

MEDIOAMBIENTE EN IBEROAMÉRICA

Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI

Juan F. Gallardo Lancho
(Editor y coordinador)



**Sociedad Iberoamericana
de Física y Química Ambiental**



Tomo II

Fotografía portada: Cataratas de Iguazu.

Copyright: Juan F. Gallardo Lancho.

ISBN-13: 978-84-611-0352-2

978-84-611-0393-5

ISBN-10: 84-611-0352-1

84-611-0393-9

Depósito Legal: BA-189/2006

Imprime: Gráficas Diputación de Badajoz (España).

Tomo: II

AValiação DO EFEITO DE OPERações DE PREPARação DO TERRENO NO ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO EM JOVENS POVOAMENTOS FLORESTAIS

F. Fonseca¹, A. Martins², T. de Figueiredo¹, A. Guerra¹ & C. Nogueira¹

¹Escola Superior Agrária de Bragança, Apartado 1172, 5301-855 Bragança (Portugal).
<ffonseca@ipb.pt>. (Portugal)

²Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-911
Vila Real (Portugal). <amartins@utad.pt>.

Evaluation of the effect of soil mechanical operations before plantation on the carbon storage and distribution on young forest stands

Abstract

Taking into account the importance of carbon sequestration on forest systems and the impacts on it related to the stand management, it was sampled the above-ground and below-ground biomass (herbaceous vegetation and forest species) and the soil on a mixed stand of *Pseudotsuga menziesii* (PM) and *Castanea sativa* (CS), with two years old in order to evaluate the impact of soil mechanical operations before plantation on the carbon storage and distribution. The experimental field was established near Macedo de Cavaleiros, Northern Portugal, at 700 m elevation, mean annual temperature 12°C and mean annual rainfall 800 mm, with a typically Mediterranean seasonal distribution (INMG, 1991). The experimental layout includes 3 blocs in different topographic situations (high plan, deep slope and gently slope) where the different treatments corresponding to different intensity degrees of mobilization were randomly distributed (high, moderate and light intensity), in plots with an area of 375 m² each one. The obtained results showed: (i) more than 90 % of the total carbon stored in the system is located in the soil, increasing with depth with tillage intensity; (ii) the contribution of herbaceous vegetation and related roots to the carbon storage is very low, but the amount of carbon per tree is higher in CS than in PM; (iii) The global carbon storage was affected by soil mobilization generally showing a decreasing with tillage intensity.

Key Words: carbon, soil, mechanical operations, forest

Introdução.

Considerando as limitações dos solos geralmente ocupados por floresta - deficiente suporte radical, fraca estabilidade, deficiente reserva de água e carências de nutrientes, é prática corrente recorrer-se a trabalhos de preparação do terreno, envolvendo mobilizações mais ou menos intensas, de forma a diminuir ou eliminar essas limitações (Worrell & Hampson, 1997). Porém, a orientação desses trabalhos não tem sido devidamente suportada por resultados experimentais que permitam a selecção das técnicas mais adequadas a cada situação e otimizem a rentabilidade e

