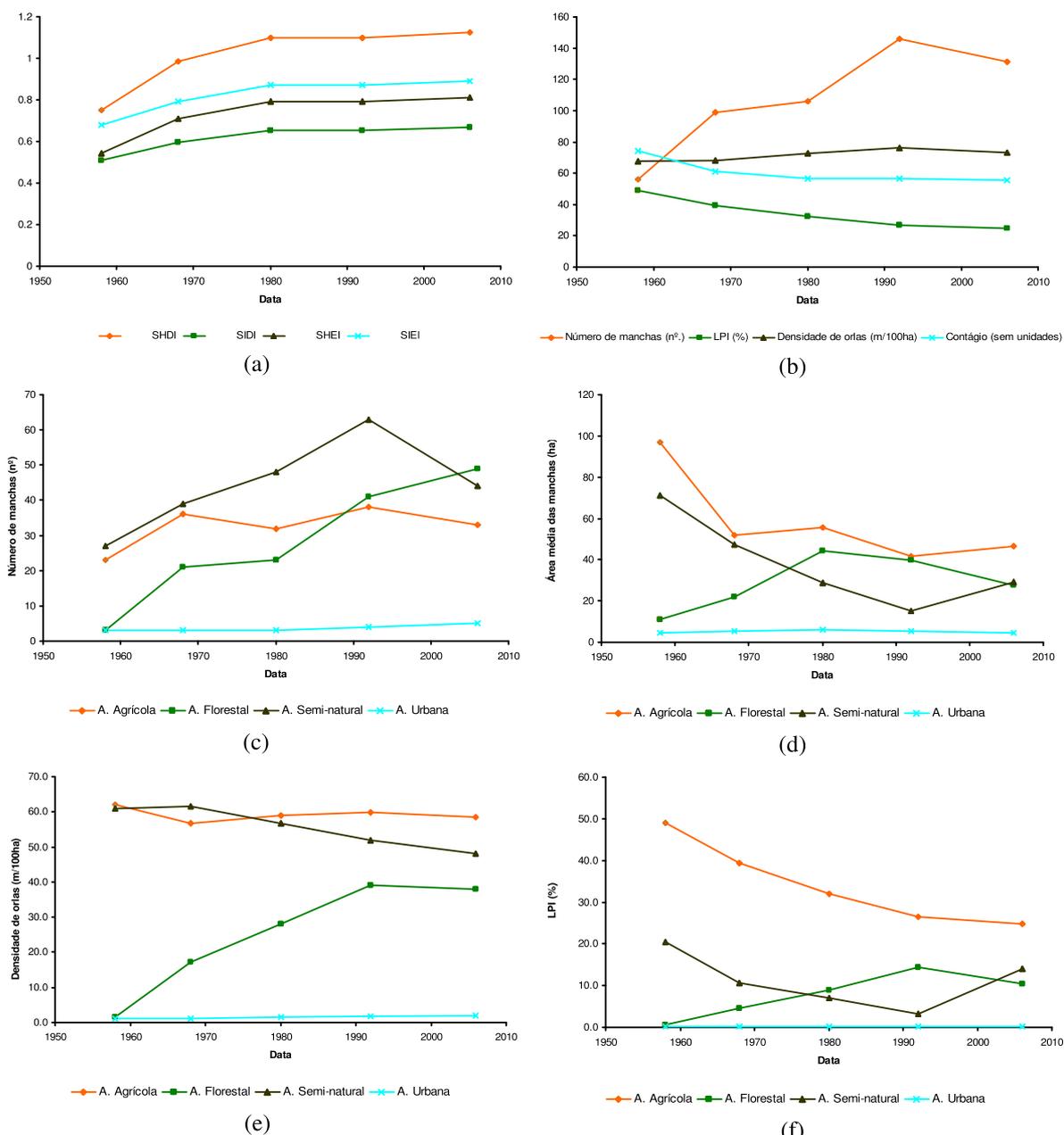


Figura 1 – Variação de algumas métricas da paisagem quantificadas ao nível da paisagem (a,b) e da classe (c-f) considerando a classificação do uso do solo mais genérica (nível 1) na freguesia de Deilão ao longo do período de 1958 a 2006. **a)** Índices de Diversidade e de Equitabilidade (SHDI – Índice de Diversidade de Shannon, SIDI - Índice de Diversidade de Simpson, SHEI – Índice de Equitabilidade de Shannon, SIEI - Índice de Equitabilidade de Simpson); **b)** Número de manchas, LPI (percentagem da área ocupada pela mancha de maior dimensão na paisagem), Densidade de orlas e Contágio; **c a f)** Número de manchas, Área média de manchas, Densidade de orlas e LPI por uso do solo.

