

Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo

Cover-management factor and soil and water losses from eucalyptus cultivation and Atlantic Forest at the Coastal Plain in the Espírito Santo State, Brazil

Sérgio Gualberto Martins¹, Marx Leandro Naves Silva²,
Junior Cesar Avanzi³, Nilton Curi⁴ e Sebastião Fonseca⁵**Resumo**

A erosão hídrica tem papel primordial nas perdas de solo e água de áreas agricultáveis. Na cultura do eucalipto, estudos relativos a estas perdas ainda são raros no âmbito nacional. Este estudo objetivou quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta de produção de eucalipto, em mata nativa (Mata Atlântica) e em solo preparado convencionalmente e mantido descoberto, para as principais classes de solo ocorrentes na região dos Tabuleiros Costeiros, no período de novembro de 1997 a março de 2004. Também se objetivou estimar o fator cobertura e manejo do solo para os ambientes acima. O experimento foi conduzido em Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico Distrófico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA2), nas seguintes condições supracitadas. As perdas de solo por erosão hídrica média variaram de 0,04 a 25,55 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Mata Atlântica (FX) e solo descoberto (PA2), respectivamente, sendo que esta mesma tendência foi verificada para as perdas de água. O valor do fator C determinado para o cultivo de eucalipto e Mata Atlântica foi de 0,30 e 0,02, respectivamente. As perdas de solo para a cultura do eucalipto foram bem abaixo dos limites de tolerância admissíveis para os solos referentes a cada classe. Tais perdas de solo ficaram relativamente próximas daquelas no sistema natural, indicando a sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica.

Palavras-Chave: Erosão hídrica, solos coesos, manejo florestal, fator C

Abstract

Water erosion plays a key role on soil and water losses on agricultural land. Studies about this kind of losses from eucalyptus cultivation are still rare across the country. Thus, this work aimed to quantify soil and water losses by water erosion in the eucalyptus production forest, native forest (Atlantic Forest), and bare soil, for main soil classes at the Brazilian Coastal Plain region, between November 1997 and March 2004. The work also aimed to estimate the cover-management factor for the above environments. The experiment was carried out in Yellow Argisol medium/clayey texture (PA1), Dystrophic Haplic Plinthosol (FX), and Yellow Argisol moderately rocky (PA2), under the above conditions. The average soil losses by water erosion ranged from 0.04 to 25.55 Mg ha⁻¹ year⁻¹ for the Atlantic Forest (FX) and bare soil (PA2). This same trend was observed for water losses. The C factor value found in eucalyptus and Atlantic Forest was 0.30 and 0.02, respectively. Soil losses from eucalyptus cultivation were lower than tolerable soil losses for each soil class. Such soil losses were relatively close to those found in the natural system, indicating the sustainability of that environment in the water erosion context.

Keywords: Water erosion, cohesive soils, forest management, C factor

INTRODUÇÃO

A cultura do eucalipto é muito importante na economia de vários países. No Brasil, a área

plantada atingiu 4,3 milhões de hectares em 2008, representando um acréscimo de 7,3% em relação ao ano anterior (ABRAF, 2009). Apesar da grande área cultivada no país, ainda são pou-

¹Professor do Centro Universitário de Lavras – UNILAVRAS, Rua Padre José Poggel, 506, Centenário -37200-000 Lavras, MG - E-mail: sergio.gualberto@unilavras.edu.br

²Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA - Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras, MG - Bolsistas do CNPq - E-mail: marx@dcs.ufla.br

³Pós-Doutorando em Ciência do Solo, DCS-UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: javanzi@dcs.ufla.br

⁴Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA - Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras, MG - Bolsistas do CNPq - E-mail: niltcuri@dcs.ufla.br

⁵Fibria Celulose S.A. Rodovia Aracruz, Barra do Riacho, km 25 - Caixa Postal 331011 - 29197-000 - Aracruz, ES - E-mail: sf@fibria.com.br

cos os estudos relativos às perdas de sedimentos e água oriundos da erosão hídrica, devido principalmente à morosidade, à dificuldade de condução dos experimentos por longo tempo e ao elevado custo.

O processo erosivo, impulsionado pelo escoamento superficial, além de carrear partículas de solo, leva consigo sedimentos enriquecidos em matéria orgânica e nutrientes de plantas e outras partículas finas, que são as frações mais reativas do solo (SILVA *et al.*, 2005; BARROS *et al.*, 2009), reforçando a necessidade de estudos desta natureza.