a sustentabilidade dos ecossistemas. A correcta instalação de povoamentos florestais, que se traduza em melhor produtividade e menores impactes no solo e no ambiente, prende-se ainda com a crescente preocupação sobre os efeitos no aquecimento do planeta e nas alterações climáticas (Birdsey *et al.*, 1993) e, nesse processo, é fundamental fazer-se a selecção adequada das técnicas de preparação do terreno para novas plantações, para satisfação de um requisito, cada vez mais actual, de gestão sustentada de recursos (Worrell & Hampson, 1997). Os povoamentos florestais armazenam grandes quantidades de carbono, mas a elevada heterogeneidade espacial e temporal nos *stocks* e fluxos de carbono conduzem a grandes dificuldades nas estimativas de carbono armazenado nestes sistemas. A reflorestação contribui directamente para o aumento do armazenamento de carbono através da acumulação deste elemento na biomassa e no solo (Richter *et al.* 1999), podendo ocorrer acumulação de carbono a taxas muito elevadas, principalmente quando se trata de espécies de crescimento rápido (Madeira *et al.*, 2002) e, indirectamente por gerar energia alternativa ao consumo de combustíveis fósseis (Fearnside, 1999; Deckmyn *et al.*, 2004). Existe uma grande variação no período de tempo e na taxa com que o carbono se pode acumular no solo, dependendo da produtividade vegetal, das condições físicas e biológicas do solo, do passado histórico dos ganhos de carbono e das perturbações que ocorrem ao nível do sistema (Post & Kwon, 2000). O carbono orgânico do solo tem um papel fundamental no ciclo global do mesmo e constitui o maior reservatório de carbono terrestre (Post & Kwon, 2000; Chhabra *et al.*, 2003). Cerca de 75% do total de carbono terrestre é armazenado nos solos (Henderson, 1995 cit. Paul *et al.*, 2002), e cerca de 40 % daquela quantidade encontra-se nos solos florestais (Dixon *et al.*, 1994; Huntington, 1995). Contudo, o solo pode funcionar como um reservatório (CO₂ e CH₄) ou como uma fonte (CO₂, CH₄ e N₂O) de gases com efeito de estufa, dependendo do seu uso e gestão (Lal, 1999 cit. Chhabra *et al.*, 2003). A decomposição dos resíduos orgânicos está essencialmente dependente da actividade biológica, pelo que elementos de clima como a precipitação e temperatura têm um efeito importante na variação do carbono no solo após a florestação (Spain, 1990; Post & Kwon, 2000) verificando-se, segundo Paul *et al.* (2002), acréscimos de carbono no solo em regiões de clima tropical, subtropical e continental e pequenas reduções em regiões de clima temperado/mediterrâneo.

Com o presente trabalho, pretende-se estudar os efeitos de diferentes operações de preparação do terreno para instalação de povoamentos florestais, no armazenamento e distribuição de carbono em jovens povoamentos florestais.

Material e métodos.

O campo experimental foi instalado entre Novembro de 2001 e Março de 2002 em Lamas de Podence, concelho de Macedo de Cavaleiros, com as coordenadas geográficas 41° 35' N e 6° 57' W, situado entre os 660 e os 701 m de altitude. A temperatura média anual é de 12 °C e a precipitação média anual de 800 mm, com uma distribuição sazonal tipicamente mediterrânea (INMG,1991). O relevo varia de

ondulado suave a ondulado, e os solos originais integram-se na associação de unidades Leptosolos dístricos órticos de xistos e Cambissolos dístricos crómicos de xistos (Agroconsultores & Coba, 1991). O ensaio engloba três blocos em áreas contíguas, mas com litologia e topografia diferentes. O bloco I situa-se na parte mais elevada da parcela, numa área sedimentar, aplanada, de relevo residual, com declive de 6% e os blocos II e III em zonas de encosta com declives de 22% e 12%, respectivamente, com exposição e litologia idênticas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado dentro de cada bloco, totalizando 3 repetições (blocos) e 7 modalidades de preparação do terreno (tratamentos), que abrangem vários graus de mobilização e armação do terreno, com diferentes intensidades: (1) sem mobilização (testemunha) (TSMO); (2) plantação à cova, com broca rotativa (SMPC); (3) ripagem contínua, seguida de lavoura localizada com ripper equipado com aivequilhos (RCAV); (4) sem ripagem e armação do terreno em vala e câmara (SRVC); (5) ripagem localizada e armação do terreno em vala e câmara (RLVC); (6) ripagem contínua e armação do terreno em vala e câmara (RCVC); (7) ripagem contínua seguida de lavoura contínua (RCLC). As parcelas apresentam dimensões de 25 × 15 m, perfazendo uma área experimental de cerca de 0,9 hectares. As espécies utilizadas foram a *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS), num compasso de 4 × 2 m, em linhas alternadas, num total de quatro linhas (duas de PM e duas de CS), com 12 plantas cada (24 PM e 24 CS), por parcela.