Figure 1 – Variation in some landscape metrics calculated at the landscape (a,b) and class (c-f) levels based upon the most general land use classification (level 1) in the Deilão parish over the 1958- 2006. **a)** Diversity and Evenness Indices (SHDI – Shannon’s Diversity Index, SIDI – Simpson’s Diversity Index, SHEI – Shannon’s, SIEI – Simpson’s Evenness Index); **b)** Number of patches, LPI (percentage of the landscape correspondent to the larger patch, Edge density and Contagion); **c a f)** Number of patches, Mean patch size, Edge density and LPI by land use class.

Tabela 3 – Biomassa e carbono total, por uso do solo e por ano na freguesia de Deilão, no período de 1958 a 2006.
Table 3 – Total biomass and carbon by land use and year in the Deilão parish over the 1958-2006 period.

	Área Agrícola			Área florestal			Área seminatural			Total	
	(t)	(t/ha)	(%)	(t)	(t/ha)	(%)	(t)	(t/ha)	(%)	(t)	(t/ha)
1958											
Biomassa	11204,6	5,0	27,1	2841,7	85,9	6,9	27238,4	14,2	66,0	41284,7	9,9
Carbono	5602,3	2,5	27,2	1350,2	40,8	6,6	13619,2	7,1	66,2	20571,7	4,9
1968											
Biomassa	8492,7	4,5	18,7	8481,6	18,5	18,7	28401,7	15,4	62,6	45376,0	10,9
Carbono	4246,4	2,3	18,9	4056,9	8,8	18,0	14200,9	7,7	63,1	22504,1	5,4
1980											
Biomassa	9384,8	5,3	11,9	51338,2	50,2	64,8	18468,4	13,4	23,3	79191,4	18,9
Carbono	4692,4	2,6	12,0	25149,1	24,6	64,4	9234,2	6,7	23,6	39075,7	9,4
1992											
Biomassa	8649,1	5,5	7,9	88803,9	54,3	81,2	11850,0	12,3	10,8	109303,0	26,2
Carbono	4324,6	2,7	7,9	44834,0	27,4	81,4	5925,0	6,1	10,8	55083,6	13,2
2006											
Biomassa	6469,3	4,2	4,3	131444,9	97,1	88,1	11282,4	8,8	7,6	149196,6	35,7
Carbono	3234,7	2,1	4,3	66573,2	49,2	88,2	5641,2	4,4	7,5	75449,1	18,1

1968 e 1980 e entre 1992 e 2006. Valores de biomassa e carbono por unidade de área foram, na data mais recente, de 97,1 e 49,2 tC/ha, respectivamente (Tabela 3).

Especialmente, as variações na distribuição do carbono na paisagem acompanharam o padrão de abandono da agricultura e desenvolvimento da floresta (Figura 2). Foram notórios a progressiva expansão das unidades de valores de carbono fixado mais elevados, a concentração dessas unidades a Noroeste até 1992, o desaparecimento dessas unidades e o desenvolvimento de áreas com valores de carbono fixado mais elevados a Sudoeste, em 2006. A dinâmica espacial da distribuição do carbono na paisagem observada foi devida aos processos já referidos: abandono, florestação e incêndios.

4. DISCUSSÃO

O mundo rural em Portugal encontra-se em profunda mudança. Desde meados do século passado, sobretudo a partir dos anos de 1970 e nas áreas mais deprimidas do interior, onde se verificaram alterações significativas no território, em níveis político, econômico e social. A paisagem sintetiza grande parte dessas alterações e dos seus efeitos, sendo seu monitoramento de particular importância na documentação dessas alterações, mas também como forma de identificar padrões e prever consequências sobre processos fundamentais (e bens e serviços dos ecossistemas associados), como aqueles associados à conservação da biodiversidade, do solo e da água.

