

**MODELAGEM ESPACIAL DA EROSÃO
HÍDRICA NO VALE DO RIO DOCE, REGIÃO
CENTRO-LESTE DO ESTADO DE MINAS
GERAIS**

MAYESSE APARECIDA DA SILVA

2009

MAYESSE APARECIDA DA SILVA

**MODELAGEM ESPACIAL DA EROÇÃO HÍDRICA NO VALE DO RIO
DOCE, REGIÃO CENTRO-LESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Mayesse Aparecida da.

Modelagem espacial da erosão hídrica no Vale do Rio Doce,
região Centro-Leste do estado de Minas Gerais / Mayesse Aparecida
da Silva. – Lavras : UFLA, 2009.

116 p. : il.

Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Erosão hídrica. 2. Modelagem. 3. USLE. 4. Geoestatística. 5.
Eucalipto. 6. Erosividade da chuva. 7. Bacia hidrográfica. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.45

MAYESSE APARECIDA DA SILVA

**MODELAGEM ESPACIAL DA EROSÃO HÍDRICA NO VALE DO RIO
DOCE, REGIÃO CENTRO-LESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 08 de julho de 2009.

Pesq. Dr. Lloyd Darrell Norton	USDA-ARS-NSERL
Prof. Dr. Nilton Curi	UFLA
Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais Rodrigues e Cida,
minha irmã Lílian,
meu companheiro Matheus
e minha “bonequinha” Larissa

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha família, pai, mãe e Lílian, pela confiança, incentivo e carinho. Sem a ajuda de vocês eu não teria conseguido.

Aos meus grandes amores, Matheus e Larissa, que enchem meus dias de alegria e são minha inspiração pra continuar lutando. Amo vocês.

À Anna Hoffmann, que me incentivou, me fez acreditar que eu seria capaz. Você é um exemplo pra mim e também uma grande amiga.

Às minhas grandes e valiosas amigas, Ana Pimenta, Ciça, Fefê, Júlia, Liana, Marília e Maria, pela grande amizade que cultivamos e apoio nos momentos mais difíceis. Em especial, à Ana Pimenta, que mesmo de longe, me ajudou na execução deste trabalho.

Ao professor Marx Leandro Naves Silva pela orientação, apoio, amizade, e pela confiança depositada.

Aos professores Nilton Curi e João José, pelos ensinamentos e apoio.

Em especial, ao professor João José e a Michele, que com muita paciência e prontidão me ajudaram a executar este trabalho.

Aos membros da banca professor Nilton Curi, professor Mozart e ao pesquisador L. Darrel Norton, pelas sugestões.

Ao César Avanzi, pela amizade, dicas e ajuda neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização deste curso e a CAPES, pela concessão da bolsa.

À Celulose Nipo Brasileira S. A. (CENIBRA S. A.), e ao Pesquisador Fernando Palha Leite; a Gilson Gaudereto e demais funcionários da CENIBRA S. A., pela condução e coleta de dados das áreas experimentais.

Aos meus queridos colegas de pós-graduação, pelo convívio, apoio, amizade e agradável troca de experiência.

Ao aluno de iniciação científica, Bernardo.

À república Itaipava, onde passei momentos agradabilíssimos.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1.....	01
1 Introdução Geral	02
2 Referências Bibliográficas.....	06
CAPÍTULO 2: Espacialização da erosividade no Vale do Rio Doce, região centro-leste do estado de Minas Gerais	08
1 Resumo	09
2 Abstract.....	10
3 Introdução	11
4 Material e Métodos	14
4.1 Localização da área experimental.....	14
4.2 Determinação do índice de erosividade EI ₃₀ com dados pluviográficos e pluviométricos	16
4.3 Espacialização do índice de erosividade.....	20
5 Resultados e Discussões	22
6 Conclusões.....	41
7 Referências Bibliográficas.....	42
CAPÍTULO 3: Perdas de solo e água em plantios florestais e erodibilidade do solo no Vale do Rio Doce, região centro-leste do estado de Minas Gerais	47
1 Resumo	48
2 Abstract.....	49

3	Introdução	50
4	Material e Métodos	54
4.1	Localização da área experimental.....	54
4.2	Sistemas de manejo.....	56
4.3	Erosividade da chuva.....	58
4.4	Monitoramento das perdas de solo	59
4.5	Erodibilidade do solo.....	60
5	Resultados e Discussões	62
5.1	Perdas de solo e água.....	62
5.1.1	Perdas anuais de solo	62
5.1.2	Perdas anuais de água	66
5.1.3	Perdas de solo por período.....	67
5.1.4	Perdas de água por período.....	69
5.2	Erodibilidade do solo.....	72
6	Conclusões.....	74
7	Referências Bibliográficas.....	75
CAPÍTULO 4: Modelagem e espacialização das perdas de solo e água pela erosão hídrica em duas sub-bacias sob plantios florestais, no Vale do Rio Doce, região centro-leste do estado de Minas Gerais		82
1	Resumo	83
2	Abstract.....	84
3	Introdução	85
4	Material e Métodos	88
4.1	Localização da área experimental.....	88
4.2	Espacialização das perdas de solo.....	89
4.3	Modelagem dos processos erosivos.....	90
4.4	Tolerância das perdas de solo	95
5	Resultados e Discussões	96

6 Conclusões	107
7 Referências Bibliográficas	108
ANEXOS	114

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2	
TABELA 1 Características ambientais das áreas experimentais.....	15
TABELA 2 Classificação da erosividade da chuva.....	17
TABELA 3 Equações ajustadas entre o índice de erosividade mensal médio- EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) e a precipitação média mensal p (mm) ou o coeficiente de chuva R_c , localização, altitude e anos observados..	19
TABELA 4 Distribuição dos valores médios mensais e médios anuais dos números de chuvas erosivas, não erosivas e o total de chuvas.....	23
TABELA 5 Distribuição dos valores médios mensais e médios anuais das lâminas de chuvas erosivas, não erosivas e o total precipitado.....	24
TABELA 6 Análise exploratória dos valores de erosividade médio mensal, anual e para a altitude na região do Vale do Rio Doce, MG.....	32
TABELA 7 Parâmetros dos semivariogramas teóricos ajustados para o índice de erosividade mensal, anual e para a altitude na região do Vale do Rio Doce, MG.....	33
CAPÍTULO 3	
TABELA 1 Atributos mineralógicos, químicos e físicos do Latossolo Vermelho- Amarelo (LVAd) e do Latossolo Vermelho (LVd) na profundidade de 0–20 cm.....	56
TABELA 2 Localização das parcelas experimentais de perdas de solo e água com diferentes sistemas de manejo em Belo Oriente (LVAd) e Guanhães (LVd), MG.....	57
TABELA 3 Perdas de solo em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho- Amarelo na região do Vale do Rio Doce, MG.....	65

TABELA 4	Porcentagem das perdas de água em relação à precipitação pluvial média anual para Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo na região do Vale do Rio Doce, MG.	67
TABELA 5	Perdas médias de solo para cada período durante 1 ciclo de cultivo do eucalipto para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Vale do Rio Doce, MG.	69
TABELA 6	Porcentagem das perdas médias de água em relação à precipitação pluvial média para cada período durante um ciclo de cultivo do eucalipto para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Vale do Rio Doce, MG.	70
TABELA 7	Valores de erodibilidade do solo (K) e as equações das regressões entre as perdas de solo (A) e a erosividade (EI_{30}) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), determinados para o LVd e o LVAd, no período de 2003 a 2008, sob chuva natural.	73
CAPÍTULO 4		
TABELA 1	Distribuição do fator K para Belo Oriente e Guanhães.	97
TABELA 2	Distribuição do fator LS para Belo Oriente e Guanhães.	98
TABELA 3	Porcentagem da área ocupada por classe e grau de erosão para Belo Oriente e Guanhães.	103
TABELA 4	Perdas médias reais e perdas médias estimadas pela USLE.	105

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2

FIGURA 1 Localização do estado de Minas Gerais com destaque para a região do Vale do Rio Doce e os municípios onde se encontram as áreas experimentais.	15
FIGURA 2a Mapa de localização das estações climatológicas.	16
FIGURA 2b Mapa de localização das estações da Agência Nacional das Águas (ANA).	16
FIGURA 3 Distribuição da precipitação anual média e do índice de erosividade anual médio, EI_{30} , observadas, nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG. 1: Alfíe; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.	26
FIGURA 4 Distribuição da precipitação média mensal e do índice de erosividade médio mensal, EI_{30} , observadas, nos anos de 2005 a 2008, em nove subregiões, na região do Vale do Rio Doce, MG...26	26
FIGURA 5 Distribuição do índice de erosividade da chuva médio anual determinado a partir de dados pluviométricos para 15 municípios.....	31
FIGURA 6 Semivariogramas ajustados para o índice de erosividade EI_{30} anual e mensal e altitude por meio do modelo exponencial.....	34
FIGURA 7 Espacialização da erosividade anual na região do Vale do Rio Doce.....	38
FIGURA 8 Espacialização da erosividade anual mensal e altitude para a região do Vale do Rio Doce, MG.....	39

CAPÍTULO 4

FIGURA 1 Localização dos municípios de Belo Oriente e Guanhães no estado de Minas Gerais, com destaque para o mapa de solos das duas sub-bacias estudadas.....	54
FIGURA 2 Desenho esquemático das parcelas de coleta de água e sedimentos.....	59

CAPÍTULO 4

FIGURA 1 Localização dos municípios de Belo Oriente e Guanhães no estado de Minas Gerais, com destaque para o mapa de solos das duas sub-bacias estudadas.....	89
FIGURA 2 Modelo de elevação digital (MED) e uso do solo para Belo Oriente e Guanhães.....	93
FIGURA 3 Mapa do fator K e fator LS para Belo Oriente e Guanhães.....	97
FIGURA 4 Perdas de solo nos diferentes cenários em Belo Oriente.....	101
FIGURA 5 Perdas de solo nos diferentes cenários em Guanhães.....	102
FIGURA 6 Perdas médias de solo estimadas pela USLE para cada cenário.....	104
FIGURA 7 Perdas de solo em função da tolerância admitida para cada classe de solo em Belo Oriente e Guanhães.....	106

RESUMO

SILVA, Mayesse Aparecida da. **Modelagem espacial da erosão hídrica no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

Minas Gerais é o estado com maior área de florestas plantadas no Brasil, grande parte desses plantios encontra-se na região do Vale do Rio Doce, MG. Essa região é, atualmente, das mais degradadas pela erosão hídrica no estado. Como forma de auxiliar na identificação de áreas com menor e maior suscetibilidade a erosão hídrica e a compreender os mecanismos erosivos tem-se utilizado a modelagem da erosão hídrica. Objetivou-se com este trabalho estimar, avaliar e espacializar as perdas de solo e água por erosão hídrica em plantios florestais com eucalipto, relacionando-as com as observadas em floresta nativa, pastagem plantada e solo descoberto, e compará-las com os limites admissíveis para as principais classes de solo. O estudo foi realizado em áreas plantadas com eucalipto, localizadas no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. Foram obtidos e gerados os mapas dos fatores da equação universal de perdas de solo (USLE) para proceder à espacialização, por meio da modelagem da USLE. Os índices de erosividade anual variaram de 7.970 a 18.646 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, considerados altos e muito altos. Os valores de erodibilidade foram 2,0x10⁻⁴ e 10x10⁻⁴ Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, respectivamente, sendo considerados baixos. Belo Oriente apresentou maiores riscos à erosão que Guanhães, sugerindo que o fator LS e o fator K foram os principais responsáveis na variação das perdas de solo em relação as duas sub-bacias. As menores perdas de solo, entre os cenários avaliados, ocorreram nos usos com eucalipto conservacionista e não conservacionista e floresta nativa. As perdas estimadas foram muito próximas das perdas determinadas na parcela-padrão.

¹ Orientador: Marx Leandro Naves Silva – UFLA.

ABSTRACT

SILVA, Mayesse Aparecida da. **Modeling spatial of water erosion in the Doce River Valley, Central-East region of Minas Gerais state – Brazil.** 2009. 116 p. Dissertation (Master in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG².

Minas Gerais state has the largest area of planted forests in Brazil, where most plantations is located in the Doce River Valley region, Minas Gerais, Brazil. Nowadays, such place is the most degraded region by water erosion of the entire state. Water erosion modeling has been applied as a way to assist into identifying areas with lesser and greater water erosion susceptibility and understand the erosion mechanisms. The objective of this work was to estimate, assess, and distribute the soil and water loss by water erosion in the eucalyptus forest plantations, which were linked with those observed in the native forest, planted pasture and bare soil. Finally, the soil loss was compared with the tolerable values for major soil classes. The study was carried out in areas with eucalyptus plantation, located in the Doce River Valley, Central-East region of Minas Gerais state – Brazil. Maps of the universal soil loss equation (USLE) factors were obtained and generated in order to procedure the soil loss spatial distribution through the USLE model. The annual erosivity index ranged from 7,970 to 18,646 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹, being considered high and very high. The erodibility values were 2,0x10⁻⁴ and 10x10⁻⁴Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ for the Red-Yellow Latosol and Red Latosol, respectively, all of them were considered as low. Belo Oriente showed higher erosion risk when compared with Guanhães. It suggested that the LS factor and K factor were the main responsible for the soil loss variation on the two sub-basins. The lower soil losses, among the scenarios evaluated, occurred in land-use with eucalyptus with conservationist-practices, eucalyptus with non-conservationist-practices, and native forest. The estimated soil losses were very close to soil losses assessment by standard plot.

² Adviser: Marx Leandro Naves Silva – UFLA.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos temos acompanhado desastres ambientais resultantes do mau uso dos recursos ambientais decorrentes do atual modelo de crescimento econômico que tem gerado desequilíbrios, pois se por um lado, nunca houve tanta riqueza sendo produzida, por outro lado, a desigualdade social, a degradação ambiental e a poluição aumentam cada vez mais, e diante destas constatações, surge o conceito de desenvolvimento sustentável buscando conciliar o desenvolvimento econômico com responsabilidade social e preservação ambiental (Antonangelo & Fenner, 2005).

Durante a década de 60 houve grande incentivo aos plantios florestais por parte do governo brasileiro com o propósito de alavancar diferentes segmentos industriais no país, em especial a indústria de celulose e papel e a indústria siderúrgica. Naquela época os plantios florestais, no Brasil, ocupavam apenas 200 mil hectares e atualmente cobrem uma área de 5,7 milhões de hectares, geram 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos e contribuem com mais de 2% do PIB nacional (Hoeflich & Tuoto, 2008).

Minas Gerais é o estado com maior área de florestas plantadas no Brasil. De acordo com relatório da Associação Mineira de Silvicultura (AMS), o plantio anual de florestas no Estado se multiplicou cinco vezes e meia em uma década, passando de 35.789 hectares, em 1999, para 198.500 hectares, em 2008 (Celulose Online, 2009). A maior parte desses plantios concentra-se nas regiões do Vale do Rio Doce, Centro-Oeste, Noroeste, Centro/Norte e Vale Jequitinhonha/Mucuri (Minas Gerais, 2008).

A região do Vale do Rio Doce, atualmente, é das regiões mais degradadas pela erosão hídrica no estado de Minas Gerais. Ela sofreu um efeito antrópico muito impactante nos últimos 50 – 60 anos, que incluiu:

desmatamento da floresta nativa, uso indiscriminado do fogo e manejo incorreto das pastagens de capim colonião, as quais naturalmente já não oferecem uma boa cobertura ao terreno, e total desrespeito à capacidade de suporte das pastagens, o que aliado ao relevo movimentado dominante e à ocorrência de chuvas erosivas concentradas resultou num quadro dramático de degradação do solo, decorrente do processo de erosão acelerada inclusive no topo dos morros (áreas de recarga do lençol freático). Os plantios florestais encontram-se, principalmente, em áreas de relevo acidentado, em solos com baixa fertilidade natural e em antigas áreas agrícolas degradadas. Estes fatores associados às operações de manejo, colheita mecanizada da madeira, construção e manutenção de estradas florestais e ao potencial erosivo da região são os principais responsáveis pela perda da capacidade produtiva dos solos florestais e alteração da qualidade da água em sub-bacias, decorrentes da erosão hídrica. Em média, cerca de 30% dos sedimentos perdidos por erosão hídrica chegam aos mananciais, podendo causar o comprometimento da qualidade da água e assoreamento (Hernani et al., 2002). Estes aspectos justificam estudos relativos ao monitoramento da erosão hídrica, na região, visando ações de planejamento de práticas de conservação do solo e da água (Oliveira et al., 2009), principalmente desta última.

Como forma de auxiliar na identificação de áreas com menor e maior suscetibilidade a erosão hídrica e a compreender os mecanismos erosivos, bem como, suas causas e efeitos tem-se utilizado a modelagem da erosão hídrica. Dessa forma pode-se utilizar a modelagem dos processos erosivos como um indicador ambiental de zonas específicas de manejo e na determinação das práticas conservacionistas. Vários são os modelos existentes, porém o mais utilizado em todo o mundo é a Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE), a qual é um modelo empírico desenvolvido por Wischmeier & Smith (1978). A USLE expressa a perda de solo a partir dos

seguintes fatores: Fator R – erosividade da chuva – considerado o fator mais importante da USLE, é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão hídrica em uma área sem proteção; Fator K – erodibilidade do solo – representa a susceptibilidade do solo em sofrer destacamento e transporte pela ação erosiva da chuva e pelo fluxo de água; Fator LS – comprimento e declividade do terreno – reflete os efeitos da topografia nas perdas de solo causada pela erosão hídrica; Fator C – uso e manejo do solo – representa a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado; e Fator P – práticas conservacionistas – adotadas, é a relação entre a intensidade esperada das perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (Bertoni & Lombardo Neto, 2005).

Com o advento da tecnologia, muitos trabalhos de integração dos fatores da USLE no sistema de informações geográficas (SIG) têm sido desenvolvidos objetivando espacializar e prever as perdas de solo para determinada região (Srinivas et al., 2002; Tomazoni & Guimarães, 2005; Erdogan et al., 2007; Bahadur, 2009). Em adição a integração da USLE com SIG, a interpolação geoestatística, por meio da krigagem, tornou-se uma importante alternativa para outras técnicas de mapeamento (Ozcan et al., 2008).

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Com base nessas informações, Matheron (1963), baseando-se nas observações de Krige (1951), desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, definida como uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações

não podem ser representadas por uma função matemática simples e que pode ser interpolada no espaço por meio da krigagem.

Considerando a importância dos processos erosivos no manejo da produção florestal e na adoção das práticas de manejo e de conservação do solo e da água em sub-bacias objetivou-se com este trabalho estimar, avaliar e espacializar as perdas de solo e água por erosão hídrica em plantios florestais com eucalipto, relacionando-as com as observadas em floresta nativa, pastagem plantada e solo descoberto, e compará-las com os limites admissíveis para as principais classes de solo no Vale do Rio Doce, Região Centro – Leste de MG.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONANGELO, A.; FENNER, P. T. Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 1-20, 2005.

BAHADUR, K. C. K. Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the upper nam wa Watershed, Nan Province, Thailand. **Environmental Geology**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 695-705, Apr. 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

CELULOSE ONLINE. **MG lidera tecnologia para florestas plantadas**.

Disponível em:

<<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=22849&IDNoticia=19262>> . Acesso em: 11 maio 2009.

ERDOGAN, H. E.; ERPUL, G.; BAYRAMIN, I. Use of USLE/GIS methodology for predicting soil loss in a semiarid agricultural watershed. **Environmental monitoring and assessment**, Dordrecht, v. 131, n. 1/3, p. 153-161, Aug. 2007.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. de. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

HOEFLICH, V. A.; TUOTO, M. **Floresta plantada poupa a mata nativa**.

Disponível em:

<<http://www.celuloseonline.com.br/Colunista/colunista.asp?IDAssuntoMateria=569&iditem=>>>. Acesso em: 9 fev. 2008.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **Journal South African Institute of Mining and Metallurgy**, Johannesburg, v. 52, p. 119-139, 1951.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, Dec. 1963.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. **Base de dados**. Disponível em: <<http://www.sectes.mg.gov.br>>. Acesso em: 8 fev. 2008.

OLIVEIRA, F. P. de; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A. da; MELLO, C. R. de. Potencial erosivo da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais: primeira aproximação. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 2009. No prelo.

OZCAN, A. U.; ERPUL, G.; BASARAN, M.; ERDOGAN, H. E. Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of inland mountain pass-çankiri, Turkey. **Environmental Geology**, Berlin, v. 53, n. 8, p. 1731-1741, Feb. 2008.

SRINIVAS, C. V.; MAJI, A. K.; OBI REDDY, G. P.; CHARY, G. R. Assessment of soil erosion using remote sensing and GIS in Nagpur district, Maharashtra for prioritisation and delineation of conservation units. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, New York, v. 30, n. 4, p. 197-212, Oct. 2002.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 57, p. 235-244, dez. 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p.

CAPÍTULO 2

Espacialização da erosividade no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais

1 RESUMO

Um fator muito atuante no processo erosivo e considerado de grande importância é o fator R, denominado erosividade da chuva. Este fator é um dos componentes da equação universal de perdas de solo. Vários estudos de variabilidade espacial têm sido realizados almejando definir a distribuição espacial do fator R para determinada região. Portanto, objetivou-se com esse trabalho calcular a erosividade da chuva (fator R - EI_{30}) e gerar os mapas de espacialização da erosividade. O estudo foi realizado em áreas experimentais de plantios de eucalipto localizadas em nove sub-regiões, no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. Foram utilizados dados pluviográficos referentes ao período de janeiro de 2005 a dezembro de 2008. A espacialização da erosividade foi feita com base nos princípios da geoestatística e a interpolação dos dados por meio da krigagem. Os índices de erosividade anual variaram de 7.970 a 18.646 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Foi detectado grau forte de dependência espacial para a erosividade anual e mensal, exceto para o mês de junho. Não foi detectada dependência espacial nos meses de maio, agosto e outubro. O alcance para o índice de erosividade mensal variou de 16 km a 69 km, para o anual foi de 34 km e para a altitude 83 km.

2 ABSTRACT

A factor very active in the erosive process and considered of major importance is the R factor, called rainfall-runoff erosivity. This factor is one of the components of the universal soil loss equation. Several studies of spatial variability have been conducted in the attempt to define the spatial distribution of the R factor for a given region. Therefore, this work aimed to calculate the rainfall erosivity (R factor – EI_{30}) and generate spatial distributed erosivity maps. The study was conducted in experimental areas of eucalyptus plantations located in nine sub-regions of the Doce River Valley, Central-Eastern region of Minas Gerais state, Brazil. Pluviographs data from January 2005 to December 2008 were used. The erosivity spatial distribution was done following principles of geostatistics and data interpolation using kriging. The annual rainfall-runoff erosivity indexes ranged from 7,970 to 18,646 $MJmm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$. It was detected strong degree of spatial dependence for annual rainfall-runoff erosivity and monthly, except for June. It was not detect spatial dependence for the months of May, August and October. The reachness for the monthly erosivity index varied from 16 km to 69 km, while for the annual was 34 km and 83 km for the altitude.

3 INTRODUÇÃO

Mais da metade dos plantios de eucalipto no Brasil (51,77 %) encontra-se no estado de Minas Gerais (Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2001), concentrando-se nas regiões do Vale do Rio Doce, Centro-Oeste, Noroeste, Centro/Norte e Vale do Jequitinhonha/Mucuri (Minas Gerais, 2008).

A região do Vale do Rio Doce, atualmente, é das regiões mais degradadas pela erosão hídrica no estado de Minas Gerais. Ela sofreu um efeito antrópico muito impactante nos últimos 50 – 60 anos, que incluiu: desmatamento da floresta nativa, uso indiscriminado do fogo e manejo incorreto das pastagens de capim colônia, as quais naturalmente já não oferecem uma boa cobertura ao terreno, e total desrespeito à capacidade de suporte das pastagens, o que aliado ao relevo movimentado dominante e à ocorrência de chuvas erosivas concentradas resultou num quadro dramático de degradação do solo, decorrente do processo de erosão acelerada inclusive no topo dos morros (áreas de recarga do lençol freático). Os plantios florestais encontram-se, principalmente, em áreas de relevo acidentado, em solos com baixa fertilidade natural e em antigas áreas agrícolas degradadas. Estes aspectos justificam estudos relativos ao monitoramento da erosão hídrica, na região, visando ações de planejamento de práticas de conservação do solo e da água (Oliveira et al., 2009), principalmente desta última.

Um fator muito atuante no processo erosivo e considerado o mais importante é o fator R, que compõe a equação universal de perdas de solo, denominado erosividade da chuva, o qual é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão hídrica em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Ele pode ser expresso por meio de índices que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada

região (Cabral et al., 2005), sendo o EI_{30} , o mais utilizado em condições brasileiras. Considerado o índice mais adequado à realidade intertropical (Albuquerque et al., 1994; Alves, 2000; Bertoni & Lombardi Neto, 2005), o EI_{30} representa o produto da energia cinética com que a gota de chuva toca o solo pela sua intensidade máxima em trinta minutos. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2005) esse produto representa um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, salpico e turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas.

