

Erosão hídrica 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

Water erosion of very clayey Red Latosol (Oxisol) in an undulated area of eucalypt post-planting at Rio Doce Valley, Center East region of Minas Gerais State, Brazil

Liziane de Figueiredo Brito
Marx Leandro Naves Silva
Nilton Curi
Fernando Palha Leite
Mozart Martins Ferreira
Lislane Souza Pires

RESUMO: A erosão hídrica constitui importante causa de degradação ambiental e redução da produtividade, o que justifica a sua avaliação em áreas de plantios comerciais de eucalipto, especialmente em condição de relevo movimentado. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo, em área de pós-plantio de eucalipto, sobre as perdas de solo e água por erosão. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho muito argiloso relevo ondulado sob três sistemas de manejo de eucalipto (eucalipto plantado no sentido do declive com queima de restos culturais – EDq; eucalipto plantado no sentido do declive sem queima de restos culturais – ED; eucalipto plantado em nível sem queima de restos culturais - EN), floresta nativa (FN), solo descoberto (SD) e pastagem nativa (PN). As avaliações de perdas de solo e água foram realizadas em parcelas-padrão instaladas no campo. Todos os sistemas com eucalipto apresentaram valores muito baixos de perda de solo em relação ao limite de tolerância, durante o período de avaliação experimental, evidenciando adequação do sistema de manejo no tocante à erosão hídrica. A sustentabilidade desses ambientes no contexto de erosão é indicada pelo fato das suas perdas de solo estarem muito próximas daquelas da floresta nativa (referencial).

PALAVRAS-CHAVE: Erosão hídrica, Eucalipto, Latossolo, Manejo

ABSTRACT: The erosion caused by running water constitutes important cause of environmental degradation and productivity reduction, which justifies its evaluation in areas of eucalypt commercial plantations, mainly in undulated slope conditions. The present study was intended to evaluate the influence of different management systems, in an undulated eucalypt pos-planting area, upon soil and water losses by erosion. The experiment was installed in a very clayey Red Latosol (Oxisol) under three eucalypt management systems (downhill planting with burning of crop residues – EDq; downhill planting with maintenance of crop residues on soil surface – ED; level planting with maintenance of crop residues on soil surface – EN), native forest (FN), bare soil (SD), and native pasture (PN). The soil and water losses evaluations were performed in standard plots installed in the field. All eucalypt systems presented very low values of soil losses in relation to the established tolerance limit, indicating the adequacy of these management systems concerning water erosion. The sustainability of these environments regarding erosion is indicated by the fact that soil losses in eucalypt were very close to those observed in native forest (reference).

KEYWORDS: Water erosion, Eucalypt, Oxisol, Management

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica constitui uma importante causa de redução da produtividade e aumento da degradação ambiental. Neste contexto, o manejo sustentável de plantios florestais comerciais torna-se uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico, já que o processo erosivo pode ser agravado pela não implementação de práticas de conservação do solo e da água.

Os maiores impactos sobre o solo, decorrentes de operações de manejo adotadas em plantios florestais comerciais são, em sua maioria, atribuídos às operações de preparo do solo e à colheita mecanizada da madeira (Gonçalves e Stape, 2002). Em áreas de relevo movimentado, estes problemas se intensificam, uma vez que o manejo é dificultado.

Os métodos de preparo do solo utilizados em áreas florestais no Brasil variam muito, mas podem ser sintetizados em dois grandes grupos: o amplo revolvimento das camadas superficiais do solo (preparo convencional com aração e gradagem) e o cultivo mínimo (preparo de solo restrito às linhas de plantio, mantendo os resíduos culturais sobre o terreno). Este último tem-se destacado no setor florestal nos últimos anos por garantir uma melhor conservação do solo e de suas propriedades (Gonçalves et al., 2002; Martins et al., 2003).

O preparo do solo pode também incluir a queima de resíduos vegetais, como uma prática de limpeza da área. Dentre as várias consequências desta prática, a redução ou eliminação da cobertura vegetal destaca-se, no contexto de erosão hídrica, por favorecer o escoamento superficial da água da chuva, agravando o processo erosivo (Santos et al., 1992). Em adição, outros efeitos negativos das queimadas sobre atributos do solo e o ambiente têm desestimulado a adoção da mesma, o que constitui um grande avanço da silvicultura brasileira nos últimos anos.

