

## Análise geoespacial entre níveis de degradação de pastagens e parâmetros físicos em sub-bacias de Pindamonhangaba, SP

Sérgio Galdino <sup>1,2</sup>  
Edson Luis Bolfe <sup>2</sup>  
Sandra Furlan Nogueira <sup>2</sup>  
Luciana Spinelli-Araujo <sup>2</sup>  
Daniel de Castro Victoria <sup>2</sup>  
Célia Regina Grego <sup>2</sup>  
Gustavo Bayma-Silva <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Pantanal – Embrapa/CPAP  
Caixa Postal 109 – 79320-900 – Corumbá – MS, Brasil  
[sergio.galdino@embrapa.br](mailto:sergio.galdino@embrapa.br)

<sup>2</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite – Embrapa/CNPM  
Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão – 13070-115 – Campinas – SP, Brasil  
{[sergio.galdino](mailto:sergio.galdino), [edson.bolfe](mailto:edson.bolfe), [sandra.nogueira](mailto:sandra.nogueira), [luciana.spinelli](mailto:luciana.spinelli), [daniel.victoria](mailto:daniel.victoria), [celia.grego](mailto:celia.grego),  
[gustavo.bayma](mailto:gustavo.bayma)}@embrapa.br

**Abstract.** Pasture degradation is a very important concern in the Brazilian cattle ranching industry. The development of spatially explicit physical indicators of pasture degradation is of great importance and could aid public policies geared toward improvement of these lands. This work evaluates the physical parameters associated with hydraulic erosion of the soil and its relation to pasture degradation in two sub-basins in Pindamonhangaba (SP, Brazil) municipality, Água Preta and Cortume, both tributaries of the Paraíba do Sul river. The following physical factors, based on the Universal Soil Loss Equation (USLE) and its revised version (RUSLE) for both degraded and non-degraded pastures were evaluated: rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), terrain slope, slope length (L) and steepness factors (S), topographic factor (LS) and the natural erosion potential. Kendall correlation coefficient was used to investigate the relation between the physical factors and pastures degradation. Results show that the physical factors associated to the natural erosion potential did not determine pasture degradation levels in the two sub-basins evaluated, indicating that the main factor at play for pasture degradation could be associated to land use management carried out by ranchers in the region.

**Palavras-chave:** remote sensing, geographic information system, factors of potential erosion, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, fatores de erosão potencial.

### 1. Introdução

A exploração do gado bovino no Brasil é realizada principalmente em pastagens. Esse tipo de sistema apresenta um dos menores custos de produção de carne no mundo, estimado em 60% e 50% dos custos da Austrália e Estados Unidos, respectivamente (Ferraz e Felício, 2010; Ferreira e Zanine, 2007). Por esse mesmo motivo, a degradação das pastagens tem sido um grande problema para o setor, causando prejuízos econômicos e ambientais (Dias-Filho, 2011). Estimativas indicam que, dos 172 milhões de hectares de pastagens do Brasil (IBGE, 2014), 70% das pastagens cultivadas encontram-se em algum estágio de degradação (Macedo et al, 2013), sendo que 50% destas estariam fortemente degradadas. (Dias Filho, 2014).

A recuperação das pastagens degradadas constitui-se atualmente uma das prioridades do Governo Federal. Nessa linha, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) instituiu o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura, conhecido por Programa ABC (Agricultura de Baixa emissão de Carbono), que prevê a destinação de investimentos do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES, 2012) a projetos de recuperação de pastagens degradadas (ABC Recuperação).

A obtenção de indicadores físicos espacialmente explícitos que possibilitem a identificação dos processos de degradação das pastagens constitui instrumento de alta relevância para subsidiar ações de recuperação das pastagens avaliadas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de parâmetros físicos associados ao risco de erosão hídrica do solo na diferenciação de níveis de pastagens degradadas em duas sub-bacias localizadas no município de Pindamonhangaba (SP) por meio de técnicas de geoprocessamento.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreendeu as áreas de pastagens cultivadas nas sub-bacias dos ribeirões da Água Preta e do Cortume (Figura 1), situadas a sudoeste da cidade de Pindamonhangaba e que deságuam no rio Paraíba do Sul. A sub-bacia do ribeirão da Água Preta possui área de 1.760 ha e a do ribeirão do Cortume apresenta superfície de 7.877 ha. A precipitação média anual nas sub-bacias é de aproximadamente 1.300mm, e no período de outubro a março concentra cerca de 80% do volume total anual. O relevo é mais plano ao norte e acidentado ao sul das sub-bacias.

