

# ESPAIALIZAÇÃO DA PERDA DE SOLO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE COMPÕEM O MUNICÍPIO DE SANTA RITA DO SAPUCAÍ (MG)

Fernanda da Silva PAES <sup>1</sup>, Francisco Antônio DUPAS <sup>2</sup>,  
Fernando das Graças Braga da SILVA <sup>3</sup>, Júlio César Domingos PEREIRA <sup>3</sup>

- (1) Mestranda em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá. Rua Rui Barbosa, 172 – Estiva. CEP 37500-280. Itajubá, MG. Endereço eletrônico: fernanda-paes@uol.com.br
- (2) Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá. Avenida BPS, 1303 – Pinheirinho. CEP 37500-903. Itajubá, MG. Endereço eletrônico: dupas@unifei.edu.br
- (3) Núcleo de Estudos de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá. Avenida BPS, 1303 – Pinheirinho. CEP 37500-903. Itajubá, MG. Endereços eletrônicos: fernandobraga@unifei.edu.br; juliocdp2000@yahoo.com.br

Introdução  
Área de Estudo  
Materiais e Métodos  
    Sistematização dos Fatores da EUPS  
        Fator de Erosividade da Chuva - R  
        Fator de Erodibilidade do solo - K  
        Fator Topográfico - LS  
        Fator de Cobertura e Manejo da Terra - C  
        Fator de Práticas Conservacionistas - P  
    Definição do Potencial Natural de Erosão (PNE)  
    Definição da Predisposição à Perda de Solo  
Resultados e Discussão  
    Sistematização dos Fatores da EUPS  
    Definição do Potencial Natural de Erosão (PNE) e da Predisposição à Perda de Solo  
Considerações Finais  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Este trabalho teve por objetivo indicar a espacialização do Potencial Natural de Erosão (PNE) e da predisposição à Perda de Solo através da sistematização dos fatores componentes da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), visando auxiliar o planejamento do uso da terra nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí – MG (Brasil). Utilizou-se técnicas de geoprocessamento, aplicadas no SIG *Idrisi* 15.0, em interface com o software USLE-2D. Os resultados indicaram que 22% da área de estudo apresenta um Potencial Natural de Erosão fraco ( $0 - 400 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ); 8% moderado ( $400 - 800 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ); 13% forte ( $800 - 1600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e 57% muito forte ( $> 1600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Já com relação a Perda de Solo, pode-se constatar que a bacia possui 45% de sua área com perda baixa ( $0 - 10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), 21% moderada ( $10 - 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), 13% alta ( $50 - 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e 21% muito alta ( $> 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). Assim, a área de estudo apresenta características naturais favoráveis à perda de solo, principalmente nas áreas de topografia íngreme associada a presença de solos Podzólicos. Comparando-se o Mapa de Potencial Natural de Erosão com o de Perda de solo fica clara a relação entre a ocupação e manejo do solo e a atenuação de tal perda.

**Palavras-chave:** Potencial Natural de Erosão, Equação Universal de Perda de Solo, erosão, Sistema de Informação Geográfica.

**ABSTRACT** – *Paes, F.S.; Dupas, F.A.; Silva, F.G.B.; Pereira, J.C.D. - Spatialization of soil loss in the basins that compose the city of Santa Rita do Sapucaí – MG (Brazil).* This work had as objective to indicate the spatialization of the Natural Potential for Erosion (NPE) and the predisposition to soil loss through the systematization of the factors of Universal Soil Loss Equation (USLE) components, in order to plan the use of the soil of the basins that comprise the city of Santa Rita do Sapucaí – MG (Brazil). It was used the geoprocessing techniques, applied in SIG *Idrisi* 15.0, in interface with USLE-2D software. The results indicated that 22% of the study area presents a weak Natural Potential for Erosion ( $0 - 400 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ); 8% moderate ( $400 - 800 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ); 13% strong ( $800 - 1600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ) and 57% very strong ( $> 1600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ). In relation to the soil loss, it can be observed that the basin has 45% of its area with low loss ( $0 - 10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ), 21% moderate ( $10 - 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ), 13% high ( $50 - 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ) and 21% very high ( $> 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ ). This way, the study area presents favorable natural characteristics to soil loss, specially in areas with slope steepnees associated to Podzolic soils presence. Comparing the map of Natural Potential for Erosion with the soil loss map, it becomes clear the relation between the occupation and handling of soil and the increase of these loss.

**Keywords:** Natural Potential for Erosion, Universal Soil Loss Equation, erosion, Geographic Information System.

## INTRODUÇÃO

A erosão pode ser entendida como o processo de desagregação, transporte e arraste acelerado de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, através da ação combinada da gravidade com a água,

vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais), constituindo-se na principal causa do depauperamento acelerado das terras (Bertoni & Lombardi Neto, 1999; Bitar, 1995; Araujo et al., 2005; Baban & Yusof, 2001).

As causas da degradação do solo são complexas e têm natureza e dimensões diversas, dependendo de peculiaridades de diferentes regiões, sendo influenciada pela ação combinada de fatores naturais e sócio-econômico-culturais. Portanto, prevenir os efeitos locais da erosão do solo exige a compreensão das taxas de perda de solo, bem como a identificação dos principais fatores de controle que aumentam ou retardam tais processos (Brhane & Mekonen, 2009; Zhang et al., 2009; Gitas et. al.; 2009; Gaspari et al., 2009; Rousseva, 2003).

O desencadeamento de processos erosivos e suas diversas implicações socio-econômico-ambientais tem constituído em um dos principais problemas enfrentados pela sociedade atual. Neste contexto, Moreti et al. (2003) enfatizam que o conhecimento das características físicas e dos efeitos da variação no uso da terra sobre o movimento de sedimentos através da bacia hidrográfica é essencial para a tomada de decisões quanto ao manejo de uso da terra.

Apesar de constituir-se em um problema mundial, a erosão dos solos pelo escoamento superficial das águas pluviais ocorre de forma mais séria em locais com elevado índice de precipitação, associada a ocupação inadequada das terras. No Brasil, principalmente nas regiões mais úmidas, a erosão hídrica tem

gerado grandes preocupações em função de sua capacidade de desprendimento e transporte de material erodido (Ruhoff, 2004; Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

A associação entre técnicas de geoprocessamento e modelos de predição de perda de solo têm sido amplamente utilizada para simular a intensidade de ação dos principais fatores de influência nas perdas de solo.

Neste contexto, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), divulgada por Wischmeier & Smith (1978), constitui-se num importante modelo de predição da perda de solo, amplamente utilizado no mundo todo, pois contempla variações regionais, sejam de origem climatológica, topográfica, pedológica, ou mesmo de uso da terra (Silva & Schulz, 2003).

Os dados resultantes da EUPS, quando espacializados por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitem a análise das perdas de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e ocupação das terras, fornecendo subsídios para a seleção de práticas de controle, adoção de medidas pontuais, planejamento ambiental e priorização de ações de pesquisa (Alves, 2000; Prado & Nóbrega, 2005).

O presente trabalho consistiu na indicação de classes de Potencial Natural de Erosão e de Perda de Solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí - MG, visando auxiliar no planejamento da ocupação das terras, constituindo-se em um estudo complementar ao Plano Diretor Participativo do município supracitado (Dupas, 2009).

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo refere-se ao conjunto de bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, localizadas na porção sul do estado de Minas Gerais (Figura 1), abrangendo uma área total de 44.060 ha e sob as coordenadas 22°10' de latitude Sul e 45°50' de longitude Oeste e 22°20' de latitude Sul e 45°30' de longitude Oeste.