Um outro aspecto do manejo florestal que deve ser considerado é o arranjo das plantas em campo. Em áreas de plantios florestais comerciais de mais alto nível tecnológico tem-se observado o plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno, conduzido no sistema de cultivo mínimo, visando facilitar a realização de outras práticas de manejo, apesar do plantio em nível ser mais apropriado do ponto de vista de conservação do solo e da água. Nestes casos, o preparo mínimo do solo, a grande quantidade de resíduos vegetais deixados em superfície, o sistema radicular das árvores do ciclo anterior e o rápido recobrimento do solo

com as copas (em função do alto nível tecnológico) são apontados como os principais responsáveis pela eficiente proteção e prevenção do solo contra perdas por erosão (Gonçalves, 2002).

Neste sentido, diversos trabalhos têm sido realizados visando avaliar as perdas de solo por erosão hídrica em áreas de plantios florestais. Ranzini e Lima (2002) verificaram que as perdas de Podzólico Vermelho-Amarelo, em microbacias reflorestadas com eucalipto, variaram entre 0,03 e 0,08Mg ha⁻¹, sendo consideradas baixas quando comparadas com as perdas de solo de uma mata nativa e com o limite de tolerância estabelecido. Vital et al. (1999) observaram que apesar dos valores de perdas de Podzólico Vermelho-Amarelo terem praticamente dobrado no primeiro ano após corte raso de eucalipto em uma microbacia, os valores de 0,04Mg ha⁻¹ ano⁻¹ são ainda significativamente menores do que aqueles decorrentes do uso mais intensivo do solo. Na região dos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo, Martins et al. (2003), comparando três classes de solo sob cultivo de eucalipto, observaram que as perdas de solo variaram entre 0,21 e 3,20Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Estes valores, apesar de ligeiramente superiores aos obtidos na mata nativa, são bastante inferiores ao solo descoberto, e estão muito abaixo do limite de tolerância médio estabelecido (11,33Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Em área de Areia Quartzosa cultivada com *Eucalyptus grandis*, Lima (1996) observou uma redução dos valores de perda de solo do primeiro para o quarto ano. Os valores obtidos no início variavam entre 1,0 e 6,5Mg ha⁻¹ ano⁻¹, decrescendo para 0,01 a 0,14Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no quarto ano, enquanto que na parcela sem cobertura vegetal, as perdas de solo variaram entre 3,2 e 11,32Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Tais avaliações são relevantes no monitoramento e previsão da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo aos quais o solo está sendo submetido.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica em área de pós-plantio de eucalipto, em Latossolo Vermelho muito argiloso em relevo ondulado, submetido a diferentes sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado nos plantios comerciais de eucalipto da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA) S.A., localizada no município de Guanhões, Vale do Rio Doce, região Centro leste do Estado de Minas Gerais. O clima da região é Cwa

(inverno seco e verão chuvoso), segundo classificação de Köppen. A precipitação média anual da região é de 1.180mm e altitude média é de 850m. O solo da região em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura muito argilosa (Cenibra, 2001). Segundo Silva et al. (2002), a tolerância de perdas de solo por erosão hídrica admissível para esta classe de solo na região é de 11,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os tratamentos constituem três sistemas de manejo de eucalipto (EDq: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno com queima de restos culturais; ED: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno sem queima de restos culturais; e EN: solo sob plantio de eucalipto em nível sem queima de restos culturais), dois sistemas caracterizando situações de uso do solo na região (PN: pastagem nativa de longa duração; e SD: solo descoberto, cuja área possui o mesmo histórico de uso dos sistemas EDq, ED e EN, sendo que após a última colheita do eucalipto foram retirados os resíduos vegetais da área) e um sistema utilizado como referencial, representando a condição original (FN: floresta nativa). Os sistemas SD, EDq, ED e EN foram instalados em áreas que possuem o mesmo histórico de uso: o primeiro plantio de eucalipto foi realizado em 1974, estando hoje no 4º ciclo de cultivo. O espaçamento de plantio adotado para os tratamentos com eucalipto foi de 3 m entre plantas na linha e 3,33 m entre plantas na entrelinha, modificando o arranjo em campo quando o plantio foi realizado em nível ou no sentido do declive do terreno. A instalação da cultura do eucalipto foi realizada sem preparo do solo, com coveamento manual de 30 x 30 x 30cm. O controle do matocompetição foi realizado com herbicida de acordo com a infestação (Brito, 2004). A FN enquadra-se na classe de declive forte ondulado (26,8%), e os demais sistemas, na classe de declive ondulado (19,4% no sistema PN e 17,6% nos sistemas SD, EDq, ED e EN).