Para obter informação acerca do sequestro de carbono no sistema, foram colhidas amostras de biomassa herbácea e solo numa área de um metro quadrado, correspondendo as amostras de solo às profundidades 0-5; 5-15; 15-30 e 30-60 cm. As amostras de biomassa e de solo foram colhidas em todos os tratamentos e blocos. Nos tratamentos com armação do terreno em vala e câmara (SRVC, RLVC e RCVC) as colheitas foram efectuadas em 10 locais (5 na linha de plantação e 5 na entre linha), enquanto nos tratamentos TSMO, SMPC, RCAV e RCLC foram efectuadas em 5 locais, dada a homogeneidade das parcelas. Todos os locais foram seleccionados de forma aleatória. 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 e intensiva. A biomassa aérea foi separada nas componentes tronco, ramos, raminhos e folhas e a biomassa radical em quatro classes de diâmetro (< 2mm, 2-5 mm, 5-10 mm e 10-20 mm). Cada componente foi pesado antes e após secagem em estufa a 65°C até peso constante. O tratamento estatístico dos dados teve por base análises de variância e testes de comparação múltipla de médias (Tukey, 5%).

Resultados e discussão.

Acumulação de C nos horizontes minerais do solo

O aumento da intensificação da mobilização do solo conduziu a um aumento da acumulação de carbono em profundidade, nomeadamente na camada 30-60 cm, o que pode estar relacionado com a inversão de camadas do solo, por efeito da

mobilização. Por outro lado, a mineralização da matéria orgânica e as trocas gasosas com a atmosfera processam-se de forma mais rápida nas camadas superficiais, sendo na profundidade 0-15 cm onde se registam os teores mais baixos de carbono, o que é mais notório nos tratamentos mais intensivos (RCVC e RCLC) (Quadro 1) também por possível efeito do incremento de oxigenação da camada superficial após a mobilização. De um modo geral, nas duas primeiras classes de profundidade (0-15 e 15-30 cm), os tratamentos de mobilização mais intensiva (RCVC e RCLC) apresentam teores de carbono significativamente mais baixos em relação aos de intensidade média/baixa. Nas camadas mais profundas (15-30 e 30-60 cm), geralmente não se observam diferenças entre os níveis de perturbação do solo e a variação do teor de carbono. O decréscimo do teor de carbono no solo, após a instalação dos povoamentos, é frequentemente atribuído à preparação do terreno (Turner & Lambert, 2000). Neste sentido, quanto mais intensiva for a perturbação mecânica causada no solo maior será o impacto no decréscimo do teor de carbono, por aceleração da decomposição da matéria orgânica e aumento das perdas por erosão hídrica e eólica (Turner & Lambert, 2000).

Profundidade (cm)	Tratamentos						
	TSMO	SMPC	RCAV	SRVC	RLVC	RCVC	RCLC
0 - 5	0,8±0,10 ^{a,a}	0,81±0,07 ^{a,ac}	0,84±0,07 ^{a,a}	0,66±0,06 ^{a,ad}	0,58±0,05 ^{a,bcd}	0,54±0,06 ^{a,bde}	0,33±0,07 ^{a,e}
5 - 15	1,28±0,15 ^{a,a}	1,47±0,16 ^{bc,a}	1,35±0,08 ^{b,a}	1,29±0,15 ^{c,a}	1,18±0,13 ^{b,a}	1,06±0,14 ^{b,ab}	0,73±0,15 ^{a,b}
15 - 30	1,50±0,19 ^{a,a}	1,49±0,07 ^{c,a}	1,74±0,16 ^{c,a}	1,50±0,13 ^{bc,a}	1,42±0,13 ^{b,a}	1,43±0,17 ^{c,a}	1,27±0,18 ^{b,a}
30 - 60	1,45±0,33 ^{a,ab}	1,18±0,10 ^{b,ab}	1,11±0,10 ^{ab,a}	1,68±0,14 ^{b,ab}	1,86±0,17 ^{c,b}	1,67±0,11 ^{c,ab}	1,54±0,17 ^{b,ab}

A primeira letra indica que para o mesmo tratamento, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente as classes de profundidades do solo ($p < 0,05$) (linhas). A segunda letra indica que para a mesma classe de profundidade do solo, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente os tratamentos ($p < 0,05$) (colunas).