Tais bacias estão inseridas nos municípios de Santa Rita do Sapucaí, Natércia, Cachoeira de Minas e Piranguinho, sendo afluentes do rio Sapucaí.

Encontram-se sob o domínio dos Mares de Morro Florestados, descrita por Ab'Saber (2003) como uma área de mamelonização extensiva, que afeta todos os níveis da topografia. Tal autor a descreve, ainda, como o domínio brasileiro cujo meio físico, ecológico e paisagístico que se apresenta mais complexo e de difícil implantação de sítios urbanos, sendo a região sujeita aos mais fortes processos de erosão e de movimentos coletivos de solos.

Inserem-se no domínio climático conhecido como tropical de altitude, que se caracteriza por apresentar duas estações bem definidas: verões chuvosos e invernos secos. De setembro a março predominam temperaturas mais elevadas, atingindo máximo em dezembro e janeiro. De maio a agosto as temperaturas apresentam-se mais baixas, atingindo o mínimo em junho e julho. Já a estação seca estende-se de maio a setembro, sendo julho o mês mais seco, e a estação chuvosa de setembro a março, sendo janeiro o mês mais chuvoso (Cavalcante, 1979).

Apresentam vegetação do tipo Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia), que se caracteriza por estar condicionada a uma dupla estacionalidade climática: uma tropical com intensas chuvas de verão seguida por estiagem acentuada, e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno (IBGE, 1997).

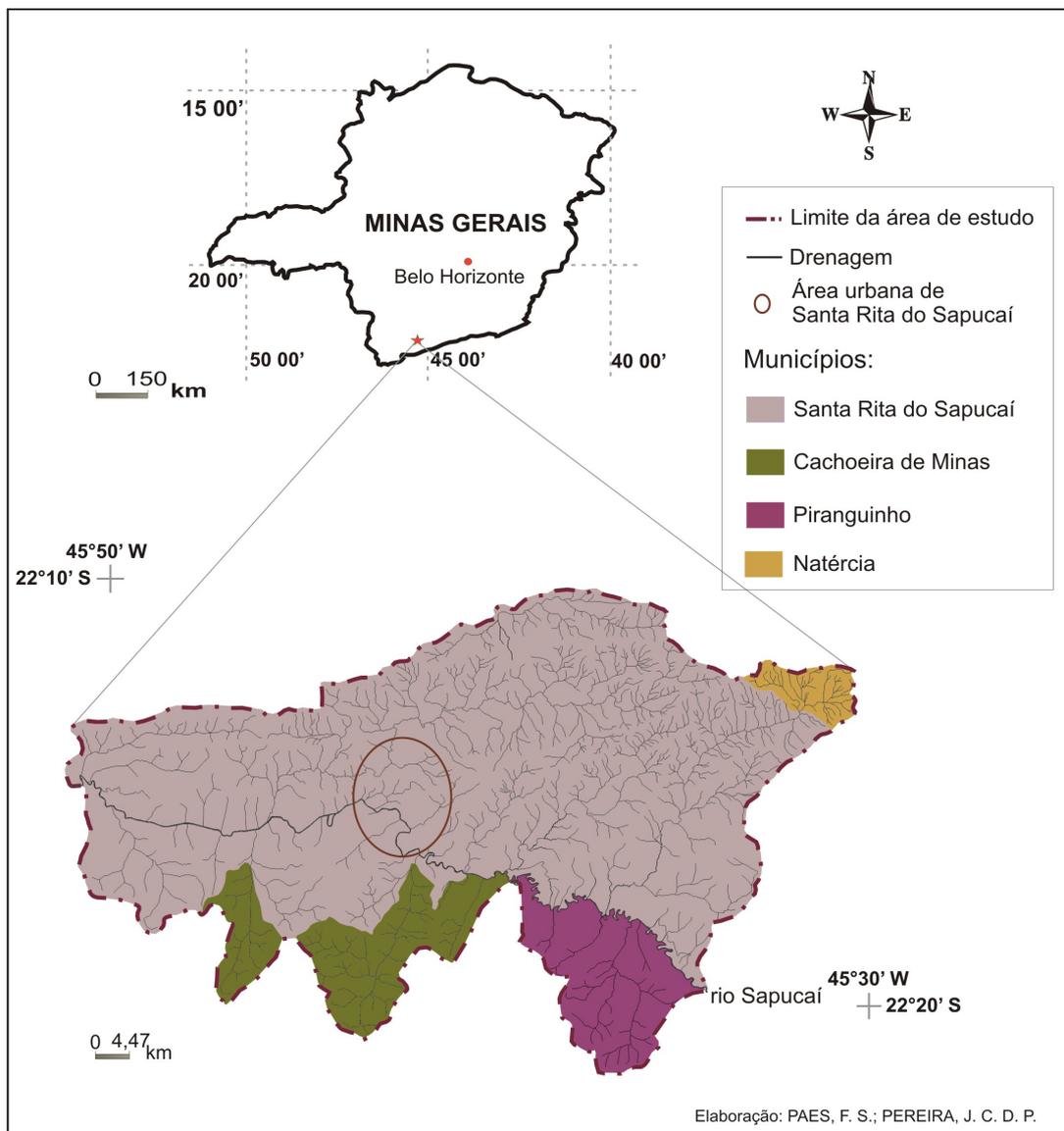


FIGURA 1. Localização das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes materiais: SIG *Idrisi for Windows*, versão 15.0; *Software USLE-2D*, versão 4.1; GPS (*Global Positioning System*) para coleta de pontos de referência *in situ*; Imagem do satélite Alos – sensor AVNIR-2 (bandas 2, 3 e 4) de 12 de novembro de 2006; Folhas topográficas de Santa Rita do Sapucaí - SF.23-Y-B-II-4; Heliadora - SF.23-Y-B-II-2, Pouso Alegre - SF.23-Y-B-II-1 e Conceição dos Ouros - SF.23-Y-B-II-3 em escala de 1:50.000, editadas pelo IBGE (1971); Série histórica de precipitação, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) – Hidroweb, referente as estações pluviométricas nº 02245000, nº 02245083 e nº 02245086, para o período de 1971 a 2008; Mapa de

Solos de Minas Gerais, elaborado pela Empresa de Assistência Técnica Rural do Estado de Minas Gerais - EMATER-MG (1998), em escala 1:1.000.000.

Para a realização do presente trabalho efetuou-se a sistematização dos fatores que compõem a EUPS e, posteriormente, a aplicação destes aos respectivos modelos de predição do Potencial Natural de Erosão e de Perda do Solo, conforme sintetizado pela Figura 2.

A base cartográfica foi elaborada tendo como referência a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre (MG), Datum Vertical Marégrafo de Imbituba (SC) e Meridiano Central 45° W.