Um dos primeiros estudos de erosão hídrica em plantios florestais foi desenvolvido por Lima (1996), o qual determinou perdas de solo e água durante quatro anos em Neossolo Quartzarênico cultivado com *Eucalyptus grandis*. Segundo o autor, as perdas para o primeiro ano foram substancialmente superiores às que-las obtidas no quarto ano de cultivo. De acordo com Franco *et al.* (2002) e Gonçalves (2002), o controle de erosão hídrica proporcionado por espécies arbóreas é devido aos efeitos de redução no impacto direto das gotas de chuva no solo, ao aumento da infiltração de água, à manutenção do teor adequado de matéria orgânica e seu efeito agregador nas partículas do solo. Além disso, a vegetação e os resíduos vegetais funcionam como obstáculos ao escoamento de excedentes hídricos, reduzindo o volume e a velocidade da enxurrada. Todos estes fatores contribuem para reduzir as perdas de água por escoamento superficial.

O ciclo da cultura de eucalipto para produção de madeira para celulose varia de seis a sete anos. Neste período, o solo fica praticamente em repouso com crescente acúmulo de material vegetal, devido a quedas de galhos e folhas, constituindo a serrapilheira. Além disso, há o crescimento de sub-bosque, favorecendo a proteção da superfície do solo (MARTINS *et al.*, 2003).

Este estudo teve como objetivos avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta de produção de eucalipto, relacionando-as com as observadas em mata nativa (Mata Atlântica) e em solo descoberto (preparado inicialmente com uma gradagem e mantido sem vegetação durante o ciclo do eucalipto através de capina manual), e compará-las com a tolerância de perdas de solo para as principais classes de solos nos Tabuleiros Costeiros, bem como determinar o fator C para o cultivo florestal, na região de Aracruz, ES.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma microbacia hidrográfica de 286 ha, constituída de plantios de eucalipto e de floresta tropical subperenifólia (Mata Atlântica), situada em área experimental da Fibria Celulose S.A., no Município de Aracruz, ES, entre novembro de 1997 e maio de 2004.

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 23 °C e precipitação média anual de 1.400 mm. A região onde se insere a unidade de pesquisa está situada entre as coordenadas 19°35' e 20°15' de latitude sul e 40°00' e 40°20' de longitude oeste.

O experimento foi instalado nas principais classes de solos existentes na região, originados de sedimentos da Formação Barreiras, a saber: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háplico distrófico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA2). Os solos descritos situavam-se em área sob vegetação nativa. Nestes perfis, analisou-se a textura, utilizando-se o método da pipeta (DAY, 1965). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Os três tratamentos estudados foram: solo descoberto (preparado inicialmente com uma gradagem e mantido sem vegetação durante o ciclo do eucalipto através de capina manual), solo sob cultivo de eucalipto (clones híbridos naturais de *Eucalyptus grandis*) com 7 anos de idade e solo sob Mata Atlântica. Em cada tratamento foi instalado uma parcela de erosão para coleta dos dados de perdas de solo e água. A declividade onde as parcelas foram instaladas encontra-se na Tabela 2.

O preparo do solo adotado para a implantação da cultura do eucalipto foi o cultivo mínimo com coveamento manual de 0,3 x 0,3 x 0,3 m. Resíduos da colheita anterior, tais como cepas, folhas, galhos e madeira da ponta das árvores permaneceram na área. Foi realizado o controle de mato-competição no pré-plantio utilizando-se herbicida de pós-emergência, aplicado em área total, em duas aplicações.

A avaliação das perdas de solo e água foi realizada em parcelas instaladas no campo com dimensões de 12 m de largura e 24 m de comprimento no sentido do declive para o solo cultivado com eucalipto plantado em nível, e parcelas de 4 m de largura e 12 m de comprimento no sentido do declive para o solo sob Mata Atlântica (sistema em equilíbrio) e para solo sem cobertura (sistema de máxima perda de solo). Os valores médios de perdas de solo

por erosão hídrica no sistema eucalipto foram comparados com o Incremento Médio Anual (IMA), o qual corresponde à taxa de crescimento anual em volume de madeira, num determinado período de tempo, que no presente estudo correspondeu a sete anos, pois este é o período de tempo no qual há melhor associação com a produtividade dos clones de eucalipto. O potencial de arraste de sedimentos do solo (PAS) foi calculado dividindo-se as perdas de solo, em kg ha⁻¹ ano⁻¹, pelas perdas de água, em mm ano⁻¹.