Quadro 1.- Acumulação de C (kg m^{-2}) segundo a profundidade do solo, para os tratamentos estudados (média \pm erro padrão)

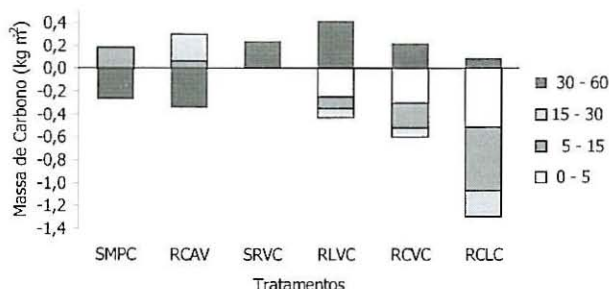


Figura 1.- Acréscimo ou redução do teor de C no solo (kg m^{-2}), relativamente à testemunha (TSMO)

Com o aumento da intensidade de mobilização do solo verifica-se uma redução da concentração de carbono até aos 30 cm de profundidade e um aumento a partir daí, em relação à testemunha (TSMO) (Figura 1). A mobilização para além de misturar e soterrar o solo, quebra os agregados e expõe as superfícies organo-minerais, anteriormente protegidas, à acção dos organismos decompositores (Post & Kwon, 2000). Os mesmos autores, referem que ocorrem perdas de carbono durante o período de estabelecimento de novas plantações enquanto que o ganho de resíduos orgânicos não é suficiente para compensar as perdas por mineralização.

A quantidade de carbono armazenada no solo segue a sequência bloco I > bloco II > bloco III (Quadro 2), sendo a distribuição do carbono nas várias classes de profundidade idêntica nos três blocos. Relacionado com estes resultados podem estar a textura e o rápido *turnover* das raízes finas, quer da vegetação herbácea quer das espécies florestais, que influenciam marcadamente a dinâmica do C (Paul *et al.*, 2002). Segundo Grigal & Berguson (1998) e Post & Kwon (2000), a elevada superfície específica do limo fino e da argila conduzem à formação de complexos organo-minerais que protegem o carbono da oxidação microbiana, aumentando a sua estabilidade. De facto, os blocos I e II apresentam as maiores quantidades de biomassa e o bloco I o maior teor de partículas finas (limo e argila).

Profundidade (cm)	Bloco		
	I	II	III
0 - 5	0,85±0,05 ^{a,a}	0,61±0,05 ^{a,ab}	0,51±0,05 ^{a,b}
5 - 15	1,69±0,09 ^{b,a}	1,04±0,06 ^{b,b}	0,85±0,07 ^{b,b}
15 - 30	1,93±0,12 ^{b,a}	1,31±0,06 ^{bc,b}	1,20±0,06 ^{c,b}
30 - 60	1,92±0,15 ^{b,a}	1,24±0,09 ^{c,ab}	1,34±0,08 ^{c,b}

A primeira letra indica que para o mesmo bloco, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente as profundidades ($p < 0,05$) (linhas). A segunda letra indica que para a mesma profundidade, médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente os blocos ($p < 0,05$) (colunas).

Quadro 2.- Acumulação de C (kg m^{-2}), segundo os blocos

Acumulação de carbono na vegetação herbácea.

A acumulação de C na vegetação herbácea é muito mais elevada na testemunha, o que está relacionado com a não mobilização do solo neste tratamento. O contributo da vegetação herbácea e respectivas raízes é pouco expressivo, cerca de 5 e 0,4% do total de carbono armazenado, respectivamente (Figura 3 A e B).