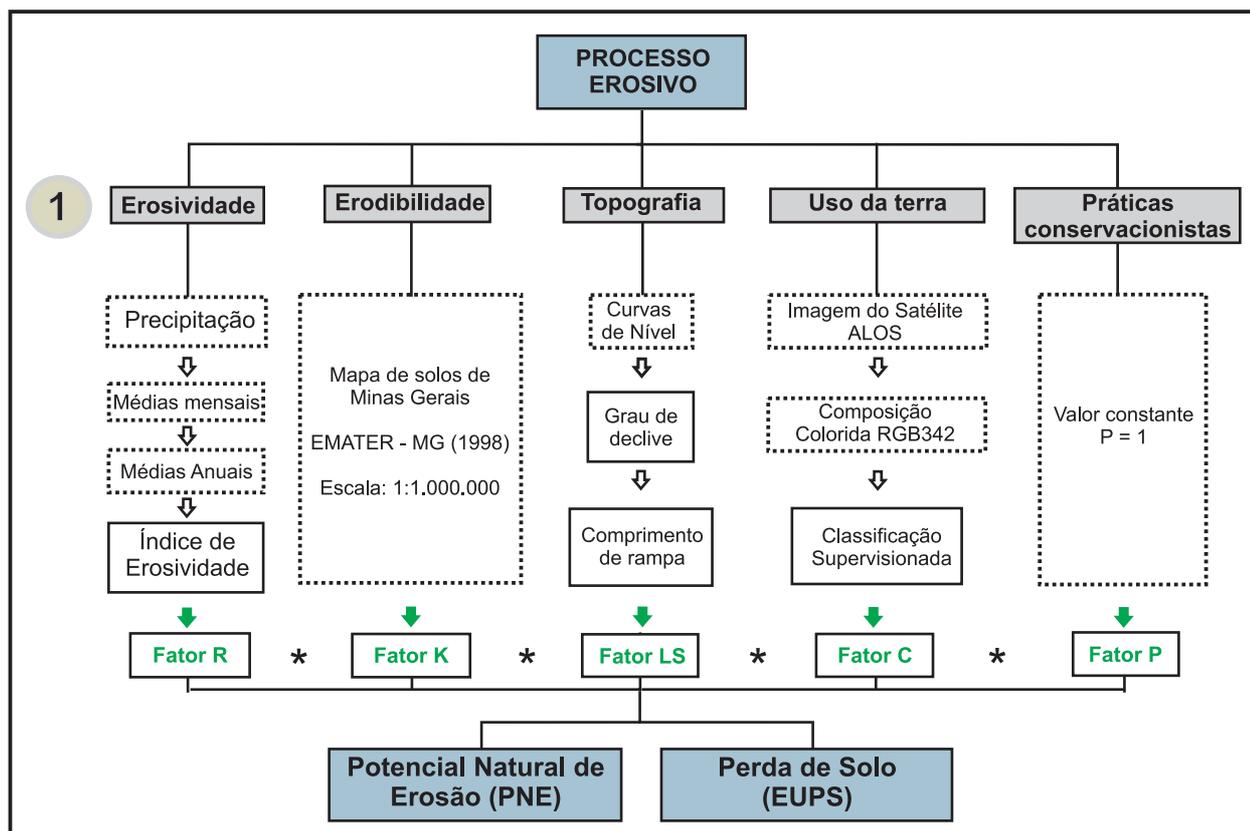


FIGURA 2. Fluxograma simplificado dos procedimentos.

## SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES DA EUPS

### Fator de Erosividade da Chuva – R

Para a obtenção do valor do fator R utilizou-se os dados coletados pela estação pluviométrica n° 02245000, localizada no município de Santa Rita do Sapucaí, a 820 metros de altitude em relação ao nível do mar, com as coordenadas -22°15'05" de latitude sul e -45°42'32" de longitude oeste, encontrando-se sob a responsabilidade da ANA - Agência Nacional de Águas e sendo operada pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

Para o preenchimento de falhas nos dados da série histórica do posto supracitado, utilizou-se dados referentes as estações pluviométricas São João de Itajubá (n° 02245083), localizada no município de Itajubá, sob as coordenadas -22°22'32" de latitude sul e -45°26'49" de longitude oeste e da estação pluviométrica Ponte do rio Rodrigues (n° 02245086), localizada em Pouso Alegre, sob as coordenadas -22°23'09" de latitude sul e -45°53'05" de longitude oeste. Ambas sob a responsabilidade da ANA e operadas pelo IGAM.

Aplicou-se a metodologia desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), na qual utiliza-se o conceito de Índice de Erosividade para determinar

o valor de R. Em tal método, utiliza-se a soma dos valores de precipitação média mensal e anual para determinar a média mensal e anual do Índice de erosão, considerando-se um período longo de tempo (mínimo de 20 anos) (Equação 1).

$$R = \sum EI = \sum \left\{ 67,355 \cdot \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \right\} \quad (1)$$

onde: R = erosividade anual da área (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); EI = índice médio de erosividade mensal (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); r = precipitação total média no mês x (mm); P = precipitação total média anual (mm).

Dessa forma, empregou-se um registro de 29 anos de precipitação, referente ao período de 1979 a 2008, sendo este um período adequado para estimar com relativa precisão os valores de EI à partir de médias mensais e anuais de chuva.

### Fator de Erodibilidade dos Solos - K

As bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí não possuem um mapa de solos em escala de detalhe, fato este que tornou necessária a generalização de tal variável por meio da utilização do Mapa de Solos de Minas Gerais, elaborado pela EMATER (1998), em escala de 1:1.000.000. O

mapa supracitado, em formato vetorial, foi importado para o *software Idrisi Andes*, por meio da qual extraiu-se os tipos de solos referentes a área de estudo. Posteriormente, os vetores correspondentes aos solos foram rasterizados, originando o mapa de solos das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí – MG.

Os valores de K associados aos tipos de solos da área de estudo foram extraídos de Silva & Alvares (2005) e de PCBAP (1997, segundo Costa, 2009), que definiram os valores de erodibilidade de 0,0162 t.h.ha.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para os LATOSSOLOS indiscriminados e de 0,043 t.h.ha.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para os PODZÓLICOS indiscriminados, respectivamente.

### Fator Topográfico - LS

O fator LS foi obtido mediante a elaboração prévia de um MDT (Modelo Digital de Terreno), realizada através de interpolação matemática sobre base cartográfica digitalizada, em escala de 1:50.000 (IBGE, 1971), na qual empregou-se grades de pontos regulares disponibilizada no Módulo *Intercon* do SIG *Idrisi* 15.0.

Após a elaboração do MDT, este foi utilizado na obtenção do Fator LS, através de aplicação automática no *software* USLE-2D, desenvolvido por Desmet & Govers (1996), sendo este compatível com o SIG *Idrisi Andes*.

De acordo com Silva & Schulz (2003), o USLE-2D consiste em um aplicativo que permite o cálculo do fator LS da EUPS para uma bacia hidrográfica utilizando-se SIG, permitindo o uso de diversas equações matemáticas pelo usuário e contemplando os fatores hidrológicos fundamentais.

Para a estimativa do comprimento de rampa utilizou-se como base o modelo hidrológico de decomposição de fluxo e para a estimativa da declividade utilizou-se a equação proposta por Wischmeier & Smith (1978) (Equação 2).

$$S = 65,41sen^2\theta + 4,56sen\theta + 0,065 \quad (2)$$

onde: S = fator de declividade (adimensional) e  $\theta$  = declividade (%).

### Fator de Cobertura e Manejo da Terra - C

Para a obtenção do Fator C foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia supracitada, efetuado à partir de uma composição colorida elaborada através das imagens do satélite ALOS – sensor AVNIR-2, de 12 de novembro de 2006. Para tal, foram combinadas as bandas 2, 3 e 4, sendo atribuídas a elas as cores azul, vermelho e verde, respectivamente.

Tal combinação de bandas destacou os elementos

de interesse na imagem. Para fins do presente trabalho, pode-se destacar que a banda 2, associada ao verde, apresenta boa penetração em corpos d'água. Já a banda 3, associada ao vermelho, permite bom contraste entre as áreas ocupadas e a vegetação, assim como entre diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado, floresta, mata ciliar, agricultura), uma vez que a vegetação densa e uniforme apresenta grande absorção de energia nesta faixa espectral. Já a banda 4 (infravermelho próximo) permite o mapeamento da rede de drenagem e corpos d'água, além da identificação da vegetação agrícola (INPE, 1997).