As avaliações das perdas de solo e água foram realizadas em parcelas instaladas no campo (Figura 1), com dimensões de 4,0 x 24,0m para os tratamentos solo descoberto (SD), solo sob floresta nativa (FN) e solo sob pastagem nativa (PN) e 14,0 x 24,0m para os tratamentos com cultivo de eucalipto (EDq, ED e EN). O comprimento da parcela acompanha o sentido do declive do terreno. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 40cm de largura, enterradas a uma profundidade de 20cm. Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, para

conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema coletor é constituído de um tanque de sedimentação, munido de um divisor do tipo Geib de 15 janelas, e um tanque coletor de água e sedimentos. A partir do sistema divisor tipo Geib, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/15 de água da enxurrada é conduzida ao segundo tanque, através de uma canaleta. Dentro do tanque de sedimentação, foi colocado um recipiente, calibrado em relação ao volume, para coleta de sedimentos, segundo método de Cogo (1978a, b). As coletas de sedimento e água da enxurrada foram realizadas a cada evento de chuva considerada erosiva. As coletas foram realizadas no período compreendido entre 23 de outubro de 2002 e 5 de dezembro de 2003. As perdas de solo e água foram expressas em Mg ha⁻¹ período⁻¹ e mm, respectivamente, sem repetições. O potencial de arraste de sedimentos do solo (PAS) foi calculado, dividindo-se as perdas de solo pelas perdas de água.

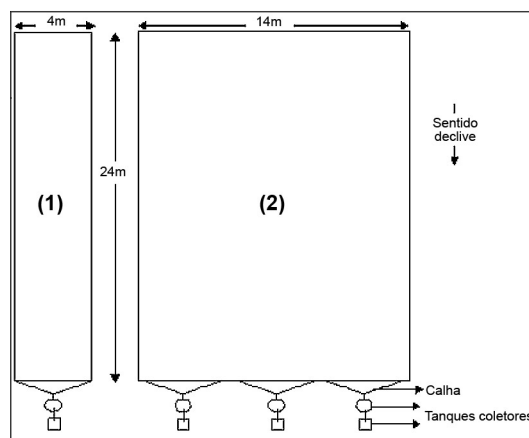


Figura 1
 Desenho esquemático das parcelas de coleta de água e sedimentos. As parcelas tipo 1 foram instaladas nos sistemas floresta nativa (FN), pastagem nativa (PN) e solo descoberto (SD), e as do tipo 2 nos sistemas com eucalipto. (Scheme of water and sediments collecting parcels. The type 1 parcels were installed in native forest (FN), native pasture (PN), and bare soil (SD), and the type 2 parcels in systems with eucalypt).

A amostragem para determinação de atributos do solo foi efetuada em outubro de 2002. O carbono orgânico total (CO) foi determinado segundo Walkley e Black (1934). A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965), após dispersão química (NaOH 1mol

L⁻¹) e física (agitação rápida a 14000rpm por 15 minutos). A argila dispersa em água (ADA) foi determinada sem o uso de dispersante químico. O índice de floculação (IF) foi calculado segundo Embrapa (1997).

As amostras com estrutura indeformada foram coletadas com amostrador de Uhland na profundidade de 0 a 10cm, sendo determinados: densidade do solo (Ds), segundo Blake e Hartge (1986); porosidade total (PT), calculada segundo Danielson e Sutherland (1986); e macro e microporosidade, segundo Grohmann (1960b). A estabilidade de agregados foi determinada através de peneiramento em água com agregados secos e pré-umedecidos lentamente por capilaridade (Grohmann, 1960a; Oliveira, Curi e Freire, 1983; Kemper e Rosenau, 1986), e os resultados foram expressos em termos de diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2mm (> 2mm). O teste de resistência do solo à penetração foi realizado em campo na profundidade de 0 a 60cm, utilizando-se penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR – STOLF (Stolf et al., 1983), com dez repetições para cada sistema de manejo estudado. Determinou-se a umidade gravimétrica do solo segundo Embrapa (1997), por ocasião deste teste de resistência do solo à penetração.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificar os efeitos dos sistemas de uso e manejo (SD, FN, PN, EDq, ED e EN). As comparações múltiplas de médias foram feitas com o uso do teste de Tukey, a 5 % de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2000). Para o conjunto de atri-