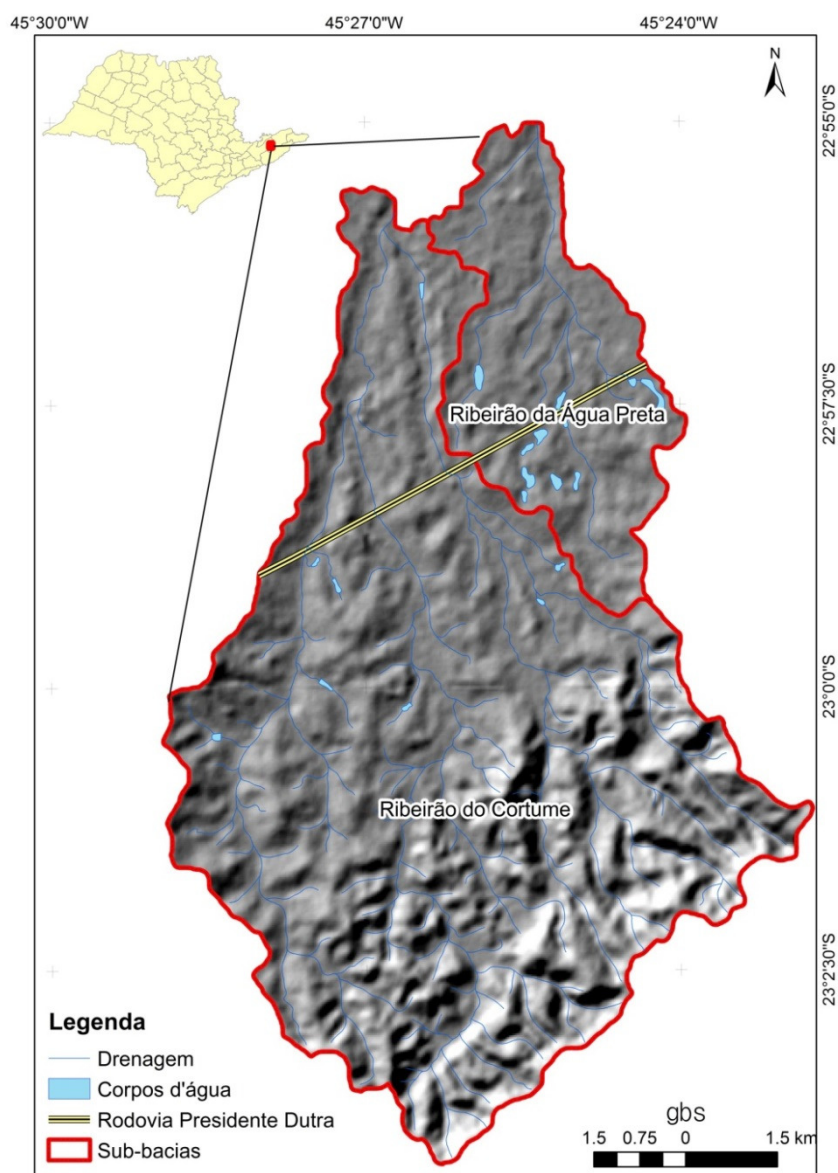


Figura 1. Localização das sub-bacias dos córregos da Água Preta e do Cortume.

Na delimitação das sub-bacias foi utilizado modelo digital de elevação (MDE) e a extensão *Arc Hydro Tools* do ArcGIS 10.1. O MDE das sub-bacias e entorno foi obtido junto ao projeto TOPODATA (Valeriano e Rossetti, 2011), disponível para download no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>). A resolução espacial do MDE é de aproximadamente 30 metros. A partir desse MDE foi gerado o mapa de declividade em porcentagem no ArcGIS.

O mapeamento das áreas de pastagens, localizadas nas sub-bacias, e do seu nível de degradação incluiu material © RapidEye AG do ano de 2011 (“todos direitos reservados”). A partir do mosaico de todas as 5 bandas das imagens RapidEye foi realizada a segmentação, através do *software eCognition Developer* versão 8.7.0, baseada em análise orientada a objeto. O processamento incluiu testes de segmentação em diferentes resoluções (10, 20, 50, 100, 200 e 300), resultando na definição dos parâmetros escala 50, forma 0,1, e compactação 0,5, que possibilitaram a delimitação dos polígonos de interesse. A etapa seguinte foi a classificação visual dos polígonos em pastagem degradada ou não degradada, a partir da composição das bandas vermelho (630-685nm), verde (520-590nm) e azul (440-510nm). O critério para classificação das áreas de pastagens degradadas foi o conhecimento prévio da área a partir de trabalho de campo, associado à interpretação visual do mosaico de imagens RapidEye por especialista.

As duas classes de níveis de degradação de pastagens identificadas visualmente foram comparadas com parâmetros físicos das sub-bacias. Os parâmetros selecionados estão associados a fatores de risco de erosão hídrica do solo. Um dos modelos muito utilizado mundialmente para predição da perda de solo em áreas agrícolas é o *Universal Soil Loss Equation* –USLE (Wischmeier e Smith, 1978). Adaptado para uso no Brasil, este modelo é conhecido por EUPS ou Equação Universal de Perda de Solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2005). Renard et al. (1997) realizaram uma grande revisão do modelo USLE, originando a *Revised Universal Soil Loss Equation* – RUSLE. Neste estudo foram considerados os parâmetros erosividade da chuva (fator R da EUPS), erodibilidade do solo (Fator K da USLE), declividade do terreno, fator comprimento de vertente (fator L da RUSLE), fator declividade da vertente (fator S da RUSLE), fator topográfico da RUSLE (fator LS) e potencial natural de erosão (PNE). O PNE foi obtido pelo produto dos fatores R, K e LS.