A classificação das imagens foi realizada de forma supervisionada, através do método de Máxima Verossimilhança. Em tal método o usuário define as assinaturas espectrais das categorias conhecidas e de interesse. O SIG *Idrisi* associa cada pixel da imagem à assinatura mais similar, através de uma função de densidade de probabilidade estatística (*Bayes*), na qual avalia-se a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma determinada categoria, classificando-o para a categoria na qual ele tem a maior probabilidade de associação (Eastman, 1998).

Para a definição das assinaturas espectrais, fez-se necessária a obtenção de dados de referência terrestre *in situ*. Com base em tais informações, definiu-se as áreas de treinamento, tendo como temas de interesse: sombra, solo exposto, mata, agricultura, pasto, água e áreas construídas.

Para a aplicação do Fator C na Equação Universal de Perda de Solos adotou-se os valores adaptados por Baptista (2003), assim como o valor indicado por Lombardi Neto (comunicação pessoal) para a cultura do café (Tabela 1).

**TABELA 1.** Valores de C em função das classes de uso e ocupação da terra.

Uso e Manejo da Terra	C (Adimensional)
Sombra	0,0
Solo exposto	1,0
Mata	0,00004
Agricultura (café)	0,1350
Pasto	0,01
Água	0,0
Áreas construídas	0,0

Fonte: Adaptada de Baptista (2003) e Lombardi Neto (comunicação pessoal).

### Fator de Práticas Conservacionistas

Stein et al. (1987, segundo Baptista, 2003), ressaltam que, quando se busca a espacialização dos fenômenos pelo geoprocessamento, a obtenção dos

dados de C e P podem ser analisados, não mais em função do estágio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e ocupação das terras e são expostos na forma integrada CP. Neste caso, adota-se o valor constante de P = 1, que considera a pior situação quanto as perdas de solo em função das práticas conservacionistas. Dessa forma, tal procedimento foi adotado para fins do presente trabalho.

### DEFINIÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE)

O PNE foi obtido por meio da aplicação dos fatores naturais da EUPS determinados anteriormente (fator topográfico, erosividade da chuva e erodibilidade do solo) conforme a equação 3:

$$PNE = R * K * LS \quad (3)$$

onde: R = erosividade da chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); K = erodibilidade do solo (t.ha.MJ<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>) e LS = fator topográfico (adimensional).

### DEFINIÇÃO DA PREDISPOSIÇÃO A PERDA DE SOLO

A perda de solo foi definida através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), divulgada por Wischmeier & Smith (1978), na qual associa fatores naturais e antrópicos (Equação 4):

$$A = R * K * LS * CP \quad (4)$$

onde: R = erosividade da chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); K = erodibilidade do solo (t.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>); LS = fator topográfico (adimensional); C = cobertura e manejo do solo (adimensional) e P = práticas conservacionistas (adimensional).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES DA EUPS

O valor anual de erosividade da chuva encontrado para a área de estudo foi de 7.227,18 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Tabela 2). Segundo a classificação interpretativa citada por Mello et al. (2007), o valor encontrado pode ser considerado como uma erosividade média a alta.

Pode-se observar que a distribuição da erosividade ocorre de forma sazonal e irregular, tendo os maiores valores entre outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março (Figura 3).

Em virtude desta peculiaridade, que determina a concentração das chuvas e, consequentemente, a maior erosividade em alguns meses, é de essencial importância que se planeje o uso e manejo da terra de forma a minimizar o potencial erosivo nos meses chuvosos.

Quanto a pedologia, a área de estudo apresenta o predomínio de LATOSSOLO ESCURO, abrangendo 50,2% (22.123 ha) da área de estudo, e de solo PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO, abrangendo 49,8% (21.937 ha) da área de estudo (Figura 4).

De acordo com as classes interpretativas indicadas por Carvalho (1994, segundo Silva & Alvares, 2005), os solos Podzólicos possuem erodibilidade alta, enquanto os Latossolos possuem erodibilidade média.

Com relação a topografia, a área em estudo apresenta altitudes entre 800 m e 1500 m, sendo que as maiores elevações situam-se em sua porção nordeste. (Figura 5). A maior parte da área de estudo insere-se nos intervalos de declividade de 20 – 45% (37,2%) e de 8 – 20% (30%) (Figura 6).

O mapa do fator LS (Figura 7) mostra as 6 classes

TABELA 2. Precipitação média mensal (P) e Índice médio de erosividade mensal (EI).

Mês	P [mm]	EI [MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ]
Jan	279.34	2025.58
Fev	180.63	965.31
Mar	159.32	779.8
Abr	75.45	218.85
Mai	62.67	159.6
Jun	33.33	54.57
Jul	27.28	38.82
Ago	29.34	43.93
Set	67.44	180.83
Out	113.88	440.64
Nov	149.56	700.34
Dez	244.84	1618.91
<b>Total</b>	<b>1423,09</b>	<b>7227.18</b>

delimitadas de acordo com a metodologia utilizada por Silva & Schulz (2003). Pode-se observar que a classe predominante na área estudada é a de 1 – 40 (67,8%); seguida pelas classes 0 – 1 (16,48%); 40 – 80 (12,27%) e de 80 – 120 (2,56%). Assim, evidencia-se um cenário diversificado quanto a topografia, cujas planícies determinam baixos valores de LS por se configurarem em ambientes deposicionais; e as vertentes declivosas, principalmente do setor nordeste e noroeste da bacia, determinam altos valores de LS.

O mapa de uso e cobertura do solo indicou o predomínio das áreas de pasto (48%), seguida pela agricultura (25,9%) e pela mata (22,5%) (Figura 8).

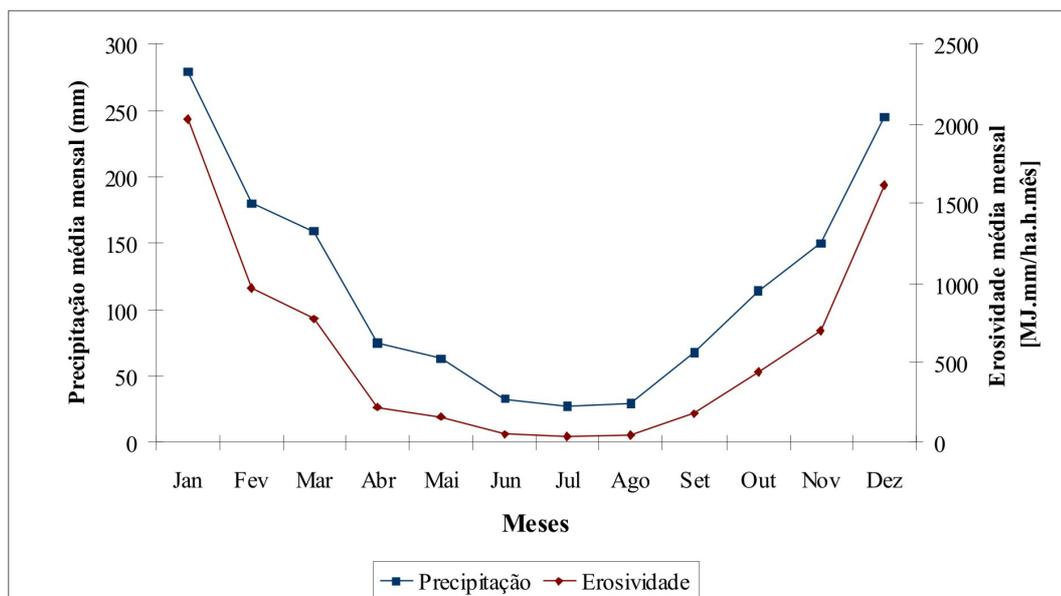


FIGURA 3. Distribuição da precipitação média mensal e da erosividade média mensal.