butos densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, diâmetro médio geométrico, e índice de floculação, porcentagem de agregados > 2,0mm e carbono orgânico, foi utilizado o seguinte modelo no delineamento: $Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (geral)}$, onde: Y_{ij} = valor de cada observação; m = média da observação no sistema i ; S_i = efeito do sistema i ; Erro (geral): resíduo geral. Para o conjunto de atributos resistência do solo à penetração e umidade gravimétrica, adotou-se o procedimento de parcela subdividida em faixas (profundidades): $Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (sistema)} + P_j + S_{pij} + \text{Erro (geral)}$, onde: Y_{ij} = valor de cada observação; m = média da observação no sistema i ; S_i = efeito do sistema i ; Erro (sistema): erro devido ao efeito da repetição dentro do sistema i ; P_j : efeito da profundidade j ; S_{pij} : efeito da interação entre o sistema i e a profundidade j ; Erro (geral): resíduo geral.

Foram feitas análises de correlação de Pearson, entre as perdas totais de solo e os atributos físicos e químicos estudados, bem como foi verificada a significância dos coeficientes de correlação efetuada pelo teste t de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 representa a distribuição da precipitação mensal para a área de estudo no período de outubro de 2002 a dezembro de 2003. A precipitação total neste período foi de 1.602mm, sendo 523mm nos meses de outubro a dezembro de 2002 e 1.079mm no ano de 2003. A precipitação em 2003 foi ligeiramente inferior à média da região, que é de 1.180mm.

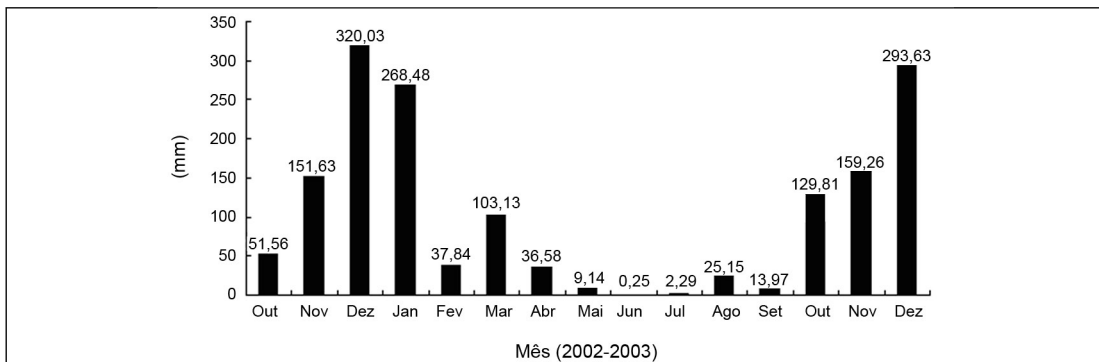


Figura 2 Precipitação pluviométrica (mm) para o período de outubro de 2002 a dezembro de 2003. (Precipitation (mm) from october 2002 to december 2003).

A Tabela 1 apresenta os resultados de perdas de solo por erosão hídrica para os diferentes sistemas de manejo, cujos valores variaram de 0,011 a 1,770Mg ha⁻¹.

Estes valores estão muito abaixo da tolerância média admissível estabelecida para esta classe de solo na região, que é de 11,22Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Silva et al., 2002). Considerando somente os sistemas com eucalipto, as perdas de solo variaram entre 0,53 e 1,03% da tolerância admissível, evidenciando adequação do sistema de manejo florestal no tocante à erosão hídrica.

Entre os sistemas estudados, os resultados de perda de solo (Tabela 1) obedecem à seqüência: FN < eucaliptos < PN < SD. Estes resultados evidenciam a eficiência da FN em proteger o solo contra o impacto direto da gota de chuva, mesmo encontrando-se em condição de maior declividade no terreno (FN: relevo forte ondulado; demais sistemas: relevo ondulado) e, do outro lado, a exposição do solo favorecendo a erosão hídrica no sistema SD. O fato dos valores de perdas de solo nos sistemas com eucalipto serem próximos àqueles observados na FN indica a sustentabilidade destes ambientes no contexto de erosão.