Os dados gerados nas parcelas de perdas de solo foram utilizados para estabelecer a razão de perdas de solo em cada estágio da cultura do eucalipto, para determinação do fator cobertura e manejo do solo. A razão de perdas de solo (RPS) foi estimada segundo Wischmeier e Smith (1978), utilizando a seguinte equação:

$$RPS_i = PC_i / PD_i$$

em que RPS é a razão de perdas de solo; i é o estágio da cultura (considerando o ciclo de 7 anos do eucalipto para a produção de celulose), PC é a perda de solo no tratamento com eucalipto ou floresta nativa (Mg ha⁻¹ ano⁻¹), e PD é a perda de solo no tratamento com solo descoberto (Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

O valor do fator cobertura e manejo do solo (fator C) foi obtido com o produto dos valores das RPS de cada estágio do eucalipto e da Mata Atlântica pelos valores correspondentes do EI de cada estágio, pela seguinte equação (WISCHMEIER e SMITH, 1978):

$$C = (RPS_1 \cdot EI_1 + RPS_2 \cdot EI_2 + \dots + RPS_n \cdot EI_n) / EI_t$$

em que C é o fator cobertura e manejo do solo, RPS_i é a razão de perdas de solo no estágio considerado e EI_i é a erosividade da chuva daquele estágio e EI_t é a erosividade total.

Tabela 1. Atributos físicos dos solos estudados.

Table 1. Physical properties of the soils studied.

Horizonte	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm				
g kg ⁻¹					
PA1 - Argissolo Amarelo textura média/argilosa					
Ap	0-15	600	140	50	210
BA	15-35	430	160	50	360
Bt1	35-72	410	130	60	400
Bt2	72-116	350	120	40	490
FX - Plintossolo Háplico Distrófico					
Ap	0-20	410	170	110	310
AB	20-35	450	180	50	320
BAG	35-45	350	170	50	430
Bg1	45-70	300	130	40	530
Bg2	70-102	270	110	40	580
PA2 - Argissolo Amarelo moderadamente rochoso					
Ac	0-12	610	150	80	160
Abc	12-22	410	160	100	330
BAC	22-44	280	170	100	450
Btc	44-66	250	140	70	540
Btc1	66-97	200	80	90	630
BCcf	97-171	350	70	60	520

Tabela 2. Declividade do terreno e classe de relevo para os diferentes solos e sistemas estudados.

Table 2. Land slope steepness and relief class for different soil and systems studied.

Solo	Cobertura	Declividade (%)	Relevo ¹
PA1	Eucalipto	1,8	Plano
	Mata nativa	8,2	Ondulado
	Solo descoberto	3,6	Suave ondulado
FX	Eucalipto	1,3	Plano
	Mata nativa	12,4	Ondulado
	Solo descoberto	2,6	Plano
PA2	Eucalipto	28,8	Forte ondulado
	Mata nativa	35,5	Forte ondulado
	Solo descoberto	33,2	Forte ondulado

¹Segundo Santos et al. (2005). PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

Os dados referentes à precipitação das chuvas foram obtidos por meio de estação climática automatizada instalada na área de estudo, coletando dados no intervalo de 5 minutos. Os valores de erosividade da chuva utilizados para obtenção do fator C foram calculados por Martins *et al.* (2010) e encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Erosividade da chuva na microbacia de estudo de acordo com Martins *et al.* (2010).

Table 3. Rainfall erosivity for the studied watershed according to Martins *et al.* (2010).

Ano	Erosividade da chuva
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
1998	8.082
1999	6.636
2000	4.635
2001	8.817
2002	6.291
2003	4.535
2004	17.056
Média	8.536

Para o cálculo do valor de tolerância de perdas de solo foram utilizados dados dos perfis descritos acima, os quais estão apresentados nas Tabelas 1 e 4. As tolerâncias de perdas de solo admissíveis foram determinadas pelas seguintes metodologias: i) Lombardi Neto e Bertoni (1975), a qual considera a densidade do solo, a profundidade efetiva e a relação textural entre os horizontes B e A; ii) Galindo e Margolis (1989), a qual considera além das variáveis anteriores, o teor de matéria orgânica e o grau de permeabilidade do solo; e iii) Bertol e Almeida (2000), que constitui em uma modificação do método proposto por Lombardi Neto e Bertoni (1975) quanto a introdução do teor de argila no horizonte A. Dos resultados determinados pelas três metodologias foi obtido um valor médio.

Tabela 5. Valores de perdas de solo por erosão hídrica para três coberturas vegetais e três classes de solo nos Tabuleiros Costeiros, durante o período de novembro de 1997 a maio de 2004.

Table 5. Soil losses value by water erosion for three vegetation covers and three soil classes at the Coastal Plain, during the period from November, 1997 to May, 2004.