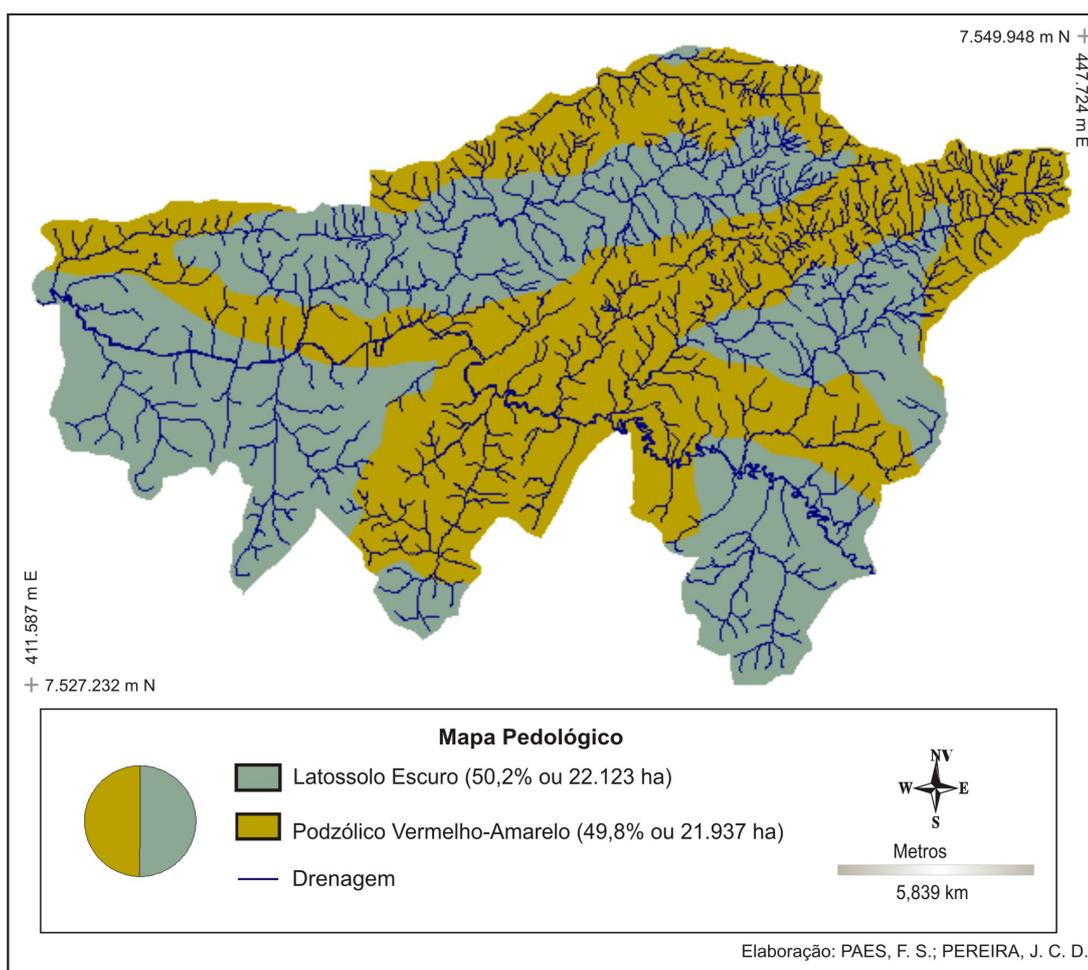
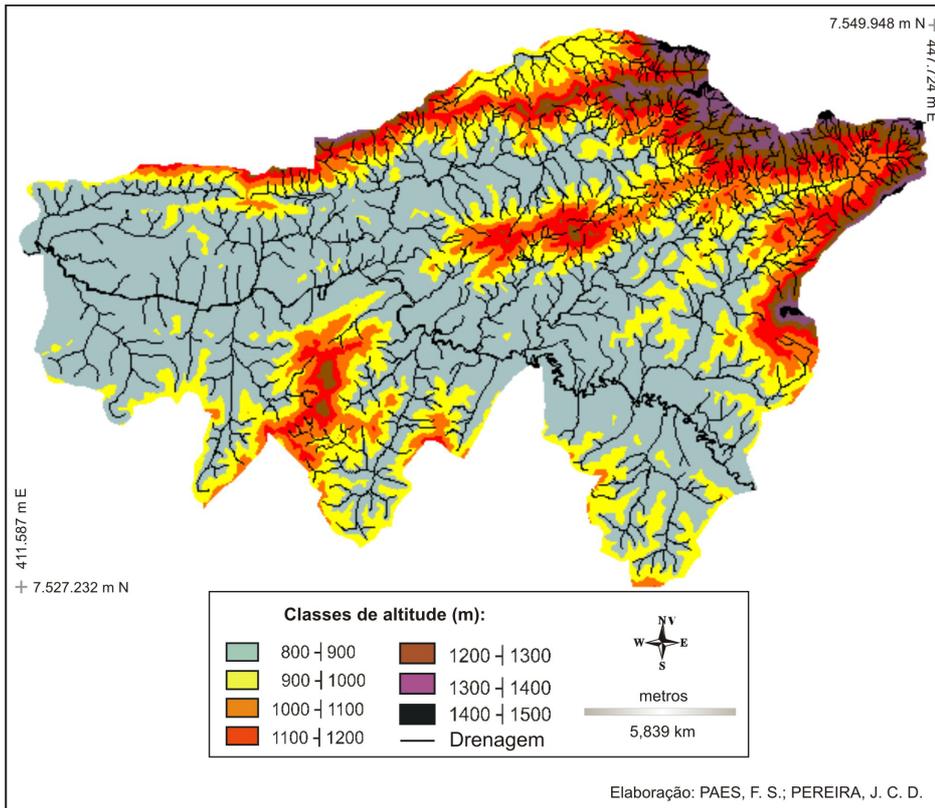
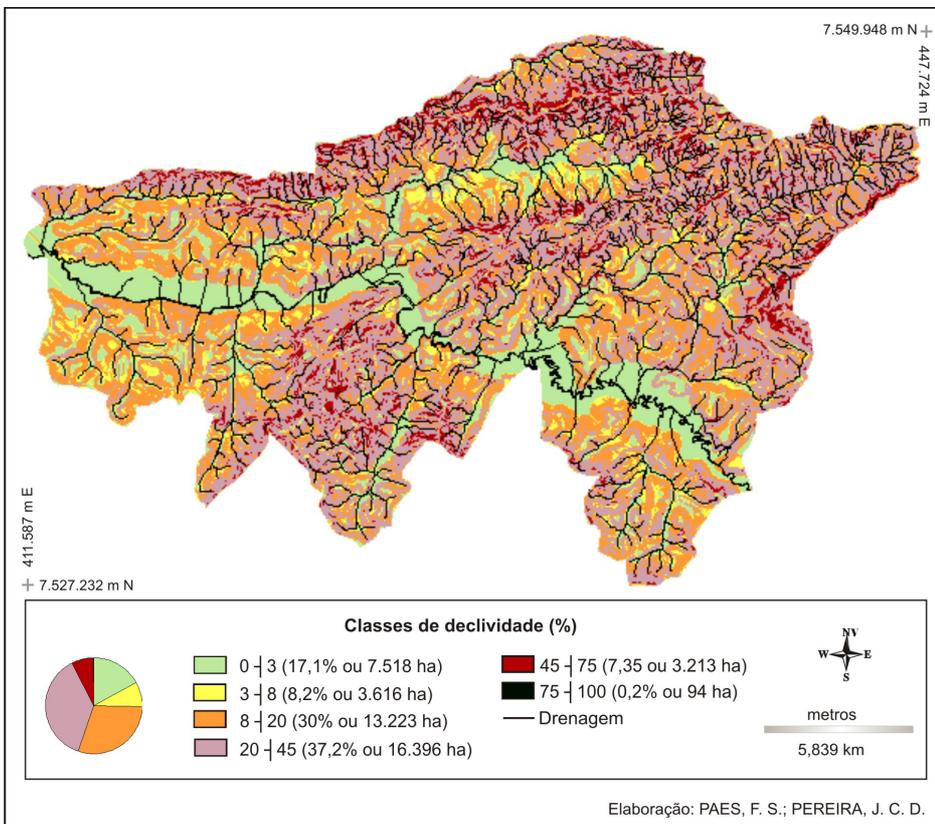