Os valores de perdas de solo acumulados para o período de estudo (15 meses) nos tratamentos com eucalipto variaram entre 0,06 e 0,12Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Lima (1996) encontrou valores bem superiores (1,0 a 10,4Mg ha⁻¹) em micro-parcelas reflorestadas com eucalipto, no primeiro ano de estudo (12 meses), em solo arenoso. Segundo este autor, com o crescimento do eucalipto, o escoamento superficial e as perdas de solo diminuíram, atingindo no quarto ano valores entre 0,01 e 0,1Mg ha⁻¹, evidenciando o efeito da cobertura vegetal. Já em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa, para o primeiro ano após o corte raso do eucalipto, os valores de perdas de solo encontrados foram de 0,04 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Vital et al., 1999). Martins et al., (2003) encontraram valores médios anuais entre 1,16 e 1,85Mg ha⁻¹ para eucalipto em Argissolo Amarelo textura média/argilosa, Plintossolo Háplico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, respectivamente. Em relação aos resultados obtidos neste trabalho para os sistemas com eucalipto (Tabela 1), valores superiores são relatados por diversos autores (Santos et al., 1998; Mahmoudzadeh et al., 2002; Franco et al., 2002) em outros sistemas de manejo agrícola.

Tabela 1

Valores de perdas de solo por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de outubro de 2002 a dezembro de 2003. (Values of soil losses by water erosion for each management system from october 2002 to december 2003)

ANO	MÊS	PERDAS DE SOLO (Mg ha ⁻¹)					
		FN	PN	SD	EDq	ED	EN
2002	Out	0,0000	0,0000	0,0018	0,0067	0,0039	0,0013
	Nov	0,0000	0,0101	0,0045	0,0000	0,0000	0,0002
	Dez	0,0010	0,0026	0,0023	0,0015	0,0015	0,0002
2003	Jan	0,0011	0,0109	0,2904	0,0353	0,0832	0,0995
	Fev	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mar	0,0000	0,0000	0,0111	0,0025	0,0005	0,0024
	Abr	0,0083	0,0007	0,0014	0,0011	0,0002	0,0012
	Mai	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jun	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jul	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ago	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Set	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0001
	Out	0,0001	0,0046	0,0005	0,0014	0,0017	0,0009
2003	Nov	0,0000	0,0002	0,0007	0,0004	0,0011	0,0001
	Dez	0,0000	0,3829	1,4568	0,0137	0,0055	0,0098
TOTAL		0,01	0,41	1,77	0,06	0,10	0,12

FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa de longa duração; SD: solo descoberto; EDq: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno com queima de restos culturais; ED: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno sem queima de restos culturais; EN: solo sob plantio de eucalipto em nível sem queima de restos culturais.

Os valores obtidos para perdas de água variaram entre 2,24 e 23,66mm (Tabela 2) e representam de 0,14 a 1,48% da precipitação acumulada no período, que foi da ordem de 1.602,76mm. Estes baixos valores de perdas de água, obtidos em todos os sistemas de manejo do eucalipto, são altamente positivos, tendo-se em mente que o relevo é ondulado, a precipitação média anual não é elevada (1.180,mm) e o relativamente extenso período seco comum na região.

Em concordância com os resultados obtidos para perdas de solo, os valores extremos de perdas de água também são referentes aos sistemas FN (mínimo) e SD (máximo) (Tabela 2). No entanto, os resultados para os demais sistemas diferiram, em parte, em relação aos observados para perdas de solo, visto que a PN apresentou menor perda de água que os sistemas EDq e ED, apesar da maior perda de solo.

Entre os sistemas com eucalipto, o escoamento superficial variou entre 0,54 e 1,1% da precipitação. A maior perda de água foi observada para o ED e a menor para o EN, variando de 8,62 e 17,75mm (Tabela 2). Valores superiores a estes foram verificados em área com reflorestamento de eucalipto por Martins et al. (2003).

Tabela 2

Valores de perdas de água por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de outubro de 2002 a dezembro de 2003.

(Values of water losses by water erosion for each management system from october 2002 to december 2003).

ANO	MÊS	PERDAS DE ÁGUA (mm)					
		FN	PN	SD	EDq	ED	EN
2002	Out	0,0000	0,0000	0,2169	0,3305	0,5577	0,1343
	Nov	0,0001	0,1321	0,0976	0,0055	0,0046	0,0175
	Dez	0,7228	0,8672	0,4337	0,9138	0,3475	0,2340
2003	Jan	0,4936	3,6857	13,3735	8,2892	13,3955	6,0505
	Fev	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mar	0,1380	0,0000	1,5181	0,3954	0,5953	0,4078
	Abr	0,6496	0,5060	0,5060	0,2132	0,3305	0,3423
	Mai	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jun	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jul	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ago	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Set	0,0360	0,1980	0,1440	0,0857	0,1509	0,0977
	Out	0,1620	1,3008	0,0600	0,3923	0,7642	0,4630
	Nov	0,0000	0,0420	0,1620	0,0754	0,2804	0,0943
	Dez	0,0420	2,4947	7,1476	0,7642	1,3219	0,7796
TOTAL		2,24	9,23	23,66	11,46	17,75	8,62

FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa de longa duração; SD: solo descoberto; EDq: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno com queima de restos culturais; ED: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno sem queima de restos culturais; EN: solo sob plantio de eucalipto em nível sem queima de restos culturais.