A determinação dos valores da erosividade, ao longo do ano, permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo e água são mais elevados, razão por que exerce papel relevante no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (Wischmeier & Smith, 1978; Hudson, 1995; Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Em razão disso, diversos pesquisadores têm realizado estudos de variabilidade espacial almejando definir a distribuição espacial da erosividade da chuva em determinada região.

Dentre os métodos de estudo da variabilidade a geoestatística tem sido largamente utilizada. Ela surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Com base nessas informações, Matheron (1963), baseando-se nas observações de Krige, desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, definida como uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples.

Na análise geoestatística é comum o uso de semivariogramas para descrever a estrutura da dependência espacial (Aquino, 2005). Segundo McBratney & Webster (1986); Mello (2004) o semivariograma é a parte central

da geoestatística, capaz de descrever a estrutura espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico (krigagem). Com ele o pesquisador é capaz de definir o modelo que melhor descreve o comportamento dos dados no espaço (Journel & Huijbregts, 1978). Uma aplicação do semivariograma é a utilização das informações geradas por ele na interpolação, ou seja, na estimativa de dados e posterior mapeamento da variável.

A interpolação dos dados pode ser realizada por meio da krigagem, que é um método baseado na relação de dependência espacial entre os pontos amostrais. Ela faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa dos dados (Aquino, 2005). Este estimador tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais dos semivariogramas obtidos a partir destes dados (Issaks & Srivastava, 1989).

Sabendo da importância que a erosividade tem no processo erosivo, particularmente em regiões muito degradadas e com chuvas erosivas concentradas, objetivou-se com esse trabalho, calcular a erosividade (fator $R - EI_{30}$) e gerar os mapas de espacialização da erosividade no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado em áreas experimentais de plantios de eucalipto da Celulose Nipo Brasileira S. A. (CENIBRA S. A.), localizadas em nove sub-regiões distintas (Alfié, Cataquinho, Cocais, Coqueiro, Cordeiros, Fábrica, Gaspar, Lagoa Grande e Rubro-Negro), no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais (Tabela 1). Segundo a classificação de Köppen, os seguintes tipos climáticos ocorrem na área de estudo: Aw – clima tropical, com inverno seco e estação chuvosa no verão, e estação seca manifestando-se entre os meses de maio a setembro; Cwa – clima de inverno seco e verão chuvoso, com temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassando 22 °C, e estação seca ocorrendo entre os meses de abril e setembro; e Cwb – clima mesotérmico de inverno seco e verão fresco, com temperaturas abaixo de 22 °C, sendo característico de áreas de maior altitude (Cenibra, 2001). As principais classes de solos presente na região são os Latossolos, seguidos pelos Cambissolos, o relevo é principalmente ondulado e forte ondulado, a vegetação nativa é representada pela floresta subcaducifolia e o uso atual da terra é predominantemente com pastagens e eucalipto (Cenibra, 2001). O mapa de localização das sub-regiões encontra-se na Figura 1.

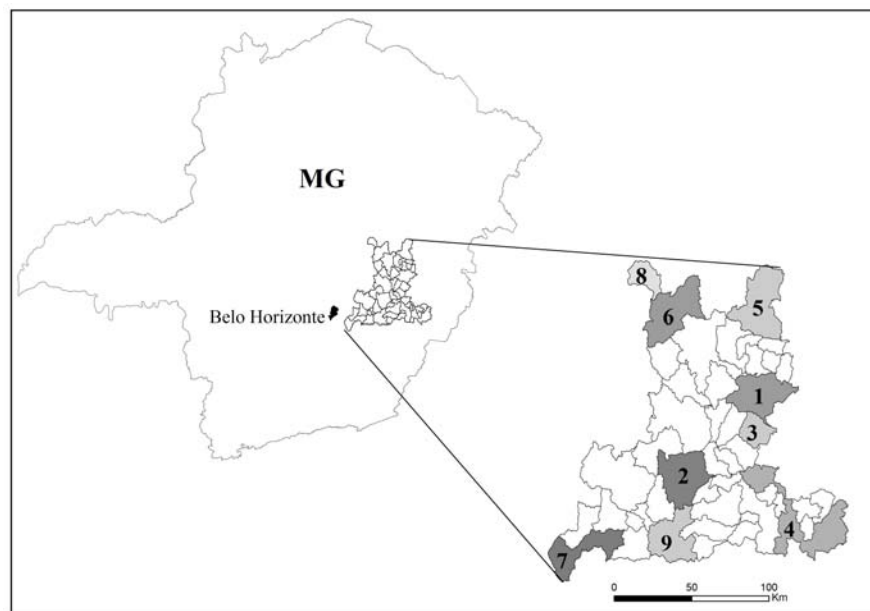


FIGURA 1 Localização do estado de Minas Gerais com destaque para a região do Vale do Rio Doce e os municípios onde se encontram as áreas experimentais.

TABELA 1 Características ambientais das áreas experimentais.

Nº	Município	Sub-região	UTM		Altitude m	Clima Köppen
			X	Y		
			23 K SAD 69			
1	Açucena	Rubro-Negro	770556 E	7892676 N	800	Aw
2	Antonio Dias	Cocais	724077 E	7843714 N	1.273	Cwb
3	Belo Oriente	Fábrica	773849 E	7862372 N	240	Aw
4	Caratinga	Cordeiros	773325 E	7835606 N	310	Aw
5	Peçanha	Cataquinho	764728 E	7929661 N	1.015	Cwa
6	Sabinópolis	Lagoa Grande	719288 E	7934814 N	1.012	Cwa
7	Santa Bárbara	Gaspar	676735 E	7789417 N	847	Cwb
8	Santo Ant. do Itambé	Coqueiro	719325 E	7812066 N	993	Cwa
9	São Dom. Prata	Alfié	693390 E	7947381 N	1.143	Cwb

Fonte: Cenibra (2004), com adaptações.

4.2 Determinação do índice de erosividade EI_{30} com dados pluviográficos e pluviométricos

Os mapas de localização das estações pluviográficas e pluviométricas podem ser vistos nas Figuras 2a e 2b.

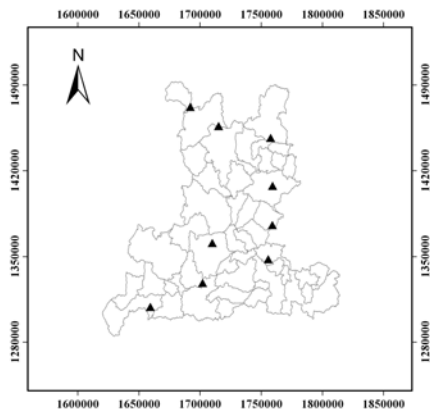


FIGURA 2a Mapa de localização das estações climatológicas.

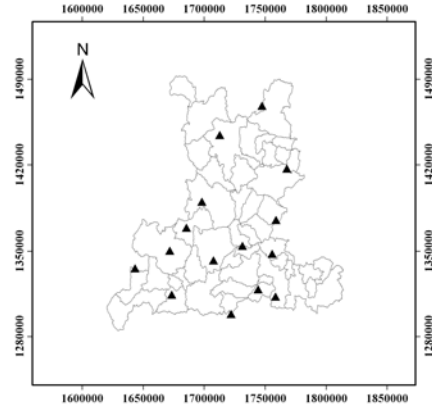


FIGURA 2b Mapa de localização das estações da Agência Nacional das Águas (ANA).

Para o estudo, foram utilizados dados pluviográficos referentes ao período de janeiro de 2005 a dezembro de 2008, obtidos de estações climatológicas automatizadas, distribuídas nos municípios e sub-regiões de abrangência do estudo (Figura 2a), que geraram dados a cada 5 minutos. A partir das precipitações, foram calculadas as energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de 6 horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h⁻¹ em 15 minutos, ou com energia cinética menor que 3,6 MJ, foram

consideradas não erosivas (Maria, 1994). Para o cálculo da energia cinética (E_c), utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1958):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1)$$

onde E_c = energia cinética ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); e I = intensidade média da chuva (mm h^{-1}).

O índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) de cada chuva individual erosiva foi calculado multiplicando-se a energia cinética pela sua intensidade máxima em 30 minutos (mm h^{-1}). O EI_{30} mensal foi calculado pelo somatório dos valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorreram em cada mês do ano e cuja soma, por sua vez, caracterizou o EI_{30} anual (Wischmeier & Smith, 1958). A erosividade foi classificada segundo Foster et al. (1981) adaptado (Tabela 2).

TABELA 2 Classificação da erosividade da chuva.

Erosividade	Classificação
----- $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ -----	
< 300	Muito Baixa
300 – 2.000	Baixa
2.000 – 4.000	Moderada
4.000 – 8.000	Alta
> 8.000	Muito Alta

Fonte: Foster et al. (1981) adaptado.

Considerando a baixa densidade de pontos com dados pluviográficos para analisar a variabilidade espacial dos índices de erosividade (Figura 1a), foram também utilizados, neste trabalho, dados pluviométricos, obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) de 15 municípios na região do estudo (Figura 2b).

Esses dados foram utilizados para gerar índices de erosividade a partir de equações de regressão obtidas entre valores mensais de EI_{30} e precipitação mensal ou índices pluviométricos, para os 15 municípios apresentados na Figura 1b. As equações de regressão para a estimativa do EI_{30} , assim como a localização dos municípios, a altitude e os anos de observação de cada estação analisada encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3 Equações ajustadas entre o índice de erosividade mensal médio – EI_{30} ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) e a precipitação média mensal p (mm) ou o coeficiente de chuva Rc , localização, altitude e anos observados.

Município	Equação	R^2	UTM		Altitude m	Anos observados
			X	Y		
1	$EI_{30} = 7,84 p - 119,27$	0,9	723688 E	7825855 N	365	21
2	$EI_{30} = 215,4Rc^{0,65}$	0,89	773612 E	7862113 N	240	18
3	$EI_{30} = 321,63 Rc^{0,48}$	0,86	779867 E	7802599 N	505	67
4	$EI_{30} = 321,63 Rc^{0,48}$	0,86	773325 E	7835606 N	310	38
5	$EI_{30} = 7,84 p - 119,27$	0,9	747219 E	7839419 N	232	22
6	$EI_{30} = 321,63 Rc^{0,48}$	0,86	764297 E	7806931 N	210	67
7	$EI_{30} = 215,4Rc^{0,65}$	0,89	708695 E	7870016 N	470	67
8	$EI_{30} = 123,34 Rc^{0,74}$	0,95	718083 E	7923114 N	808	67
9	$EI_{30} = 170,59 Rc^{0,64}$	0,93	685269 E	7829985 N	770	20
10	$EI_{30} = 114,42 Rc^{0,81}$	0,86	657152 E	7813650 N	595	39
11	$EI_{30} = 9,63 p - 141,07$	0,9	751595 E	7949149 N	765	19
12	$EI_{30} = 170,59 Rc^{0,64}$	0,93	690732 E	7796037 N	623	67
13	$EI_{30} = 7,84 p - 119,27$	0,9	697603 E	7849197 N	538	66
14	$EI_{30} = 158,35 Rc^{0,85}$	0,88	778368 E	7902317 N	255	14
15	$EI_{30} = 114,42 Rc^{0,81}$	0,86	743329 E	7785574 N	285	27

1: Antônio Dias; 2: Belo Oriente; 3: Bom Jesus do Galho; 4: Caratinga; 5: Coronel Fabriciano; 6: Córrego Novo; 7: Ferros; 8: Guanhães; 9: Itabira; 10: Nova era; 11: Peçanha; 12: Rio Piracicaba; 13: Santa M. de Itabira; 14: São G. da Piedade; 15: São José do Goiabal.

Devido às falhas nas séries históricas, não foi possível selecionar um período comum de dados para todas as estações pluviométricas, para fins de determinação dos índices de erosividade das chuvas, assim foram utilizadas séries históricas com períodos diferentes entre os municípios. O índice de chuva utilizado nas relações não-lineares foi proposto por Fournier (1956) e modificado por Lombardi Neto (1977):

$$R_c = p^2 \times P^{-1} \quad (2)$$

onde R_c = coeficiente de chuva (mm); p = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

4.3 Espacialização do índice de erosividade

A espacialização da erosividade foi feita com base nos princípios da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. Previamente ao ajuste do semivariograma realizou-se a análise exploratória dos dados e o teste de normalidade Shapiro-Wilk a 5% (Shapiro & Wilk, 1965).

Os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostra o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e mostram, também, a continuidade da característica estudada no terreno (Landim, 1998; Zimback, 2003). A construção do semivariograma foi realizada pela seguinte expressão (Journel, 1989).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \times N(h)} \times \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s+h) + Z(s)]^2 \quad (3)$$

onde $\gamma(h)$ é a semivariância estimada entre pares de pontos; $Z(s+h)$ e $Z(s)$ são valores medidos em locais afastados entre si pela distância h , $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela mesma distância h .

Na construção dos semivariogramas experimentais foram utilizados os valores de erosividade calculados para as estações pluviométricas e pluviográficas. Com isso obteve-se um maior número de pontos amostrais garantindo um melhor ajuste do semivariograma teórico.

Antes de prosseguir no ajuste dos modelos e interpolação dos dados, o índice de dependência espacial (IDE), proposto por Cambardella et al. (1994),

foi calculado com o objetivo de determinar o grau de dependência espacial. Segundo os autores, valores de IDE de até 25%, de 25% a 75% e acima de 75% representam, respectivamente, forte, moderada e fraca dependência espacial.

$$IDE = \frac{C_0}{C + C_0} \times 100 \quad (4)$$

onde $C + C_0$ é o patamar e C_0 o efeito pepita, ambos extraídos do ajuste do semivariograma teórico.

O modelo de semivariograma ajustado neste trabalho foi o exponencial. Após os ajustes e validação do semivariograma procedeu-se a interpolação dos dados por meio da krigagem, gerando mapas que mostram o comportamento espacial da erosividade na região do Vale do Rio Doce. Para avaliação da possível relação entre o comportamento da erosividade e as características da região foi desenvolvido o mapa de krigagem para a variável altitude.

Todas as análises geoestatísticas foram realizadas no Programa R, por meio do pacote GeoR (Ribeiro Junior & Diggle, 2001). Os mapas da krigagem foram feitos no Arc Gis 9.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição do número de chuvas erosivas, não erosivas, bem como o valor total de chuvas, pode ser observada na Tabela 4. Foram estudadas 1.379 chuvas, das quais 482 foram consideradas erosivas (35%) e 897 não erosivas (65%). De acordo com Hudson (1971) 40% do total anual das chuvas que ocorrem em regiões tropicais são consideradas erosivas, enquanto que, em regiões de clima temperado, apenas 5% são consideradas erosivas. Em média, os maiores números de chuvas erosivas ocorreram nos meses de janeiro a março e novembro e dezembro. Esses meses contribuíram com aproximadamente 74% do total das chuvas erosivas ocorridas no período de estudo, sendo que o mês de novembro foi o que apresentou o maior número (16%).

O volume total médio precipitado e o volume médio mensal de chuvas erosivas e não erosivas para cada sub-região encontram-se na Tabela 5. A precipitação pluvial média anual no período estudado foi de 1.211,91 mm, sendo 1027,11 mm relativos a chuvas erosivas e 184,8 mm a chuvas não erosivas, correspondendo a 85% e 15% da mesma, respectivamente. As maiores precipitações pluviais ocorreram nos meses de novembro e dezembro, correspondendo a 39% do total anual médio precipitado, seguidos pelos meses de janeiro a março, os quais contribuíram com 40% do total anual médio precipitado. Souza et al. (2006) encontraram valores similares para os meses de outubro a março nos municípios de Belo Oriente, Guanhães e Nova Era, representando 87% do total precipitado nos dois primeiros e 84% no último. Oliveira et al. (2005) verificaram que em todo o estado de Minas Gerais as chuvas de novembro a fevereiro representam cerca de 70% da precipitação anual histórica.

TABELA 4 Distribuição dos valores médios mensais e médios anuais dos números de chuvas erosivas, não erosivas e o total de chuvas.

Mês	Sub-regiões								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-----Chuvas erosivas-----									
Jan.	10	13	10	12	9	9	10	9	8
Fev.	7	10	6	7	8	9	8	9	6
Mar.	6	8	7	6	5	5	7	6	4
Abr.	1	4	2	3	7	4	2	3	5
Mai.	2	1	1	1	4	3	2	2	3
Jun.	2	1	1	0	2	2	3	0	2
Jul.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ago.	1	1	0	0	3	1	1	1	1
Set.	3	3	3	2	3	2	3	2	3
Out.	4	3	2	3	2	2	4	3	3
Nov.	9	10	8	6	10	8	9	10	9
Dez.	6	6	10	6	6	6	9	8	9
Total	51	60	50	46	59	51	59	53	53
-----Chuvas não erosivas-----									
Jan.	12	13	15	11	7	8	11	12	11
Fev.	13	6	14	10	9	6	11	8	11
Mar.	8	13	11	10	5	10	9	14	11
Abr.	8	10	10	4	11	5	7	9	5
Mai.	3	14	10	10	8	6	3	8	7
Jun.	9	12	14	8	5	7	7	10	12
Jul.	2	4	5	3	6	2	3	4	5
Ago.	3	7	4	3	4	1	3	6	7
Set.	12	8	9	7	7	7	7	9	8
Out.	4	5	6	2	4	3	7	6	5
Nov.	13	12	18	13	11	12	15	16	14
Dez.	12	11	9	9	6	6	12	11	8
Total	99	115	125	90	83	73	95	113	104
-----Total-----									
Jan.	22	26	25	23	16	17	21	21	19
Fev.	20	16	20	17	17	15	19	17	17
Mar.	14	21	18	16	10	15	16	20	15
Abr.	9	14	12	7	18	9	9	12	10
Mai.	5	15	11	11	12	9	5	10	10
Jun.	11	13	15	8	7	9	10	10	14
Jul.	2	4	5	3	6	2	4	4	5
Ago.	4	8	4	3	7	2	4	7	8
Set.	15	11	12	9	10	9	10	11	11
Out.	8	8	8	5	6	5	11	9	8
Nov.	22	22	26	19	21	20	24	26	23
Dez.	18	17	19	15	12	12	21	19	17
Total	150	175	175	136	142	124	154	166	157

1: Alfíe; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.

TABELA 5 Distribuição dos valores médios mensais e médios anuais das lâminas de chuvas erosivas, não erosivas e o total precipitado.

Meses	Sub-regiões								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-----Volume de chuva erosiva (mm)-----									
Jan.	242,5	165,9	167,3	178,4	145,1	118,5	202,7	174,5	185,6
Fev.	89	116,2	101,6	132,4	101,5	180,2	139	105	129,7
Mar.	118,6	115,5	177,7	229,1	102,8	146,6	172,1	104,4	86,1
Abr.	2,2	54,7	48,1	78,8	60,9	58,2	39,7	34,4	186
Mai.	13,5	3	3,1	20,5	24,8	15,8	16,7	15,3	15,8
Jun.	5,4	3,8	11,8	0,3	7,8	3,1	6,7	0	4,9
Jul.	0,7	0	0,6	1,4	0,4	0	2,9	0,7	0,4
Ago.	11,5	2,6	0	0,4	20,8	11,6	16,8	0,9	14
Set.	32	26,4	37,3	61	32,8	16,2	59,9	26,8	32,8
Out.	88,7	40,6	52,8	115,1	51,2	36,1	80,7	55,9	57,2
Nov.	174,4	165,5	158,2	190,3	181,2	208,7	194	217	280
Dez.	147	204,5	229	224,8	134,7	212,3	185,6	193,8	285,8
Total	925,5	898,7	987,5	1.232,5	864,0	1.007,3	1.116,8	928,7	1.278,3
-----Volume de chuva não erosiva (mm)-----									
Jan.	25,8	13,9	23	9,3	15,3	8,8	14,8	23,4	16,5
Fev.	24,7	9	21,4	21,5	21,8	11,6	23,3	9,9	15,7
Mar.	16,5	21,7	14,8	10,1	4,1	9,3	18,7	21	10,3
Abr.	19,7	20,4	21,7	3,2	6,1	15,2	14,9	10,5	10,6
Mai.	2,7	13,6	11,8	9,2	5,8	5,8	3,4	6	11,2
Jun.	6,2	13	7,8	4,5	2,3	5,6	2,7	6,6	16,9
Jul.	1,3	11,7	6,3	6	2,1	1,1	3,3	3,7	8,9
Ago.	1,5	3,6	2,6	2,1	1,8	0,9	2,6	4,3	5,9
Set.	11,2	12,4	11,6	11,6	22,2	18,9	6,7	13	32,8
Out.	5,7	7,5	11,9	2,1	22,5	25,2	9,7	10,4	7,4
Nov.	34,1	51	65,7	67	40,8	101,3	43,4	21,3	52,9
Dez.	28	24,2	12,7	31,8	28,7	12,4	12,5	19,9	14,1
Total	177,4	202,0	211,3	178,4	173,5	216,1	156,0	150,0	203,2
-----Volume total de chuva (mm)-----									
Jan.	268,3	179,8	190,3	187,7	160,4	127,3	217,5	197,9	202,1
Fev.	113,7	125,2	123	153,9	123,3	191,8	162,3	114,9	145,4
Mar.	135,1	137,2	192,5	239,2	106,9	155,9	190,8	125,4	96,4
Abr.	21,9	75,1	69,8	82	67	73,4	54,6	44,9	196,6
Mai.	16,2	16,6	14,9	29,7	30,6	21,6	20,1	21,3	27
Jun.	11,6	16,8	19,6	4,8	10,1	8,7	9,4	6,6	21,8
Jul.	2	11,7	6,9	7,4	2,5	1,1	6,2	4,4	9,3
Ago.	13	6,2	2,6	2,5	22,6	12,5	19,4	5,2	19,9
Set.	43,2	38,8	48,9	72,6	55	35,1	66,6	39,8	65,6
Out.	94,4	48,1	64,7	117,2	73,7	61,3	90,4	66,3	64,6
Nov.	208,5	216,5	223,9	257,3	222	310	237,4	238,3	332,9
Dez.	175	228,7	241,7	256,6	163,4	224,7	198,1	213,7	299,9
Total	1.102,9	1.100,7	1.198,8	1.410,9	1.037,5	1.223,4	1.272,8	1.078,7	1.481,5

1: Alfíe; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.

Para todas as sub-regiões estudadas o período chuvoso compreendeu os meses de novembro a março, com exceção para a sub-região de Rubro-Negro que apresentou elevada precipitação pluvial até o mês de abril. A precipitação pluvial média no mês de abril para Rubro-Negro para esta sub-região foi de 196,6 mm enquanto que a segunda sub-região de maior precipitação no mesmo mês foi Coqueiro com 82 mm. Normalmente, os plantios de eucalipto nas grandes empresas florestais ocorrem em todos os meses. Sabendo os meses de maiores riscos à erosão por consequência de chuvas intensas (erosivas), pode-se planejar o manejo do plantio evitando que durante os períodos mais críticos o solo esteja sem proteção.

A distribuição dos valores anuais do índice de erosividade e a precipitação anual para cada sub-região encontram-se na Figura 3. Os índices de erosividade anual variaram de 7.970 a 18.646 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹. As sub-regiões que apresentaram o menor e o maior índice foram Cocais e Rubro-Negro, considerados alto e muito alto segundo classificação de Foster et al. (1981). Rubro-Negro também foi a que apresentou a maior precipitação pluvial média anual. O valor médio da erosividade anual foi de 11.656 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹, se enquadrando dentro da faixa de variação de 3.116 a 20.035 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹, encontrada por Silva (2004) por meio de mapa de erosividade da chuva para o Brasil e próximo ao limite superior da faixa estabelecida para o país que é de 5.000 a 12.000 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹, de acordo com Cogo (1988). Cassol et al. (2008) encontraram para São Borja, RS, o valor médio de erosividade anual de 9.571 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹, já Dias & Silva (2003) encontraram valores mais baixos para Fortaleza, CE, na ordem de 6.774 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹.

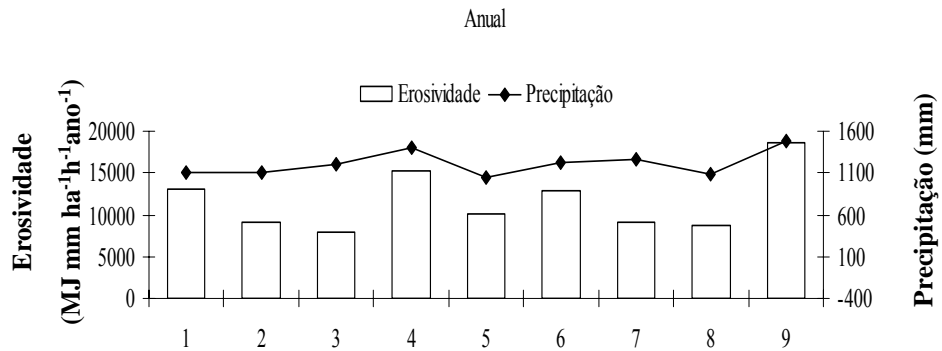


FIGURA 3 Distribuição da precipitação anual média e do índice de erosividade anual médio, EI_{30} , observadas, nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG. 1: Alfíe; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.