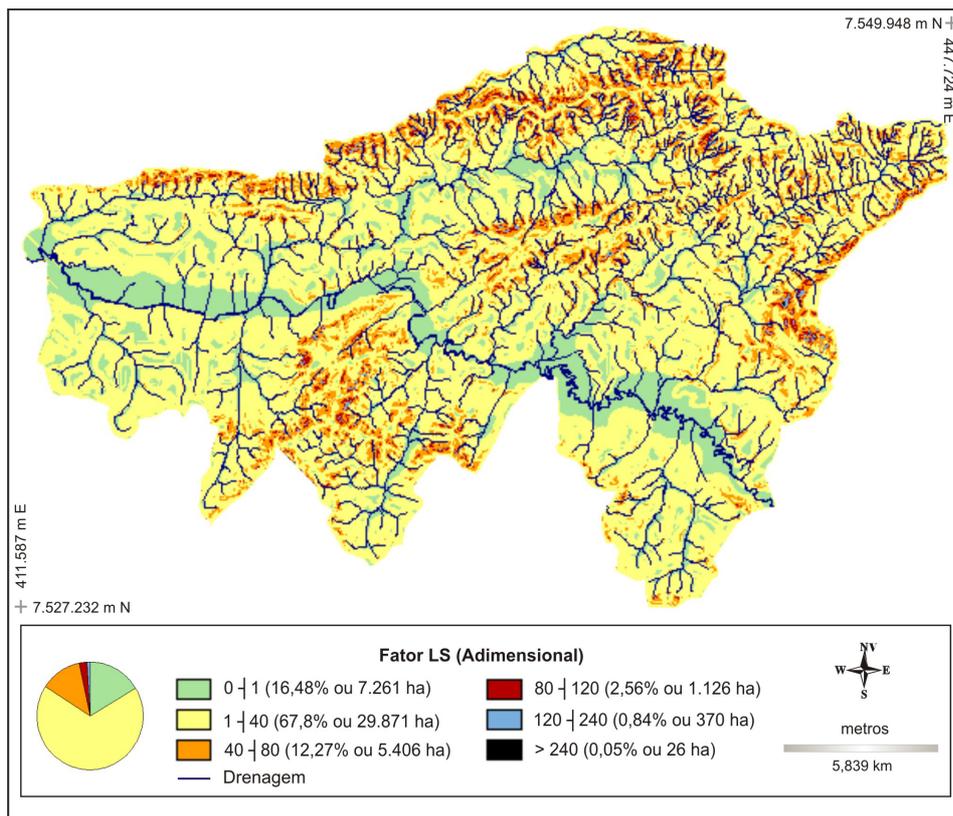
FIGURA 4. Solos predominantes nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí – MG.



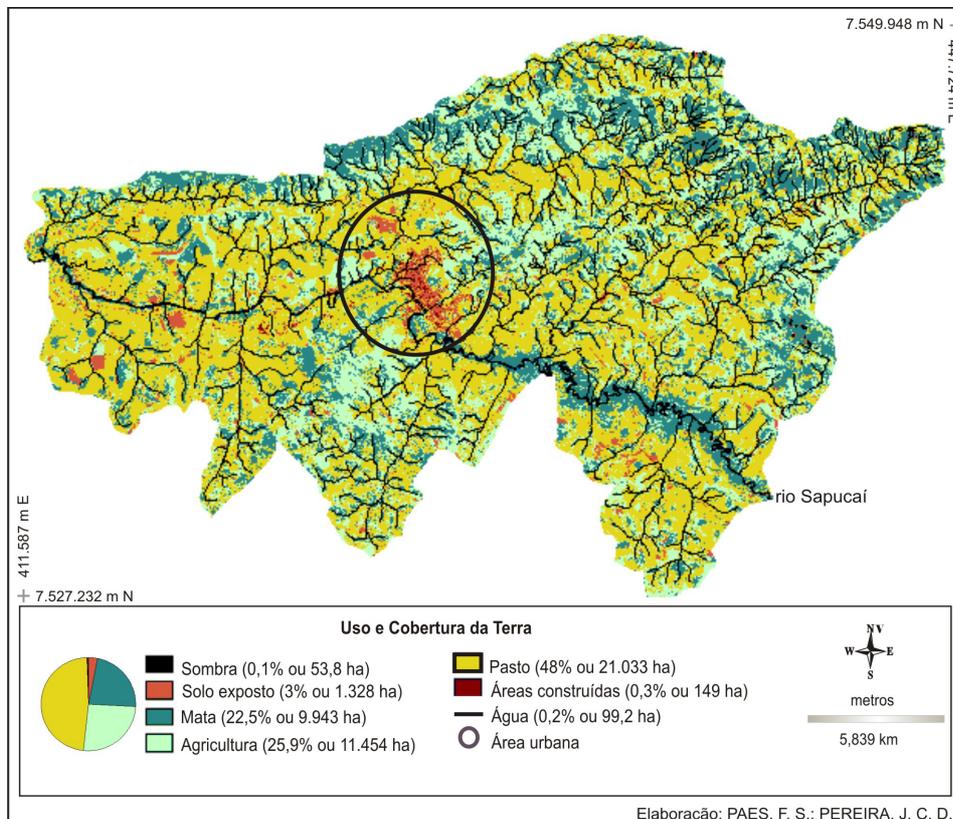
**FIGURA 5.** Mapa de classes hipsométricas das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.



**FIGURA 6.** Mapa de classes de declividade das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.



**FIGURA 7.** Fator LS para as bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.



**FIGURA 8.** Uso e cobertura da Terra nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.

As áreas de pasto abrangem quase metade da bacia em estudo, ocupando desde áreas de planície até áreas com declives mais acentuados.

Já com relação a agricultura, a cultura permanente do café corresponde a quase toda a produção agrícola na bacia, principalmente na porção inserida no município de Santa Rita do Sapucaí.

Em observações *in situ* pode-se constatar áreas cujas plantações de café encontram-se em altos declives. Tais áreas provavelmente se enquadram como APP's. Além disso, em muitos casos, há a agravante do plantio não ser efetuado considerando-se a aplicação de práticas conservacionistas, o que configura risco quanto a ocorrência de processos erosivos.

As áreas de mata encontram-se predominantemente nas porções da área em estudo com declives acentuados e ao longo do curso do rio Sapucaí, principalmente em seu trecho a sudeste. Embora este posicionamento constitua-se em fator favorável a conservação da bacia, protegendo áreas mais susceptíveis a erosão, a cobertura por mata é precária em alguns pontos da área em estudo.

