

# Evolução Temporal do Carbono Armazenado em Povoamentos Florestais Jovens: Efeito da Intensidade de Preparação do Terreno

**\*I. Gonçalves, \*\*F. Fonseca e \*\*T. de Figueiredo**

**Sumário.** As modificações que se processam ao nível do solo, causadas pelas técnicas de preparação do terreno, muitas vezes de elevada intensidade, podem exercer grande influência sobre a qualidade do solo e a sua capacidade em armazenar carbono. Neste contexto, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar o armazenamento de carbono em jovens povoamentos florestais, 7 anos após a sua instalação (em 2009), com recurso a diferentes técnicas de preparação de terreno e comparar os resultados com os obtidos 2 anos após a sua instalação (em 2004), de modo a analisar a evolução e recuperação do sistema. Para avaliação da massa de carbono no sistema foram analisadas amostras de solo, de vegetação herbácea, de horizonte orgânico e de biomassa das espécies florestais (*Pseudotsuga menziesii* e *Castanea sativa*). As amostras de solo foram colhidas nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 e 30-60 cm. As amostras da vegetação herbácea e do horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m<sup>2</sup>, nos mesmos locais onde se efetuaram as recolhas das amostras de solo, antes da abertura das trincheiras. Depois de uma primeira análise dos resultados observa-se que, ao fim de 7 anos, a quantidade de carbono armazenada no solo é inferior à registada em 2004 (2 anos após a instalação) e tanto menor quanto mais intensiva foi a técnica de preparação do terreno aplicada. Também, o carbono presente na vegetação herbácea diminuiu tendo-se formado ao longo do tempo um horizonte orgânico (que após a instalação do povoamento não existia), acrescentando carbono ao sistema. Quanto às espécies florestais, verificou-se um aumento no armazenamento de carbono comparativamente a 2004. Globalmente, observa-se uma redução do armazenamento de carbono no sistema, para a qual o compartimento solo contribuiu largamente, mostrando que, ao fim de 7 anos, ainda são notórios os efeitos causados pelas técnicas de preparação do terreno.

**Palavras-chave:** Armazenamento de Carbono, Espécies florestais, Solo.

---

\* Técnica em Gestão de Recursos Florestais

Associação Agro-Florestal e Ambiental da Terra Fria Transmontana (ARBOREA), Largo Toural Ed Casa Povo, 5320-311 VINHAIS

\*\* Investigador do CIMO/Professor Adjunto do Departamento de Ambiente e Recursos Naturais Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança/ESA, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 BRAGANÇA

1º Autor E-mail: [isabelg@arborea.pt](mailto:isabelg@arborea.pt)

### **Temporal Evolution of Carbon Stored in Young Forest Stands: Effects of Site Preparation Intensity**

**Abstrat.** The changes that occur at the level of the soil, caused by the techniques of land preparation, which are often of high intensity, may have a major influence on the quality of the soil and its capacity to store carbon. In this context, the present study has as a main goal to evaluate the carbon storage in young forest stands 7 years after their settling (in 2009), using different techniques of land preparation and comparing the results with the ones obtained 2 years after their settling (in 2004), in order to analyse the evolution and recuperation of the system. To evaluate the carbon contained in the system we determined the carbon contained in the biomass of the forest species (*Psedotsuga menziesii* e *Castanea sativa*), in the biomass of the herbaceous vegetation and organic horizon and also in the soil samples. The soil samples were collected in the depths of 0-5cm, 5-15cm, 15-30cm and 30-60cm. We proceeded to the collection of the samples of the herbaceous vegetation and of the organic horizon within an area of 0.49m<sup>2</sup>, in the same locations where the collection for the soil samples were made, before the opening of the trenches, in the various treatments. After the analyses of the results we observed that, after 7 years, the amount of carbon stored in the soil is inferior than the one registered in 2004 (2 years after its settling) and as less as the technique for land preparation was intensive. Also the carbon present in the herbaceous vegetation lessened, having an organic horizon formed itself as time went by (which did not exist after the settling of the stand), adding carbon to the system. Regarding the forest species, there was an increase in the carbon storage comparatively to 2004, namely in the *PM* species. Globally we can observe a reduction in the carbon storage in the system to which the soil compartmentalization has largely contributed demonstrating that, after seven years, it has not yet recuperated from the disturbances caused by the techniques of land preparation, in what concerns carbon storage.