A distribuição dos valores médios mensais de erosividade e precipitação para o período estudado para cada região podem ser observadas na Figura 4.

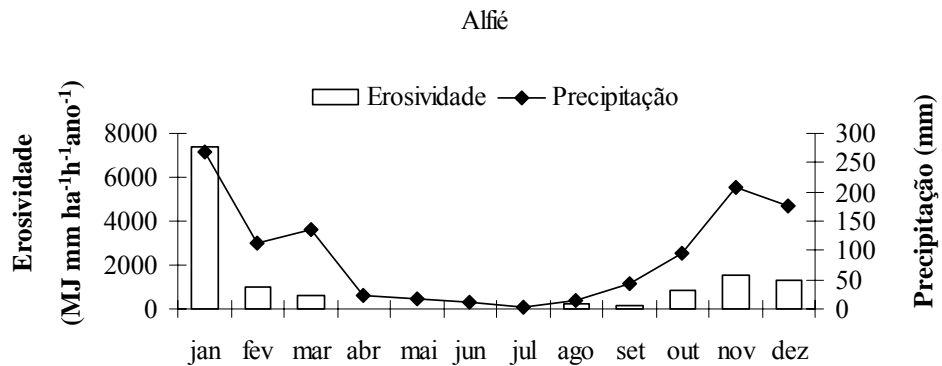


FIGURA 4 Distribuição da precipitação média mensal e do índice de erosividade médio mensal, EI_{30} , observadas, nos anos de 2005 a 2008, em nove subregiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.(...continua...)

FIGURA 4, Cont.

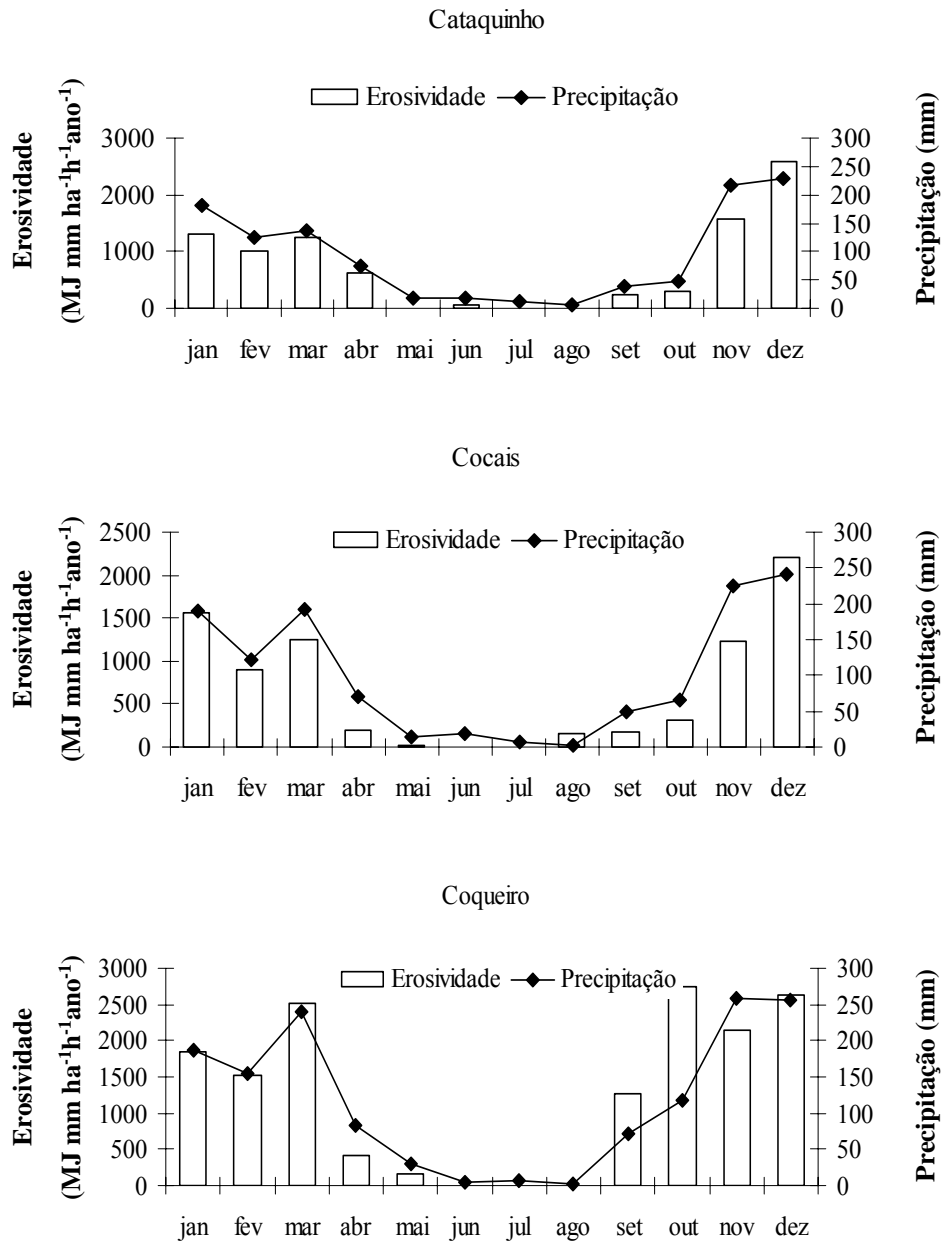


FIGURA 4, Cont.

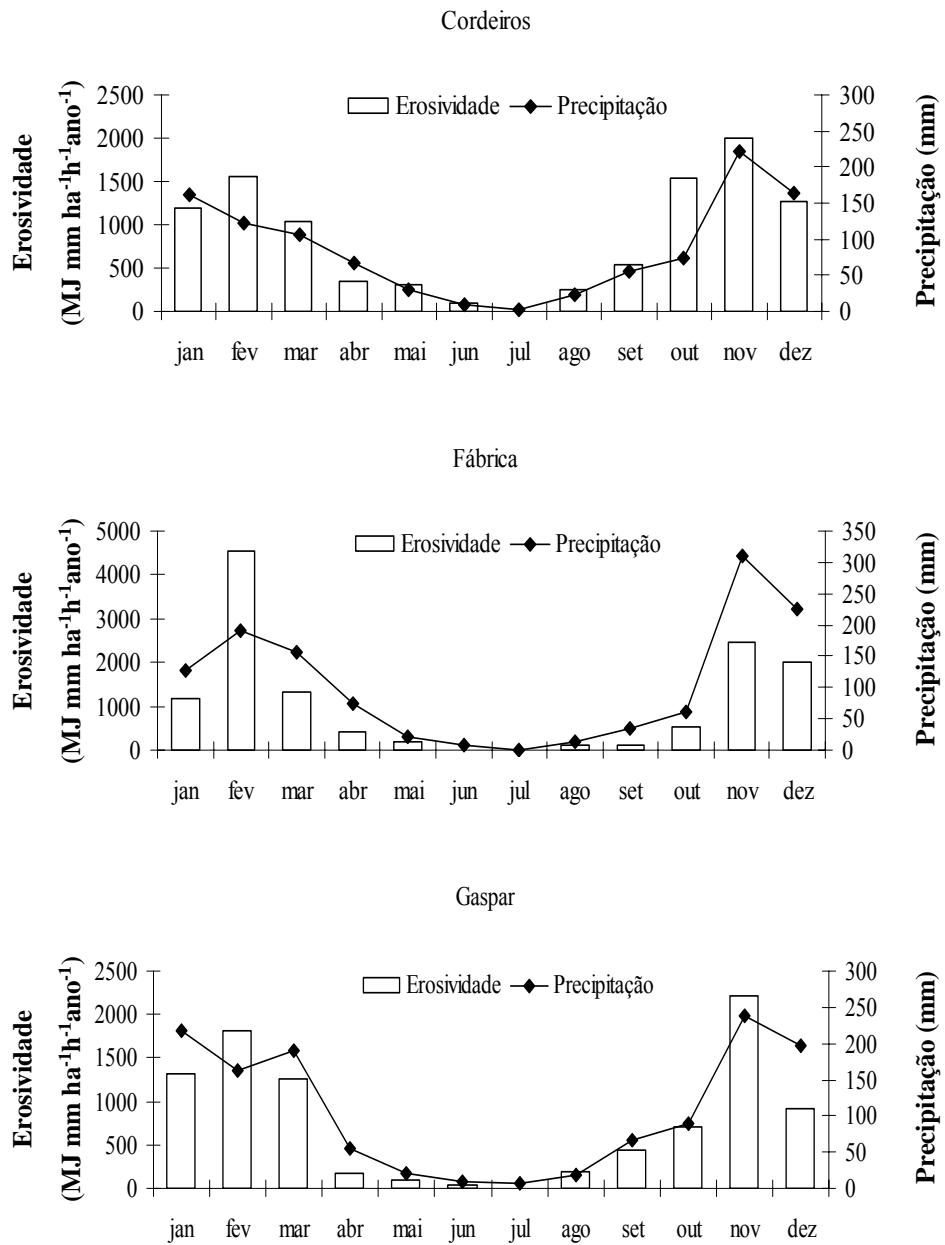
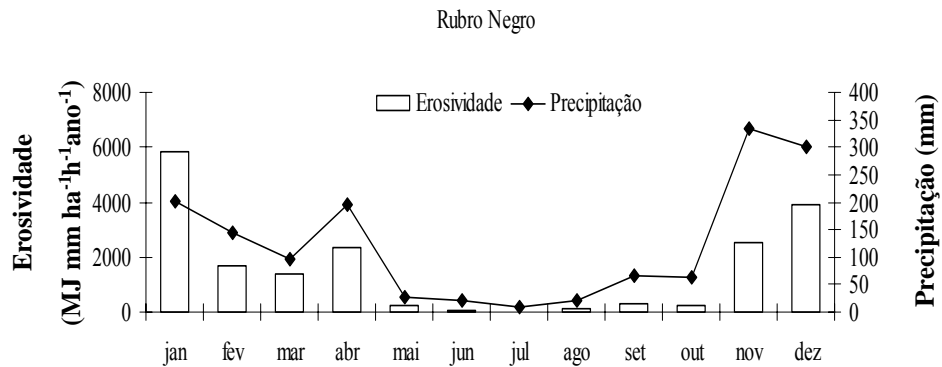


FIGURA 4, Cont.



A média mensal do índice de erosividade foi maior no período mais chuvoso, que compreende os meses iniciais do ano (janeiro a março) e os meses finais (novembro e dezembro), contribuindo, em média, com 83% do valor da erosividade total para o período de estudo. Nesse período a precipitação pluvial e a sua intensidade ocorrem de forma mais acentuada, característica de chuvas convectivas. Elas são típicas de regiões tropicais e caracterizam-se por serem de grande intensidade e curta duração. A região do Vale do Rio Doce é afetada, durante o verão, por fenômenos de circulação atmosférica influenciados pela predominância de sistemas convectivos associados ao aquecimento continental e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Cupolillo et al., 2006). Nesse período observa-se que houve variação no índice de erosividade entre os meses. Rubro-Negro foi a única sub-região que apresentou um índice de erosividade para o mês de abril maior que os índices registrados para o mês de fevereiro e março, considerados como meses de elevados índices de erosividade por outros autores como Bazzano et al. (2007); Martins (2005) e Aquino (2005). A erosividade nesse mês foi de $2.357 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, enquanto a segunda sub-região de maior erosividade no mesmo mês foi Cataquinho, com 629 MJ

mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹. Cassol et al. (2008) encontraram para o mês de abril o valor de 1.269 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ para o município de São Borja, RS. Analisando a distribuição mensal da erosividade observa-se que a sub-região de Rubro-Negro apresenta índices elevados também em outros meses. De acordo com Rufino (1986), valores de erosividade mensal acima de 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ podem ser considerados como críticos.

Segundo Wischmeier (1976) são necessários pelo menos 20 anos de informações no cálculo da erosividade no sentido de incluir variações cíclicas comuns aos parâmetros climáticos as quais se refletem na grande variabilidade temporal das chuvas e de sua erosividade. Considerando a escassez de informações de estações pluviográficas, vários pesquisadores vêm utilizando correlações entre erosividade, determinada em registros pluviográficos com detalhamento de 5 em 5 minutos, para determinar a erosividade através de séries históricas para diversas regiões. A Figura 5 mostra a distribuição da erosividade da chuva determinada a partir de dados pluviométricos para 15 municípios na região do Vale do Rio Doce.

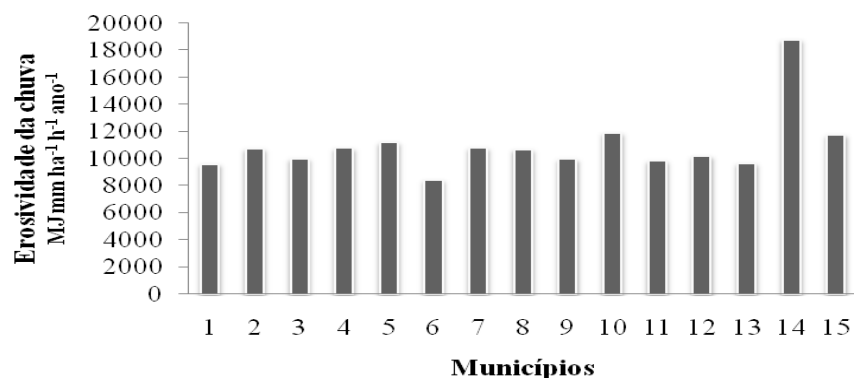


FIGURA 5 Distribuição do índice de erosividade da chuva médio anual determinado a partir de dados pluviométricos para 15 municípios. 1: Antônio Dias; 2: Belo Oriente; 3: Bom Jesus do Galho; 4: Caratinga; 5: Coronel Fabriciano; 6: Córrego Novo; 7: Ferros; 8: Guanhães; 9: Itabira; 10: Nova Era; 11: Peçanha; 12: Rio Piracicaba; 13: Santa Maria de Itabira; 14: São Geraldo da Piedade; 15: São José do Goiabal.

De posse dos valores do índice de erosividade procedeu-se a análise exploratória dos dados (Tabela 6). Verifica-se que os meses de maio a julho não apresentaram distribuição normal. De acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. O coeficiente de variação (CV) aumenta à medida que a erosividade diminui, corroborando com Vieira & Lombardi Neto (1995), onde o valor máximo para o CV ocorreu no período da seca.

TABELA 6 Análise exploratória dos valores de erosividade médio mensal, anual e para a altitude na região do Vale do Rio Doce, MG.

Período	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	S	CV%	N
Jan.	2.471	1.920	1.315	7.374	1.509	61	0,995
Fev.	1.161	1.120	844	1.812	259	22	0,963
Mar.	1.307	1.268	639	2.607	474	36	0,998
Abr.	527	483	10	2.357	470	89	0,995
Mai.	152	148	36	292	66	43	0,870*
Jun.	53	36	0	141	39	73	0,946*
Jul.	45	44	1	120	37	82	0,941*
Ago.	75	58	1	208	64	85	0,953
Set.	301	220	137	1.260	246	82	0,991
Out.	817	722	245	2.751	509	62	0,995
Nov.	2.017	1.930	1.384	3.895	560	28	0,999
Dez.	2.606	2.549	911	5.518	976	37	0,980
Anual	11.245	10.713	5.569	18.796	3.198	28	1,000
Altitude	571	522	210	1.143	294	51	0,964

*Significativo a 5% no teste de Shapiro-Wilk; S: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação; N: Teste de normalidade.

Os parâmetros dos semivariogramas ajustados e o índice de dependência espacial encontram-se na Tabela 7. A erosividade anual e as erosividades mensais apresentaram grau forte de dependência espacial, exceto o mês de junho, que apresentou grau moderado, e maio, agosto e outubro que não apresentaram dependência espacial. Aquino (2005) encontrou situação semelhante para a região sul de Minas Gerais, onde o índice de erosividade tanto mensal quanto anual apresentou forte dependência espacial, e os meses de setembro e outubro não apresentaram dependência espacial.

TABELA 7 Parâmetros dos semivariogramas teóricos ajustados para o índice de erosividade mensal, anual e para a altitude na região do Vale do Rio Doce, MG.

Período	a	C ₀	C+C ₀	IDE
Jan.	23	0	1.093.769,1	Forte
Fev.	23	0	66.995,4	Forte
Mar.	17	0	41.428,2	Forte
Abr.	36	0	262.321,2	Forte
Jun.	69	602,9	1.371,5	Moderado
Jul.	16	0	1.431,5	Forte
Set.	32	0	69.239,0	Forte
Nov.	44	0	395.685,2	Forte
Dez.	37	0	1.075.105,5	Forte
anual	34	0	9.885.025,2	Forte
altitude	83	37.454,0	84.564,5	Moderado

a: Alcance (km); C₀: Efeito Pepita; C+C₀: Patamar; IDE: Índice de Dependência Espacial.

Os semivariogramas podem ser vistos na Figura 6. A erosividade anual produziu um semivariograma com um alcance na ordem de 34 km, ou seja, dentro de um raio de 34 km qualquer ponto da região será influenciado por todos os outros. O alcance para o índice de erosividade mensal variou de 16 km no mês de julho a 69 km no mês de junho. Outros autores encontraram diferentes alcances para erosividade, indicando que pode haver variações de um local para outro. Vieira & Lombardi Neto (1995) encontraram valores de alcance de 70 km para erosividade no estado de São Paulo, Aquino (2005) encontrou para a região sul do estado de Minas Gerais uma variação de 20 a 187 km e Montebeller et al. (2007) encontraram valores de alcance que variaram de 43 a 56 km para o estado do Rio de Janeiro. Em média a erosividade mensal apresentou um alcance de 33 km. Assim, estações climatológicas distantes, em média, uma da outra em 33 km seriam suficientes para explicar o comportamento da erosividade na região. Já os meses de maio, agosto e outubro apresentaram um comportamento diferente

na construção do semivariograma. Eles apresentaram um efeito denominado “efeito pepita puro”. Segundo Montebeller et al. (2007) esse comportamento não apresenta dependência espacial e por isso não há aumento gradual das semivariâncias até determinada distância, em que o valor se estabilizaria (patamar), caso existisse dependência espacial. De acordo com Cupolillo et al. (2006) os meses de abril-maio e setembro-outubro compreendem, respectivamente, o início e o fim da estação seca na região, promovendo elevada variabilidade natural da precipitação, ocorrendo anos com bons índices pluviiais e outros praticamente sem chuvas, influenciando na distribuição espacial das chuvas nesse período.

A altitude apresentou IDE moderado e seu alcance foi de 83 km. Aquino (2005) também encontrou IDE moderado e alcance de 450 km para altitude no sul de Minas Gerais.

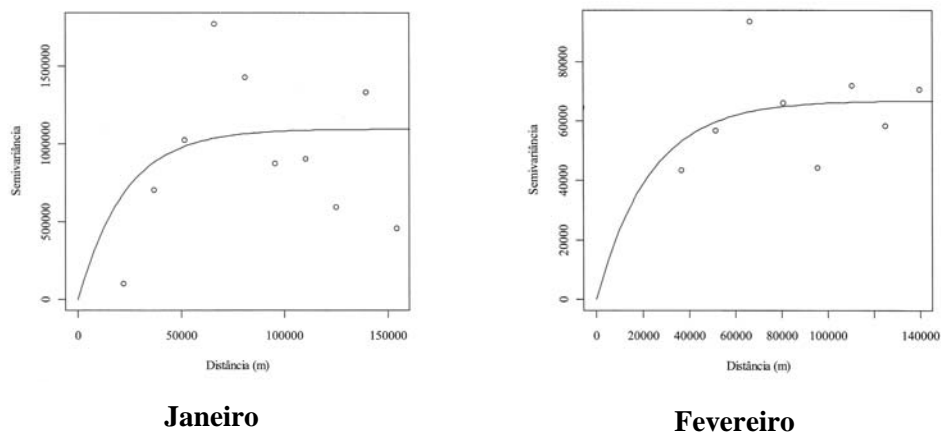
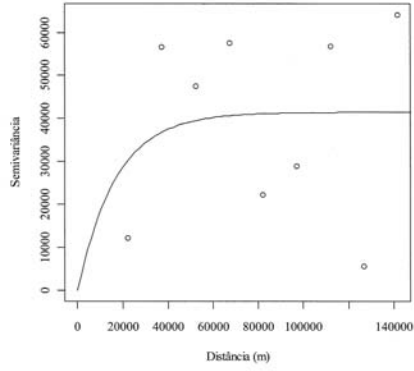
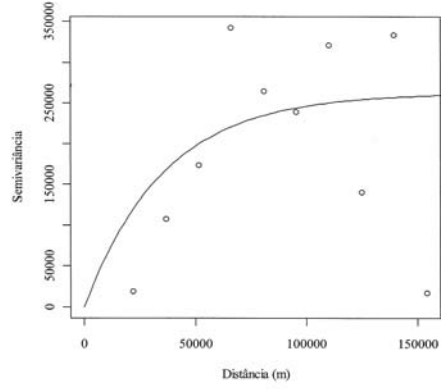


FIGURA 6 Semivariogramas ajustados para o índice de erosividade EI_{30} anual e mensal e altitude por meio do modelo exponencial. (...continua...)

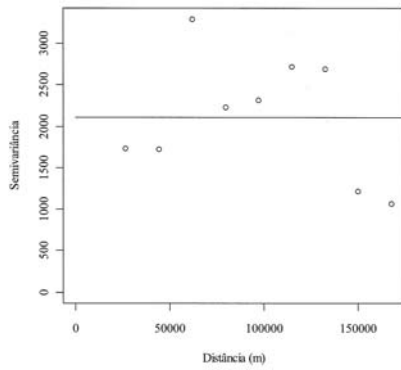
FIGURA 6, Cont.



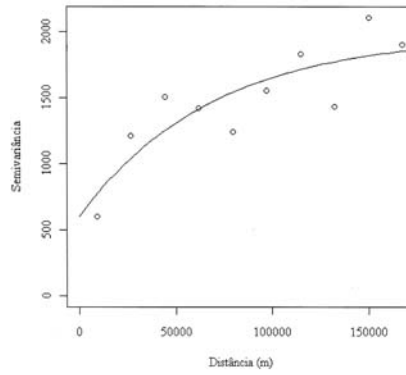
Março



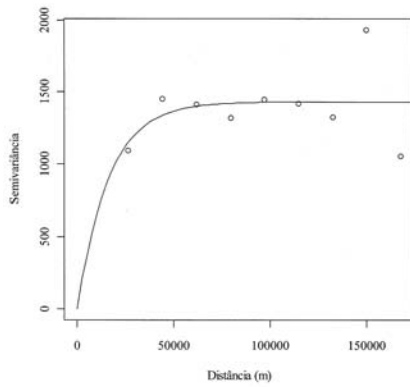
Abril



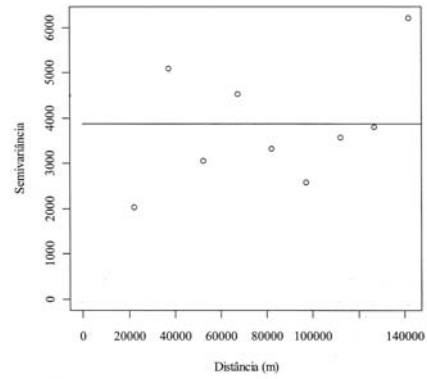
Maio



Junho

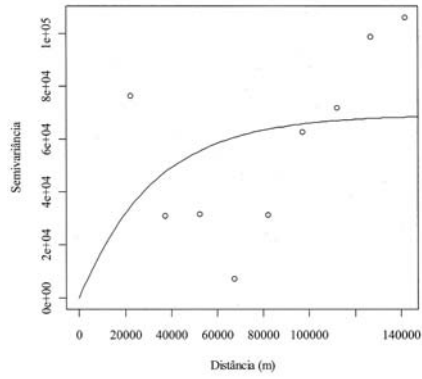


Julho

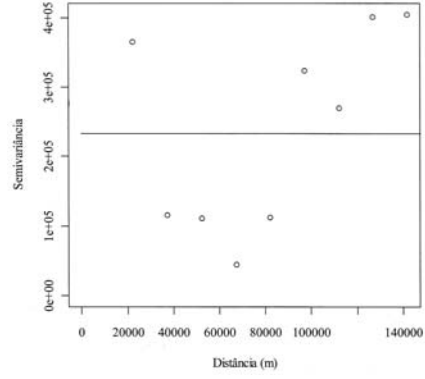


Agosto

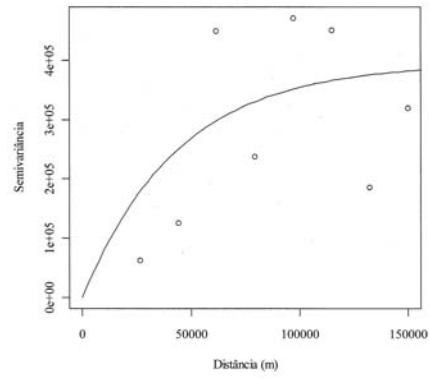
FIGURA 6, Cont.