Ano	PA1			FX			PA2		
	Euc	Mata	Desc	Euc	Mata	Desc	Euc	Mata	Desc
Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹									
1997	0,69	0,07	1,25	1,77	0,06	1,77	3,20	0,15	2,90
1998	3,07	0,11	2,56	2,10	0,07	0,65	0,32	0,21	1,57
1999	0,93	0,04	2,38	0,58	0,04	0,95	2,38	0,10	19,31
2000	0,29	0,08	1,87	0,21	0,08	0,77	2,04	0,08	66,37
2001	0,20	0,04	3,97	0,10	0,05	1,65	0,28	0,05	43,14
2002	0,03	0,03	0,87	0,01	0,01	1,21	0,04	0,01	18,26
2003	0,01	0,00	0,14	0,00	0,01	0,10	0,10	0,00	17,66
2004	0,19	0,01	2,08	0,07	0,02	0,79	0,02	0,03	35,15
Média	0,68	0,05	1,89	0,60	0,04	0,99	1,05	0,08	25,55

PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

A permeabilidade do solo foi avaliada no campo por meio da taxa constante de infiltração de água a 15 cm de profundidade, com duas cargas constantes de 3 e 6 cm de coluna d'água, utilizando o permeâmetro de Guelph (Reynolds e Elrick, 1991) e o teor de matéria orgânica foi obtido multiplicando o carbono orgânico pela constante 1,724, sendo determinado de acordo com Embrapa (1997) (Tabela 4).

Tabela 4. Permeabilidade do solo e carbono orgânico (CO) para os diferentes solos e sistemas estudados.

Table 4. Soil permeability and organic carbon (CO), to the soils and systems studied.

Solo	Tratamento	Permeabilidade	CO
		mm h ⁻¹	g kg ⁻¹
PA1	Eucalipto	4,3	11,6
	Mata Atlântica	10,7	19,7
	Descoberto	4,1	11,6
FX	Eucalipto	6,6	12,8
	Mata Atlântica	17,6	18,0
	Descoberto	10,9	9,3
PA2	Eucalipto	19,5	12,8
	Mata Atlântica	22,3	18,9
	Descoberto	17,3	10,4

PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas de solo por erosão podem ser observadas na Tabela 5. Beutler *et al.* (2003) avaliaram as perdas solo e água por erosão em diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. De acordo com estes autores, as variações nas perdas de solo entre os anos de cultivo foram expressivas, em decorrência da variação da erosividade das chuvas, influenciadas pelas variações climáticas e variação da umidade antecedente às chuvas.

Nos primeiros quatro anos após a instalação da cultura do eucalipto ocorreram as maiores perdas de solo do período avaliado (Tabela 5). Este fato corrobora com estudos desenvolvidos por Lima (1996), Vital *et al.* (1999), Zhou *et al.* (2002) e Silva (2009). Esta mesma tendência foi observada em cultivos de *Acacia mangium* em Roraima (BARROS *et al.*, 2009). Adicione-se a isto o fato do sistema de preparo do solo adotado ter sido o cultivo mínimo, consistindo em revolver o solo o mínimo necessário e manter resíduos vegetais sobre o solo como cobertura morta, evitando, dessa maneira, que o mesmo ficasse descoberto nos primeiros anos de plantio.

O rápido crescimento da cultura do eucalipto, fornecendo uma melhor cobertura ao solo, pode explicar a redução expressiva destas perdas para os anos posteriores (Tabela 5), pois estão associadas a uma fase mais madura do ciclo do eucalipto, com as copas praticamente entrelaçadas umas às outras, formando um dossel fechado com alta densidade de folhas. Além disso, o acúmulo de serrapilheira proporcionou uma maior interceptação e dissipação de energia das gotas de chuva com eficiente proteção ao solo, concordando com os estudos de Franco *et al.* (2002), Gonçalves (2002) e Zhou *et al.* (2002). De acordo com Cogo *et al.* (2003), a cobertura do solo proporcionada por resíduos culturais deixados na superfície do mesmo tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica. Isso se relaciona à dissipação da energia cinética das gotas de chuva, a qual diminui a desagregação das partículas do solo e o selamento superficial, aumentando a infiltração de água.

O fator cobertura e manejo do solo (fator C) obtido no presente estudo pela equação proposta por Wischmeier e Smith (1978) foi de 0,30 para eucalipto e 0,02 para Mata Atlântica. Este é o primeiro relato no Brasil deste fator, obtido diretamente de experimento de longa duração em campo, para o sistema do eucalipto e Mata Atlântica. Entre os fatores que compõem a Equação Universal de Perda de Solo, o fator cobertura do solo é o mais fácil de ser modificado, reduzindo substancialmente as perdas de solo. De acordo com Vásquez-Méndez *et al.* (2010), para cada centésimos de incremento no fator C há uma redução nas perdas de solo na ordem de 55 kg ha⁻¹. Além da eficiente cobertura vegetal proporcionada ao solo nesta condição de estudo, estes solos, de acordo com Duarte *et al.* (2000), apresentam alta coesão, influenciada por altos teores de caulinita e baixos teores de gibbsita e

de óxidos de ferro. Estes aspectos conferem a estes solos alta resistência à erosão em sulcos. Tais fatos, em conjunto, contribuíram para os baixíssimos valores de perdas de solo no final do ciclo do eucalipto (Tabela 5).