**Key-words:** Carbon storage; Forest species; Soil.

## 1 - Introdução

Desde que foi reconhecido que as florestas são parte integrante do ciclo de carbono, tem-se prestado mais atenção à sua gestão, uma vez que esta tem grandes implicações na concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera (HARMON e MARKS, 2002). A capacidade de retenção e armazenamento de carbono (C) pelas florestas, é de tal forma importante para o ciclo global do carbono, que estão consideradas pelo Protocolo de Quioto como sumidouros de carbono e podem ser contabilizadas para cumprir as metas estabelecidas, no Protocolo, para o período 2008-2012. Em termos globais, as florestas são o reservatório de carbono mais importante na biosfera terrestre, devido à sua capacidade de acumular grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, quer na biomassa vegetal, quer na matéria orgânica do solo (CORREIA, 2006; GONZÁLEZ e GALLARDO, 2007).

O carbono presente nos ecossistemas terrestres distribui-se normalmente por quatro compartimentos principais: a biomassa aérea, os sistemas radiculares, o horizonte orgânico e o carbono orgânico do solo (ACEÑOLAZA *et al.*, 2007). O carbono orgânico contido no solo é o principal componente do ciclo do carbono, constituindo assim, a maior reserva de carbono terrestre (GONZÁLEZ e GALLARDO, 2007). É conhecido, que a nível global, os solos podem armazenar cerca de duas a três vezes o equivalente ao carbono contido na vegetação e de forma mais estável, podendo mesmo exceder o da atmosfera e o da biomassa dos ecossistemas terrestres, considerados conjuntamente (MADEIRA *et al.*, 2004; ABRIL e NOÉ, 2007; CERRI *et al.*, 2007; GONZÁLEZ e GALLARDO, 2007). Existem no entanto, vários fatores que influenciam a capacidade de armazenamento de carbono pelo ecossistema, como sendo as espécies florestais presentes, as características do solo e do clima, e não menos importante, as técnicas de gestão utilizadas (GONZÁLEZ e GALLARDO, 2007). De facto, as características do solo e a gestão aplicada são fatores chave, para a produtividade florestal e para a consequente acumulação de carbono no sistema.

As perturbações causadas sobretudo pelas técnicas de preparação do terreno, aplicadas quando da instalação dos povoamentos florestais e em fases posteriores, na exploração dos povoamentos, podem intervir de forma negativa na capacidade de acumulação de carbono no solo. O sistema de gestão das plantações florestais é determinante na qualidade do solo, fator de entre os que afetam a produtividade florestal é o mais facilmente modificado pelos sistemas de gestão (FABIÃO *et al.*, 2007).

As técnicas de preparação de terreno implicam a rutura dos agregados do solo e aceleram a oxidação da matéria orgânica, com o aumento do processo erosivo. Geralmente na bibliografia vem descrito, que numa fase inicial (10-20 anos), ocorre uma rápida perda de carbono orgânico, estabilizando lentamente, atingindo um equilíbrio passados 50-60 anos (GALANTINI e IGLESIAS, 2007). Parte do aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico, nos últimos 150 anos, tem sido atribuída à oxidação da matéria orgânica do solo, no entanto, o emprego de técnicas apropriadas de gestão do solo permitiriam voltar a retirar esse carbono da atmosfera (CERRI *et al.*, 2007; GALANTINI e IGLESIAS, 2007). Por este motivo e pela capacidade que os solos têm no armazenamento de carbono, tornam-se cada vez mais importantes os estudos que permitam avaliar as variações de carbono no solo.

Pelos motivos e interesse já apresentados, este trabalho pretende avaliar o armazenamento de carbono em jovens povoamentos florestais, 7 anos após a sua instalação, e comparar os resultados com os obtidos 2 anos após a sua instalação, de modo a analisar a evolução e recuperação do sistema.

Para tal avaliou-se o carbono armazenado:

- na biomassa das espécies florestais;
- na biomassa da vegetação herbácea e horizonte orgânico;
- nas amostras de solo a várias profundidades.