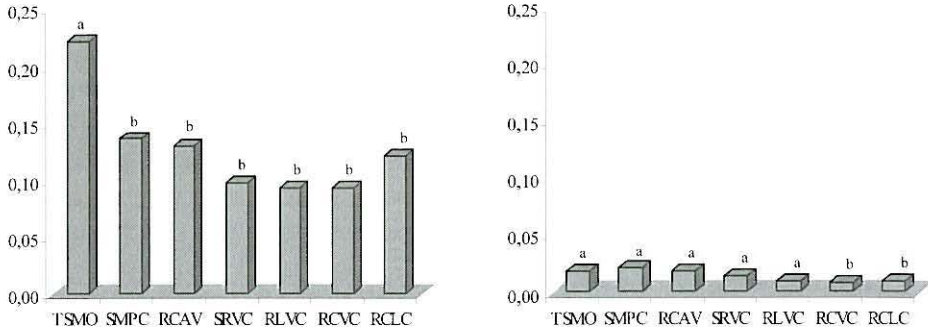


Figura 2.- Massa de C (kg m⁻²) na parte aérea (A) e subterrânea (B) da vegetação herbácea. Colunas com letras diferentes diferem significativamente as tratamentos ($p < 0,05$)

Acumulação de C nas espécies florestais.

A quantidade de C acumulada nas espécies florestais (biomassa aérea e subterrânea) é superior para a espécie CS, a qual apresenta menor acumulação no tratamento de mobilização do solo mais intensiva (RCLC). No que respeita à espécie PM, o aumento da intensidade de mobilização contribuiu para o aumento de sequestro de carbono na biomassa (Figura 3).

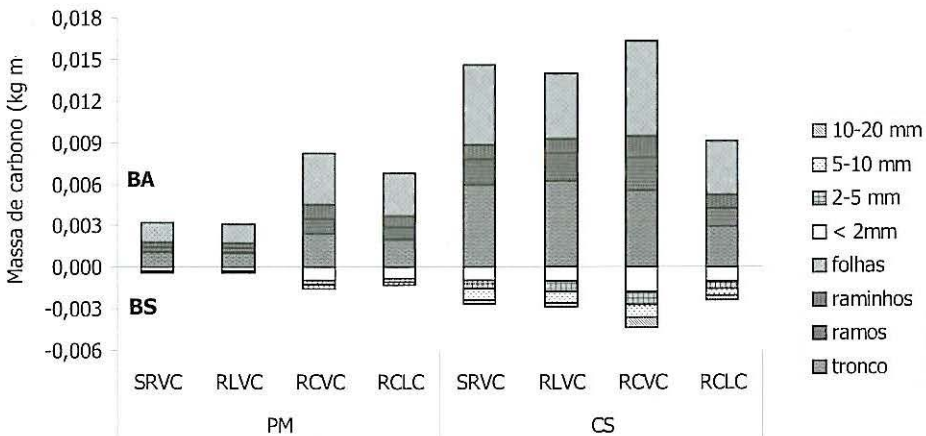


Figura 3.- C nos componentes da biomassa aérea (BA) e biomassa subterrânea (BS), segundo os tratamentos e as espécies

Os valores encontrados para ambas as espécies estão essencialmente relacionados com a produção de biomassa e com a taxa de sobrevivência, apresentando o tratamento RCLC a menor taxa de sobrevivência e a maior produção de biomassa por árvore.

Distribuição do carbono nos diferentes compartimentos do sistema.

A quantidade de carbono acumulada no sistema, 24 meses após a plantação, mostra que as mobilizações pouco intensivas (SMPC, RCAV) e intermédias, (SRVC, RLVC) não produziram efeitos significativos no armazenamento de carbono no solo, observando-se pequenas variações, em relação à situação original (TSMO). Os resultados apresentados no Quadro 3 mostram que mais de 90% do carbono armazenado no sistema se encontra no solo, atingindo valores superiores a 95% no solo original (TSMO) e nos tratamentos de mobilização pouco intensiva (SMPC e RLVC). As mobilizações de intensidade mais elevada (RCVC, RCLC) contribuíram para uma redução significativa do armazenamento de carbono no solo, nomeadamente no tratamento RCLC, que regista uma redução de 25% em relação ao solo original.