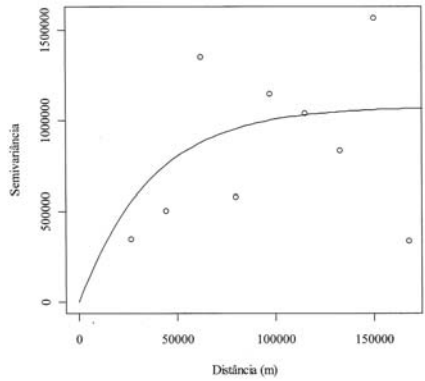
Setembro



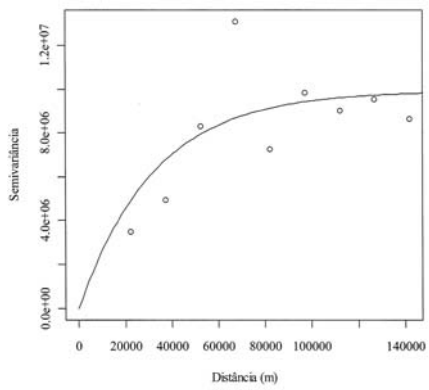
Outubro



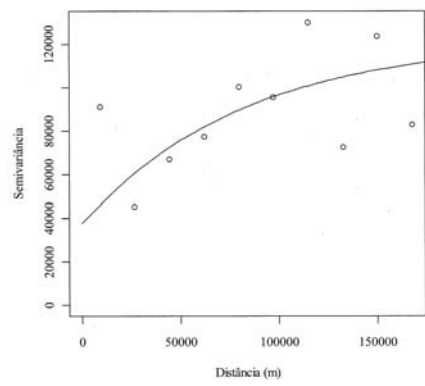
Novembro



Dezembro



Anual



Altitude

Na Figura 7 pode-se ver a espacialização do índice de erosividade anual para a região do Vale do Rio Doce. A região apresenta elevados índices de erosividade, classificados como alto e muito alto. No geral, a região apresentou erosividade de 10.000 a 12.000 MJ ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com pontos de erosividade muito elevados. Nas coordenadas 7900000 – 755000 verificam-se o maior índice de erosividade da região. Valores elevados para a região do Vale do Rio Doce também foram obtidos por Mello et al. (2007), os quais encontraram uma faixa de valores elevados que corta o estado de Minas Gerais no sentido leste a noroeste. Segundo eles a distribuição das chuvas mostra valores mensais mais elevados para a região do Vale do Rio Doce, onde são registrados os maiores valores de erosividade anual média, em alguns casos, superiores a 10.000 MJ ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, vale ressaltar que os valores encontrados por estes autores para a região do Vale do Rio Doce foram obtidos de uma única equação, ajustada com dados de um ano. Os valores obtidos neste trabalho foram desenvolvidos a partir de equações ajustadas para nove sub-regiões que dispunham de dados pluviográficos de quatro anos, os quais possibilitaram a determinação da erosividade para outros municípios que continham dados pluviométricos permitindo gerar os mapas de espacialização da erosividade com maior grau de detalhe.

Os mapas de espacialização do índice de erosividade mensal e da altitude podem ser vistos na Figura 8. É nítida a diferença na erosividade entre o inverno e o verão. Os meses mais chuvosos (novembro a março) apresentaram pontos de erosividade muito elevados, maiores que 5.000 MJ ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹, mas no geral, predomina valores próximos de 2.000 MJ ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹. Os meses mais secos como junho e julho apresentaram valores próximos a 50 MJ ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹. A região apresentou valores de erosividade menores no mês de fevereiro que no mês de março. Nos meses de junho e julho a erosividade foi maior na região de altitude mais baixa e menor nas maiores altitudes. Os meses de novembro e

dezembro apresentaram grande variabilidade nos valores de erosividade em relação aos demais meses, inclusive em relação ao mês de janeiro, o qual apresentou certa homogeneidade na erosividade para toda a região, porém com valores extremos para algumas localidades. Em relação à altitude, apenas nos meses de junho e julho é que se observou alguma relação com o índice de erosividade, não sendo observada a mesma relação nos outros meses.

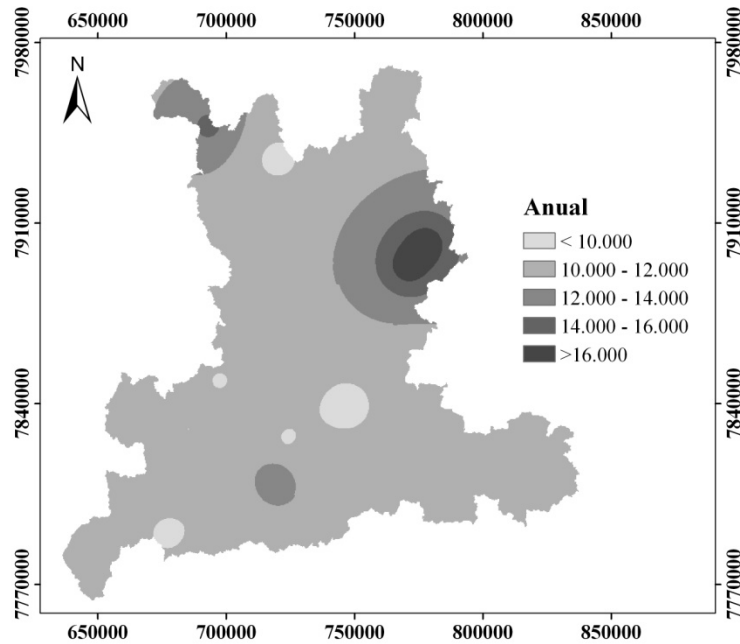


FIGURA 7 Espacialização da erosividade anual na região do Vale do Rio Doce.

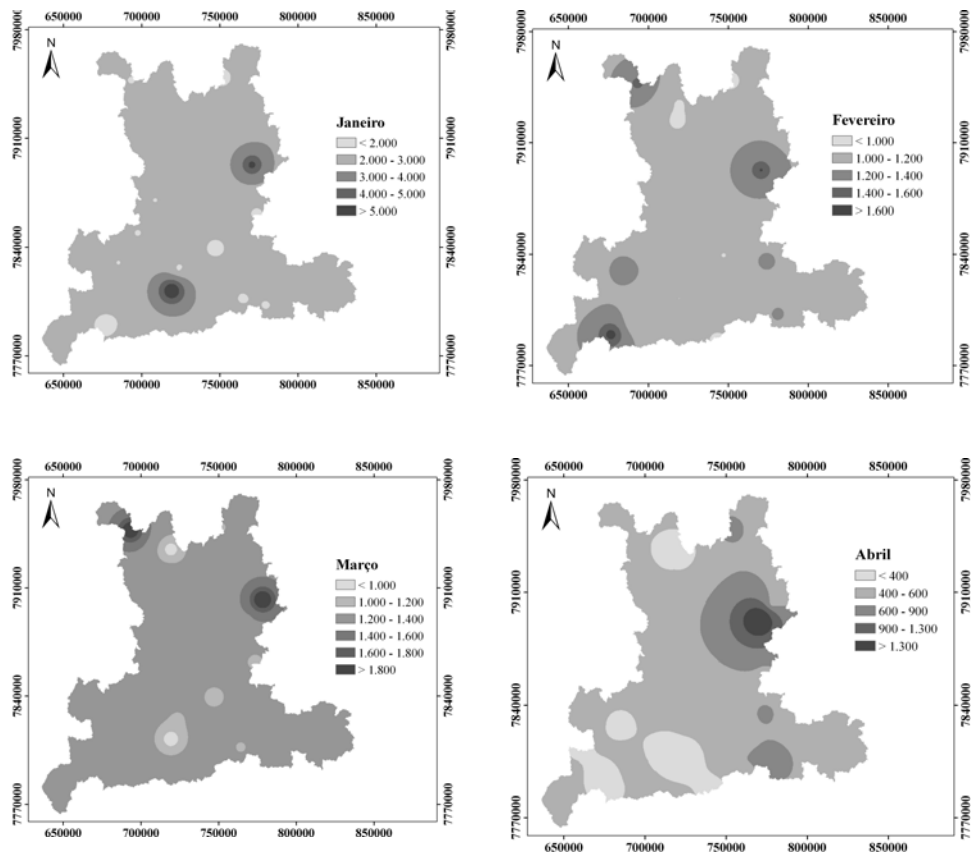
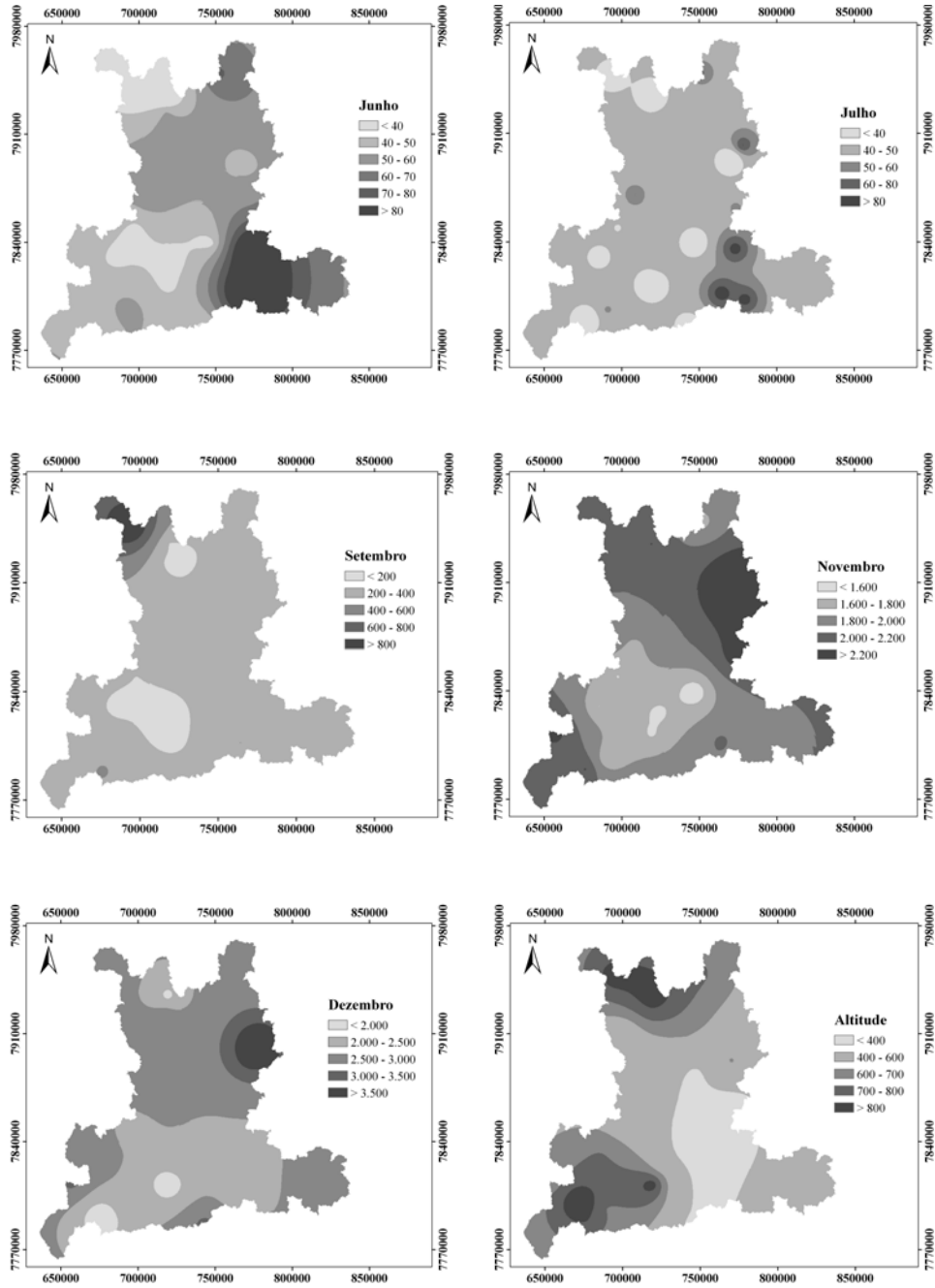


FIGURA 8 Espacialização da erosividade anual mensal e altitude para a região do Vale do Rio Doce, MG. (...continua...)

FIGURA 8, Cont.



6 CONCLUSÕES

As técnicas de espacialização geoestatística em associação à interpolação dos dados por intermédio da krigagem mostraram-se promissoras para o mapeamento da erosividade da chuva em escala regional.

Os índices de erosividade anual variaram de 7.970 a 18.646 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹, considerados altos e muito altos, constituindo cenários críticos para o planejamento de práticas de conservação do solo e da água, particularmente desta última, numa região tão degradada pela erosão hídrica e com chuvas concentradas.

A erosividade anual e mensal apresentou grau forte de dependência espacial, para a grande maioria dos meses do ano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I. B.; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 279-283, jun. 1994.
- ALVES, M. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu – DF usando técnicas de geoprocessamento. In: RELATÓRIO Técnico apresentado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2000. p. 1-33.
- AQUINO, R. F. **Padrões de chuva e variabilidade espacial da erosividade para o sul do estado de Minas Gerais**. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L.F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 5, p. 1205-1217, set./out. 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.
- CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. **GeoFocus**, São Paulo, n. 5, p. 1-18, 2005.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Oct. 1994.
- CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS A. M. de; LIMA, V. S. de; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, fev. 2008.

CENIBRA. **Levantamento semidetalhado de solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis.** Ipatinga, 2001. v.1, 101 p.

CENIBRA. **Sistema de monitoramento climático CENIBRA.** Ipatinga, 2004. 10 p.

COGO, N. P. Conceitos e princípios envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data.** New York: J. Wiley, 1991.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. de; CASTRO, F. V. F. de. Climatologia do regime pluviométrico na Bacia do Rio Doce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n], 2006. p. 1-7. Disponível em: <<http://www.criatividadecoletiva.net/cbm-files/14-2378b1d14af7fa809e81461e34de2d30.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2009

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A. Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I: distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 335-345, mar. 2003.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, Nov. 1981.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic International Public**, Hudson, v. 38, p. 1-6, 1956.

HUDSON, N. **Soil conservation.** 2nd ed. Ithaca: Cornell University, 1971. 320 p.

HUDSON, N. **Soil conservation.** Ames: Iowa State University, 1995. 391 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University, 1989. 600 p.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons.** Washington: American Geophysical Union, 1989. 40 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **Journal South African Institute of Mining and Metallurgy**, Johannesburg, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, 1998. 226 p.

LOMBARDI NETO, R. **Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53 p. Thesis (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette.

MARIA, I. C. de. Cálculo da erosividade da chuva. In: INSTITUTO AGRÔNOMO DE CAMPINAS. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC/SCS, 1994. Não paginado.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, Dec. 1963.

MCBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 617-639, Dec. 1986.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. Erosividade mensal e anual da chuva no estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007000400012&script=sci_arttext&tlng=esja.org>. Acesso em: 8 fev. 2008.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 111 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. **Base de dados**. Disponível em: <<http://www.sectes.mg.gov.br>>. Acesso em: 8 fev. 2008.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F. de; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 426-435, maio/ago. 2007.

OLIVEIRA, F. P. de; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A. da; MELLO, C. R. de. Potencial erosivo da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais: primeira aproximação. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 2009. No prelo.

OLIVEIRA, J. A. de; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 50., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.], 2005. 1 CD-ROOM.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geoestatistical analysis. **R-News**, Lancaster, v.1, n. 2, p. 15-18, 2001. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/doc/Rnews>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

RUFINO, R. L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 279-281, set./dez. 1986.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 3/4, p. 591- 611, Nov. 1965.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, Aug. 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil (Ha) – 2001**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 9 ago. 2009.

SOUZA, M. J. H. de; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 399-410, maio 2006.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-412, dez. 1995.

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 31, n. 1, p. 5-9, 1976.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: UNESP/FCA, 2003. 25 p. Apostila.

CAPÍTULO 3

Perdas de solo e água em plantios florestais e erodibilidade do solo no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais

1 RESUMO

A erosão hídrica é a principal responsável pela perda da capacidade produtiva dos solos sob florestas plantadas e alteração da quantidade e qualidade da água em sub-bacias. Os objetivos foram avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica, sob chuva natural, durante um ciclo de cultivo do eucalipto, em diferentes sistemas de manejo, em relação à floresta nativa, pastagem e solo descoberto, num Latossolo Vermelho (LVd) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) e determinar os valores de erodibilidade. O estudo foi conduzido em dois municípios: Belo Oriente (LVAd) e Guanhães (LVd), situados no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. As perdas de solo médias anuais nos sistemas com eucalipto foram bem abaixo do limite de tolerância, de 7,17 e 11,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o LVAd e o LVd, respectivamente, exceto para o sistema SD no LVAd. As perdas de água nos sistemas com eucalipto foram menores no plantio em nível, no LVAd. Nos sistemas com eucalipto, o período 1 e 2 apresentaram as maiores perdas de solo e água com redução no período 3. No LVd houve diminuição das perdas de água do período 2 para o período 3 em todos os sistemas estudados. Já no LVAd para os sistemas com eucalipto, houve redução das perdas de água enquanto que os sistemas com solo descoberto e floresta nativa tiveram aumento do período 2 para o 3, indicando a sustentabilidade dos sistemas com eucalipto. Os valores de erodibilidade foram $2,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-4}$ Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para o LVAd e LVd, respectivamente.

2 ABSTRACT

Water erosion is the main responsible for decreasing the productive capacity of soils under forest plantations, and it changes the amount and the quality of water in the sub-basins. The objectives were to evaluate the soil and water losses by water erosion under natural rainfall, during a cycle of the eucalyptus forest planted in different management systems in relation to native forest, pasture and bare soil in a Red Latosol (LVd) and Red-Yellow Latosol (LVAd) and to determine the erodibility values. The study was conducted in two cities: Belo Oriente (LVAd) and Guanhães (LVd), located in the Doce River Valley, Central-East region of Minas Gerais state – Brazil. The average annual soil losses for eucalyptus systems were below of the limit of tolerance, 7.17 and 11.22 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for LVAd and LVd, respectively, except for the SD system in LVAd. The water loss in the eucalyptus systems was lower in the eucalyptus planted-level, in the LVAd. In the eucalyptus systems, the period 1 and 2 showed the greatest soil and water losses with reduction for the period 3. The LVd there was a reduction in the water loss from period 2 to period 3 in all systems studied. For the LVAd, the eucalyptus systems reduced water losses of while the systems with bare soil and native forest water losses increased from period 2 to 3, indicating the sustainability of eucaliptus systems. The erodibility values were 2.0x10⁻⁴ and 1.0x10⁻⁴ Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ for LVAd and LVd, respectively.

3 INTRODUÇÃO

Minas Gerais é o estado com maior área de florestas plantadas no Brasil. De acordo com relatório da Associação Mineira de Silvicultura (AMS), o plantio anual de florestas no Estado se multiplicou cinco vezes e meia em uma década, passando de 35.789 hectares, em 1999, para 198.500 hectares, em 2008 (Celulose Online, 2009). Sendo que a maior parte desses plantios concentra-se nas regiões do Vale do Rio Doce, Centro-Oeste, Noroeste, Centro/Norte e Vale do Jequitinhonha/Mucuri (Minas Gerais, 2008).

A região do Vale do Rio Doce, atualmente, é das regiões mais degradadas pela erosão hídrica no estado de Minas Gerais. Ela sofreu um efeito antrópico muito impactante nos últimos 50 – 60 anos, que incluiu: desmatamento da floresta nativa, uso indiscriminado do fogo e manejo incorreto das pastagens de capim colônia, as quais naturalmente já não oferecem uma boa cobertura ao terreno, e total desrespeito à capacidade de suporte das pastagens, o que aliado ao relevo movimentado dominante e à ocorrência de chuvas erosivas concentradas resultou num quadro dramático de degradação do solo, decorrente do processo de erosão acelerada inclusive no topo dos morros (áreas de recarga do lençol freático).

Normalmente, os plantios florestais encontram-se inseridos em ecossistemas sensíveis às perturbações antrópicas em função de razões como: ocorrência de plantios em relevo acidentado; solos com baixa fertilidade natural e grande parte dos plantios estabelecidos em antigas áreas agrícolas degradadas. Estes fatores associados às operações de manejo, colheita mecanizada da madeira, construção e manutenção de estradas florestais e ao potencial erosivo da região são os principais responsáveis pela perda da capacidade produtiva dos solos sob florestas plantadas e alteração da quantidade e qualidade da água em

sub-bacias, decorrentes da erosão hídrica. Em média, cerca de 30% dos sedimentos perdidos por erosão hídrica chegam aos mananciais, podendo causar o comprometimento da qualidade da água e assoreamento (Hernani et al., 2002).

Com a adoção de práticas conservacionistas consegue-se minimizar as perdas de solo e água, garantindo uma produção com menor impacto ao meio ambiente. De acordo com Dechen et al. (1981); Eltz (1984); Rufino et al. (1985); Nunes Filho et al. (1990); Margolis et al. (1991); Silva et al. (1992); Bono et al. (1996); Seganfredo et al. (1997); Santos et al. (1998); Cassol et al. (1999); Hernani et al. (1999); Levien & Cogo (2001); Beutler et al. (2003) e Cogo et al. (2003), os preparos conservacionistas que utilizam pequena movimentação mecânica do solo e sistemas de manejo que proporcionam eficiente cobertura vegetal são os que apresentam menores perdas de solo e água por erosão hídrica.

A cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície e a formação da serrapilheira, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, promovendo a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, e aumentando a infiltração de água. Ainda atua na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, no potencial erosivo da enxurrada (Sloneker & Moldenhauer, 1977; Cogo et al., 1984; Zhou et al., 2002; Cogo et al., 2003; Pires et al., 2006). Por outro lado, a queima de resíduos vegetais, como prática de limpeza da área, tem como conseqüências a redução ou eliminação da cobertura vegetal, favorecendo o escoamento superficial da água da chuva e agravando o processo erosivo (Santos et al., 1992).

Outro fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, está relacionado à declividade do terreno, pois à medida que ela aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo (Cogo et al., 2003). Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria

capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento (Cogo et al., 2003).

A cobertura vegetal, proporcionada pelo dossel da floresta, tem sido considerada a principal responsável pelos baixos valores de perdas de solo e água em povoamentos florestais conforme observado por Zhou et al. (2002); Martins et al. (2003); Cardoso et al. (2004); Martins (2005); Oliveira (2006) e Oliveira (2008). O eucalipto, para produção de celulose, tem ciclo com duração média de 7 anos. Durante este período o solo fica em repouso com crescente acúmulo de material vegetal, devido a quedas de galhos e folhas, constituindo a serrapilheira (Martins, 2005). Há, também, o crescimento do sub-bosque e do povoamento, favorecendo a proteção da superfície do solo contra o impacto direto da gota de chuva, permitindo maior permeabilidade e reduzindo o escoamento superficial.

Visando identificar os níveis de perdas de solo e água em sistemas florestais, estudos têm sido conduzidos. Entre eles, estão os trabalhos de Lima (1988) que, com o crescimento da floresta, observou sensível diminuição do escoamento e da perda de solo das parcelas florestadas em relação à parcela com solo descoberto, que continuou apresentando taxas elevadas de escoamento e de erosão. Vital et al. (1999), os quais observaram que, apesar de os valores de perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo terem praticamente dobrado no primeiro ano depois do corte raso de eucalipto em uma sub-bacia, os valores de 0,04 Mg ha⁻¹ por ano são ainda significativamente menores do que os decorrentes do uso mais intensivo do solo. Martins et al. (2003); Martins (2005), Pires et al. (2006) e Oliveira (2008) obtiveram perdas de solo para o eucalipto relativamente próximas daquelas da mata nativa indicando sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica. Estudos de perdas de solo e água em plantios de *Acácia mangium*, com duração de doze meses, conduzidos em Roraima, concluíram que as maiores perdas de solo e água foram observadas

na fase de estabelecimento dos plantios, antes do fechamento das copas. A cobertura vegetal mais densa dos plantios de acácia foi o fator que mais contribuiu para redução das perdas de solo por erosão; o plantio de acácia a favor do declive, comum na região, contribuiu para o aumento da enxurrada em curto prazo, favorecendo com isso as perdas de solo por erosão hídrica (Barros et al., 2009).