## 2 - Material e métodos

### 2.1 - Campo Experimental: localização

O presente trabalho desenvolveu-se nos blocos I e III do campo experimental instalado entre novembro de 2001 e março de 2002, em Lamas de Podence, concelho de Macedo de Cavaleiros, distrito de Bragança, com as coordenadas geográficas 41° 35' N e 6° 57' W. O campo está situado entre os 670 e os 701 m de altitude, com relevo que varia de ondulado suave a ondulado, localizando-se o bloco I na parte mais elevada do campo experimental, numa área sedimentar, aplanada, com declive médio de 6% e o bloco III, numa zona de encosta com declive de 12% (FONSECA, 2005). A litologia deriva de materiais quartzosos e xistentos, com predominância do xisto no bloco III e quartzo com sedimentos areno-argilosos no bloco I. A temperatura média anual é de 12,3°C e a precipitação média anual é de 758,3 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea (IM, 2012). Na área do campo experimental, os solos originais integram-se nas associações de

unidades Leptosolos dístricos órticos de xistos (bloco III) e Cambissolos dístricos crômicos de sedimentos detríticos não consolidados (bloco I) (AGROCONSULTORES e COBA, 1991).

## 2.2 - Técnicas de preparação do terreno ensaiadas

Este trabalho desenvolveu-se nos blocos I e III onde se repetem 5 técnicas de preparação do terreno (tratamentos) com diferentes graus de intensidade de mobilização e armação do terreno: (TSMO - Testemunha sem mobilização; SRVC - Sem ripagem prévia, com armação do terreno em vala e câmara por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens; RLVC - Ripagem localizada profunda, até cerca de 70 cm, com armação do terreno em vala e câmara por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens; RCVC - Ripagem contínua profunda, até cerca de 70 cm, com armação do terreno em vala e câmara por lavoura profunda, até cerca de 90 cm, com duas passagens). As parcelas experimentais apresentam dimensões de 375 m<sup>2</sup> cada (25 x 15 m) perfazendo uma área experimental de cerca de 1 hectare, onde foram plantadas as espécies *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), num compasso de 4 x 2 m (4 m entre linhas e 2 m entre plantas na linha), com 12 plantas cada (24 PM e 24 CS).

## 2.3 - Avaliação da massa de carbono no sistema

Para a avaliação do armazenamento de carbono no sistema foi determinada a biomassa das espécies florestais, analisadas amostras de vegetação herbácea (VH), de horizonte orgânico (HO) e de solo a várias profundidades. A biomassa das espécies florestais foi dividida em 5 componentes - tronco, ramos, raminhos (ramos do ano), folhas e raízes - e estimada através de equações estabelecidas com base nos dados de biomassa e parâmetros dendrométricos avaliados em 2004 (FONSECA, 2005) (Quadro 1). A biomassa aérea e radical das espécies florestais foi determinada a partir de 16 árvores (8 PM e 8 CS) em tratamentos de intensidade de mobilização intermédia (RLVC) e intensiva (RCLC), selecionadas de acordo com a altura média das árvores de cada espécie na parcela, com a restrição de não existirem falhas à volta da árvore a observar. De modo a tornar possível a comparação dos dados obtidos nos anos 2004 e 2009, para ambos os anos estimou-se a biomassa a partir das equações aqui apresentadas e converteu-se a biomassa em carbono, assumindo que 50% da biomassa é carbono, como aliás é frequentemente aceite por vários autores (LACLAU, 2003; NUNES e LOPES, 2009).

Quadro 1 - Equações para estimativa da biomassa das espécies PM e CS.

Espécie	Componente	n	a	b	r <sup>2</sup>	Equações
PM	Tronco	8	0,214	1,831	0,981***	$B_1 = 0,214 \times d^{1,831}$
	Ramos	8	0,010	2,528	0,866**	$B_2 = 0,010 \times d^{2,528}$
	Raminhos	8	0,033	2,124	0,894**	$B_3 = 0,033 \times d^{2,124}$
	Folhas	8	0,287	1,899	0,909**	$B_4 = 0,287 \times d^{1,899}$
	Raízes	8	0,071	2,198	0,915***	$B_5 = 0,071 \times d^{2,198}$
	Biomassa Total	8	0,541	2,018	0,943***	$BT = 0,541 \times d^{2,018}$
CS	Tronco	8	1,865	1,263	0,581*	$B_1 = 1,865 \times d^{1,263}$
	Ramos	8			0,720*	$B_2 = 0,151 \times d^2 - 5,462 \times d + 76,311$
	Raminhos	8	2,449	0,081	0,907**	$B_3 = 2,449 e^{0,081}$
	Folhas	8	0,323	1,787	0,822*	$B_4 = 0,323 \times d^{1,787}$
	Raízes	8			0,839**	$B_5 = 6,803 \times d - 72,774$
	Biomassa Total	8			0,961***	$B_2 = 0,408 \times d^2 + 3,522 \times d + 19,627$