As áreas de solo exposto correspondem a apenas 3% da bacia, o equivalente a 1.328 ha. Tais áreas provavelmente encontram-se expostas em função de práticas agrícolas inadequadas, como pode ser observado claramente em grandes manchas no setor sudoeste/noroeste da área em estudo. Destaca-se a ocorrência de solo exposto as margens dos cursos d'água, fator agravante frente a proteção destes mananciais.

### DEFINIÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO E DA PREDISPOSIÇÃO À PERDA DE SOLO

O Mapa de Potencial Natural de Erosão foi dividido em 4 classes: fraco (0 – 400 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); moderado (400 – 800 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); forte (800 – 400

t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e muito forte (> 1600 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), conforme indicado por Silva (2008) (Tabela 3).

Já para a elaboração do mapa de Predisposição à Perda de Solo utilizou-se a classificação indicada pela FAO – Food and Agriculture Organization (1967), na qual: 0 – 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (perda baixa); 10 – 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (moderada); 50 – 200 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (alta) e > 200 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (muito alta) (Tabela 4).

O mapa de PNE indicou a ocorrência da classe superior a 1.600 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 57% da área total, sendo que apenas 22% da área encontra-se inserida no intervalo entre 0 – 400 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 9).

Quanto a predisposição à Perda de Solo, constata-se que 45% da área de estudo insere-se na classe de perda baixa 0 – 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, 21% moderada (10 – 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, 13% alta (50 – 00 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e 21% muito alta (>200 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Figura 10).

Comparando-se o mapa de Potencial Natural de Erosão com o mapa de Predisposição à Perda de Solo, pode-se constatar o importante papel da cobertura da terra mediante a atenuação da perda de solo. No PNE, por considerar o solo desnudo, perdas de solo altas ocorrem em maiores áreas. Já quando se considera o uso e cobertura atual da terra, como no mapa de Predisposição a Perda de Solo, torna-se nítida a relação entre o uso e manejo na proteção contra a erosão.

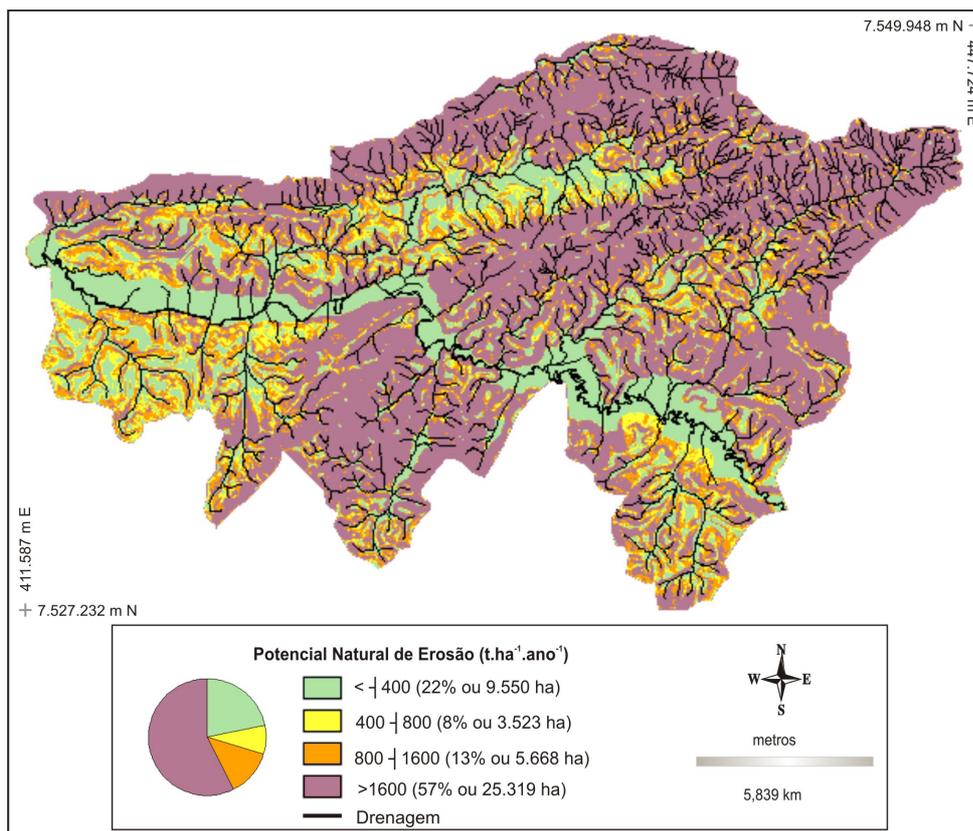
Porém, os valores de predisposição à perda de solo na área de estudo são significativamente elevados quando se deseja e necessita manter o equilíbrio em ecossistemas de maneira a proporcionar a minimização de impactos ambientais provocados pela perda de solo sobre os corpos d'água, assim como a perda da fertilidade do solo e o carreamento de agrotóxicos em atividades agropecuárias. Assim, é de suma importância que haja o planejamento do uso da terra e a aplicação de práticas conservacionistas, principalmente o plantio em contorno, já que as porções mais frágeis da área de estudo situam-se em topografia acidentada.

**TABELA 3.** Potencial Natural de Erosão.

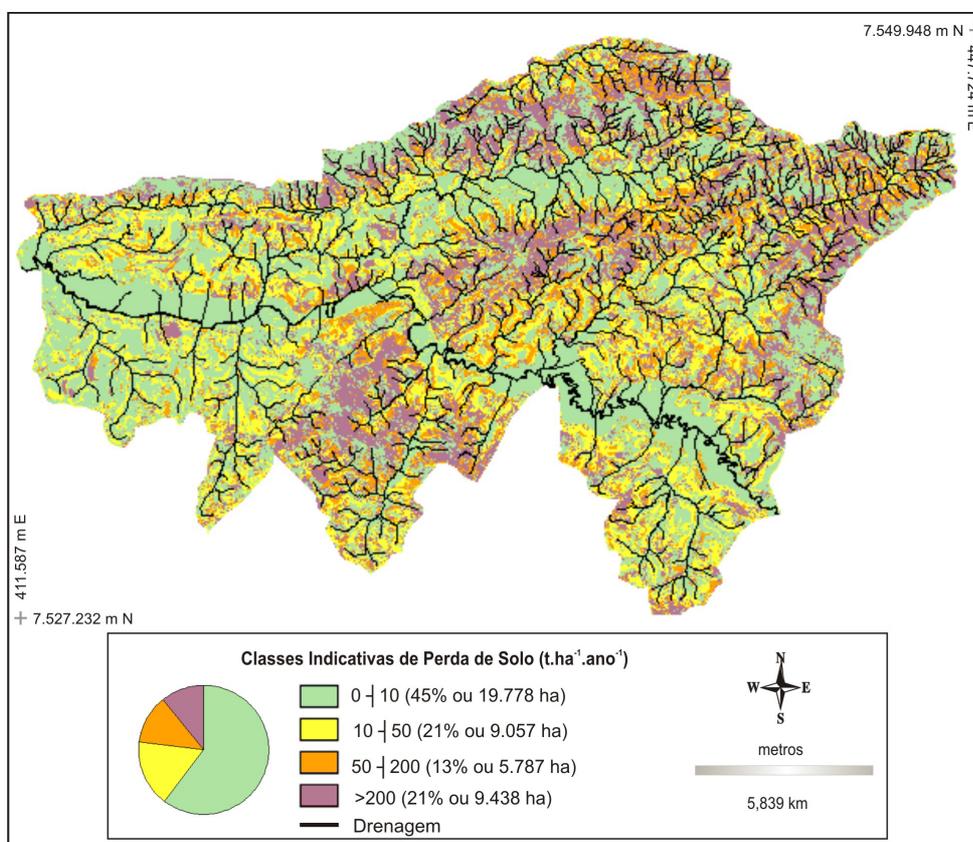
Classes de PNE (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	ha	(%)
0 – 400 (Fraco)	9.550	22
400 – 800 (Moderado)	3.523	8
800 – 1600 (Forte)	5.668	13
> 1600 (Muito forte)	25.319	57