Outro importante fator responsável pela determinação das perdas de solo e água é a erodibilidade do solo, a qual consiste na suscetibilidade do solo à erosão hídrica. A erodibilidade do solo é um atributo intrínseco de cada solo e um fator fundamental para a previsão de perdas de solo e planejamento conservacionista, contribuindo para o uso sustentável dos solos (Silva et al., 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de solo e água por erosão hídrica, sob chuva natural, durante um ciclo de cultivo do eucalipto, em diferentes sistemas de manejo, em relação à mata nativa, pastagem e solo descoberto, num Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo e determinar os valores de erodibilidade para essas classes de solos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado em áreas experimentais de plantios de eucalipto da Celulose Nipo Brasileira S. A. (CENIBRA S. A.), localizadas em dois municípios: Belo Oriente (coordenadas 19°13'12 latitude Sul e 42°29'01 de longitude Oeste) e Guanhães (coordenadas 18°46'30 latitude Sul e 42°55'57 de longitude Oeste), situados no Vale do Rio Doce, região Centro – Leste do estado de Minas Gerais (Figura 1).

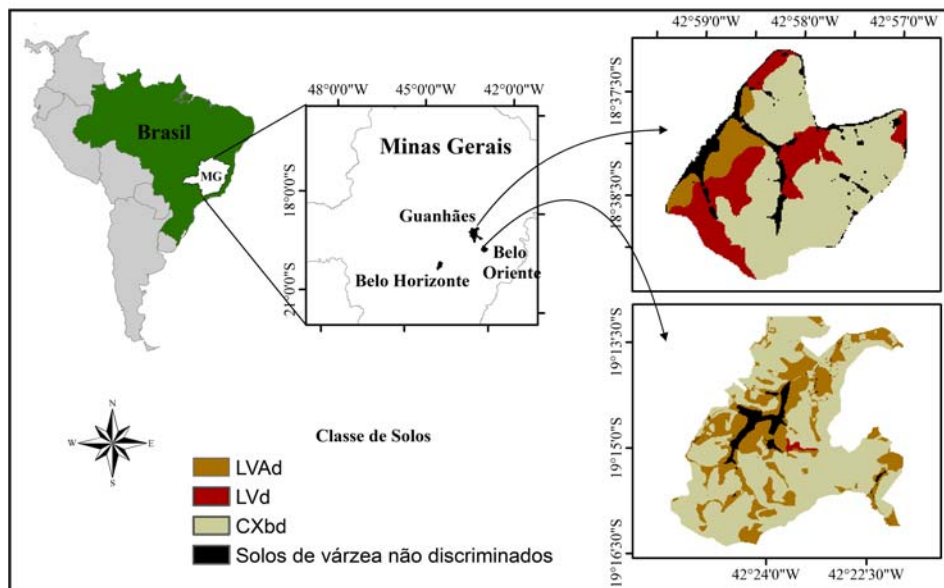


FIGURA 1 Localização dos municípios de Belo Oriente e Guanhães no estado de Minas Gerais, com destaque para o mapa de solos das duas sub-bacias estudadas.

O clima da região de Belo Oriente é Aw, tropical com inverno seco e estação chuvosa no verão, segundo classificação de Köppen, com temperatura média variando entre 22°C e 27°C, sendo a máxima de 32°C e a mínima de 18°C. A precipitação média anual varia de 701 a 1.500 mm e altitude média de 300 m. Na região de Guanhães o clima é Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, segundo classificação de Köppen, e temperatura média variando entre 18°C a 22°C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.180,8 mm e altitude média de 850 m.

Os solos, onde se encontram as parcelas do experimento, foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, LVAd, textura muito argilosa e Latossolo Vermelho Distrófico típico, LVd, textura muito argilosa para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente (Cenibra, 2001). A tolerância de perdas de solo por erosão hídrica admissível, nas regiões, é de 7,17 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o LVAd (Pires, 2004) e de 11,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no LVd (Silva et al., 2002). Os resultados da análise química e física dos perfis descritos encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 Atributos mineralógicos, químicos e físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) e do Latossolo Vermelho (LVd) na profundidade de 0–20 cm.

Atributo	LVAd	LVd
Ct (g kg ⁻¹)	380	364
Gb (g kg ⁻¹)	117	162
Gb/Gb+Ct	0,24	0,31
SiO ₂ (g kg ⁻¹)	116,4	177,2
Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	77	69
Fe (DCB) (g kg ⁻¹)	8,94	63,44
Fe (oxalato) (g kg ⁻¹)	1,82	3,18
Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	173,4	234,6
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	0,5	0,19
P (mg dm ⁻³)	1,4	1,4
K (mg dm ⁻³)	36	41
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,4	0,5
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,2
CO (g kg ⁻¹)	34	56
Areia total (g kg ⁻¹)	322	310
Areia muito grossa (g kg ⁻¹)	11	17
Areia grossa (g kg ⁻¹)	42	69
Areia média (g kg ⁻¹)	82	106
Areia fina (g kg ⁻¹)	166	101
Areia muito fina (g kg ⁻¹)	21	17
Silte (g kg ⁻¹)	53	101
Argila (g kg ⁻¹)	624	589
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,24	1,1
Densidade de partículas (g cm ⁻³)	2,5	2,39
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,48	0,52
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,07	0,11
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,38	0,41
Diâmetro médio geométrico (mm)	3,51	4,31

Ct: caulinita; Gb: gibbsita; CO: carbono orgânico total.

4.2 Sistemas de manejo

Os plantios para as duas regiões encontram-se na fase de colheita do quarto ciclo de cultivo, os quais foram implantados no ano de 2002 adotando-se o cultivo mínimo com espaçamento de 3,0 x 3,3, num total de mil plantas por hectare em covas manuais cujas dimensões foram 30 x 30 x 30 cm.

Os sistemas de manejo adotados nos plantios de eucalipto nas duas regiões constituíram de plantio em nível sem queima de restos culturais (EN), plantio no sentido do declive sem queima de restos culturais (ED) e plantio no sentido do declive com queima de restos culturais (EDQ). Estes sistemas foram comparados ao sistema de referência (floresta nativa - FN), sistema de uso comum na região (pastagem plantada de *Brachiaria sp.* - PP) e sistema de máxima perda de solo e água (solo descoberto - SD) (Tabela 2).

TABELA 2 Localização das parcelas experimentais de perdas de solo e água com diferentes sistemas de manejo em Belo Oriente (LVAd) e Guanhães (LVd), MG.

Sistemas	Coordenadas		Declividade
	UTM 23K SAD 69		%
	Belo Oriente		
FN	7869089 N	771974 E	42,4
PP	7867827 N	776104 E	24,9
EN	7851910 N	772622 E	34,4
ED	7868522 N	772842 E	30,6
EDQ	7868491 N	772900 E	36,4
SD	7868272 N	775176 E	32,5
	Guanhães		
FN	7939341 N	715580 E	26,8
PP	7936481 N	714540 E	19,4
EN	7939994 N	714894 E	17,6
ED	7939996 N	714919 E	17,6
EDQ	7939988 N	714869 E	17,6
SD	7939987 N	714842 E	17,6

FN: floresta nativa; PP: pastagem plantada; EN: plantio de eucalipto em nível; ED: plantio de eucalipto no sentido do declive sem queima de restos culturais; EDQ: plantio de eucalipto no sentido do declive com queima de restos culturais; SD: solo descoberto. Fonte: Oliveira (2006).

4.3 Erosividade da chuva

Foram acumulados os dados diários de precipitação pluviométrica para Belo Oriente e Guanhães, MG, extraídos do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). A precipitação mensal foi constituída do somatório das precipitações diárias que ocorreram em determinado mês. Dessa forma, puderam ser obtidos os valores mensais da precipitação pluviométrica, para todos os meses de todos os anos da série.

Para se obter uma estimativa aproximada do índice de erosividade mensal, foi determinado o coeficiente da chuva, conforme proposto por Fournier (1956) e modificado por Lombardi Neto (1977):

$$R_c = p^2 \times P^{-1} \quad (1)$$

onde R_c é o coeficiente de chuva (mm), p é a precipitação média mensal (mm) e P a precipitação média anual (mm).

Análise de regressão entre os valores do índice de erosividade EI_{30} mensal (variável dependente y), calculados com os dados pluviográficos obtidos de estações climatológicas, que geraram dados de precipitação a cada 5 min., nas duas regiões, e os valores do coeficiente de chuva (variável independente x), determinados com dados dos anos de 2005 a 2008, permitiu obter a equação 2 para Belo Oriente e a equação 3 para Guanhães.

$$EI_{30} = 215,4 \times Rc^{0,65} \quad R^2 = 0,89 \quad (2)$$

$$EI_{30} = 123,34 \times Rc^{0,74} \quad R^2 = 0,95 \quad (3)$$

Tais equações permitiram obter valores mensais do índice EI_{30} , para as séries históricas de precipitação pluviométrica das regiões de Belo Oriente e Guanhães, MG.

4.4 Monitoramento das perdas de solo

Foram utilizados dados de perdas de solo e de água ocorridos no período de outubro de 2002 a dezembro de 2008, os quais corresponderam a 1 ciclo de cultivo do eucalipto. Considerando o efeito da cobertura vegetal contra a erosão hídrica, a avaliação das perdas de solo foi dividida em 3 períodos: Período 1, considera os 3 primeiros anos de implantação da cultura do eucalipto; Período 2, considera o 4º e 5º ano do plantio; e Período 3, considera o 6º e o 7º ano. O monitoramento das perdas de solo e água foi realizado por meio de parcelas experimentais instaladas no campo com dimensões de 4,0 x 24 m (solo descoberto, floresta e pastagem) e 14 x 24 m (eucalipto) (Figura 2).

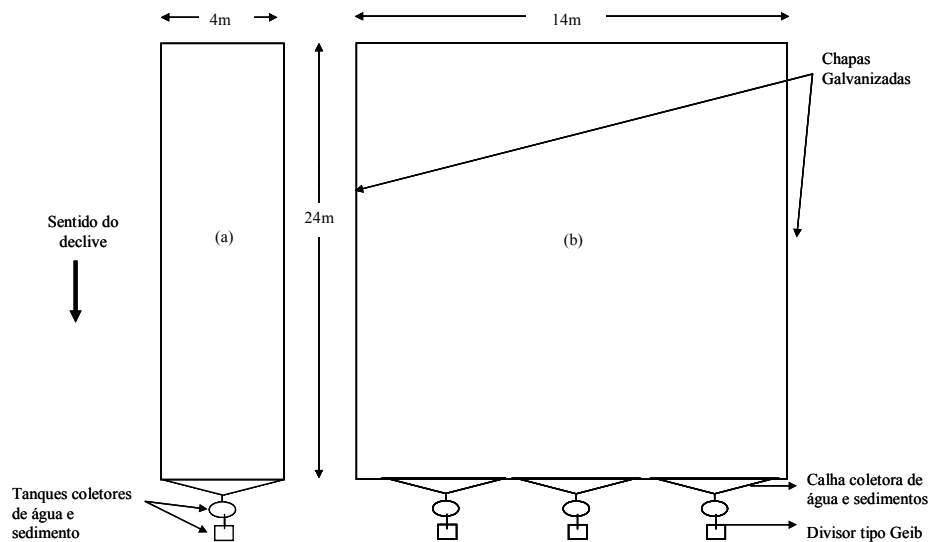


FIGURA 2 Desenho esquemático das parcelas de coleta de água e sedimentos. As parcelas (a) foram instaladas nos sistemas floresta nativa, pastagem plantada e solo descoberto, e as parcelas (b) nos sistemas com eucalipto.

As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 40 cm de largura, enterradas a uma profundidade de 20 cm. Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. A estrutura coletora é constituída 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, através de uma canaleta, a água e sedimentos correspondentes à vazão de uma janela foram conduzidos para o tanque coletor. Assim, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/15 de água da enxurrada é conduzida ao segundo tanque o restante (14/15) retorna ao ambiente. Dentro do tanque de sedimentação foi colocado um recipiente calibrado e codificado para a coleta de sedimentos. A amostragem e a quantificação das perdas de solo e água foram realizadas para cada evento de chuva considerada erosiva, segundo metodologia de Cogo (1978a, b). Para quantificação das perdas de solo, amostras de enxurrada e sedimentos foram retiradas dos tanques de coleta. Após agitação das amostras, foram retiradas três alíquotas de volume predeterminado, as quais foram transferidas para o laboratório e submetidas à decantação. O material decantado foi seco em estufa a 105°C.

4.5 Erodibilidade do solo

O fator erodibilidade, para o LVD e LVAd, foi determinado através de regressão linear simples ($y = a + bx$), utilizando valores mensais de perdas de solo no eixo (y) e erosividade da chuva no eixo (x) para fazer as correlações. O coeficiente de regressão linear “a” é o resultado da influência de outros fatores e “b” corresponde à erodibilidade (SAS Institute, 1985). A regressão linear foi corrigida para que as coordenadas iniciais partissem da origem (Ferreira, 2005), assim o modelo é apresentado na forma $y = bx$, tendo seus parâmetros o mesmo significado do modelo anterior (McGregor et al., 1969). O valor de erodibilidade

foi corrigido pelo grau de declive ($0,09 \text{ m m}^{-1}$) e pelo comprimento de rampa (22 m), referente à parcela padrão, representado pelo fator LS, conforme preconizado por Bertoni et al. (1975) e Wischmeier & Smith (1978), através da equação 4.

$$LS = L^{0,5} \times 100 \times (1,36 + 0,975 \times S + 0,1385 \times S^2) \quad (4)$$

onde LS é o fator topográfico da USLE, corrigido para as condições da parcela padrão (adimensional); L é o comprimento do declive (m); e S a declividade do terreno (%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Perdas de solo e água

5.1.1 Perdas anuais de solo

As perdas de solo totais anuais, perdas médias e erosividade da chuva podem ser observadas na Tabela 3. Os coeficientes de variação (CV) apresentaram valores elevados, corroborando com Martins (2005). Segundo este autor os valores elevados do CV podem ser atribuídos à irregularidade da distribuição e variabilidade temporal das chuvas durante os anos, já que as perdas de solo são os reflexos, dentre outros fatores, da quantidade de chuvas e de suas características físicas.

No período de estudo, para os diferentes sistemas de manejo, as perdas de solo entre os anos variaram de 0,1 kg ha⁻¹ (EDQ) a 29.188,6 kg ha⁻¹ (SD) para o LVd e de 6,2 kg ha⁻¹ (EN) a 60.970,2 kg ha⁻¹ (SD) para o LVAd. Como observado, as maiores perdas ocorreram para o sistema SD, onde a ausência da cobertura vegetal favoreceu a ação do impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial sobre o solo descoberto causando desagregação e transporte das partículas de solo. Martins et al. (2003), encontraram perdas variando de 40 a 41.830 kg ha⁻¹ para condição de mata nativa e solo descoberto em Argissolo Amarelo textura média/argilosa e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso. Oliveira (2008) obteve valores variando de 46 a 14.630 kg ha⁻¹ para floresta nativa e solo descoberto, respectivamente em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico.

Entre os sistemas com eucalipto, as maiores perdas ocorreram no ED (432,4 kg ha⁻¹) e EDQ (2.290,5 kg ha⁻¹) e as menores no EDQ (0,1 kg ha⁻¹) e EN (6,2 kg ha⁻¹) para o LVd e LVAd, respectivamente. Estes resultados mostram que mesmo no sistema não conservacionista, como é o caso do sistema EDQ, as

perdas de solo são muito baixas. Neste sistema, para o LVd, as perdas foram 80% menores que o limite tolerável para este solo, demonstrando a capacidade dos plantios florestais em garantir boa proteção ao solo. Ranzine & Lima (2002) encontraram perdas de solo de 30 e 80 kg ha⁻¹ para plantios de eucalipto em duas sub-bacias em Argissolo Vermelho-Amarelo, onde o primeiro valor corresponde ao cultivo sem revolvimento do solo e o segundo valor ao cultivo intensivo do solo. Segundo eles, mesmo havendo perdas maiores no sistema de cultivo intensivo, o que mostra que o amplo revolvimento do solo atua de forma negativa no contexto da erosão hídrica, as perdas foram bem abaixo do limite de tolerância para este solo mostrando-se adequadas dentro do contexto da erosão hídrica.

O potencial erosivo médio foi de 10.104 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no LVd e 9.717 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no LVAd, considerados muito altos segundo classificação de Foster et al. (1981). No geral, as perdas de solo foram correspondentes ao potencial erosivo da chuva no período, conforme observado por outros autores como: Martins et al. (2003); Martins (2005) e Oliveira (2008).

As perdas anuais médias de solo tiveram amplitude de 8,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (FN) a 4.872 kg ha⁻¹ ano⁻¹(SD) no LVd e de 58,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹(EN) a 17.417,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (SD) no LVAd. Estes valores, exceto o sistema SD no LVAd, encontram-se dentro do limite de tolerância para esses solos, nestas regiões, que são de 11.220 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no LVd (Silva et al., 2002) e de 7.170 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para o LVAd (Pires, 2004). Martins (2005) obteve valores de perdas de solo para parcelas com eucalipto e solo descoberto na ordem de 1 a 66.370 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em Plintossolo Háptico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, respectivamente. Comparando-se os valores médios anuais de perdas de solo da parcela com eucalipto plantado em nível e a parcela com solo descoberto, constata-se uma redução em torno de 99% para as duas classes de solo. A mesma redução foi encontrada por Albuquerque et al. (2002), os quais

compararam solo descoberto com caatinga nativa em Luvisolo Hipocrômico órtico vértico.

Analisando os sistemas com eucalipto e a PP, observa-se que houve perdas médias anuais maiores na PP para as duas classes de solo, exceto no sistema EDQ no LVAd, sugerindo que o uso do solo com eucalipto, nesta região, garante melhor proteção ao solo que o uso da pastagem e evidenciando o efeito negativo da queimada na proteção do solo contra a erosão hídrica. Na região amazônica, Barbosa & Fearnside (2000) obtiveram perdas de solo 7,5 vezes maior para pastagens com *B. humidicola* em relação à floresta primária.

Entre os sistemas com eucalipto a ordem das perdas de solo obedeceu à sequência: ED > EDQ > EN para o LVd e EDQ > ED > EN para o LVAd. Estes resultados mostram a importância do uso de práticas conservacionistas, como o plantio em nível, na redução da erosão hídrica, corroborando com resultados obtidos por Margolis et al. (1985); Bertoni & Lombardi Neto (1985); Silva et al. (1989); Margolis et al. (1991) e Albuquerque et al. (2002). Outro fator importante na redução das perdas de solo nos sistemas com eucalipto está ligado ao sistema de preparo do solo adotado, que é o cultivo mínimo, o qual consiste em revolver o solo o mínimo necessário, mantendo os resíduos vegetais sobre o solo como cobertura morta, evitando, que o solo fique descoberto nos primeiros anos de plantio (Martins, 2005).

Nas duas classes de solo, o sistema SD apresentou as maiores perdas de solo, enquanto que os sistemas FN e EN tiveram as menores perdas para o LVd e LVAd, respectivamente e os demais sistemas com eucalipto perdas intermediárias, corroborando com Oliveira (2008) e demonstrando a eficiência tanto da floresta nativa, quanto dos plantios com eucalipto em proteger o solo contra o impacto direto da gota de chuva e o favorecimento da erosão hídrica quando o solo encontra-se descoberto. Meeuwig (1970), estudando a ocorrência de erosão hídrica em áreas montanhosas florestadas, observou que, dentre

inúmeras variáveis estudadas, a proporção de solo protegido contra o impacto das gotas das chuvas pela presença da vegetação ou da camada orgânica (serrapilheira) mostrou ser a variável que mais contribuiu para o controle das perdas de solo.

TABELA 3 Perdas de solo em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo na região do Vale do Rio Doce, MG.

Solo	Ano ¹	EI ₃₀	Perdas de solo					
			SD	FN	PP	EDQ	ED	EN
			----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
LVd	2002	10.557	8,6	1,0	12,7	8,2	5,4	1,7
	2003	9.318	1.761,2	9,6	399,6	54,6	92,5	114,0
	2004	12.747	29.188,6	36,6	4.109,9	20,5	432,4	58,8
	2005	13.105	2.933,2	1,9	1.420,6	148,6	32,9	29,7
	2006	11.316	205,2	5,9	11,5	8,2	7,0	3,2
	2007	8.737	1,6	1,5	0,6	0,1	2,0	4,1
	2008	4.949*	5,3	0,7	4,2	0,8	1,5	2,2
	Média	10.104	4.872,0	8,2	851,3	34,4	82,0	30,5
	DP	2.791	10.782,5	13,0	1.527,3	53,7	157,9	42,5
CV %	27,6	221,3	158,5	179,4	156,1	192,7	139,3	
LVAd	2002	11.577	4.289,0	12,0	105,0	31,0	14,0	11,0
	2003	9.644	4.895,0	107	98,0	587,0	201,0	40,0
	2004	11.900	60.970,2	36,1	110,6	2.290,5	293,6	257,9
	2005	11.302	40.461,5	41,1	215,8	109,5	140,4	62,6
	2006	11.179	6.730,0	17,2	177,2	389,1	28,5	22,4
	2007	7.864	2.078,8	10,6	396,7	8,0	8,8	6,2
	2008	4.553*	2.496,1	248,7	640,2	14,8	7,7	6,5
	Média	9.717	17.417,2	67,5	249,1	490,0	99,1	58,1
	DP	2.676	23.555,5	86,5	201,6	824,1	114,5	90,5
CV %	27,5	135,2	128,1	80,9	168,2	115,5	155,8	

*dados referentes até 08/2008; EI₃₀ - índice de erosividade em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; LVd: Latossolo Vermelho; LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo; 1: referentes ao período de 10/2002 a 12/2008; SD: solo descoberto; FN: floresta nativa; PP: pastagem plantada; EDQ: plantio de eucalipto no sentido do declive com queima de restos culturais; ED: plantio de eucalipto no sentido do declive sem queima de restos culturais; EN: plantio de eucalipto em nível; DP: desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

5.1.2 Perdas anuais de água

As porcentagens das perdas de água em relação à precipitação pluvial média anual podem ser observadas na Tabela 4. A precipitação média no período deste estudo (2002 a 2008) foi de 1.011,4 e 1.081 mm em Guanhães e Belo Oriente, respectivamente. No LVd, para todos os sistemas estudados, as perdas anuais de água variaram de 0,02% (EDQ e PP) a 2,79% (ED) da precipitação total anual, enquanto que no LVAd a amplitude foi de 0,26% (FN) a 50,38% (SD) da precipitação total. Entre os sistemas com eucalipto as perdas de água variaram de 0,92% (ED) a 5,99% (EDQ) no LVAd e de 0,02 (EDQ) a 2,79% (ED) no LVd em relação ao total precipitado. Estes valores encontram-se abaixo dos obtidos por Barbosa & Fearnside (2000) na floresta amazônica em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média, o qual apresentou perdas de água de 7,4% em relação à precipitação total.

As perdas anuais médias de água seguem a seguinte ordem para o LVd e LVAd, respectivamente: ED > SD > EN > EDQ > PP > FN e SD > FN > EDQ > PP > ED > EN. Verifica-se que no LVAd, com exceção do sistema SD, todos os outros sistemas apresentaram perdas médias anuais menores que o sistema FN, o qual é o sistema em equilíbrio, evidenciando que a cobertura do solo proporcionada pela copa das árvores e a formação da serrapilheira, contribuem para aumentar a infiltração de água no solo, diminuindo o escoamento superficial.

TABELA 4 Porcentagem das perdas de água em relação à precipitação pluvial média anual para Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo na região do Vale do Rio Doce, MG.