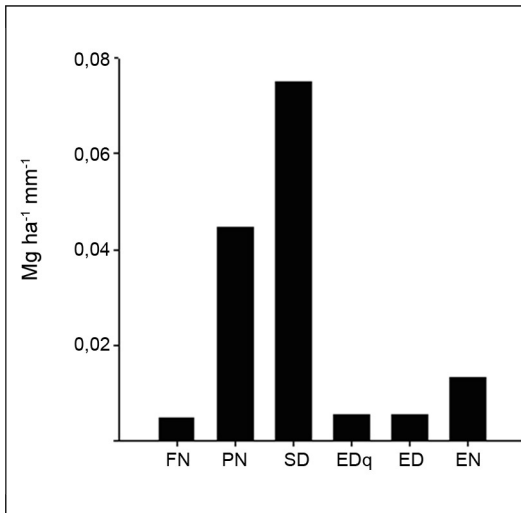


Figura 3

Potencial de arraste de sedimentos (PAS) para os sistemas de manejo, no período de outubro de 2002 a dezembro de 2003.

(Potential of sediments transport (PAS) for the management systems, from october 2002 to december 2003)

O potencial de arraste de sedimentos (PAS) (Figura 3), que corresponde às perdas de solo por mm de enxurrada, variou de 0,0048 a 0,0748Mg ha⁻¹ mm. Conforme observados para as perdas de água, os valores extremos de PAS referem-se aos sistemas FN (mínimo) e SD (máximo), evidenciando a importância da cobertura vegetal no contexto de erosão. Os menores valores obtidos para os sistemas com eucalipto podem ser atribuídos à interceptação da gota da chuva pela copa das árvores. Por outro lado, o maior PAS verificado na PN provavelmente esteja relacionado à condição de degradação da mesma (observações de campo), favorecendo maior perda de solo.

Dentre os atributos do solo avaliados (Tabela 3), a densidade do solo (Ds), a macroporosidade (MACRO) e a microporosidade (MICRO) evidenciaram alteração da condição natural em função do manejo do solo, porém esses atributos não apresentaram correlação significativa com as per-

das de solo (Tabela 4). Com relação à porosidade total (VTP), observou-se que somente os sistemas SD, EDq e EN diferiram da condição natural (Tabela 3). Os índices de estabilidades de agregados, DMG e >2mm, e os atributos IF e CO, também relacionados com o processo de agregação do solo, não evidenciaram alteração da condição natural em função do manejo (Tabela 3). Os índices DMG e >2mm apresentaram correlação significativa com o processo erosivo, quando determinados sem pré-umedecimento das amostras (Tabela 4).

O grau de umidade no solo por ocasião do teste de resistência do solo à penetração não apresentou diferenças significativas entre os sistemas estudados, permanecendo próximo da capacidade de campo do solo estudado e apresentando uma amplitude de variação de 19,2 a 28,2%. Este aspecto é bastante importante quando se trata de variações da resistência do solo à penetração, observados a seguir.

Tabela 3

Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (MACRO), microporosidade (MICRO), diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), índice de floculação (IF) e carbono orgânico total (CO) para o Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo. (Bulk density (DS), total porosity (VTP), macroporosity (MACRO), microporosity (MICRO), mean geometric diameter of aggregates (DMG), flocculation index (IF), and total organic carbon (CO) for the typic Dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different soil managements).

Sistema	Ds	PT	MACRO	MICRO	IF
	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³			%
FN	0,87 b	0,650 a	0,327 a	0,320 b	93,08 ab
PN	1,08 a	0,564 ab	0,190 b	0,377 a	94,70 ab
SD	1,23 a	0,498 b	0,102 b	0,395 a	91,12 b
EDq	1,14 a	0,540 b	0,172 b	0,370 a	91,83 ab
ED	1,13 a	0,558 ab	0,187 b	0,370 a	95,46 a
EN	1,18 a	0,542 b	0,172 b	0,372 a	93,44 ab
CV (%)	7,35	7,45	29,44	5,15	1,98