As perdas de solo médias por erosão nos diferentes sistemas avaliados apresentaram uma amplitude de 0,04 a 25,55 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para o sistema Mata Atlântica (FX) e solo descoberto (PA2), respectivamente (Tabela 5). As menores perdas de solo médias foram observadas no sistema Mata Atlântica, independente das classes de solo estudadas, explicadas por outros aspectos como a interceptação das gotas de chuvas pelo dossel da mata que possui estrato vertical muito diversificado, refletindo no bom índice do fator C neste sistema. Esse fato resultou em uma maior proteção do solo, existência de uma rica camada de folhas (serrapilheira) e maiores teores de matéria orgânica, e por consequência, melhor estruturação do solo e maior permeabilidade (Tabela 4). Resultados semelhantes foram constatados por Albuquerque *et al.* (2001) e Beutler *et al.* (2003).

O PA2 apresentou as maiores perdas de solo (Tabela 5) em média, principalmente por estar em uma posição de relevo mais movimentado na paisagem, com amplitude de declividade variando de 29% a 36% (Tabela 2). Isso favorece uma maior velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior arraste das partículas do solo, concordando com trabalho desenvolvido por Cogo *et al.* (2003). Além do fator declividade, o PA2 apresentou textura mais arenosa na camada superficial quando comparado com PA1 e FX (Tabela 1), o que confere menor coesão entre partículas e favorece o processo erosivo. Por outro lado, o PA1 apresentou as menores perdas de solo, as quais possivelmente estão relacionadas à sua posição na paisagem (topo e Tabuleiro), estando relativamente menos sujeito à erosão em comparação ao FX, onde ocorre maior fluxo lateral de água, em associação com maiores perdas de silte e argila em suspensão.

Relativamente poucas são as informações disponíveis sobre perdas de solo e água por erosão hídrica em plantações florestais no Brasil e no exterior. Este trabalho mostra que, para as condições de plantio de eucalipto, as perdas de solo médias por erosão hídrica variaram de 0,60 a 1,05 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ nos solos estudados (Tabela 5), estando muito aquém dos limites de tolerância para os solos nesta região, que foram estimadas em 10, 11 e 5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o PA1, FX e

PA2, respectivamente. As perdas de solo no sistema eucalipto corresponderam a 6,8%; 5,5%; e 21,0% do valor de tolerâncias de perdas de solo para as referidas classes de solo, indicando a adequação do manejo deste sistema de produção florestal em relação à erosão hídrica. Os resultados concordam com o estudo de Cardoso *et al.* (2004), que, por meio da metodologia de mudança na superfície do solo, determinaram as perdas de solo nesta mesma região. Tais valores foram ainda inferiores aos observados por Lima (1996) e semelhantes aos de Albuquerque *et al.* (2001), Zhou *et al.* (2004) e Silva (2009). Essas perdas são bem menores do que as observadas em culturas agrícolas e pastagens, conforme estudos de Dechen *et al.* (1981), Eltz *et al.* (1984), Bertol *et al.* (1987), Seganfredo *et al.* (1997), Hernani *et al.* (1997), Levien e Cogo (2001), Beutler *et al.* (2003), Cogo *et al.* (2003), Guadagnin *et al.* (2005), Cullum *et al.* (2007) e Amaral *et al.* (2008), exceto quando comparadas com as perdas de solo em algumas culturas agrícolas em sistema de plantio direto, obtidos por alguns autores recém referidos.

As perdas de solo e água por erosão hídrica podem comprometer a produtividade das culturas (BEUTLER *et al.*, 2003). Na Figura 1, observam-se as perdas médias de solo no sistema eucalipto para PA1, FX e PA2, bem como a produtividade da cultura do eucalipto represen-

tada pelo Incremento Médio Anual e expressa em volume de madeira por hectare e por ano. Observa-se que a produtividade no PA2 para o eucalipto é inferior aos outros dois solos, possivelmente pelo PA2 apresentar maiores perdas médias de solo, dentre outras razões. A produtividade do PA2 em relação ao PA1 e FX é menor em cerca de 7,83 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, equivalendo a uma redução de 21,8%.

As perdas de água média para o eucalipto variaram de 25,0 a 45,3 mm, correspondentes aos solos FX e PA2, respectivamente, o que representa uma perda de água de 2,30 e 4,33% em relação ao total precipitado (Tabela 6). Considerando os valores médios de perdas de água para o período de estudo as perdas de água no sistema eucalipto foram bem próximas às perdas de água no sistema Mata Atlântica, sendo que no PA2 esta porcentagem se distanciou um pouco mais. Assim, os dados sugerem comportamento de cobertura vegetal semelhantes. O maior valor de perda de água determinado no PA2, possivelmente foi devido à grande declividade deste terreno (Tabela 2), o que reforça que, em estudos de perdas de água por erosão hídrica, a declividade se torna um parâmetro de capital importância a ser observado, além da cobertura vegetal. A ordem sequencial dos valores de perdas de água estabelecida nos diferentes solos estudados foi: PA2 > PA1 > FX.