Solo	Ano ¹	P. Pluv. ² mm	-----%					
			SD	FN	PP	EDQ	ED	EN
LVd	2002	523,2	0,14	0,14	0,19	0,24	0,17	0,07
	2003	1.079,5	2,12	0,14	0,76	0,95	1,56	0,76
	2004	1.227,0	1,83	0,27	1,17	1,17	2,4	1,69
	2005	1.380,6	1,47	0,14	1,14	1,06	2,79	1,86
	2006	1.398,3	0,72	0,08	0,09	0,04	0,5	0,29
	2007	588,4	0,16	0,12	0,02	0,02	0,59	0,41
	2008	883,1	0,25	0,07	0,05	0,04	0,54	0,55
	Média	1.011,4	0,96	0,14	0,49	0,5	1,22	0,8
	DP	358,4	0,84	0,07	0,52	0,53	1,04	0,7
	CV %	35,44	87,5	50	106,12	106	85,25	87,5
LVAd	2002	575,8	2,77	0,65	0,88	2,31	1,77	1,88
	2003	894	4,89	1,65	2,13	7,14	5,36	5,16
	2004	1.485,7	5,19	1,23	1,58	5,99	4,49	4,36
	2005	1.597,2	4,56	1,09	1,55	4,06	3,31	3,22
	2006	1.440,9	20,94	0,29	2,43	3,88	1,2	0,87
	2007	823,1	25,58	0,26	3,09	1,06	0,92	1,01
	2008	750,5	50,38	22,52	7,54	2,06	1,45	1,37
	Média	1.081	16,33	3,96	2,74	3,78	2,64	2,55
	DP	413,5	17,53	8,2	2,23	2,19	1,76	1,71
	CV %	38,25	107,35	207,07	81,39	57,94	66,67	67,06

LVd: Latossolo Vermelho; LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo; 1: referentes ao período de 10/2002 a 12/2008; 2: precipitação pluviométrica; SD: solo descoberto; FN: floresta nativa; PP: pastagem plantada; EDQ: plantio de eucalipto no sentido do declive com queima de restos culturais; ED: plantio de eucalipto no sentido do declive sem queima de restos culturais; EN: plantio de eucalipto em nível; DP= desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

5.1.3 Perdas de solo por período

As perdas médias para cada período do estudo encontram-se na Tabela 5. Para as duas classes de solo o sistema SD foi o apresentou as maiores perdas em todos os períodos. O sistema FN nos dois primeiros períodos apresentou perdas menores que os demais sistemas para as duas classes de solo. No entanto,

no último período, que compreende a fase final do ciclo de cultivo do eucalipto, as perdas médias no sistema EDQ foram abaixo das perdas de solo no sistema FN para o LVd e no LVAd as perdas médias nos sistemas com eucalipto foram menores que o sistema FN. Estes resultados mostraram que os plantios de eucalipto foram eficientes em proteger o solo contra a erosão hídrica. Essa eficiência está ligada ao fechamento e entrelaçamento das copas das árvores e formação da serrapilheira que, com o crescimento da floresta, intercepta as gotas de chuva evitando o desprendimento e transporte das partículas de solo e aumenta a infiltração de água no solo reduzindo o escoamento superficial. Barros et al. (2009) observaram que as maiores perdas de solo e água observados em plantios de *Acácia mangium* ocorreram na fase de estabelecimento da cultura, antes do fechamento das copas.

Considerando os sistemas com eucalipto, no LVd, o período 1, foi o que apresentou as maiores perdas, exceto para o sistema EDQ, o qual teve as maiores perdas no período 2. No LVAd as perdas, em todos os períodos, foram maiores no EDQ, seguido do ED e EN, com perdas maiores no período 1 diminuindo até o último período. De acordo com Martins et al. (2003), as perdas de solo e água nos plantios de eucalipto devem diminuir com o avanço da idade, tendência observada por eles do terceiro para o quarto ano após o plantio, corroborando com estudos de Lima (1996); Vital et al. (1999) e Oliveira (2008). Nos plantios florestais, as operações de preparo do solo e a colheita mecanizada da madeira, são os principais responsáveis por impactos sobre o solo decorrente das operações de manejo adotado nos plantios (Gonçalves, 2002). Outro agravante são as queimadas, que tem como consequência a eliminação da cobertura vegetal, favorecendo o escoamento superficial (Santos et al., 1992) e afetando negativamente a agregação, estruturação e permeabilidade do solo decorrentes da menor estabilidade dos agregados. Segundo Vital et al. (1999) mesmo tendo dobrado os valores de perdas de solo no primeiro ano após o corte

raso da floresta, estes são ainda significativamente menores do que as perdas normalmente observadas decorrentes do uso mais intensivo do solo, como na agricultura, por exemplo.

TABELA 5 Perdas médias de solo para cada período durante 1 ciclo de cultivo do eucalipto para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Vale do Rio Doce, MG.

Solo	Período	P. Pluv. ¹ mm	Perdas de solo					
			SD	FN	PP	EDQ	ED	EN
			-----kg ha ⁻¹ período ⁻¹ -----					
LVd	1	943	10.319,5	15,7	1.507,4	27,8	176,8	58,2
	2	1.389	1.569,2	3,9	716,0	78,4	20,0	16,4
	3	736	3,5	1,1	2,4	0,5	1,7	3,2
LVAd	1	985	23.384,7	51,7	104,5	969,5	169,5	103,0
	2	1.519	23.595,8	29,2	196,5	249,3	84,5	42,5
	3	787	2.287,5	129,7	518,4	11,4	8,2	6,4

LVd: Latossolo Vermelho; LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo; 1: precipitação pluviométrica média do período; SD: solo descoberto; FN: floresta nativa; PP: pastagem plantada; EDQ: plantio de eucalipto no sentido do declive com queima de restos culturais; ED: plantio de eucalipto no sentido do declive sem queima de restos culturais; EN: plantio de eucalipto em nível..

5.1.4 Perdas de água por período

As perdas médias de água para cada período durante um ciclo de cultivo do eucalipto encontram-se na Tabela 6. As maiores perdas de água são observadas nos dois primeiros períodos para as duas classes de solo. A falta da cobertura vegetal, aliada as operações de colheita e preparo do solo são os principais responsáveis pelas maiores perdas nos primeiros anos após o plantio. No LVd há uma diminuição das perdas de água do período 2 para o período 3 em todos os sistemas estudados. Já no LVAd para os sistemas SD e FN há aumento das perdas de água do período 2 para o 3, ocorrendo a maior perda no

SD, o qual correspondeu a 37% da precipitação total. Lima (1988) observou sensível diminuição das perdas de água e solo em plantios de eucalipto em relação à parcela com solo descoberto, que continuou apresentando taxas elevadas de escoamento e de erosão. Nos sistemas com eucalipto, a redução das perdas de água do período 2 para o 3 no LVd foi de 4%, 18% e 24% e no LVAd foi de 20%, 26% e 29% nos sistemas EDQ, ED e EN, respectivamente. Comparando os sistemas com eucalipto e a FN, observa-se que no LVd as perdas nos sistemas com eucalipto, no último período, encontram-se pouco acima das perdas da FN e no LVAd esses valores encontram-se bem abaixo da FN.

TABELA 6 Porcentagem das perdas médias de água em relação à precipitação pluvial média para cada período durante um ciclo de cultivo do eucalipto para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, no Vale do Rio Doce, MG.

Solo	Período	P. Pluv. ¹ mm	Perdas de água					
			SD	FN	PP	EDQ	ED	EN
			-----%					
LVd	1	943	1,6	0,2	0,8	0,9	1,7	1
	2	1.389	1,1	0,1	0,6	0,6	1,5	1,1
	3	735	0,2	0,1	0,04	0,03	0,6	0,5
LVAd	1	985	4,6	1,3	1,6	5,6	4,2	4,1
	2	1.519	12,3	0,7	1,9	3,9	2,3	2,1
	3	786	37,4	10,9	5,2	1,5	1,2	1,2

LVd: Latossolo Vermelho; LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo; 1: precipitação pluviométrica média do período; SD: solo descoberto; FN: floresta nativa; PP: pastagem plantada; EDQ: plantio de eucalipto no sentido do declive com queima de restos culturais; ED: plantio de eucalipto no sentido do declive sem queima de restos culturais; EN: plantio de eucalipto em nível.

De modo geral, o LVAd teve perdas maiores que o LVd mesmo apresentando potencial erosivo menor. Isto está relacionado à maior declividade em que o LVAd se encontra (Tabela 2) e aos atributos físicos, químicos e morfológicos de cada solo (Tabela 1). Na medida em que aumenta a declividade do terreno aumentam também a velocidade e o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente, o volume de solo e água perdidos por erosão hídrica. O LVAd apresentou teores de areia fina e muito fina maiores que o LVd, o que confere a esse solo maior capacidade de arraste, uma vez que as partículas mais finas são facilmente transportadas pelo fluxo de água. Segundo Wischmeier & Mannering (1969), a fração de areia muito fina tem o comportamento do silte, favorecendo os processos erosivos. O teor de CO também foi maior no LVd, contribuindo com melhor agregação do solo e resultando num maior diâmetro médio geométrico que o LVAd. Silva et al. (2000) obtiveram valores de diâmetro médio geométrico menores no sistema de cultivo convencional em relação ao plantio direto, o qual propiciou agregados maiores e mais resistentes. Considerando os atributos mineralógicos, o LVAd apresentou menores teores de gibbsita e óxidos de ferro favorecendo uma estrutura intermediária entre blocos e grânulos, contribuindo com uma menor porosidade e menor permeabilidade. Já o LVd apresentou maiores teores de gibbsita e óxidos de ferro, favorecendo uma estrutura mais granular e com menor tamanho corroborando com Lima et al. (1990), induzindo uma maior porosidade e, conseqüentemente, maior permeabilidade e maior estabilidade do LVd em relação à erosão hídrica. Essa maior estabilidade apresentada pelo LVd pode ter sido o principal responsável pela pouca variação entre as perdas médias de solo e água entre os sistemas estudados, mascarando os possíveis efeitos dos tratamentos estudados na erosão hídrica.

5.2 Erodibilidade do solo

As perdas de solo e a erosividade da chuva podem ser vistas na Tabela 3. Os valores do coeficiente de determinação (R^2), entre as perdas de solo e a erosividade da chuva, apresentaram uma amplitude de 0,19 a 0,96 para o LVAd e de 0,55 a 0,95 para o LVd (Tabela 7). Silva et al. (1997) encontraram coeficiente de determinação de 0,608 para Latossolo Vermelho distrófico na região de Goiânia (GO), Martins (2005) obteve valores variando de 0,90 a 0,98 para solos nos Tabuleiros Costeiros (ES) e Bertol et al. (2007) obteve coeficiente de determinação de 0,79 no Planalto Sul Catarinense. Segundo Silva et al. (1997), no Brasil, o coeficiente de correlação entre os parâmetros da chuva e as perdas de solo tem apresentado valores entre 0,57 e 0,77. O coeficiente angular “b”, corrigido pelo fator LS (8,79 para o LVAd e 3,01 para o LVd), permitiu determinar a erodibilidade dos solos para cada ano (Tabela 7).

Para o LVAd e o LVd o menor valor de erodibilidade do solo ocorreu no ano de 2007 e o maior no ano de 2005 e 2004 para o LVAd e LVd, respectivamente. O ano de 2002 não foi considerado para o cálculo da erodibilidade por ser o início do experimento. Alguns autores sugerem eliminar os dados do primeiro ano em estudos desta natureza devido à movimentação do solo no momento de montagem das parcelas, variabilidade da umidade antecedente do solo e outros fatores experimentais, ocasionando altas perdas de solo para valores baixos de erosividade e vice-versa (McGregor et al. 1969; Silva et al., 1997).

Os valores de erodibilidade do solo média anual para o período estudado foram $2,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-4}$ Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ (Tabela 7) para o LVAd e LVd, respectivamente. Estes valores de erodibilidade são classificados como baixo segundo a classificação de Foster et al. (1981). Os latossolos, no geral, são solos que apresentam baixos valores de erodibilidade atribuídas ao seu elevado estado de intemperismo e por quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, os

quais proporcionam a esses solos boa estrutura. A diferença nos valores de erodibilidade para os dois solos está de acordo com seus atributos mineralógicos (Tabela 1), onde o LVAd apresenta teores mais baixos de gibbsita, estrutura intermediária entre blocos e grânulos, menor porosidade, menor permeabilidade e maior erodibilidade, enquanto que o LVd apresenta maiores teores de gibbsita, estrutura granular, maior porosidade, maior permeabilidade e, conseqüentemente, menor erodibilidade.

TABELA 7 Valores de erodibilidade do solo (K) e as equações das regressões entre as perdas de solo (A) e a erosividade (EI_{30}) com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), determinados para o LVd e o LVAd, no período de 2003 a 2008, sob chuva natural.

Ano	Erodibilidade do solo Mg h MJ ⁻¹ mm ⁻¹	Equação	R ²
LVAd			
2003	0,68 x10 ⁻⁴	A = 6,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,96
2004	5,1 x10 ⁻⁴	A = 4,5 x10 ⁻³ EI ₃₀	0,36
2005	5,4 x10 ⁻⁴	A = 4,7 x10 ⁻³ EI ₃₀	0,54
2006	0,68 x10 ⁻⁴	A = 6,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,64
2007	0,23 x10 ⁻⁴	A = 2,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,19
2008	0,34 x10 ⁻⁴	A = 3,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,51
Média	2,0 x10⁻⁴		
LVd			
2003	0,67 x10 ⁻⁴	A = 2,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,55
2004	4,0 x10 ⁻⁴	A = 1,2 x10 ⁻³ EI ₃₀	0,57
2005	2,0 x10 ⁻⁴	A = 6,0 x10 ⁻⁴ EI ₃₀	0,77
2006	0,13 x10 ⁻⁴	A = 4,0 x10 ⁻⁵ EI ₃₀	0,88
2007	0,001 x10 ⁻⁴	A = 2,0 x10 ⁻⁷ EI ₃₀	0,95
2008	0,002 x10 ⁻⁴	A = 5,0 x10 ⁻⁷ EI ₃₀	0,87
Média	1,0 x10⁻⁴		

6 CONCLUSÕES

As menores perdas de solo médias anuais ocorreram nos sistemas FN e EN no LVd e LVAd, respectivamente. Entre os sistemas com eucalipto a ordem das perdas de solo obedeceu à sequência: ED > EDQ > EN para o LVd e EDQ > ED > EN para o LVAd, com valores bem abaixo do limite de tolerância, indicando adequação dos sistemas de manejo no tocante à erosão hídrica.

As perdas anuais médias de água seguiram a seguinte ordem para o LVd e LVAd, respectivamente: ED > SD > EN > EDQ > PP > FN e SD > FN > EDQ > PP > ED > EN. No LVAd, com exceção do sistema SD, todos os outros sistemas apresentaram perdas médias anuais menores que o sistema FN.

Nos sistemas com eucalipto, o período 1, foi o que apresentou as maiores perdas, exceto para o sistema EDQ, no LVd, o qual teve as maiores perdas no período 2. No LVAd as perdas de solo, em todos os períodos, foram maiores no EDQ, seguido do ED e EN, com perdas maiores no período 1 reduzindo até o último período.

As maiores perdas de água são observadas nos dois primeiros períodos para as duas classes de solo. No LVd há uma diminuição das perdas de água do período 2 para o período 3 em todos os sistemas estudados. Já no LVAd para os sistemas com eucalipto, houve redução das perdas de água enquanto que os sistemas SD e FN tiveram aumento do período 2 para o 3, indicando a sustentabilidade dos sistemas com eucalipto nessa região.

No geral, o LVAd apresentou perdas maiores que o LVd, resultantes da maior declividade em que o LVAd se encontra e aos atributos físicos, químicos e morfológicos de cada solo.

Os valores de erodibilidade foram $2,0 \times 10^{-4}$ e $1,0 \times 10^{-4}$ Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ para o LVAd e LVd, respectivamente, sendo considerados baixos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, jan./abr. 2002.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Erosão do solo na Amazônia: estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 30, n. 4, p. 601-613, abr. 2000.

BARROS, L. da S.; VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; MOURÃO JÚNIOR, M. Perdas de solo e água em plantio de *Acácia mangium* Wild e Savana em Roraima, norte da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 447-454, mar./abr. 2009.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados as perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 133-142, jan./fev. 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 368 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATI JÚNIOR, R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 25 p. (Boletim Técnico, 21).

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**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 509-517, maio/jun. 2003.

BONO, J. A. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; SILVA, M. L. N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 18, n. 1, p. 2-8, abr. 1996.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; FERREIRA, M. M.; MARTINS, S. G.; MARQUES, J. J. G. S. M. Erosão hídrica avaliada pela alteração da superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 25-37, dez. 2004.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; LIER, Q. J. van; BADELUCCI, M. P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa Gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 923-931, set./dez. 1999.

CELULOSE ONLINE. **MG lidera tecnologia para florestas plantadas.**

Disponível em:

<<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=22849&IDNoticia=19262>> . Acesso em: 11 maio 2009.

CENIBRA. **Levantamento semidetalhado de solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis.** Ipatinga, 2001. v.1, 101 p.

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

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: II: alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água - 1º aproximação. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1978b. p. 99-10.

COGO, N. P.; LEVIENS, R.; SCHWARZ. 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**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of América Jornal**, Madison, v. 48, p. 368-373, Mar./Apr. 1984.

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 Solo**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 133-137, maio/ago. 1981.

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**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 117-125, jan./abr. 1984.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 664 p.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, Nov. 1981.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic International Public**, Hudson, v. 38, p. 1-6, 1956.

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.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. de. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

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**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 683-692, jul./set. 2001.

LIMA, J. M.; CURTI, N.; RESENDE, M. SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, fev. 1990.

LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 38, p. 5-16, abr. 1988.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Ed. USP, 1996. 301 p.

LOMBARDI NETO, R. **Rainfall erosivity: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. 53 p. Thesis (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette.

MARGOLIS, E.; GALINDO, I. C. L.; MELLO NETTO, A. V. Comportamento de sistemas de cultivo da mandioca em relação à produção e às perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 357-362, jan./abr. 1991.

MARGOLIS, E.; SILVA, A. B. da; JACQUES, F. de O. Determinação dos fatores da equação universal e perda de solo para as condições de Caruaru-PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 165-169, maio/ago. 1985.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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**, Campinas, v.27, n. 3, p. 395-403, maio/jun. 2003.

MCGREGOR, K. C.; GREER, J. D.; GURLEY, G. E.; BOLTON, G. C. Erodibility factors for loring and lexington soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 24, p. 231-232, 1969.

MEEUWIG, R. O. **Sheet erosion on intermountain summer ranges**. Ogden: Intermountain Forest, 1970. 25 p.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Base de dados. Disponível em: <<http://www.sectes.mg.gov.br>>. Acesso em: 8 fev. 2008.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A. R.; MAFRA, R. C.; SILVA, A. B. Práticas conservacionistas e as perdas por erosão na cultura do milho isolado e consorciado no Sertão do Pajeú (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 69-72, jan./abr. 1990.

OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica em florestas de eucalipto na região sudeste do Rio Grande do Sul**. 2008. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, F. P. **Erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais**. 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIRES, L. S. **Sistema de manejo de eucalipto e erosão hídrica em latossolo vermelho amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. de F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, abr. 2006.

RANZINE, 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**, Piracicaba, v. 61, p. 144-159, jun. 2002.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência das práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 277-280, set./dez. 1985.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, 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 e melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183-189, fev. 1998.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics. 5. ed. Cary, 1985. 956 p.

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 Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 287-291, abr./jun. 1997.

SILVA, I. de F. da; CAMPOS FILHO, O. R.; ANDRADE, A. P. de; COELHO, E. A. C.; DINIZ, E. J. Influência do cultivo isolado e do consórcio sobre as perdas de solo e água numa terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 111-115, jan./abr. 1989.

SILVA, M. L. N.; BAHIA, V. G.; BARROSO, D. G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 44-50, jul. 1992.

SILVA, M. L. N.; CURI, 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., 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBCS/UFMT, 2002. Não paginado.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, jun. 2000.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um latossolo vermelho-escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 131-137, jan./mar. 1997.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. Measuring amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 32, p. 231-236, 1977.

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**, Piracicaba, n. 55, p. 5-16, jun. 1999.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, Jan./Feb. 1969.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p.

ZHOU, G. Y.; MORRIS, J. D.; YAN, J. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 167, n. 1/3, p. 209-222, Aug. 2002.

CAPÍTULO 4

**Modelagem e espacialização das perdas de solo e água pela erosão hídrica
em duas sub-bacias sob plantios florestais, no Vale do Rio Doce, região
Centro-Leste do estado de Minas Gerais**

1 RESUMO

A utilização da modelagem dos processos erosivos integrados no sistema de informações geográficas (SIG) tem sido um importante recurso na avaliação da erosão hídrica. Os objetivos deste trabalho foram determinar os fatores da equação universal de perdas de solo (USLE), integrando-os no ambiente SIG; proceder a espacialização da erosão hídrica nos sistemas florestais; e gerar mapas de predição das perdas de solo considerando alguns cenários. O estudo foi realizado em duas sub-bacias ocupadas por plantios de eucalipto, localizadas nos municípios de Belo Oriente e Guanhães no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. Foram obtidos e gerados os mapas dos fatores da USLE para proceder a espacialização nas duas sub-bacias, por meio da modelagem da USLE. Belo Oriente apresentou maiores riscos à erosão que Guanhães, sugerindo que o fator declividade e comprimento de rampa e a erodibilidade foram os principais responsáveis na variação das perdas de solo entre as sub-bacias. As menores perdas de solo, entre os cenários avaliados, ocorreram nos usos com eucalipto conservacionista e não conservacionista e floresta nativa. As perdas estimadas foram muito próximas das perdas reais indicando que o uso do modelo USLE integrado com o SIG foi eficiente na determinação das perdas de solo para as sub-bacias. As áreas onde as perdas ultrapassaram a tolerância foram, principalmente, os topos de morros e as estradas. Em relação às áreas de estradas foi observado que 57 e 75% destas áreas tiveram perdas de solo abaixo da tolerância admitida, sendo que 43 e 25% destas estradas possuíam perdas superiores, para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente.

2 ABSTRACT

The modeling of erosion processes integrated with a geographic information system (GIS) has been an important resource for assessment the water erosion. The objectives of this study were to determine the factors of the universal soil loss equation (USLE), coupling into the GIS framework, to generate a spatial distribution of water erosion in forest ecosystems; and to generate predict maps for soil loss according different scenarios. The study was conducted in two sub-basins occupied by eucalyptus plantations located in the Belo Oriente and Guanhães, in the Doce River Valley, Central-East region of Minas Gerais state – Brazil. USLE factors maps were obtained and generated in order to distribute the soil loss for those sub-basins, through the USLE model. Belo Oriente showed greater erosion risk than Guanhães, suggesting that the slope length and slope steepness factors and erodibility were the mainly responsible for the variation soil loss between the sub-basins. The lowest soil loss, among the scenarios evaluated, occurred in eucalyptus with conservationist-practices, eucalyptus with non-conservationist-practices, and native forest. The soil loss estimated were very close to the field soil loss indicating that employed USLE model integrated with GIS framework showed to be a effective tool for determining the soil loss for the sub-basins. The areas where the soil loss exceeded the tolerance values were mainly the top hills and the roads. According to the roads area was observed that 57 and 75% had soil loss lower than tolerance value, but 43 and 25% of such area had soil loss higher than soil loss tolerance, for Belo Oriente and Guanhães, respectively.

3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos temos acompanhado desastres ambientais resultantes do mau uso dos recursos ambientais, decorrentes do atual modelo de crescimento econômico, o qual tem gerado desequilíbrios, pois se por um lado, nunca houve tanta riqueza sendo produzida, por outro lado, a desigualdade social, a degradação ambiental e a poluição aumentam cada vez mais, e diante destas constatações, surge o conceito de desenvolvimento sustentável buscando conciliar o desenvolvimento econômico com responsabilidade social e preservação ambiental (Antonangelo & Fenner, 2005).

Durante a década de 60 houve grande incentivo aos plantios florestais por parte do governo brasileiro com o propósito de alavancar diferentes segmentos industriais no país, em especial a indústria de celulose e papel e a indústria siderúrgica. Naquela época os plantios florestais, no Brasil, ocupavam apenas 200 mil hectares e atualmente cobrem uma área de 5,7 milhões de hectares, geram 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos e contribuem com mais de 2% do PIB nacional (Hoefflich & Tuoto, 2008). Minas Gerais é o estado com maior área de florestas plantadas no Brasil. De acordo com relatório da Associação Mineira de Silvicultura (AMS), o plantio anual de florestas no Estado se multiplicou cinco vezes e meia em uma década, passando de 35.789 hectares, em 1999, para 198.500 hectares, em 2008 (Celulose Online, 2009). A maior parte desses plantios concentra-se nas regiões do Vale do Rio Doce, Centro-Oeste, Noroeste, Centro/Norte e Vale do Jequitinhonha/Mucuri (Minas Gerais, 2008). Sendo que a região do Vale do Rio Doce, atualmente, é das regiões mais degradadas pela erosão hídrica no estado de Minas Gerais.

Considerando as atuais exigências do mercado, em se ter uma produção sustentável, a erosão hídrica deve ser considerada como prioridade, uma vez que

ela é consequência do mau uso do solo, considerado um recurso não-renovável, e grande responsável por comprometer a quantidade e qualidade da água e assorear cursos d'água. Segundo Bahadur (2009) a erosão hídrica é a principal forma de degradação do solo em uma perspectiva global. Na Tailândia 33,7% da sua área total encontra-se degradada pela erosão hídrica (Bahadur, 2009). Como forma de auxiliar na identificação de áreas com menor e maior suscetibilidade a erosão hídrica e a compreender os mecanismos erosivos, bem como, suas causas e efeitos tem-se utilizado a modelagem da erosão hídrica. Dessa forma pode-se utilizar a modelagem dos processos erosivos como um indicador ambiental de zonas específicas de manejo e na determinação das práticas conservacionistas. Vários são os modelos existentes, porém o mais utilizado em todo o mundo é a Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE), a qual é um modelo empírico desenvolvido por Wischmeier & Smith (1978). A USLE expressa a perda de solo a partir de índices que consideram o efeito dos fatores chuva, solo, comprimento e declividade do terreno, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas adotadas. Entretanto, sendo um modelo empírico, depende de um banco de dados com informações do local onde será aplicado. Outra importante informação a respeito da sustentabilidade dos solos é a tolerância de perdas de solo por erosão hídrica, a qual possibilita monitorar a eficácia dos sistemas de uso e manejo do solo na redução da erosão (Bertol & Almeida, 2000).