O abandono das terras agrícolas e, ou, a substituição de culturas anuais por culturas perenes, de menor manutenção, como as arborizações florestais, têm sido uma das tendências de ocupação do solo mais recentes (MOREIRA et al., 2008). Neste trabalho, observaram-se alterações importantes na composição e configuração da paisagem. A freguesia, que em 1958 era dominada por áreas agrícolas e matos, em 2006 apresentava composição mais equilibrada, na qual agricultura e floresta dividiam a ocupação principal do solo, sendo, no entanto, os matos ainda importantes. O aumento da área florestal deveu-se à expansão de plantações de pinheiro-bravo na região, parte de investimentos do Estado português na arborização de baldios e outras áreas, sobretudo entre 1968 e 1992. Essa expansão foi conseguida, em grande medida, à custa das áreas de matos (seminaturais). A agricultura, por sua vez, cedeu parte importante aos matos, indicador habitual de abandono. A paisagem tornou-se também mais heterogênea em relação a números, dimensões, frequência de orlas e formas das unidades da paisagem presentes. Parte das alterações observadas nessa freguesia foram verificadas noutras regiões do país (MOREIRA et al., 2001, 2008; COELHO-SILVA, 2006).

O fogo, presença recorrente ao longo da história do território e dos ecossistemas mediterrânicos, tem contribuído também para a alteração da paisagem na freguesia de Deilão, afetando a dinâmica espacial dos

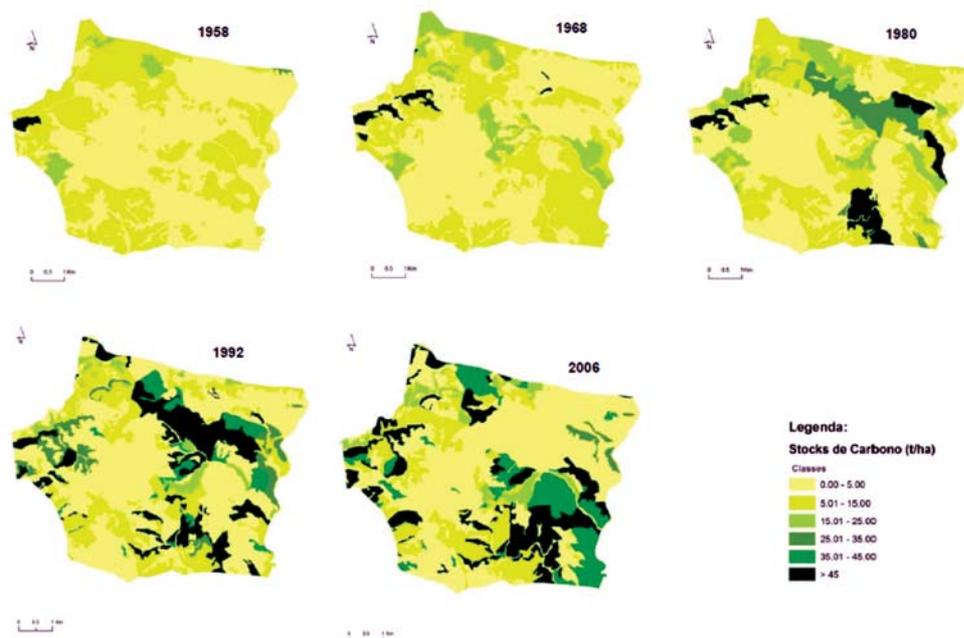


Figura 2 – Distribuição do carbono fixado na paisagem da freguesia de Deilão, entre 1958 e 2006.

Figure 2 – Distribution of fixed carbon in the Deilao parish landscape from 1958 to 2006.

usos do solo. O decréscimo na área florestal observado entre 1992 e 2006, por exemplo, resultou de um incêndio ocorrido em 2005, no qual arderam cerca de 600 ha (15% da área da freguesia). Transferências entre classes no mesmo período, nomeadamente entre área florestal e área seminatural, podem ser explicadas também pela ocorrência de incêndios.