d - diâmetro do caule ao nível do solo

n=8 - árvores amostradas no terreno

As amostras de vegetação herbácea e de horizonte orgânico foram colhidas numa área de 0,49 m<sup>2</sup>, nos mesmos locais onde posteriormente se efetuou a colheita das amostras de solo. Nos tratamentos com armação do terreno em vala e câmor (SRVC, RLVC e RCVC), foram selecionados de forma aleatória 5 locais na linha de plantação e 5 na entre linha por tratamento e bloco. Seguiu-se a colheita da vegetação herbácea e do horizonte orgânico, quando presentes. Nos tratamentos TSMO e RCLC, devido à homogeneidade das parcelas, foram apenas colhidas 5 amostras de vegetação herbácea e 5 de horizonte orgânico, por tratamento e bloco.

A biomassa da vegetação herbácea foi dividida em biomassa aérea e biomassa das raízes, a parte aérea foi colhida no terreno e a respetiva concentração de carbono foi obtida a partir de análises laboratoriais das amostras. A biomassa das raízes foi quantificada com base na relação parte aérea / parte subterrânea determinada a partir dos dados de 2004 obtendo-se um rácio de 0,23 para o cálculo e assumindo, da mesma forma, que 50% da biomassa é C.

Nos mesmos locais onde se colheu a vegetação herbácea e o horizonte orgânico, procedeu-se à colheita de amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-15, 15-30 e 30-60 cm, da mesma forma nos tratamentos com armação do terreno em vala e câmoros (SRVC, RLVC e RCVC), as colheitas foram efetuadas em 10 locais (5 na linha de plantação e 5 na entre linha de plantação) por tratamento e bloco, nas diferentes profundidades.

Nos tratamentos TSMO e RCLC, dada a homogeneidade das parcelas, as recolhas de campo apenas foram efetuadas em 5 locais, por tratamento e bloco, para as profundidades definidas.

Na determinação da massa de carbono (MC) do solo por unidade de área ( $\text{kg m}^{-2}$ ) utilizou-se a seguinte equação:

$$MC = C \times MTF$$

(1)

C - concentração de carbono ( $\text{g kg}^{-1}$ )

MTF - massa de terra fina (kg)

Na determinação da quantidade total de carbono nos solos dos tratamentos com armação do terreno em vala e câmoros, ponderou-se com as percentagens de área, representativas da linha de plantação (LP) e entre linha (EL).

#### 2.4 - Metodologia analítica das amostras

As análises físicas foram efetuadas no Laboratório de Solos da ESAB.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da UTAD, de modo a seguir a mesma metodologia das análises já efetuadas no trabalho desenvolvido em 2004 (FONSECA, 2005).

O carbono orgânico foi determinado em analisador elementar de carbono, por combustão a  $1100^{\circ}\text{C}$  e deteção por NIRD, em uso no Laboratório de Solos da UTAD. O teor de carbono da biomassa vegetal e dos resíduos do horizonte orgânico foi determinado através da incineração de 1g amostra submetida a  $450^{\circ}\text{C}$ , durante 6 horas.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com base em análises de variância e testes de comparação múltipla de médias (Tukey, 5%). Nesta análise utilizaram-se como fatores os tratamentos e os anos.

### 3 - Resultados e discussão

#### 3.1 - Armazenamento de carbono nas espécies florestais

A quantidade de carbono armazenada na biomassa das espécies florestais (biomassa aérea e subterrânea) em 2009 é superior para a espécie *Pseudotsuga menziesii* (PM), a qual não apresenta diferenças significativas entre o tratamento SRVC (mobilização moderada do solo) e o tratamento RCLC (mobilização intensiva do solo). A espécie *Castanea sativa* (CS) mostra valores significativamente superiores para o tratamento de mobilização de maior intensidade (RCLC). Por comparação dos resultados obtidos em 2004 e 2009 verifica-se que ocorreu um incremento significativo de carbono, tanto para a espécie PM como para a espécie CS, o que é mais visível no tratamento RCLC (Figura 1).