Sistema	DMG		>2mm		CO
	Com	Sem	Com	Sem	
	mm		%		g kg ⁻¹
FN	4,90 ab	4,68 a	99,39 ab	97,14 a	36,69 a
PN	4,71 b	3,95 ab	97,89 b	88,94 a	26,44 a
SD	4,79 ab	2,95 b	98,57 ab	71,50 b	26,65 a
EDq	4,92 a	3,95 ab	99,53 a	87,46 ab	25,79 a
ED	4,92 a	4,33 a	99,54 a	92,55 a	33,70 a
EN	4,89 ab	4,07 a	99,14 ab	89,82 a	31,86 a
CV (%)	1,83	12,17	0,69	8,21	18,44

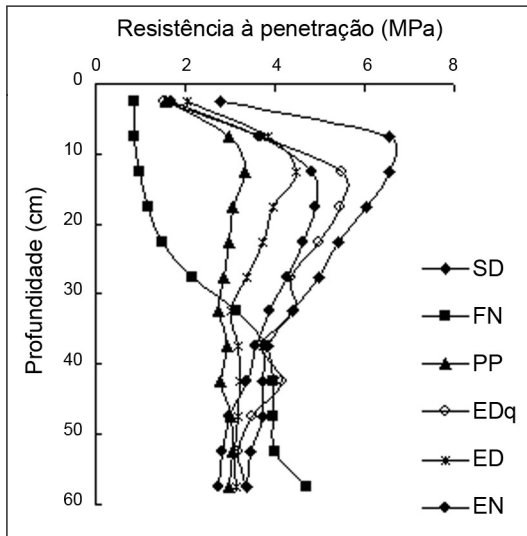
FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa de longa duração; SD: solo descoberto; EDq: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno com queima de restos culturais; ED: solo sob plantio de eucalipto no sentido do declive do terreno sem queima de restos culturais; EN: solo sob plantio de eucalipto em nível sem queima de restos culturais. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Teste de estabilidade de agregados foi realizado com e sem pré-umedecimento das amostras por capilaridade.

Tabela 4

Coefficientes de correlação entre perdas de solo por erosão hídrica e atributos de solo. (Correlation coefficients between soil losses by water erosion and soil attributes)

Atributos ²	Coefficiente de correlação com perdas de solo ¹
Ds (kg dm ⁻³)	0,52 ns
PT (m ³ m ⁻³)	-0,63 ns
Macro (m ³ m ⁻³)	-0,65 ns
Micro (m ³ m ⁻³)	0,63 ns
DMG (com) (mm)	-0,55 ns
DMG (sem) (mm)	-0,92 *
>2mm (com) (mm)	-0,51 ns
>2mm (sem) (mm)	-0,94 *
IF (%)	-0,55 ns
CO (g kg ⁻¹)	-0,48 ns
RP (MPa)	0,81 *

⁽¹⁾ns: não significativo ao nível de 5% pelo teste t de Student; *: significativo ao nível de 5% pelo teste t de Student. ⁽²⁾Ds: Densidade do solo; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados; >2mm: porcentagem de agregados com diâmetro maior que 2 mm; IF: índice de floculação; CO: carbono orgânico total e RP: resistência do solo à penetração.

**Figura 4**

Resistência à penetração do Latossolo Vermelho Distrófico típico, na profundidade de 0 a 60cm, sob diferentes sistemas de manejo. (Resistance of the typical Dystrophic Red Latosol to penetration at 0 - 60cm depth, under different management systems).

Neste contexto, verifica-se que, em geral, os valores de resistência do solo à penetração (Figura 4) podem ser considerados elevados, visto que à exceção da FN, todos os sistemas apresentaram valores superiores a 2MPa na maior parte do perfil estudado, considerado como limite entre as classes de resistência à penetração moderada e alta (Arshad et al., 1996). Os menores valores para todos os sistemas são verificados na profundidade de 2,5cm, variando de 0,86MPa para a FN a 2,80MPa para o SD. Entretanto, existem estudos na literatura (Ehlers et al., 1983), que consideram valores críticos na ordem de 5,0MPa, quando o manejo adotado inclui práticas conservacionistas como manutenção da serrapilheira e revolvimento mínimo do solo, como o adotado no presente caso nos sistemas de condução dos cultivos de eucalipto. Os resultados obtidos de resistência à penetração para a profundidade de 0 a 10cm apresentaram correlação positiva significativa com os valores de perdas de solo (Tabela 4), o que indica a influência deste atributo no processo de erosão hídrica.