Às alterações da paisagem descritas corresponderam aumentos na biomassa e no carbono na paisagem da ordem de 261 e 267%, respectivamente, atingindo em 2006 valores médios de 35,7 t/ha e 18,1 tC/ha. O aumento do carbono fixado na paisagem ocorre a uma taxa média anual de 0,272 tC/ha/ano (Tabela 3). Esse aumento se deve à expansão da área florestal e ao crescimento dos povoamentos florestais instalados. Em 1958, a área florestal consistia em apenas 33 ha de bosque de azinheira. As plantações de pinheiro-bravo realizadas principalmente após 1968 substituíram usos do solo aos quais estão associados estoques modestos de carbono por floresta e o uso do solo que maiores quantidades de biomassa produz. Com o crescimento desses povoamentos, a biomassa e o carbono aumentaram exponencialmente e deverão continuar a aumentar mesmo com a ocorrência de incêndios.

Dada a escassez de trabalhos que analisam o abandono na perspectiva da fixação de carbono na vegetação à escala da paisagem, a avaliação dos resultados deste trabalho por comparação com outros torna-se difícil. Vuichard et al. (2008), por exemplo, analisaram o sequestro de carbono ao fim de nove anos de abandono da agricultura na antiga União Soviética, mas, sobretudo, ao nível do solo. Vários trabalhos examinaram variações de biomassa e carbono em florestas em grande escala alargada, porém excluíram usos do solo não florestais. Hu e Wang (2008), por exemplo, quantificaram a acumulação de biomassa e carbono em áreas florestais na Carolina do Sul, EUA, muitas das quais resultaram de abandono de agricultura ocorrida nos anos de 1930. Entre 1936 e 2005, eles registaram aumento de 44,47 tC/ha para 74,56 tC/ha, representando uma taxa média de crescimento de 0,44 tC/ha/ano. Em 1936, a área tinha uma cobertura florestal da ordem dos 45%, valor nunca atingido pela área de estudo (Tabela 1), passando para cerca de 70% em 2005. No entanto, os balanços são feitos apenas das áreas florestais, e não é considerada a heterogeneidade devida aos usos não florestais.

Em nível da densidade de carbono das classes individuais consideradas neste trabalho, embora não

possam ser comparados com os valores observados noutras partes do mundo (COTTA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009), os valores obtidos na área de estudo encontram-se de acordo com os observados em várias regiões temperadas e mediterrâneas (AREVALO et al., 2009; HU; WANG, 2008; KARJALAINEN, 2003). Os valores dos pinhais na área de estudo foram, no entanto, modestos quando comparados com os dos pinhais de elevada produtividade em regiões mais atlânticas de Portugal (LOPES, 2005; CORREIA et al., 2008).

Este estudo permitiu avaliar alterações na paisagem e no carbono nelas fixado, com base em dados obtidos por detecção remota. Levou-se em conta apenas o carbono retido na biomassa viva e na manta morta do solo (folhada), não considerando, por isso, o solo, o componente dos ecossistemas terrestres responsável pelo armazenamento da maior quantidade de carbono (WATSON et al., 2000b). Isso se deveu aos objetivos principais do trabalho, como também à impossibilidade de realizar avaliações diacrônicas do carbono do solo na paisagem nos últimos 50 anos. A componente biomassa viva dos ecossistemas e a folhada têm, no entanto, peso elevado nesses sistemas e correspondem à fracção responsável pela fixação de carbono em escalas temporais curtas. Constituem objetivos para o futuro a avaliação do carbono do solo na paisagem atual e o estabelecimento de um programa de monitorização dos ecossistemas e da paisagem em alteração, particularmente no nível do carbono fixado em todos os componentes dos ecossistemas e dos balanços de fixação e libertação de carbono atmosférico.