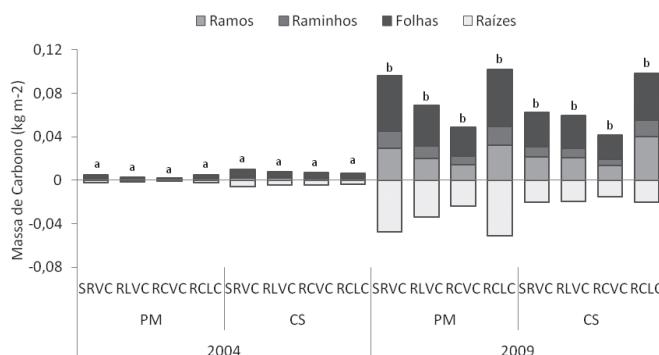


Figura 1 - Carbono armazenado nos componentes da biomassa aérea (ramos, raminhos e folhas) e subterrânea (raízes) das espécies PM e CS nos anos 2004 e 2009, de acordo com os tratamentos SRVC, RLVC, RCVC e RCLC. Para o mesmo tratamento, colunas com letras diferentes diferem significativamente os anos ( $p < 0,05$ ).

A seleção das espécies florestais a instalar é um aspeto importante a ter em consideração, principalmente quando os povoamentos são instalados com o objetivo de sequestrar carbono (SILVER *et al.*, 2000). Árvores com um crescimento mais rápido, como é o caso da espécie PM, poderão acumular maior quantidade de carbono em igual período de tempo se comparadas com outras de crescimento mais lento.



Nos tratamentos aqui em apreciação, a proporção biomassa aérea / biomassa radical em 2009 segue a mesma tendência de evolução comparativamente a 2004 (biomassa aérea cerca de 2 a 3 vezes superior à biomassa radical), embora a biomassa radical armazene carbono por períodos de tempo mais longos (FONSECA, 2005). Na espécie CS esta proporção é maior do que na espécie PM.

No que respeita aos componentes aéreos, observa-se maiores quantidades de carbono nas folhas (com cerca de 40% do total do carbono), em relação aos restantes componentes isolados (tronco, ramos e raminhos) nas duas espécies, e um aumento dos valores acumulados em relação a 2004.

### 3.2 - Armazenamento de carbono na vegetação herbácea

O armazenamento de carbono na vegetação herbácea diminuiu em relação a 2004, para todos os tratamentos, o que poderá ser explicado através da formação de um horizonte orgânico, que dificultou o crescimento da vegetação herbácea e que em 2004 não estava presente (Figura 2).

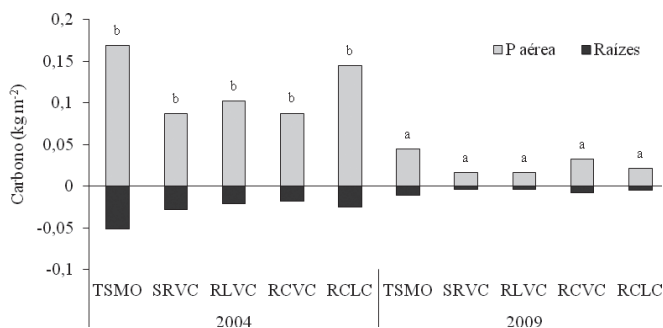


Figura 2 - Carbono armazenado na vegetação herbácea (VH) (parte aérea e raízes) nos diversos tratamentos, nos anos 2004 e 2009. Para o mesmo tratamento, colunas com letras diferentes diferem significativamente os anos ( $p < 0,05$ ).

O contributo da parte aérea e das raízes da vegetação herbácea é pouco expressivo, na ordem dos 0,69% do total do carbono armazenado no sistema. ORDÓÑEZ *et al.* (2008) refere para vegetação herbácea desenvolvida em povoamentos florestais no México, proporções da parte aérea / parte subterrânea idênticas às encontradas neste estudo. De facto, o crescimento da vegetação herbácea pode ser condicionado pela presença de espécies arbóreas, neste caso as espécies florestais PM e CS, que à medida que vão crescendo, vão dando origem a um horizonte

orgânico formado pela folhada e outras partes vegetais da árvore. Pode-se dizer que de uma maneira geral, o padrão normal na vida dos povoamentos florestais com boa ocupação do espaço aéreo, será o de criar cada vez mais ensombramento à medida que as árvores se vão desenvolvendo, o que determinará um menor desenvolvimento da vegetação em subcoberto (MADEIRA *et al.*, 2002).