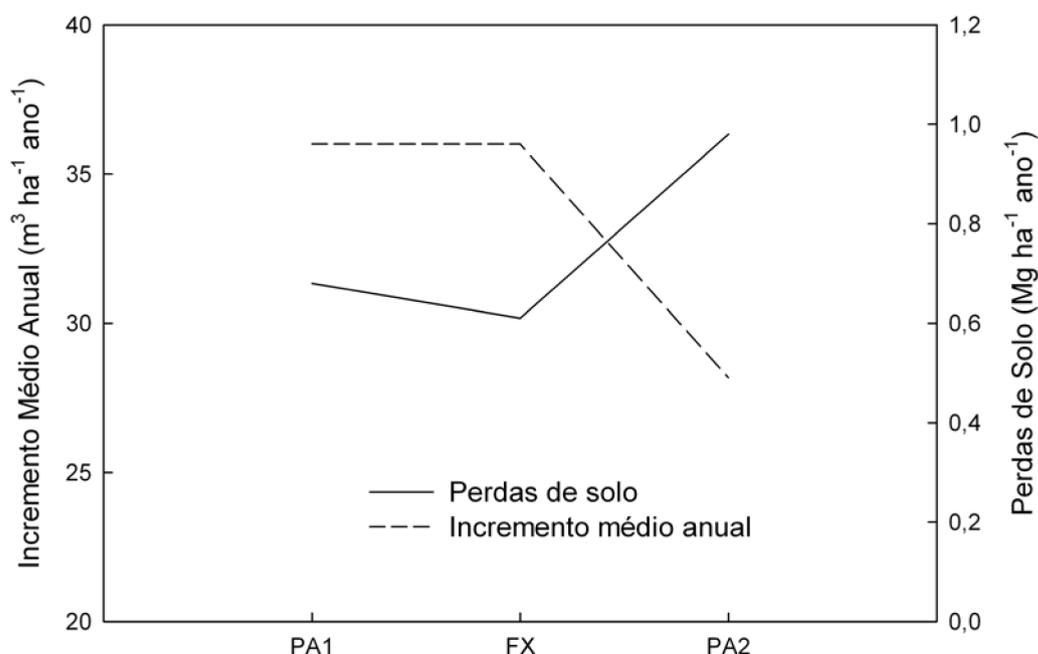


Figura 1. Perdas de solo por erosão hídrica e produtividade do eucalipto representada pelo Incremento Médio Anual (IMA). PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

Figure 1. Soil losses by water erosion and eucalyptus productivity represented by Mean Annual Increment. PA1: Yellow Argisol medium/clayey texture; FX: Dystrophic Haplic Plinthosol; PA2: moderately rocky Yellow Argisol.

Tabela 6. Valores de perdas de água por enxurrada para eucalipto, Mata Atlântica e solo descoberto nas condições de estudo, durante o ciclo do eucalipto.

Table 6. Value of water losses by runoff for eucalyptus, Atlantic Forest and bare soil under the studied conditions, during the eucalyptus cycle.

Solo	Ano	Eucalipto		Mata Atlântica		Solo Descoberto		Precipitação
		mm	%	mm	%	mm	%	mm
PA1	1997	21,8	1,94	7,1	0,64	10,1	0,90	1.123
	1998	47,8	4,07	5,6	0,48	38,5	3,28	1.173
	1999	22,1	2,06	16,1	1,50	156,0	14,52	1.074
	2000	94,3	8,34	52,6	4,65	205,3	18,16	1.131
	2001	45,0	3,35	60,9	4,54	192,2	14,32	1.342
	2002	22,0	2,45	31,6	3,51	53,6	5,95	901
	2003	7,5	0,95	19,5	2,47	75,3	9,56	788
	2004	51,6	4,73	26,7	2,45	110,1	10,09	1.091
	Média	39,0	3,49	27,5	2,53	105,1	9,60	1.078
FX	1997	9,6	0,85	9,1	0,81	9,4	0,84	1.123
	1998	47,2	4,03	8,2	0,70	27,3	2,33	1.173
	1999	27,5	2,56	10,5	0,98	31,9	2,97	1.074
	2000	37,1	3,28	52,8	4,67	51,3	4,53	1.131
	2001	18,7	1,39	42,1	3,14	124,2	9,25	1.342
	2002	19,6	2,18	26,7	2,97	33,3	3,70	901
	2003	8,2	1,04	19,4	2,47	18,5	2,35	788
	2004	32,1	3,04	24,1	2,21	41,4	3,79	1.091
	Média	25,0	2,30	24,1	2,24	42,2	3,72	1.078
PA2	1997	23,3	2,08	6,7	0,59	58,9	5,25	1.123
	1998	46,3	3,94	5,8	0,49	62,9	5,36	1.173
	1999	25,1	2,34	62,1	5,78	71,6	6,67	1.074
	2000	98,4	8,70	31,0	2,74	597,3	52,82	1.131
	2001	23,5	1,75	31,0	2,31	563,6	42,61	1.342
	2002	33,0	3,67	33,0	3,66	360,0	39,96	901
	2003	50,2	6,37	19,2	2,44	154,4	19,59	788
	2004	62,9	5,77	29,0	2,66	369,2	33,84	1.091
	Média	45,3	4,33	27,2	2,58	279,7	25,76	1.078

PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

O tratamento solo descoberto perdeu em média 2,7; 1,7 e 6,2 vezes mais água do que o tratamento com eucalipto, nos solos PA1, FX e PA2 (Tabela 6), respectivamente, possivelmente devido ao encrustamento no solo verificado daquele tratamento, corroborando estudos de Beutler *et al.* (2003). A mata nativa foi a cobertura que proporcionou as menores perdas de água, para todos os solos, em consonância com sua complexidade estrutural (BRITO *et al.*, 2005; PIRES *et al.*, 2006).

Na Figura 2, observam-se os valores do potencial de arraste de sedimentos (PAS) que corresponde às perdas de solo por mm de água da enxurrada. Os valores encontrados variaram entre 3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ na Mata Atlântica para o solo FX a 101 kg ha⁻¹ mm⁻¹ no solo descoberto para o PA2. Zhou *et al.* (2002) encontraram valores inferiores, na ordem de 0,3; 9,1 e 43,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹, para reflorestamento misto, eucalipto e solo descoberto, respectivamente. A forte formação de crosta observada no solo descoberto

durante os trabalhos de campo ajuda a explicar os valores mais elevados aqui encontrados. Mais recentemente, Carvalho *et al.* (2007) encontraram valores de PAS variando de 7 a 18 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. Em todos os solos, a condição descoberta apresentou os valores de PAS mais elevados, o que ficou bem evidenciado no PA2 (Figura 2), possivelmente por apresentar maior declividade em relação às demais condições (Tabela 2). O eucalipto apresentou valores de PAS intermediários em relação à Mata Atlântica e ao solo descoberto. Os baixos valores de PAS apresentados pela mata nativa em todos os solos estudados são atribuídos principalmente à interceptação das gotas de chuva pela copa das árvores e pela barreira física representada pela serrapilheira, os quais podem ser representados pelo fator cobertura e manejo do solo (fator C igual a 0,02). A presença de sub-bosque também dificulta o escoamento superficial, a quebra dos agregados e o arraste das partículas do solo.