Os resultados deste estudo permitiram a conclusão de que, entre 1958 e 2006, a freguesia de Deilão alterou substancialmente a composição e configuração da sua paisagem, com perdas significativas da área agrícola e expansão das áreas florestais, num processo que parece associado ao abandono da agricultura; as modificações na paisagem na freguesia de Deilão resultaram em aumento da biomassa da ordem de 261%, passando de 9,9 t/ha para 35,7 t/ha no período em análise; o carbono na paisagem aumentou em 267%, passando de 4,9 tC/ha para 18,1 tC/ha no mesmo período; e o aumento do carbono fixado na paisagem ocorreu a uma taxa média anual de 0,272 tC/ha/ano.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Investigação de Montanha e Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança

pela informação e meios disponibilizados para a realização deste trabalho. Ao César Moreira, Anabela Possacos, Ana Teresa Pinto, Marco Antunes e Manuela Martins pela sua contribuição na concretização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- AGROCONSULTORES & COBA. **Carta dos solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal**. Vila Real: PDRITM, UTAD, 1991
- AGUIAR, C. et al. Montanha. In: PEREIRA, H. M. T. et al. (Ed.) **Ecosistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment**. Lisboa: Escolar, 2009. p.295-339.
- AREVALO, C. B. M. et al. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. **Forest Ecology and Management**, v.257, p.1776-1785, 2009.
- AZEVEDO, J. et al. Agriculture abandonment, land-use change and fire hazard in mountain landscapes in Northeastern Portugal. In: LI, C.; LAFORTEZZA R.; CHEN J. (Ed.) **Landscape ecology and forest management: challenges and solutions in a changing globe**. HEP-Springer, 2010. p.329-351.
- BOLLIGER, J. et al. Effects of land-use change on carbon stocks in Switzerland. **Ecosystems** v.11, p.895-907, 2008.
- BRADFORD, J. B. et al. Carbon pools and fluxes in small temperate forest landscapes: Variability and implications for sampling design. **Forest Ecology and Management**, v.259, p.1245-1254, 2010.
- BRANCO, C. L. **Avaliação qualitativa e quantitativa de dois povoamentos de *Pinus pinaster* Ait.no Perímetro Florestal de Deilão**. Bragança: ESAB, IPB, 1994. (Trabalho de Fim de Curso - Gestão de Recursos Florestais)
- CAETANO, M.; NUNES, V.; ARAÚJO, A. **Manual da Carta de Ocupação do Solo de 2005 para Portugal Continental**. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 2006.

- CASPERSEN, J. P. et al. Contributions of land-use history to carbon accumulation in US forests. **Science**, v.290, p.1148-1151, 2000.
- COELHO-SILVA, J. L.; RODRIGUES, O.; BAPTISTA, F. O. Usos da terra e alterações sociais em zonas rurais - caso de Cortiços - Trás-os-Montes. In: CONFERÊNCIA DA AERNA -. Lisboa: Associação Hispano-Portuguesa de Economia dos Recursos Naturais e do Ambiente/ISCTE, 2006. 10p.
- CORREIA, A. et al. O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, 1., 2008, Lisboa. **CLIMA 2008**. Lisboa: 2008. p.1-4.
- COTTA, M. K. et al. Quantificação de Biomassa e estimativa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio Seringueira-Cacau. **Revista Arvore**, v.32, n.6, p.969-978, 2008.
- DEAN, C.; ROXBURGH, S.; MACKAY, B. G. Forecasting landscape-level carbon sequestration using gridded, spatially adjusted tree growth. **Forest Ecology and Management**, v.194, n.1, p.109-129, 2004.
- DOMINGOS, T. et al. Promotores de alterações nos ecossistemas. In: PEREIRA, H. M. T. (Ed.) **Ecossistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment**. Lisboa: Escolar, 2009. p.57-89.
- FANG, H. J. et al. Impact of soil redistribution in a sloping landscape on carbon sequestration in Northeast China. **Land Degradation and Development**, v.17, n.1, p.89-96, 2006.
- FONSECA, F. et al. Avaliação do efeito de operações de preparação do terreno no armazenamento e distribuição de carbono em jovens povoamentos florestais. In GALLARDO LANCHO, J. F. (Ed.) **Medioambiente en Iberoamérica: vision desde la física y la química en los albores del Siglo XXI**. Cáceres: Ediciones Mundi-Prensa, 2006. Tomo II. p.487-495.
- GARCIA-GONZALO, J. et al. Impacts of forest landscape structure and management on timber production and carbon stocks in the boreal forest ecosystem under changing climate. **Forest Ecology and Management**, v.241, n.1/3, p.243-257, 2007.
- GONÇALVES, D. A. O clima e os ecossistemas Agro-Ecológicos do Parque Natural de Montezinho. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA NOS PAISES SUL DA EUROPA, 2. 4ª Secção - Climatologia. Faro:1991. p.18.
- HU, H.; WANG, G. G. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina Piedmont between 1936 and 2005. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.5, p.1400-1408, 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – INE. **Censos 81: Norte**. Lisboa: 1981.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – INE. **Censos 91: resultados provisórios: I Norte**. Lisboa: 1992.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – INE. **Censos 2001: resultados definitivos. Norte**. Lisboa: 2001.
- IPCC. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 1-18.
- KARJALAINEN, T. et al. Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget. **Forest Policy and Economics**, v.5, n.2, p.141-155, 2003.
- LOPES, D. M. M. **Estimating net primary production in *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* ecosystems in Portugal**. 291f. (PhD) - Kingston University, 2005.
- MARTINS, N. M. S. **Contribuição para um Plano de Gestão Florestal do Baldio de Vila Meã (Parque Natural de Montesinho)**. Bragança: ESAB, IPB, 2005. (Relatório Final de Estágio - Engenharia Florestal)
- MCGARIGAL, K.; MARKS B. J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Washington: USDA, 1995. (For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351. Washington: USDA, 1995. 122p.)

- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. **Producción de biomassa y fijación de CO₂ por los bosques españoles**. Madrid: INIA, 2005. 270p. (Serie Florestal, 13)
- MOREIRA, F. et al. Landscape changes and breeding bird assemblages in northwestern Portugal: the role of fire. **Landscape Ecology**, v.16, n.1, p.175-187, 2001.
- MOREIRA, F.; RUSSO, D. Modelling the impact of agricultural abandonment and wildfires on vertebrate diversity in Mediterranean Europe. **Landscape Ecology**, v.22, p.1461-1476, 2007.
- MOREIRA, C.; CASTRO, J.; AZEVEDO, J. Landscape change in a mountainous area in Northeastern Portugal: implications for management. In: PANAGOPOULOS, T.; BURLEY, J. B.; CELIKYAY, S. (Ed.) **New aspects of urban planning and transportation: proceedings of the 12 WSEAS international conference on urban planning and transportation**. Bragança: WSEAS Press, 2008. p.122-126.
- PAN, Y. D. et al. Separating effects of changes in atmospheric composition, climate and land-use on carbon sequestration of US Mid-Atlantic temperate forests. **Forest Ecology and Management**, v.259, n.1, p.151-164, 2009.
- PEREIRA, H. M. et al. (Ed.) **Ecosistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment**. Lisboa: Escolar, 2009. 734p.
- RAMOS, M. A. B. **Matos do Parque Natural de Montesinho**. Erosão hídrica e dinâmica do carbono: um estudo à micro-escala com simulação de chuva. 2008. Dissertação (Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza) - Universidade Açores, Ponta Delgada, 2008.
- RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de Biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Arvore**, v.33, p.917-926, 2009.
- SCHULP, C. J. E.; NABUURS, G. J.; VERBURG, P. H. Future carbon sequestration in Europe - Effects of land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.127, n.3-4, p.251-264. 2008
- SHIVELY, G. E. et al. Carbon sequestration in a tropical landscape: an economic model to measure its incremental cost. **Agroforestry Systems**, v.60, p.189-197, 2004.
- SILVA, T. et al. Estimativa de emissões atmosféricas originadas por fogos rurais em Portugal. **Silva Lusitana**, v.14, n.2, p.239-263, 2006.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**, United Nations. New York: 1997
- VUICHARD, N. et al. Carbon sequestration due to the abandonment of agriculture in the former USSR since 1990. **Global Biogeochemistry Cycles**, v.22, p.1-8, 2008.
- WATSON, R. T. et al. **Land use, land-use change, and forestry**. Cambridge: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000a
- WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C.; MOSS, R. H. **The regional impacts of climate change**. Cambridge: IPCC, Cambridge University Press, 2000b. 527p.