### 3.3 - Armazenamento de carbono no horizonte orgânico

A formação de um horizonte orgânico é de uma importância primordial na dinâmica do carbono nos ecossistemas florestais, quer como fonte de matéria orgânica, quer como reservatório de nutrientes a longo prazo (CRUZADO *et al.*, 2007).

Como era esperado, de 2004 a 2009 formou-se um horizonte orgânico à superfície do solo, o qual acrescentou carbono ao sistema. O tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC) e o tratamento de mobilização moderada (SRVC) são os que apresentam valores de carbono mais elevados no compartimento em apreciação (Figura 3). Esta constatação poderá em parte ser explicada pela maior acumulação de biomassa nas espécies neste tratamento, o que equivalerá a maior produção de resíduos orgânicos.

Quando se analisa a acumulação de carbono no conjunto vegetação herbácea e horizonte orgânico no ano 2009, verifica-se que em relação ao ano 2004, ocorreu um acréscimo de carbono no sistema (Figura 3).

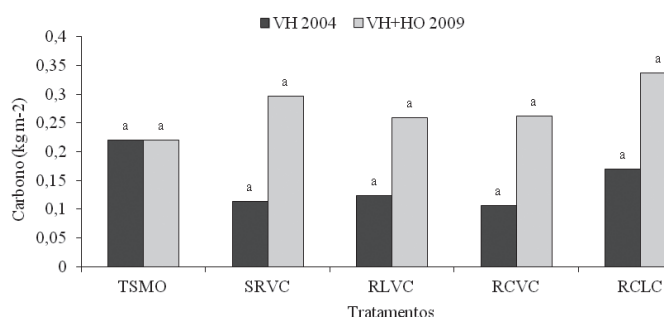


Figura 3 - Carbono armazenado ( $\text{kg m}^{-2}$ ) na vegetação herbácea (VH) em 2004 e no conjunto vegetação herbácea e horizonte orgânico (VH + HO) em 2009, nos diversos tratamentos. Para a mesma variável, colunas com letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

### 3.4 - Armazenamento de carbono nos horizontes minerais do solo

De um modo geral, no ano 2009 observa-se uma redução da acumulação de carbono em todas as classes de profundidade e em todos os tratamentos, comparativamente ao solo original (TSMO) e aos valores registados em 2004. A mineralização da matéria orgânica e as trocas gasosas com a atmosfera processam-se mais rapidamente nas camadas superficiais, sendo nas profundidades 0-5 e 5-15 cm onde se observam os teores mais baixos de carbono. Mais de 62% do carbono situa-se nas camadas mais profundas (15-60 cm), atingindo o tratamento RCLC nesse intervalo de profundidade, cerca de 65% do total de carbono armazenado no solo (Figura 4).

Apesar de não se verificarem diferenças significativas entre os teores de carbono armazenados no solo entre os anos 2004 e 2009, estes tendem a ser mais baixos no ano 2009 em todos os tratamentos. Até aos 30 cm de profundidade, o tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), apresenta quantidades de carbono mais baixas comparativamente aos restantes tratamentos. Ao contrário, na camada mais profunda (30-60 cm), a quantidade de carbono armazenada é sistematicamente mais elevada para o tratamento referido.

Em comparação com os valores de 2004, pode verificar-se que a quantidade de carbono presente no solo original (TSMO) teve um ligeiro acréscimo no tempo, principalmente nas camadas mais profundas (15-30 e 30-60 cm) (Figura 4). Relativamente aos restantes tratamentos, independentemente da intensidade da mobilização, os teores de carbono no solo de 2004 para 2009, diminuíram em todas as profundidades, excetuando no tratamento RCLC, em que houve um ligeiro aumento na profundidade 0-5 cm, o que poderá atribuir-se à acumulação de folhada, mas sobretudo à formação de raízes finas das árvores e da vegetação herbácea, que são determinantes na acumulação de carbono nas camadas minerais do solo (MADEIRA *et al.*, 2009).