Com o advento da tecnologia, muitos trabalhos de integração dos fatores da USLE no sistema de informações geográficas (SIG) têm sido desenvolvidos objetivando espacializar e prever as perdas de solo para determinada região (Srinivas et al., 2002; Tomazoni & Guimarães, 2005; Erdogan et al., 2007; Bahadur, 2009; Ozcan et al., 2008). Além disso, o uso do SIG tem se mostrado uma metodologia adequada na quantificação da heterogeneidade das

características topográficas e de drenagem de uma bacia hidrográfica (Shamsi, 1996; Rodda et al., 1999; Bahadur, 2009).

O objetivo deste trabalho foi determinar os fatores da USLE e integrá-los no ambiente SIG, proceder à espacialização da erosão hídrica nos sistemas florestais e gerar mapas de predição das perdas de solo considerando alguns cenários para verificar a substituição do uso do solo por outras atividades em duas sub-bacias, cujo uso atual é plantios de eucalipto no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado em duas sub-bacias ocupadas por plantios de eucalipto, localizadas nos municípios de Belo Oriente (coordenadas 19°13'12 latitude Sul e 42°29'01 de longitude Oeste) e Guanhães (coordenadas 18°46'30 latitude Sul e 42°55'57 de longitude Oeste), com área de 9,97 km² e 21,22 km², respectivamente, situados no Vale do Rio Doce, região Centro - Leste do estado de Minas Gerais. O clima da região de Belo Oriente é Aw, tropical com inverno seco e estação chuvosa no verão, segundo classificação de Köppen, com temperatura média variando entre 22°C e 27°C, sendo a máxima de 32°C e a mínima de 18°C. A precipitação média anual varia de 701 a 1.500 mm e altitude média de 300 m. O clima da região de Guanhães é Cwa, inverno seco e verão chuvoso, segundo classificação de Köppen, com temperatura média variando entre 18°C a 22°C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.180,8 mm e altitude média de 850 m. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico textura muito argilosa (LVAd), Latossolo Vermelho Distrófico típico textura muito argilosa, A proeminente, álico (LVd) e Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínico (CXbd) (Cenibra, 2001) (Figura 1).

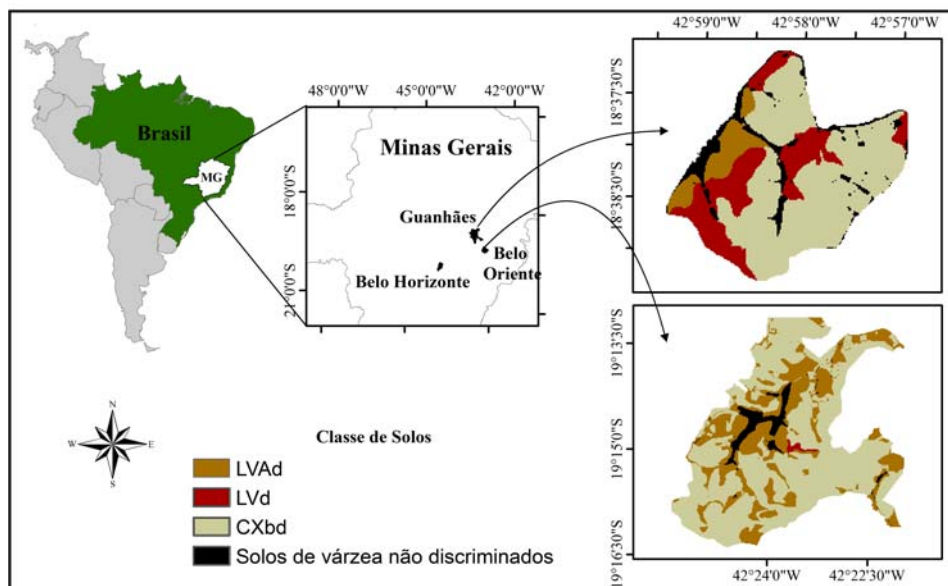


FIGURA 1 Localização dos municípios de Belo Oriente e Guanhães no estado de Minas Gerais, com destaque para o mapa de solos das duas sub-bacias estudadas.

4.2 Espacialização das perdas de solo

Foram gerados mapas para os fatores K, LS e C, e obtidos os fatores R e P para proceder a espacialização das perdas de solo nas duas sub-bacias, por meio da modelagem da USLE. Foram gerados mapas de perdas de solo considerando alguns cenários como: potencial de perdas (solo descoberto e fatores C e P = 1), uso atual do solo na área do estudo composto por plantios de eucalipto plantado em nível (sistema conservacionista) e em desnível (sistema não conservacionista), uso do solo com floresta nativa (sistema em equilíbrio) e uso do solo com pastagem plantada (principal uso do solo na região). Objetivando-se comparar as perdas de solo com a tolerância admitida para cada classe de solo, na região, fez-se o mapa das perdas de solo no uso atual em função da tolerância admitida para cada classe de solo.

Foi utilizado o *software* Arc Gis 9.2 para a integração dos fatores da USLE no sistema de informações geográficas e confecção dos mapas.

4.3 Modelagem dos processos erosivos

O modelo, mais utilizado, em todo o mundo, para predição dos processos erosivos tem sido a Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE), desenvolvida em 1954 e posteriormente revisada por Wischmeier & Smith (1965, 1978). A USLE tem em sua versão original, a seguinte forma Wischmeier & Smith (1978).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

onde A é a perda média anual de solo em Mg ha⁻¹; R é o fator de erosividade das chuvas em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; K é o fator erodibilidade do solo em Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹; LS é o fator comprimento de rampa (adimensional) e declividade (adimensional); C é o fator de uso e manejo (adimensional); e P é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

A metodologia de obtenção de cada um dos fatores da USLE é descrita a seguir.

Fator R – Erosividade da chuva: A erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão hídrica em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Para o cálculo da erosividade, foram acumulados os dados diários de precipitação pluviométrica para Belo Oriente e Guanhães, MG, extraídos do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). A precipitação mensal foi constituída do somatório das precipitações diárias que ocorreram em determinado mês. Dessa forma, puderam ser obtidos os valores mensais da precipitação pluviométrica, para todos os meses de todos os anos da série.

Para se obter uma estimativa aproximada do índice de erosividade mensal, foi determinado o coeficiente da chuva, conforme proposto por Fournier e modificado por Lombardi Neto (1977):

$$R_c = p^2 \times P^{-1} \quad (2)$$

onde R_c é o coeficiente de chuva (mm); p a precipitação média mensal (mm); e P a precipitação média anual (mm).

A análise de regressão entre os valores do índice de erosividade EI_{30} mensal (variável dependente y), calculados com os dados pluviográficos obtidos de estações climatológicas, que geraram dados de precipitação a cada 5 min., nas duas regiões, e os valores do coeficiente de chuva (variável independente x), determinados com dados dos anos de 2005 a 2008, permitiu obter a equação 3 para Belo Oriente e a equação 4 para Guanhães, ambas determinadas no capítulo 1.

$$EI_{30} = 215,4 \times Rc^{0,65} \quad R^2 = 0,89 \quad (3)$$

$$EI_{30} = 123,34 \times Rc^{0,74} \quad R^2 = 0,95 \quad (4)$$

Tais equações permitiram obter valores mensais do índice EI_{30} , para as séries históricas de precipitação pluviométrica das regiões de Belo Oriente e Guanhães, MG.

Fator K – Erodibilidade do solo: Representa a susceptibilidade do solo em sofrer destacamento e transporte pela ação erosiva da chuva e pelo fluxo de água. O fator K usado foi de 0,0001 e 0,0002 $Mg \ h \ MJ^{-1} \ mm^{-1}$ para o LVd e LVAd, os quais foram determinados no capítulo 2, e para o CXbd adotou-se o valor de 0,024 $Mg \ h \ MJ^{-1} \ mm^{-1}$ de acordo com Silva (2003)

O mapa para o fator K foi gerado a partir do mapa de solos (Figura 1).

Fator LS – Comprimento de rampa e declividade do terreno: Este fator reflete os efeitos da topografia nas perdas de solo causada pela erosão hídrica. Onde L é definido como a distância do ponto de origem do fluxo (divisor de águas no caso de bacias hidrográficas) ao ponto onde, por diminuição do declive, ocorre deposição ou o fluxo ocorre em canais bem definidos (Wischmeier & Smith 1978). E S representa a influência do gradiente de declividade nas perdas de solo (Williams, 1975; Williams & Berndt, 1977; Lu et al., 2004; Zhang et al., 2009; Bahadur, 2009). Para o cálculo do fator LS, foi gerado o Modelo de Elevação Digital (MED) com resolução de 24 m (Figura 2). Bhattarai & Dutta (2007) obtiveram melhores resultados para o fator LS quando utilizaram resolução próxima ao tamanho da parcela padrão da USLE para gerar o MED. A partir do MED, obteve-se o mapa de declividade, e o comprimento de rampa foi determinado de acordo com o tamanho do *pixel*, fixado em 24 m. O fator comprimento de rampa (L) foi obtido através da equação 6 (Renard et al., 1997; Bhattarai & Dutta, 2007; Kouli et al., 2009).

$$L = (\lambda/22,13)^m \quad (6)$$

onde λ é o tamanho da célula; e m é o expoente do comprimento da rampa. O expoente comprimento de rampa m é relacionado à taxa β da erosão em sulcos (causada pelo fluxo) e a erosão entre sulcos (causada, principalmente, pelo impacto da gota de chuva) pelas seguintes equações (Foster et al., 1977; McCool et al., 1989).

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (7)$$

$$\beta = (\sin\theta/0,0896) / \left[3,0 \times (\sin\theta)^{0,8} + 0,56 \right] \quad (8)$$

onde β é o quociente entre a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos e θ (graus) é o ângulo de declive da pendente.

O fator declividade de rampa (S) foi determinado segundo McCool et al., 1987).

$$S = 10,8 \times \sin\theta + 0,03 \quad \text{para declives} < 9\% \quad (9)$$

$$S = 16,8 \times \sin\theta - 0,50 \quad \text{para declives} \geq 9\% \quad (10)$$

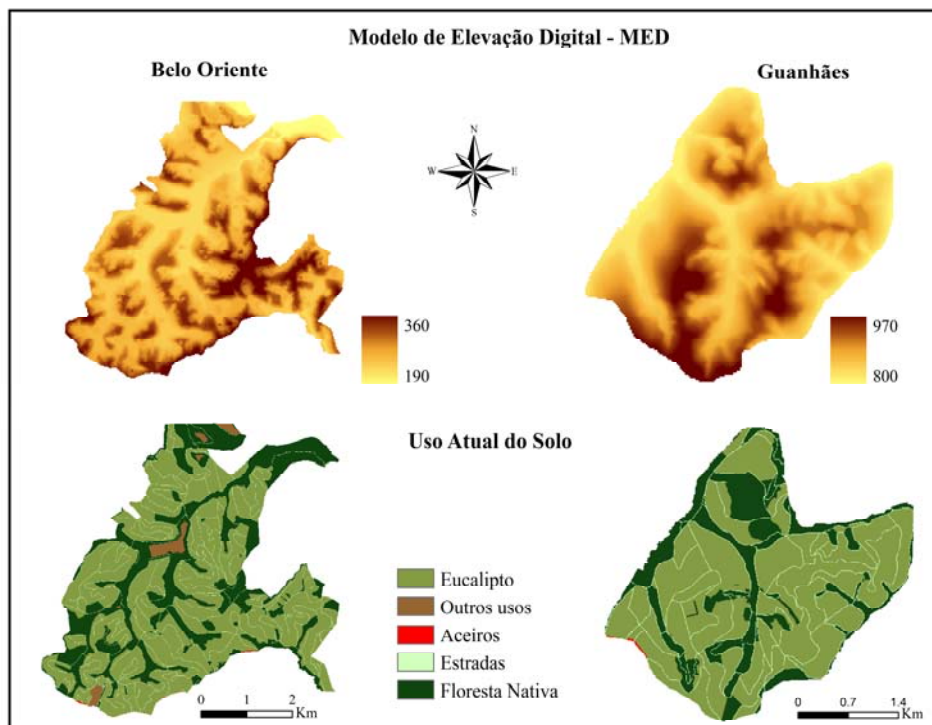


FIGURA 2 Modelo de elevação digital (MED) e uso do solo para Belo Oriente e Guanhães.

Fator C – Uso e manejo: Representa a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (Bertoni &

Lombardi Neto, 2005). Para obter o fator cobertura do solo (fator C), os estádios durante o ciclo das culturas devem ser estabelecidos, considerando-se a porcentagem de cobertura do solo (Wischmeier & Smith, 1978). Neste trabalho, utilizaram-se os dados gerados nas parcelas de perdas de solo sob chuva natural (parcelas com solo descoberto, eucalipto, pastagem plantada e floresta nativa) discutidos no capítulo 2 para estabelecer a razão de perdas de solo (RPS) em cada estágio da cultura do eucalipto. Para isso, cada estágio foi estabelecido em função dos anos de condução do experimento, além de ser utilizada a floresta nativa e a pastagem plantada no estágio atual. O cálculo da RPS foi feito segundo Wischmeier & Smith (1978), utilizando a equação 11.

$$RPS_i = PC_i / PD_i \quad (11)$$

onde 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 nos tratamentos com eucalipto, pastagem plantada ou floresta nativa ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), e PD é a perda de solo no tratamento em solo descoberto ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O fator C foi calculado usando a equação 12 (Renard et al., 1997).

$$C = \sum (RPS_i \times R_i) / R_T \quad (12)$$

onde C é o fator cobertura do solo, i é o estágio da cultura (considerando o ciclo de 7 anos do eucalipto para produção de celulose), RPS é a razão de perdas de solo, R_i é a erosividade da chuva em cada estágio da cultura e R_T a erosividade total do período.

O mapa do fator C foi gerado a partir do mapa de uso atual do solo nas duas sub-bacias (Figura 2).

Fator P – Práticas conservacionistas: É a relação entre a intensidade esperada das perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas

quando a cultura está plantada no sentido do declive (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Os sistemas de plantio na área do estudo compreendem plantios homogêneos com eucalipto plantados em nível (conservacionista) e desnível (não conservacionista). Portanto, utilizou-se $P = 0,5$ para o cenário com eucalipto conservacionista e $P = 1,0$ para os demais cenários conforme Bertoni & Lombardi Neto (2005).

4.4 Tolerância das perdas de solo

Para o cálculo do valor de tolerância de perdas de solo, para o CXbd, utilizou-se dados de perfis de solos do levantamento semidetalhado da região (Cenibra, 2001). As tolerâncias de perdas de solo admissíveis foram determinadas pela metodologia proposta por Smith & Stamey (1964); Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Galindo & Margolis (1989). Dos resultados determinados pelas três metodologias foi obtido um valor médio. Para todos os perfis estudados, foi calculada, em metros, a espessura da camada do solo passível de ser removida. Esse valor foi convertido em milímetros e, então, a tolerância foi convertida em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com base nos valores de densidade do solo. Os métodos levam em consideração a profundidade efetiva do solo, a relação textural entre os horizontes subsuperficiais e superficiais, a permeabilidade e o teor de matéria orgânica.

A tolerância usada, para os latossolos, foi de $7,17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o LVAd (Pires, 2004) e de $11,22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o LVd (Silva et al., 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os índices de erosividade da chuva anual variaram de $4.949 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $13.105 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e de $4.553 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $11.900 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Martins (2005) obteve valores de erosividade da chuva para a região dos Tabuleiros Costeiros (ES) variando de $4.535 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $16.220 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O valor médio da erosividade anual foi de $10.745 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $10.693 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente, considerados muito altos segundo classificação de Foster et al. (1981). Esses valores se enquadram dentro da faixa estabelecida para o país que é de 5.000 a $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, de acordo com Cogo (1988).

Na Figura 3 e Tabela 1 encontra-se a distribuição e espacialização do fator K nas duas sub-bacias. A área ocupada por cada classe de solo e fator K em relação à área total foi de 0,4, 19,1 e 74,2% para o LVd, LVAd e CXbd, respectivamente, em Belo Oriente, e de 22,5, 8,2 e 59,2% para o LVd, LVAd e CXbd, respectivamente, em Guanhães. Segundo Silva et al. (1998); Resende et al. (1999) e Lima & Andrade (2001) os óxidos de alumínio presentes na gibbsite da fração argila dos latossolos favorecem sua maior agregação pela manutenção de uma estrutura microgranular, resultando em altos valores de permeabilidade e, conseqüentemente, menores valores do fator K e maior resistência à erosão. Já os cambissolos são mais cauliniticos, apresentam baixos teores de óxidos de ferro, estrutura em blocos e baixa permeabilidade, resultando em maiores valores de K e, portanto, maior susceptibilidade à erosão (Silva et al., 2005). Assim, observa-se que Belo Oriente é mais susceptível à erosão hídrica que Guanhães por possuir maiores áreas com valores mais elevados do fator K em relação à Guanhães.

TABELA 1 Distribuição do fator K para Belo Oriente e Guanhães.

Classes de Solos	Fator K	Belo Oriente		Guanhães	
		Área		Área	
		ha	%	ha	%
Solos de várzea não discriminados	0	0,0130	6,3	0,0096	10,0
LVd	0,0001	0,0008	0,4	0,0216	22,5
LVAd	0,0002	0,0393	19,1	0,0079	8,2
CXbd	0,024	0,1527	74,2	0,0568	59,2

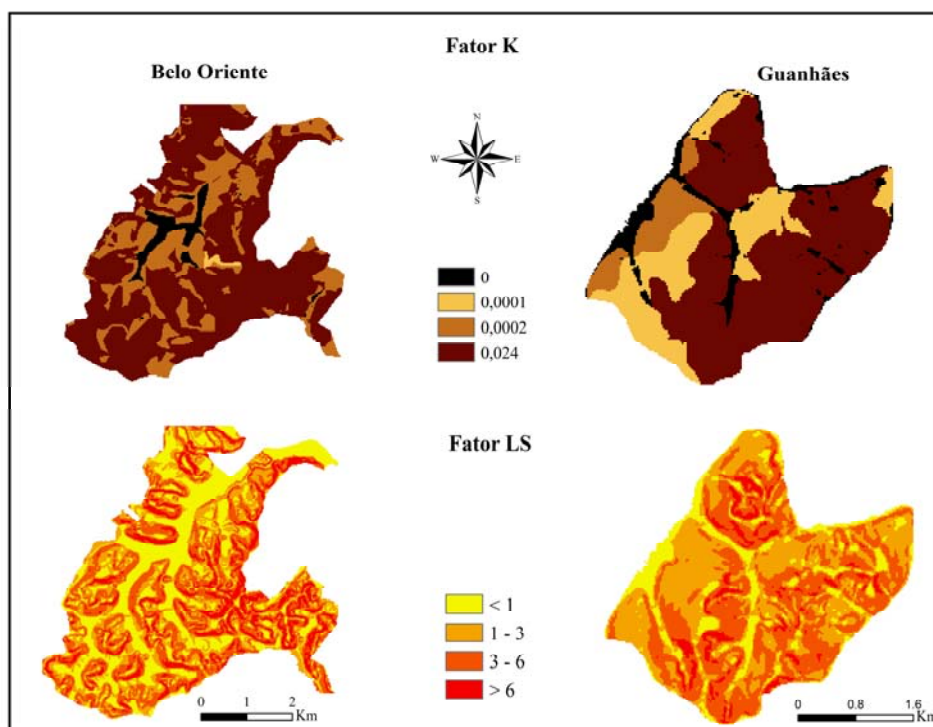


FIGURA 3 Mapa do fator K e fator LS para Belo Oriente e Guanhães.

A distribuição e espacialização do fator LS, para as duas sub-bacias, podem ser vistas na Figura 3 e Tabela 2. O fator LS apresentou amplitude de

0,03 a 11,29 e 0,03 a 10,57 para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Os maiores valores encontrados para o fator LS nas duas sub-bacias foi inferior aos obtidos por Kouli et al. (2009) na Grécia, os quais encontraram valores de LS variando de 0 a 118, Erdogan et al. (2007) na Turquia que obtiveram valores variando de 0 a 40 e Srinivas et al. (2002) no Distrito de Nagpur, que encontraram valores variando de 0,17 a 19,97, e próximos aos encontrados por Weill & Sparovek (2008) em Piracicaba (SP) que tiveram resultados de LS variando de 0 até 9,87.

Em 55% da área, em Belo Oriente, o fator LS foi igual ou inferior a 3 e esse mesmo valor correspondeu a 54% da área em Guanhães, corroborando com resultados obtidos por Weill & Sparovek (2008) e Erdogan et al. (2007). Belo Oriente apresentou valores de LS maiores que 6 em 13% da área enquanto que em Guanhães a área ocupada foi de 6%. Esses resultados sugerem que a sub-bacia de Belo Oriente oferece maiores riscos à erosão hídrica que a sub-bacia de Guanhães, por apresentar maior área correspondente a valores de LS também maiores.

TABELA 2 Distribuição do fator LS para Belo Oriente e Guanhães.

Classes de LS	Belo Oriente		Guanhães	
	Área		Área	
	ha	%	ha	%
< 1	0,06	29	0,01	14
1 – 3	0,05	26	0,04	40
3 – 6	0,07	32	0,04	40
> 6	0,03	13	0,01	6
Total	0,21	100	0,10	100

Os valores do fator C obtidos para o eucalipto, floresta nativa e pastagem plantada foram de 0,016, 0,012 e 0,052. O valor do fator C do

eucalipto foi bem próximo da floresta nativa. Isto está associado à boa cobertura do solo proporcionada pelo eucalipto, principalmente, por se tratar de plantios puros em espaçamentos regulares. Com o crescimento da floresta há o fechamento do dossel e entrelaçamento das copas das árvores garantindo boa proteção ao solo contra o impacto direto da gota da chuva, e quando a água da chuva chega à superfície do solo, encontra uma rica camada de folhas e galhos (serrapilheira) que atenua ainda mais o arraste das partículas do solo (Martins, 2005). Esses valores de fator C para o eucalipto e floresta nativa estão acima dos encontrados por Martins (2005) e por Silva (2007) citado por Machado et al. (2009) e semelhante ao determinado por Bueno & Stein (2004) para reflorestamento.

As perdas de solo, considerando o plantio de eucalipto utilizando práticas conservacionistas, variaram de 0 a 1.239,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 0 a 1.088,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Já as perdas para o eucalipto sem práticas conservacionistas dobraram, variando de 0 a 2.478,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Belo Oriente e 0 a 2.177,25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Guanhães. Analisando as perdas, caso o uso do solo fosse floresta nativa ou pastagem plantada, observa-se que a amplitude das perdas para ambos foram semelhantes às perdas para o eucalipto sem práticas conservacionistas nas duas sub-bacias. O fato das perdas ter apresentado amplitudes semelhantes, se justifica pela presença desses usos em todos os cenários, em maior ou menor proporção, resultando em variações semelhantes de perdas de solos em todos os cenários que não consideram o uso de práticas conservacionistas. O potencial de perdas variou de 0 a 2.911,71 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e de 0 a 2.402,23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Na Tailândia, Bahadur (2009), obteve valores de erosão potencial maior que 800 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

A espacialização e distribuição do potencial de perdas de solo e das perdas nos diferentes cenários encontram-se nas Figuras 4 e 5 e Tabela 3.

Quando se avalia a extensão ocupada por cada classe de erosão entre os cenários nota-se que 75, 57, 61, 46 e 39% da área, em Belo Oriente, e 81, 53, 59, 47 e 46% da área, em Guanhães, encontram-se entre o grau de erosão insignificante a fraco e abaixo da média entre os valores toleráveis de perdas de solo nas regiões, para a EN, ED, EF, SD, PP, respectivamente. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Weill & Sparovek (2008), os quais encontraram cerca de 30% da área da sub-bacia do Ceveiro, em Piracicaba, abaixo do limite de tolerância.

Comparando os resultados das simulações entre os cenários de uso atual (eucalipto conservacionista e não conservacionista) e os outros cenários verifica-se que o eucalipto conservacionista apresentou em sua maior parte perdas de solo que vão de 0 a 25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Belo Oriente e de 0 a 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Guanhães. O eucalipto não conservacionista e a floresta nativa apresentaram perdas abaixo de 25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para as duas sub-bacias, na maior parte da sua área, confirmando a capacidade dos plantios florestais em proteger o solo de forma semelhante à floresta nativa por promover a redução do escoamento superficial através da interceptação das gotas de chuva tanto pelo dossel quanto pela serrapilheira. A pastagem plantada apresentou grandes áreas com grau de erosão de levemente severo a extremamente severo, cerca de 50% para as duas sub-bacias. A substituição do uso atual por pastagem plantada não se mostrou sustentável para essas duas regiões, corroborando com Machado et al. (2003), que verificou aumento nas perdas de solo em simulações realizadas em uma sub-bacia no município de Piracicaba quando a floresta nativa foi substituída pela pastagem.