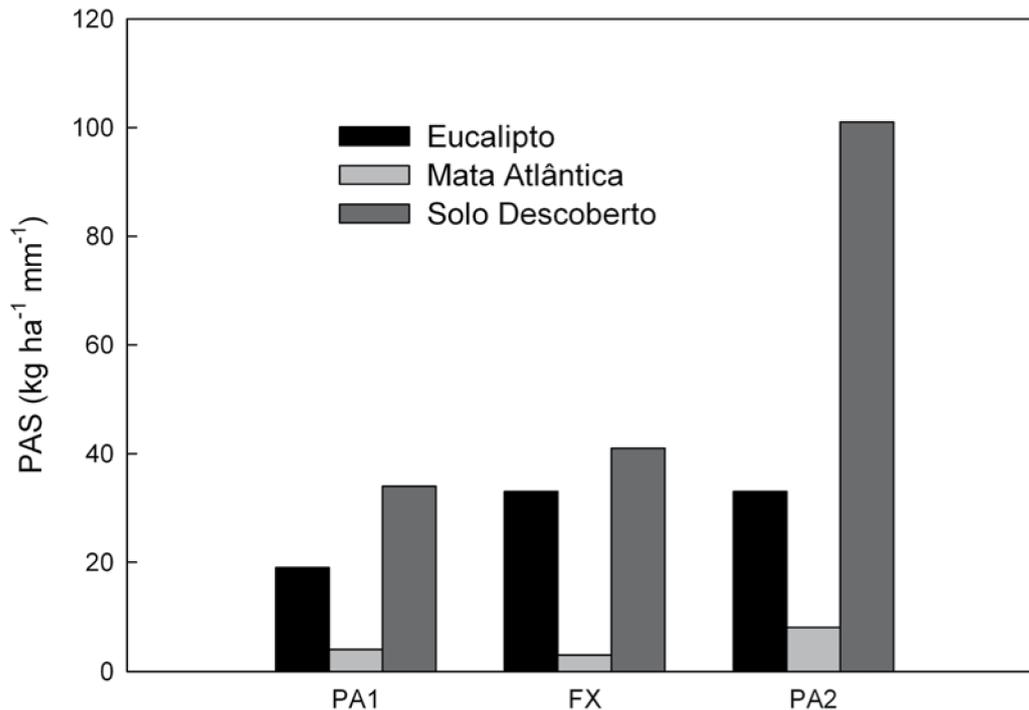


Figura 2. Potencial de arraste de sedimentos (PAS) pela erosão hídrica para os diferentes solos e coberturas estudadas. PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

Figure 2. Sediment delivery ratio (SDR) by water erosion for different soils and covers studied. PA1: Yellow Argisol medium/clayey texture; FX: Dystrophic Haplic Plinthosol; PA2: moderately rocky Yellow Argisol

CONCLUSÕES

As perdas de solo por erosão hídrica para a cultura do eucalipto situaram-se abaixo dos limites de tolerância admissíveis para os solos referentes a cada classe, indicando a adequação do manejo deste sistema de exploração em relação à erosão hídrica. O fato das perdas de solo para o eucalipto ficarem relativamente próximas daquelas da Mata Atlântica indica a sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica.

O valor do fator cobertura e manejo do solo (fator C), determinado em campo para o cultivo de eucalipto e para Mata Atlântica, foi de 0,30 e 0,02, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.121-128, 2001.

AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2008*. Brasília: ABRAF, 2009, 120p.

BARROS, L.S.; VALE JUNIOR, J.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MOURÃO JUNIOR, M. Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* wild e savana em Roraima, norte da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, p.447-454, 2009.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, p.657-668, 2000.

BERTOL, I.; COGO, N.L.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.11, p.187-192, 1987.

BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

- BRITO, L.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; FERREIRA, M.M.; PIRES, L.S. Erosão de Latossolo Vermelho muito argiloso relevo ondulado em área de pós-plantio de eucalipto no Vale do Rio Doce, região Centro Leste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.67, p.27-36, 2005.
- CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.M.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M.M.; MARTINS, S.G.; MARQUES, J.J.G.S.M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.66, p.25-37, 2004.
- CARVALHO, R.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N.; SOUZA, F.S. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.31, p.1679-1687, 2007.
- COGO, N.P.; LEVIENS, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.
- CULLUM, R.F.; WILSON, G.V.; MCGREGOR, K.C.; JOHNSON, J.R. Runoff and soil loss from ultra-narrow row cotton plots with and without stiff-grass hedges. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.93, p.56-63, 2007.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1. p.545-566.
- DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.5, p.133-137, 1981.
- DUARTE, M.N.; CURI, N.; PÉREZ, D.V.; KÄMPE, N.; CLAESSEN, M.E.C. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1237-1250, 2000.
- ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno- Avermelhado Distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.117-125, 1984.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- FRANCO, E.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J.A.A. Quantificação de erosão em sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, p.751-760, 2002.
- GALINDO, I.C.L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.95-100, 1989.
- GONÇALVES, J.L.M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.47-130.
- GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.277-286, 2005.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.667-676, 1997.
- LEVIEN, R.; COGO, N. P. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.683-692, 2001.
- LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301p.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).
- MARTINS, S.G.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; NORTON, L.D.; FONSECA, S. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.999-1004, 2010.

- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.395-403, 2003.
- PIRES, L.S.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; BRITO, L.F. Erosão hídrica pós-plantio em floresta de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.687-695, 2006.
- REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p.633-639, 1991.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100p.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.287-291, 1997.
- SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.1223-1230, 2005.
- SILVA, M.A. **Modelagem espacial da erosão hídrica no Vale do Rio Doce, região centro-leste do estado de Minas Gerais**. Lavras, 2009. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- VÁSQUEZ-MÉNDEZ R.; VENTURA-RAMOS, E.; OLESCHKO, K.; HERNÁNDEZ-SANDOVAL, L.; PARROT, J.F.; NEARING, M.A. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. **Catena**, Amsterdam, v.80, p.162-169, 2010.
- VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeito do corte raso de plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a quantidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.55, p.5-16, 1999.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- ZHOU, G.Y.; MORRIS, J.D.; YAN, H.H.; YU, Z.Y.; PENG, S.L. Hydrological impacts of reafforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.167, p.209-222, 2002.

Recebido em 26/03/2010

Aceito para publicação em 14/07/2010