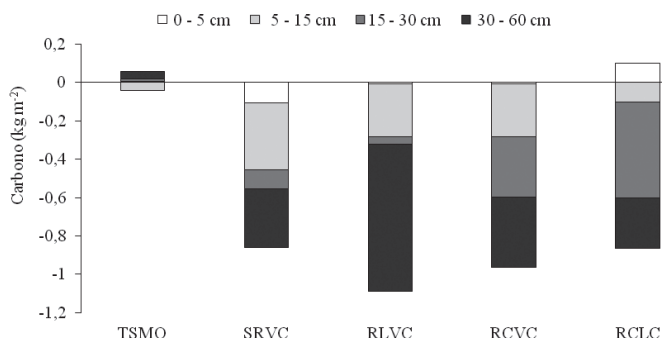


Figura 4 - Variação do teor de carbono por classe de profundidade do solo ( $\text{kg m}^{-2}$ ), relativamente aos valores de 2004.

O decréscimo do teor de carbono no solo, após a instalação dos povoamentos, é frequentemente atribuído à preparação do terreno. Neste sentido quanto mais intensa for a perturbação mecânica causada no solo, maior será o impacto no decréscimo do carbono, por aceleração na decomposição da matéria orgânica e aumento das perdas por erosão hídrica (TURNER e LAMBERT, 2000).

### 3.5 - Armazenamento total de carbono no sistema

Globalmente observa-se uma redução do armazenamento de carbono de 2004 para 2009, com exceção do tratamento TSMO (solo original) (Figura 5).

O carbono armazenado na biomassa das espécies florestais registou um aumento em todos os tratamentos, com especial relevância no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), devido como já foi referido, ao grande desenvolvimento das árvores. Também se registaram ganhos relacionados com a formação de um horizonte orgânico, através da deposição da folhada e outros resíduos provenientes das árvores e da vegetação herbácea. No que respeita à vegetação herbácea e ao solo, verificou-se o inverso, ou seja a tendência foi para diminuir no tempo (Figura 5).

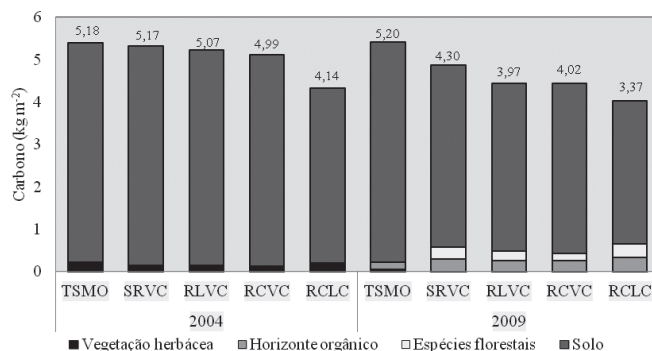


Figura 5 - Carbono total armazenado ( $\text{kg m}^{-2}$ ) nos vários compartimentos do sistema, nos anos 2004 e 2009.

Os resultados apresentados na Figura 5 mostram que em 2009, à semelhança de 2004, mais de 87% do carbono armazenado no sistema encontra-se no solo, atingindo valores superiores a 95% no solo original (TSMO). Desta forma, o solo foi o compartimento que mais contribuiu para a redução do total de carbono armazenado no sistema. Em comparação com o solo original (TSMO), as maiores

perdas de carbono foram registadas no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), apesar dos ganhos de carbono correspondentes às espécies florestais e ao horizonte orgânico. PONCE-HERNÁNDEZ (1999) refere que ao contrário da maioria dos ecossistemas tropicais onde o armazenamento de carbono é processado principalmente na biomassa, nos sistemas temperados e frios o solo constitui o principal reservatório.

#### 4 - Conclusões

Os resultados mostram que apesar dos contributos do horizonte orgânico e da biomassa das espécies florestais, globalmente verificou-se uma redução no teor total de carbono armazenado no sistema, em relação a 2004 e comparado com a situação de solo original (TSMO), tanto mais acentuada quanto mais intensiva foi a mobilização do solo. Esta redução deve-se essencialmente às perturbações causadas no solo pelas técnicas de preparação do terreno, sendo no tratamento de mobilização mais intensiva (RCLC), onde se verificou a maior redução nos teores totais de carbono por unidade de área.

À semelhança de 2004 também os tratamentos de mobilização intermédia (SRVC e RLVC), foram os que apresentaram menores perdas totais de carbono no tempo.

As conclusões deste trabalho permitem colocar em evidência que as perturbações causadas no solo pelas técnicas de preparação do terreno, refletem-se ao longo do tempo e não apenas no momento da instalação dos povoamentos. Poderá levar alguns anos até que o sistema consiga encontrar novamente o equilíbrio, pois decorridos sete anos ainda continua a verificar-se uma redução na quantidade de carbono no solo.