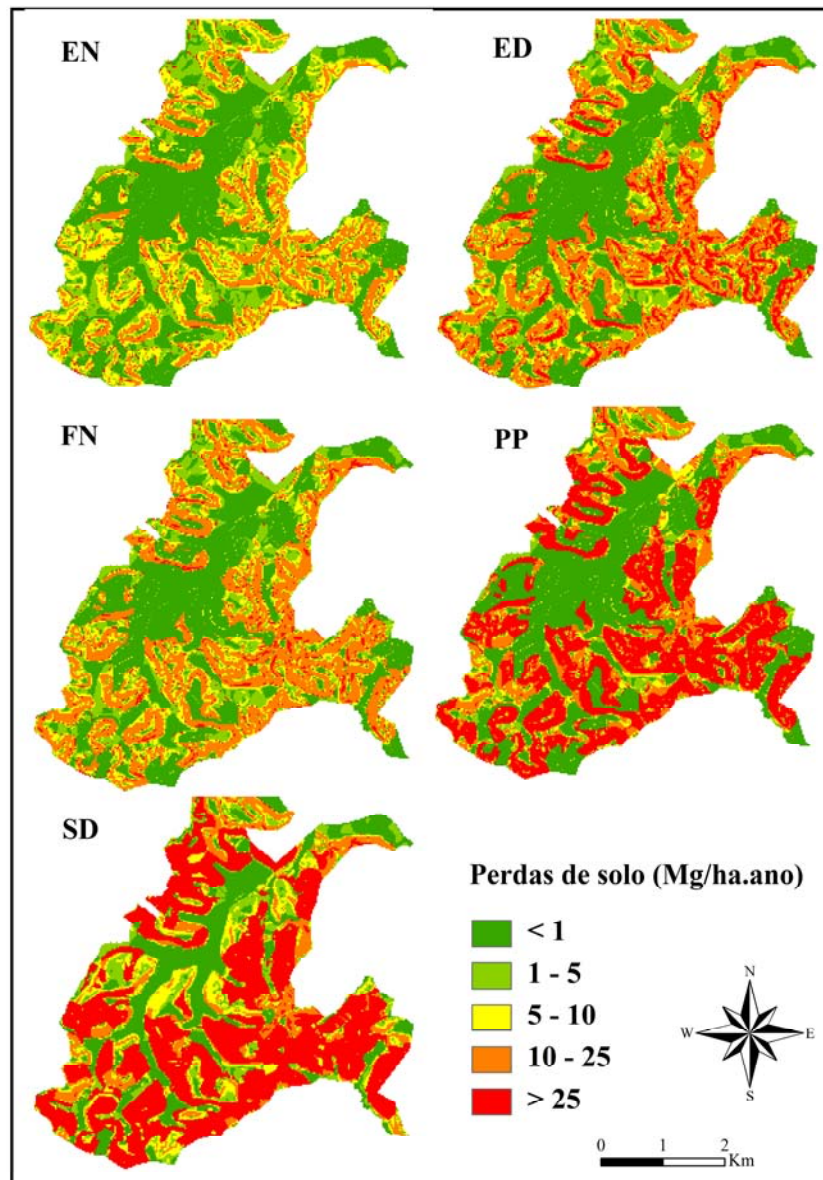


FIGURA 4 Perdas de solo nos diferentes cenários em Belo Oriente. EN: uso do solo com eucalipto conservacionista; ED: uso do solo com eucalipto não conservacionista; FN: uso do solo com floresta nativa; PP: uso do solo com pastagem plantada; SD: potencial de perdas de solo.

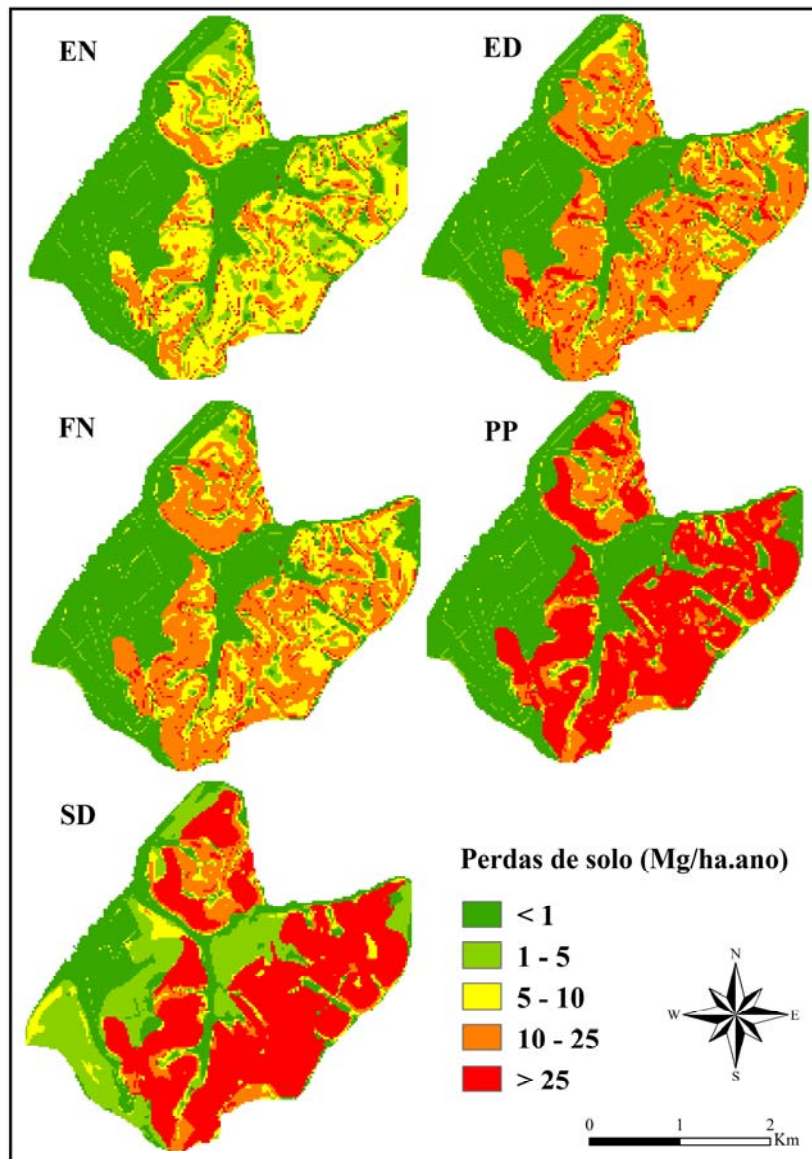


FIGURA 5 Perdas de solo nos diferentes cenários em Guanhões. EN: uso do solo com eucalipto conservacionista; ED: uso do solo com eucalipto não conservacionista; FN: uso do solo com floresta nativa; PP: uso do solo com pastagem plantada; SD: potencial de perdas de solo.

TABELA 3 Porcentagem da área ocupada por classe e grau de erosão para Belo Oriente e Guanhães.

Classe	Perdas de solo	Grau da erosão	EN	ED	FN	PP	SD
			-----%-----				
Belo Oriente							
1	0-1	Nulo ou insignificante	37,6	35,3	35,7	34,7	18,5
2	1-3	Extremamente fraco	13,0	5,9	8,3	3,7	6,0
3	3-6	Muito fraco	12,4	9,3	9,4	4,1	7,4
4	6-9	Fraco	11,9	6,5	7,5	3,6	6,9
5	9-12	Moderado	12,0	5,9	7,5	4,6	5,0
6	12-25	Levemente severo	10,3	25,6	27,1	13,4	8,6
7	25-50	Moderadamente severo	0,1	8,6	1,6	11,0	0,9
8	50-100	Severo	0,2	0,1	0,1	19,7	0,8
9	100-400	Muito severo	0,3	0,1	0,1	2,5	0,9
10	> 400	Extremamente severo	2,4	2,8	2,8	2,8	44,9
Guanhães							
1	0-1	Nulo ou insignificante	40,8	39,7	39,9	39,4	17,98
2	1-3	Extremamente fraco	5,8	2,1	2,5	1,6	12,74
3	3-6	Muito fraco	14,8	4,7	6,6	3,4	11,39
4	6-9	Fraco	19,8	6,1	10,5	2,3	3,51
5	9-12	Moderado	11,4	8,7	12,6	2,3	2,08
6	12-25	Levemente severo	4,0	32,1	23,9	10,1	6,76
7	25-50	Moderadamente severo	0,0	3,0	0,6	18,5	0,51
8	50-100	Severo	0,0	0,0	0,0	18,4	0,38
9	100-400	Muito severo	0,1	0,0	0,0	0,6	0,32
10	> 400	Extremamente severo	3,3	3,4	3,4	3,4	44,33

EN: uso do solo com eucalipto conservacionista; ED: uso do solo com eucalipto não conservacionista; FN: uso do solo com floresta nativa; SD: potencial de perdas de solo; PP: uso do solo com pastagem plantada.

Em função do uso do solo nota-se diferença entre os cenários (Figura 6). O uso com eucalipto conservacionista apresentou perdas médias menores que todos os outros sistemas e o eucalipto não conservacionista perdas médias menores que o sistema com uso de pastagem plantada e o potencial de perdas, e perdas muito próximas das perdas da floresta nativa. Isto é um indicativo da sustentabilidade dos plantios florestais com eucalipto, os quais garantem boa cobertura ao solo tanto pelo fechamento e entrelaçamento das copas quanto pela

formação da serrapilheira garantindo maior proteção ao solo que outras culturas agrícolas e perdas de solo semelhantes às perdas geradas pela vegetação de ocorrência natural na região.

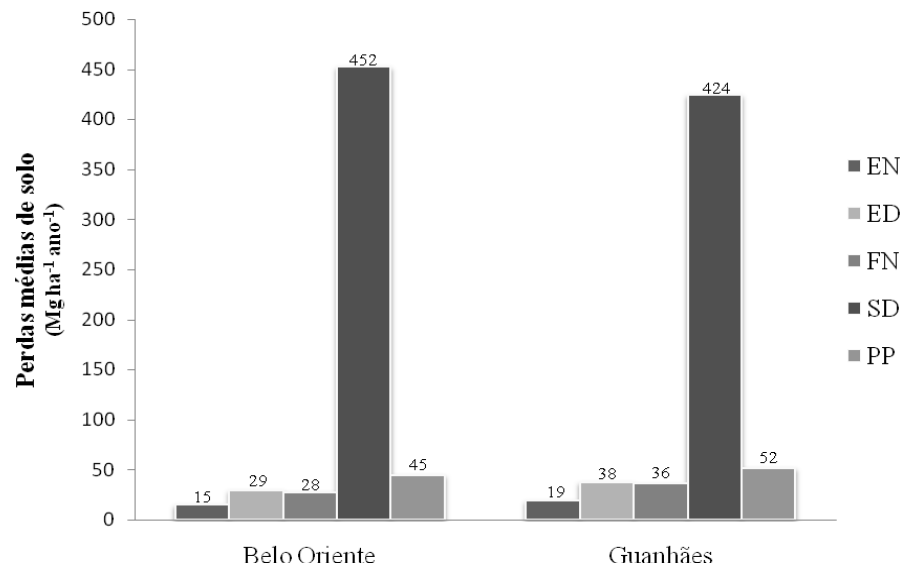


FIGURA 6 Perdas médias de solo estimadas pela USLE para cada cenário. EN: uso do solo com eucalipto conservacionista; ED: uso do solo com eucalipto não conservacionista; FN: uso do solo com floresta nativa; SD: potencial de perdas de solo; PP: uso do solo com pastagem plantada.

Observam-se, na Tabela 4, as perdas médias de solo determinadas através da USLE para cada cenário e as perdas médias obtidas no campo pelo método da parcela padrão considerando os mesmos cenários (Perdas Reais). Os valores de perdas de solo da USLE apresentaram correlação entre os dados de campo e as perdas obtidas através da modelagem da USLE na ordem de 0,99 para as duas sub-bacias. Este valor encontra-se acima do obtido por Martins

(2005), o qual apresentou correlação de 0,86. Observa-se que as perdas estimadas foram próximas das perdas reais indicando que o uso do modelo USLE foi eficiente na determinação das perdas de solo para as duas sub-bacias, podendo ser utilizado como auxílio na determinação e escolha das práticas conservacionistas nessas duas regiões e na tomada de decisão quanto às práticas de manejo adotadas nos plantios florestais, garantindo uma produção sustentável.

TABELA 4 Perdas médias reais e perdas médias estimadas pela USLE.

Cenário	Perdas Reais	Perdas USLE	Perdas Reais	Perdas USLE
	Belo Oriente		Guanhães	
	-----Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			
EN	0,06	0,69	0,03	0,13
ED	0,1	1,39	0,08	0,26
FN	0,07	1,3	0,01	0,24
PP	0,85	2,22	0,25	0,46
SD	17,42	25,94	4,87	5,54

EN: uso do solo com eucalipto conservacionista; ED: uso do solo com eucalipto não conservacionista; FN: uso do solo com floresta nativa; SD: potencial de perdas de solo; PP: uso do solo com pastagem plantada.

O valor médio da tolerância admitida para o CXbd foi de 8,79 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Estes resultados estão de acordo com Food and Agriculture Organization of the United Nations (1967) e acima do obtido por Mannigel et al. (2002). A tolerância usada para o LVAd foi de 7,17 Mg ha⁻¹ano⁻¹ (Pires, 2004) e de 11,22 Mg ha⁻¹ano⁻¹ para o LVd (Silva et al., 2002).

A partir do mapa de perdas de solo no cenário com eucalipto conservacionista e o mapa de tolerância admissível de perdas para as classes de solos foi possível gerar o mapa das perdas em função da tolerância (Figura 7). Os locais onde os valores das perdas de solo foram menores que a tolerância,

indica adequação do uso do solo, porém onde os valores são maiores que a tolerância, sugere que as perdas estão ocorrendo numa velocidade maior que a capacidade de formação do solo podendo causar degradação dessas áreas. Essas áreas onde as perdas ultrapassam a tolerância são, principalmente, os topos de morros e as estradas, que são as principais responsáveis pelas maiores perdas de solo por erosão hídrica em sistemas florestais. As estradas ocupam cerca de 4 e 5% da área total para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Em relação às áreas de estradas foi observado que 57 e 75% destas áreas tiveram perdas de solo abaixo da tolerância admitida, sendo que 43 e 25% destas estradas possuíam perdas superiores, para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente. Segundo Oliveira (2006), o processo erosivo é bastante significativo no leito, encostas e taludes de estradas florestais nessas regiões, necessitando de práticas conservacionistas como a redução ao mínimo da densidade de estradas, locação em planos menos declivosos e utilização das características naturais do terreno como divisores de água na redução das perdas de solo e água.

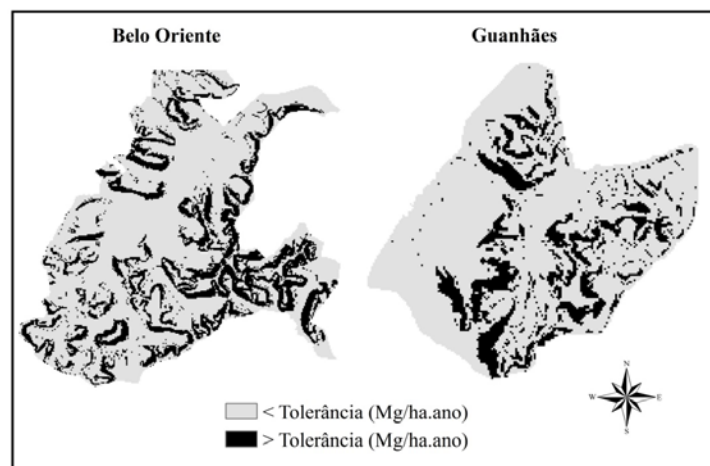


FIGURA 7 Perdas de solo em função da tolerância admitida para cada classe de solo em Belo Oriente e Guanhães.

6 CONCLUSÕES

A erosividade da chuva apresentou médias anuais muito próximas entre as sub-bacias, não sendo, portanto, o principal fator na variação das perdas de solo.

No geral, Belo Oriente apresentou maiores riscos à erosão que Guanhães, sugerindo que o fator LS e o fator K foram os principais responsáveis na variação das perdas de solo em relação as duas sub-bacias.

As menores perdas de solo, entre os cenários avaliados, ocorreram nos usos com eucalipto conservacionista e não conservacionista e floresta nativa, indicando a forte influência da cobertura vegetal, expressa pelo fator C, em garantir boa proteção ao solo e a eficiência do uso de práticas conservacionistas no controle da erosão hídrica.

As perdas estimadas foram muito próximas das perdas reais indicando que o uso do modelo USLE integrado com o SIG foi eficiente na determinação das perdas de solo para as duas sub-bacias, podendo ser utilizado como auxílio na determinação e escolha das práticas conservacionistas nessas duas regiões e na tomada de decisão quanto às práticas de manejo adotadas nos plantios florestais, garantindo uma produção sustentável.

As estradas tiveram 57 e 75% de suas áreas com perdas de solo abaixo da tolerância admitida e, 43 e 25% superiores, para Belo Oriente e Guanhães, respectivamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONANGELO, A.; FENNER, P. T. Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 1-20, 2005.
- BAHADUR, K. C. K. Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the upper nam wa Watershed, Nan Province, Thailand. **Environmental Geology**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 695-705, Apr. 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**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 657-668, ago. 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.
- BHATTARAI, R.; DUTTA, D. Estimation of soil erosion and sediment yield using gis at catchment scale. **Water Resources Management**, New York, v. 21, n. 10, p. 1635-1647, Oct. 2007.
- BUENO, C. R. P. B.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 1-5, mar. 2004.
- CELULOSE ONLINE. **MG lidera tecnologia para florestas plantadas**. Disponível em:
<<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=22849&IDNoticia=19262>> Acesso em: maio 2009.
- CENIBRA. **Levantamento semidetalhado de solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis**. Ipatinga, 2001. v.1, 101 p.
- COGO, N. P. Conceitos e princípios envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

ERDOGAN, H. E.; ERPUL, G.; BAYRAMIN, I. Use of USLE/GIS methodology for predicting soil loss in a semiarid agricultural watershed. **Environmental monitoring and assessment**, Dordrecht, v. 131, n. 1/3, p. 153-161, Aug. 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **La erosión del suelo por el agua**: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma: FAO, 1967. 207 p.

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, Nov. 1981.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D.; ONSTAD, C. A. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, p. 683-687, 1977.

GALINDO, I. C. L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 95-100, jan./abr. 1989.

HOEFLICH, V. A.; TUOTO, M. **Floresta plantada poupa a mata nativa**. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/Colunista/colunista.asp?IDAssuntoMateria=569&iditem=>>>. Acesso em: 9 fev. 2008.

KOULI, M.; SOUPIO, P.; VALLIANATOS, F. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. **Environmental Geology**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 483-497, Apr. 2009.

LIMA, P. M. P.; ANDRADE, H. Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 463-474, abr./jun. 2001.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra parasolos do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12 p. (Boletim Técnico, 28).

LOMBARDI NETO, R. **Rainfall erosivity**: its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil. 1977. 53 p. Thesis (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette.

LU D.; LI, G.; VALLADARES, G. S.; BATISTELLA, M. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 15, n. 5, p. 499-512, Sept./Oct. 2004.

MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMAO, M. L. R.; NAIME, U. J. Levantamento sistemático dos fatores da equação universal de perdas de solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 IGAM, Minas Gerais (resultados parciais). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São Jose dos Campos: INPE, 2009. p. 7733-7739.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 727-733, jul. 2003.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, dez. 2002.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.

MCCOOL, D. K.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. **Base de dados**. Disponível em: <<http://www.sectes.mg.gov.br>>. Acesso em: 8 fev. 2008.

OLIVEIRA, F. P. **Erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais**. 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OZCAN, A. U.; ERPUL, G.; BASARAN, M.; ERDOGAN, H. E. Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of indagi mountain pass-çankiri, Turkey. **Environmental Geology**, Berlin, v. 53, n. 8, p. 1731-1741, Feb. 2008.

PIRES, L. S. **Sistema de manejo de eucalipto e erosão hídrica em latossolo vermelho-amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. [S.l.]: Government Printing Office, 1997.

RESENDE, M.; CURTI, N.; LANI, J. L. **Science for sustainable development in Latin América and Caribbean**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999.

RODDA, H. J.; DEMUTH, S.; SHANKAR, U. The application of a GIS based decision support system to predict nitrate leaching to ground water in south Germany. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 221-236, Apr. 1999.

SHAMSI, U. M. Storm-water management implementation through modeling and GIS. **Journal of Water Resources Planning and Management**, New York, v. 122, n. 2, p. 114-127, Mar./Apr. 1996.

SILA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de latossolo vermelho-escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, A. M. da. **Erosividade, erodibilidade e perdas por erosão em cambissolo e latossolo sob chuva natural**. 2003. 72 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, L. F. da. **A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA):** uma proposta Metodológica. 2007. 214 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.

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., 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBCS/UFMT, 2002. Não paginado.

SMITH, R. M.; STAMEY, W. L. How to establish erosion tolerances. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 19, n. 3, p. 110-111, May/June 1964.

SRINIVAS, C. V.; MAJI, A. K.; OBI REDDY, G. P.; CHARY, G. R. Assessment of soil erosion using remote sensing and gis in nagpur district, maharashtra for prioritisation and delineation of conservation units. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, New York, v. 30, n. 4, p. 197-212, Oct. 2002.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 57, p. 235-244, dez. 2005.

WEILL, M. de A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): I: estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 801-814, abr. 2008.

WILLIAMS JUNIOR, B. H. D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, p. 1100-1104, 1977.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 11, n. 5, p. 965-974, Oct. 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains.** Washington: USDA, 1965.

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. Integration of modified universal soil loss equation (musle) into a gis framework to assess soil erosion risk. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 20, n. 1, p. 84-91, Jan./Feb. 2009.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Distribuição dos valores médios mensais da precipitação pluvial, observados nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.....	117
TABELA 2A Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade, EI_{30} , observados nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.....	118

TABELA 1A Distribuição dos valores médios mensais da precipitação pluvial, observados nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.

Mês	Sub-regiões								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-----mm ano ⁻¹ -----								
Jan.	268,3	179,8	190,3	187,7	160,4	127,3	217,5	197,9	202,1
Fev.	113,7	125,2	123,0	153,9	123,3	191,8	162,3	114,9	145,4
Mar	135,1	137,2	192,5	239,2	106,9	155,9	190,8	125,4	96,4
Abr.	21,9	75,1	69,8	82,0	67,0	73,4	54,6	44,9	196,6
Mai.	16,2	16,6	14,9	29,7	30,6	21,6	20,1	21,3	27,0
Jun.	11,6	16,8	19,6	4,8	10,1	8,7	9,4	6,6	21,8
Jul.	2,0	11,7	6,9	7,4	2,5	1,1	6,2	4,4	9,3
Ago	13,0	6,2	2,6	2,5	22,6	12,5	19,4	5,2	19,9
Set.	43,2	38,8	48,9	72,6	55,0	35,1	66,6	39,8	65,6
Out.	94,4	48,1	64,7	117,2	73,7	61,3	90,4	66,3	64,6
Nov	208,5	216,5	223,9	257,3	222,0	310,0	237,4	238,3	332,9
Dez.	175,0	228,7	241,7	256,6	163,4	224,7	198,1	213,7	299,9
Total	1.102,9	1.100,7	1.198,8	1.410,9	1.037,5	1.223,4	1.272,8	1.078,7	1.481,5

1: Alfê; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.

TABELA 2A Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade, EI_{30} , observados nos anos de 2005 a 2008, em nove sub-regiões, na região do Vale do Rio Doce, MG.

Mês	Sub-regiões								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-----MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹ -----								
Jan.	7.374	1.309	1.554	1.846	1.183	1.162	1.315	2.193	5.823
Fev.	995	1.021	889	1.525	1.553	4.549	1.812	947	1.656
Mar.	639	1.249	1.257	2.525	1.041	1.327	1.260	692	1.411
Abr.	10	629	186	427	338	422	177	96	2.357
Mai.	36	11	17	163	313	207	102	149	251
Jun.	33	73	7	0	96	17	33	0	36
Jul.	1	0	1	8	1	0	9	5	5
Ago.	208	1	151	1	245	108	185	1	126
Set.	137	242	170	1.260	532	119	430	189	314
Out.	810	309	306	2.751	1.529	547	700	396	245
Nov.	1.562	1.575	1.227	2.149	2.007	2.457	2.211	2.209	2.517
Dez.	1.342	2.594	2.204	2.627	1.275	2.003	911	1.793	3.904
Total	13.145	9.013	7.970	15.280	10.115	12.919	9.145	8.670	18.646

1: Alfíe; 2: Cataquinho; 3: Cocais; 4: Coqueiro; 5: Cordeiros; 6: Fábrica; 7: Gaspar; 8: Lagoa Grande; 9: Rubro-Negro.