Tratamento	Solo	Veg herbácea	Esp florestais	Total	C solo %
TSMO	5,07	0,24	-	5,31	95,5
SMPC	4,95	0,16	-	5,11	96,9
RCAV	5,03	0,15	-	5,18	97,1
SRVC	5,13	0,11	0,21	5,44	94,2
RLVC	5,04	0,10	0,20	5,35	94,3
RCVC	4,69	0,10	0,26	5,06	92,8
RCLC	3,87	0,13	0,20	4,19	92,3

Quadro 3.- Distribuição da massa de C pelos diferentes compartimentos do sistema, segundo os tratamentos

Estas variações podem ser atribuídas à redução dos ganhos de resíduos orgânicos, ao aumento da decomposição da matéria orgânica por oxidação e aos efeitos da mobilização na redução da quantidade de matéria orgânica protegida pelos complexos organo-minerais (Post & Kwon, 2000).

Conclusões.

Os resultados mostram que mais de 90% do total de carbono armazenado no sistema se encontra no solo, sendo que mais de 60% está armazenado nos primeiros 30 cm. Os primeiros 5 cm de solo são os que apresentam menor quantidade de carbono, verificando-se um acréscimo em profundidade com o aumento da intensidade de mobilização. O contributo da vegetação herbácea e respectivas raízes é pouco expressivo. A massa de carbono por árvore é mais elevada em CS do que em PM, e é

idêntica entre tratamentos no caso de *CS* e muito diferente no caso de *PM*. O armazenamento global de carbono foi afectado pela mobilização, ocorrendo geralmente, uma redução no armazenamento com o aumento da intensidade de mobilização.

Agradecimentos.

Os autores agradecem ao Programa Agro, Medida 8, Acção 8.1 (Projecto AGRO nº 156), o suporte financeiro que permitiu a realização deste estudo.

Referências Bibliográficas.

Agroconsultores & Coba. 1991. Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.

Birdsey, R. A., Plantinga, A. J. & Heath, L. S. 1993. Past and prospective carbon storage in United States forests. *Forest Ecology and Management.*, **58**: 33-40.

Chhabra, A., Palria, S. & Dadhwal, V. K. 2003. Soil organic carbon pool in Indian forests. *For. Ecol. and Manage.*, **1739**: 187-199.

Deckmyn, G., Muys, B., Quijano, J. G. & Ceulemans, R. 2004. Carbon sequestration following afforestation of agricultural soils: comparing oak/beechness forest to short-rotation poplar coppice combining a process and a carbon accounting model. *Global Change Biology*, **10**: 1482-1491.

Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C. & Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, **263**: 185-190.

Fearnside, P. M. 1999. Forests and global warming mitigation in Brazil: opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the «clean development mechanism». *Biomass and Bioenergy*, **16**: 171-189.

Grigal, D. F. & Berguson, W. E. 1998. Soil carbon changes associated with short-rotation systems. *Biol. Bioeng.*, **14**: 371-377.

Huntington, T. G. 1995. Carbon sequestration in an aggrading forest ecosystem in the southeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **59**: 1459-1467.

INMG.1991. Normais Climatológicas da Região de «Trás-os-Montes e Alto Douro» e «Beira Interior» Correspondentes a 1951-1980. Fascículo XLIX, Volume 3, 3ª Região, Lisboa.

- Madeira, M. V., Fabião, A., Pereira, J. S., Araújo, M. C. & Ribeiro, C. 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. *For. Ecol. and Manage*, **171**: 75-85.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G. & Khanna, P. K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *For. Ecol. and Manage*, **168**: 241-257.
- Post, W. M. & Kwon, K. C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, **6**: 317-327.
- Richter, D. D., Markewitz, D., Trumbore, S. E. & Wells, C. G. 1999. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature*, **400**: 56-58.
- Spain, A. V. 1990. Influence of environmental conditions and some soil chemical properties on the carbon and nitrogen contents of some tropical Australian rainforest soils. *Aust. J. Soil Res.*, **28**: 825-839.
- Turner, J. & Lambert, M. J. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. and Manage*, **133**: 231-247.
- Worrell, R. & Hampson, A. 1997. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – a review. *Forestry*, **70** (1): 61-85.