#### Referências bibliográficas

- ABRIL A. e NOÉ L., 2007. Balance de carbono del suelo según el uso de la tierra en la región Árida-Semiárida Central da Argentina. In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 22-35.
- ACEÑOLAZA, P., ZAMBONI, L.P., LANCHO, J.F.G., 2007. Estimación de carbono en tres bosques de la llanura aluvial del bajo Paraná (R. Argentina). In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 39-51.

- AGROCONSULTORES e COBA, 1991. *Carta dos Solos do Nordeste de Portugal*. UTAD, Vila Real.
- CERRI, P.E.C., FEIGL, J.B., BERNOUX, M., CERRI, C.C., 2007. Estimativas de sequestro de carbono em solos do Brasil: pastagem bem manejada, cultivo de cana-de-açúcar sem queima e sistema de plantio direto. In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 107-121.
- CORREIA, P.C.A., 2006. Floresta, Ciclo do Carbono e Alterações Climáticas. [Consult. 21 de Abril de 2010]. Disponível em: [www.naturlink.pt](http://www.naturlink.pt)
- CRUZADO, C.P., SALINEIRO, P.M., SOALLEIRO, R.R., 2007. Captura de C en terrenos agrícolas reforestados con *Pinus radiata* en el norte de España. In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/ Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 195-212.
- FABIÃO, A., MADEIRA, M., CORTEZ, N., MAGALHÃES, M.C., RIBEIRO, C., 2007. As plantações de eucalipto e o solo. In *O eucalipto em Portugal: impactes ambientais e investigação científica*, ISAPress, Lisboa, pp. 137-174.
- FONSECA, F., 2005. *Técnicas de preparação do terreno em sistemas florestais - implicações no solo e no comportamento das plantas*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto-Douro. Tese de Doutoramento.
- GALANTINI, J.A., IGLESIAS, J.O., 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región pampeana de Argentina. In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 169-182.
- GONZÁLEZ, M.I., GALLARDO, J.F., 2007. Capacidad de secuestro de C de suelo de castañares del oeste Español. In *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos*, RED POBAICA/Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca (España), pp. 183-193.
- HARMON, M.E. e MARKS, B., 2002. Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir-western hemlock forest in the Pacific Northwest, USA: results from a simulation model. *Can. J. For. Res.* **32**: 863-877.
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA, IP., 2012. *Normais Climatológicas. Bragança. Período 1971/2000*.
- LACLAU, P., 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management* **180**: 317-333.
- MADEIRA, M., AZEVEDO, A., SOARES, P., TOMÉ, M. E 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* **2** (1/2):158-169.
- MADEIRA, M., FABIÃO, A., PÁSCOA, F., 2009. Carbono e nutrientes na biomassa aérea arbórea, vegetação sob coberto e solo numa cronosequência de povoamentos de pinhal bravo. *Revista de Ciências Agrárias* **32** (2):154-170.

- MADEIRA, M., RICARDO, P.R., CORREIA A., GARCEZ, A., MONTEIRO, F., RAPOSO, A.J., CONSTANTINO, T.A., DUARTE, M.J., 2004. Quantidade de carbono orgânico nos solos de Portugal Continental e particularidades nos solos do Noroeste e dos montados Sul. *Edafologia* **11** (3):279-293.
- NUNES, L. e LOPES, D., 2009. Quantificação do carbono fixado em povoamentos mistos no Norte de Portugal. Repositório Científico do Instituto Politécnico de Viseu. *Revista Millenium* Número **37** (<http://hdl.handle.net/10400.19/335>).
- ORDÓÑEZ, J.A.B., DE JONG B.H.J., GARCÍA-OLIVA F., AVIÑA F.L., PÉREZ J.V., GUERRERO G., MARTÍNEZ R., MASERA, O., 2008. Carbon content in vegetation, litter and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* **255**: 2074-2084
- PONCE-HERNÁNDEZ, R., 1999. Assessing the carbon stock and carbon sequestration potential of current and potential land use systems and the economic rationality of land use conversions. *FAO World Resources Reports* **86**: 79-94.
- SILVER, W.L., OSTERTAG, R. E LUGO, A.E., 2000. The potential for carbon sequestration throug reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology* **8** (4): 394-407.
- TURNER, J. e LAMBERT, M.J., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. and Manage.* **133**: 231-247.