Em síntese, os valores obtidos para estes atributos não são considerados críticos, o que pode estar relacionado aos baixos valores de perdas de solo e água para todos os sistemas e em relação à tolerância de perdas de solo estabelecida para esta classe de solo na região. Em concordância, Resende (1985) relata que os Latossolos da região de estudo apresentam diversas características que ajudam a reduzir substancialmente a erosão, como permeabilidade acentuada, certa coerência entre os agregados, estrutura tipicamente entre a estrutura em blocos e a granular, e teores consideráveis de matéria orgânica.

CONCLUSÕES

A queima de resíduos vegetais e a orientação de plantio não promoveram efeito significativo sobre os resultados de perdas por erosão hídrica no Latossolo estudado.

Todos os sistemas com eucalipto apresentaram valores muitos baixos de perdas de solo em relação ao limite de tolerância estabelecido e valores bastante próximos à floresta nativa (referencial), evidenciando adequação do sistema de manejo e sustentabilidade destes ambientes no contexto de erosão hídrica, respectivamente.

AUTORES

LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO é Doutoranda junto ao Departamento de Produção Vegetal - UNESP – Rod. Carlos Tonanni, km 05 – s/n - Jaboticabal, SP - 14870-000 – E-mail: liziane@fcav.unesp.br

MARX LEANDRO NAVES SILVA é Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo – UFLA - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: marx@ufla.br

NILTON CURI é Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo – UFLA - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: niltcuri@ufla.br

FERNANDO PALHA LEITE é Pesquisador Doutor da CENIBRA S.A. - Caixa Postal 100 - Bairro Horto – Ipatinga, MG - 35162-970 – E-mail: fernando.leite@cenibra.com.br

MOZART MARTINS FERREIRA é Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo – UFLA - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: mozartmf@ufla.br

LISLANE SOUZA PIRES é Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas junto ao Departamento de Ciências Florestais – UFLA - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: lislane@ufla.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Society of America, 1996. p.123-141. (SSAA Special Publication, 49)

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.363-375.

BRITO, L.F. **Erosão hídrica de Latossolo Vermelho Distrófico Típico em área de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhães (MG)**. Lavras, 2004. 78p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S.A. **Levantamento semidetalhado dos solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis**. Ipatinga: CENIBRA, 2001. v.1, 101p.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: 1– sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantidade de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPq, 1978a. p.75-97

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: 2– alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPq, 1978b. p.99-107

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: part 1 - physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.443-461

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

DE MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC-SCS, 1994. n.p.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil tillage research**, v.3, p.261-275, 1983.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR/ sistema para análise de variância) para Windows@ versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, São Carlos, 2000. **Programas e resumos**. . São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258

FRANCO, F.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J.A.A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista árvore**, v.26, n.6, p.751-760, 2002.

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

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L., ed. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L., ed. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.131-204

- GROHMANN, F. Análise de agregados do solo. **Bragantia**, v.19, n.13, p.201-214, 1960a.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.19, n.21, p.319-328, 1960b.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: part 1 - physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: ASA, 1986. p.425-441. (Agronomy monography, 9)
- LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301p.
- MAHMOUDZADEH, A.; ERSKINE, W.D.; MYERS, C. Sediment yields and soil loss rates from native forest, pasture and cultivated land in Bathurst area, New South Wales. **Australian forestry**, v.65, n.2, p.73-80, 2002.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURTI, 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**, v.27, n.3, p.395-403, 2003.
- OLIVEIRA, M.; CURTI, N.; FREIRE, J.C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista brasileira de ciência do solo**, v.7, n.3, p.317-322, 1983.
- RANZINI, M.; LIMA, W.P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia forestalis**, n.61, p.144-159, 2002.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe agropecuário**, v.11, n.128, p.3-18, 1985.
- SANTOS, D.; BAHIA, V.G.; TEIXEIRA, W.G. Queimadas e erosão do solo. **Informe agropecuário**, v.16, n.176, p.62-68, 1992.
- SANTOS, D.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CRUZ FILHO, A.B.; TEIXEIRA, W.G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.33, n.2, p.183-189, 1998.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; LEITE, F.P.; NÓBREGA, D.V.C. Tolerância de perdas de solo por erosão hídrica no Vale do Rio Doce na região centro-leste do Estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, Cuiabá, 2002. **Anais....** Cuiabá: SBCS/UFMT, 2002.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Série penetrômetro de impacto - Boletim n.1).
- VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeitos do corte raso de plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia forestalis**, n.55, p.5-16, 1999.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v.37, p.29-38, 1934.