**TABELA 4.** Predisposição à Perda de Solo.

Classes Indicativas de Perda de Solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	ha	(%)
0 – 10 (Baixa)	19.778	45
10 – 50 (Moderada)	9.057	21
50 – 200 (Alta)	5.787	13
> 200 (Muito alta)	9.438	21



**FIGURA 9.** Potencial Natural de Erosão nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.



**FIGURA 10.** Mapa indicativo da predisposição à perda de solos nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de áreas com topografia íngreme e com a presença de solos com alta erodibilidade (PODZÓLICOS) favorecem os processos erosivos hídricos na área em estudo, onde, mediante a uma erosividade forte das chuvas (concentrada no período de verão), delinea-se um cenário com alto Potencial Natural de Erosão. Porém, quando se avalia os fatores naturais conjuntamente com os fatores antrópicos, constituídos pelos fatores de cobertura vegetal e manejo do solo e de práticas conservacionistas, torna-se clara a importância destes últimos mediante a atenuação do primeiro cenário.

Neste sentido, a área de estudo apresenta dois fatores positivos: 1) grande parte das áreas com topografia mais íngreme estão cobertas por mata e 2) as áreas com solo exposto são pouco representativas (3%). Porém, a maior parte da área em estudo encontra-se ocupada por pastagem (48%) e agricultura, mais especificamente pelo plantio de café (25,9%). Tais usos têm contribuído para as perdas de solo, evidenciando a necessidade de planejamento do uso da terra através da aplicação de práticas conservacionistas, visando a prevenção e atenuação de processos erosivos em tais bacias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio e ao Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva (UNESP - Sorocaba), pelas contribuições no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A.N. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê, 159 p., 2003.
2. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas. **Dados Hidrológicos**. Séries Históricas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em: 1mai2009.
3. ALVES, M. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu - DF usando técnicas de geoprocessamento. **Curso SER-300**, 32 p., 2000.
4. ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 320 p., 2005.
5. BABAN, S.M.J. & YOSOF, K.W. Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. **Hydrological Sciences, Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 46, n. 2, p. 191-198, 2001.
6. BAPTISTA, G.M. de M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 140 p., 2003.
7. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4ª ed. São Paulo: Ícone, 355 p., 1999.
8. BITAR, O.Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 247 p., 1995.
9. BRHANE, G. & MEKONEN, K. Estimating Soil Loss Using Universal Soil Loss Equation (USLE) for Soil Conservation planning at Medego Watershed, Northern Ethiopia. **Journal of American Science**, v. 5, n. 1, p. 58-69, 2009. Disponível em: <http://www.americanscience.org/journals>. Acessado em: 02 jun 2009.
10. CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.S.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO. Projeto Sapucaí. Estados de Minas Gerais e São Paulo. **Relatório Final** de Geologia. DNPM/CPRM. Série Geologia 5, Seção Geologia Básica 2, 299 p., Brasil, 1979.
11. COSTA, F.H. dos S. Modelagem espaço-temporal da erosão e potencial contaminação de arsênio e chumbo do rio Ribeira do Iguape (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 338-349, 2009.
12. DESMET, P.J.J. & GOVERS, G. A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. Des Moines, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
13. DUPAS, S.A. Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG. **Relatórios** finais de Projeto de Pesquisa CNPq Edital MCT/Mcidades n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-20, 2 v., 2009. Disponível em: <http://www.pmsrs.mg.gov.br/>. Acessado em: 10dez2009.
14. EASTMAN, J.R. **Manual do Idrisi for Windows: Introdução e exercícios tutoriais**. UFRGS/ Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, 245 p., 1998.
15. EMATER – EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Mapa de Solos de Minas Gerais**. Escala 1:1.000.000, 1998. Disponível em: <http://www.geominas.mg.gov.br>. Acessado em: 15 jan 2010.
16. FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuario** da Organización De Las Naciones Unidas, Roma: FAO, n. 81, 207 p., 1967.
17. GASPARI, F.J.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.V.; SENISTERRA, G.E. **Estimation of soil erosionability in the stream basin of Pillahuinco Grande, Buenos Aires province, Argentina**. *Ciencia Investigación Agraria*, v. 35, n. 1, p. 43-52, 2009. Disponível em: <http://www.rcia.uc.cl>. Acessado em: 2jun2009.
18. GITAS, I.Z.; DOUROS, K.; MINAKOU, C.; SILLEOS, G.N.; KARYDAS, C.G. **Multi-temporal soil erosion risk**

- assessment in N. Chalkidiki using a modified usle raster model.** EARSel eProceedings 8, p. 40-52, 2009.
19. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha topográfica de Pouso Alegre - SF.23-Y-B-II-1**, em escala 1:50.000, 1971.
  20. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha topográfica de Heliodora - SF.23-Y-B-II-2**, em escala 1:50.000, 1971.
  21. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha topográfica de Conceição dos Ouros - SF.23-Y-B-II-3**, em escala 1:50.000, 1971.
  22. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha topográfica de Santa Rita do Sapucaí - SF.23-Y-B-II-4**, em escala 1:50000, 1971.
  23. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil**. 2ª edição, Rio de Janeiro, 208 p., 1997.
  24. LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas, SP**. *Bragantina*, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
  25. MELLO, C. R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr. 2007. Disponível em: <http://www.sct.embrapa.br/pab>. Acessado em: 2jun2009.
  26. MORETI, D.; CARVALHO, M.P.; MANNIGEL, A.R.; MEDEIROS, L.S. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manoel (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 1, n. 1, p.713-726, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/rbcs>. Acessado em: 2jun2009.
  27. PRADO, J.P.B. do & NÓBREGA, M.T. DE. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Science Technology**, v. 1, n. 27, p. 33-42, 2005.
  28. ROUSSEVA, S. Ideas for Physical Interpretation of the USLE. **N. Poushkarov Research Institute for Soil Science and Agroecology**, Lecture given at the College on Soil Physics Trieste, v. 3, n. 21, p. 310-319, 2003.
  29. RUHOFF, A.L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Santa Maria, 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Centro de Ciências Rurais, Universidade de Santa Maria.
  30. SILVA, A.M. Potencial Natural de Erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v. 8, n. 1, p. 5-14, 2008. Disponível em: <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/>. Acessado em: 26abr2010.
  31. SILVA, A.M. & SCHULZ, H.E. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo com o uso de aplicativo informatizado compatível com software de geoprocessamento. **Galeria de Artigos Acadêmicos, FatorGIS**, 9 p., 2003. Disponível em: <http://www.fatorgis.com.br>. Acessado em: 26abr2010.
  32. SILVA, A.M. & ALVARES, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005. Disponível em: <http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias>. Acessado em: 26abr2010.
  33. WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. **Agricultural Handbook**, n. 573, 58 p., 1978.
  34. 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**, v. 20, n. 1, p. 84-91, 2009. Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acessado em: 20mai2009.

*Manuscrito Recebido em: 24 de maio de 2010  
Revisado e Aceito em: 12 de agosto de 2010*