No mapeamento da erosividade das chuvas foram selecionados seis postos pluviométricos localizados no interior das sub-bacias e no seu entorno. Os registros de chuva foram provenientes da Agência Nacional de Águas (Hidroweb). Para cada um dos postos foi estimado o valor de R empregando o índice de Fournier modificado (IFM), proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Na espacialização da erosividade das chuvas nas sub-bacias, seguiram-se os procedimentos descritos por Galdino et al. (2014) para a bacia do alto Paraguai.

Na estimativa da erodibilidade do solo nas sub-bacias foram utilizados o mapa pedológico do estado de São Paulo, escala 1:500.000 (Oliveira et. al, 1999), e valores do fator K da USLE obtidos para solos brasileiros (Bertoni e Lombardi Neto, 2005; Manningel, 2008).

No mapeamento dos fatores de comprimento de vertente (L), declividade de vertente (S), e do fator topográfico (LS) da RUSLE (Renard et al., 1997), foi empregado o algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição (Van Remortel et al., 2004), seguindo os procedimentos adotados por Galdino e Weill (2011) para a bacia do alto Taquari (MS/MT).

Para cada um dos segmentos de pastagens, foram obtidas as médias dos parâmetros físicos a partir da ferramenta *Zonal Statistics as Table* da extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS. Essas médias foram comparadas com a variável nível de degradação da pastagem, que assumiu valor nulo para não degradada e unitário para degradada (variável dependente dicotômica). Considerando a característica não paramétrica da variável nível de degradação da pastagem, foi empregada a correlação de Kendall, ao invés da tradicional correlação de

Pearson. Para tanto, foi utilizado o software Action (Estatcamp, 2014). Também foram obtidas médias e desvio-padrão dos parâmetros físicos para diferentes níveis de degradação das pastagens. Como última etapa, foi estimada a distribuição, em porcentagem, de classes de parâmetros físicos para diferentes níveis de degradação das pastagens.

### 3. Resultados e Discussão

As sub-bacias apresentaram as seguintes classes de solo: LATOSSOLO AMARELO (35%), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (34%) e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (28%). A distribuição das áreas de pastagens degradadas e não degradadas, discriminadas por sub-bacias, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição em quantidade (ha e %) das áreas de pastagens degradadas e não degradadas nas sub-bacias dos ribeirões da Água Preta e do Cortume, em Pindamonhangaba (SP).

Sub-bacia	Pastagem			
	Degradada		Não degradada	
	ha	%	ha	%
Ribeirão da Água Preta	99,65	15,46	787,68	15,69
Ribeirão do Cortume	545,07	84,54	4.231,82	84,31
Total	644,72	100	5.019,50	100

Em 2011, as pastagens recobriam 5.664,22 ha da superfície das sub-bacias, correspondendo a 58,77% do uso das terras nas sub-bacias. A grande maioria dessas pastagens, 88,62%, foi classificada como não degradada. A proporção (%) de pastagens degradada e não degradada, independentemente da sub-bacia, foi similar. A distribuição das classes de pastagens nas sub-bacias pode ser visualizada na Figura 2(a). A Tabela 2 apresenta a média e desvio-padrão dos parâmetros físicos avaliados para os diferentes níveis de degradação das pastagens, bem como o coeficiente de correlação de Kendall ( $r_{\text{Kendall}}$ ) entre as classes de pastagens e as variáveis físicas.

Tabela 2. Média e desvio-padrão de parâmetros físicos para diferentes níveis de degradação das pastagens, e coeficiente de correlação de Kendall ( $r_{\text{Kendall}}$ ) entre as classes de pastagens e as variáveis físicas.

Parâmetro físico	Pastagem		$r_{\text{Kendall}}$
	Degradada	Não degradada	
Erosividade da chuva (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	6.361,75 ± 18,11	6.359,51 ± 9,44	0,0332
Erodibilidade do solo (Mg h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0,0312 ± 0,0074	0,0290 ± 0,0081	0,0950**
Declividade (%)	13,29 ± 9,65	11,52 ± 8,79	0,0474**
Fator L da RUSLE	1,54 ± 0,72	1,50 ± 0,73	0,0296
Fator S da RUSLE	1,85 ± 1,48	1,50 ± 1,32	0,0586**
Fator LS da RUSLE	3,35 ± 3,67	2,71 ± 3,16	0,0486**
Potencial Natural de Erosão – PNE (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	751,77 ± 915,08	576,22 ± 773,49	0,0587**

\*\* Correlação significativa ao nível de 0,01.

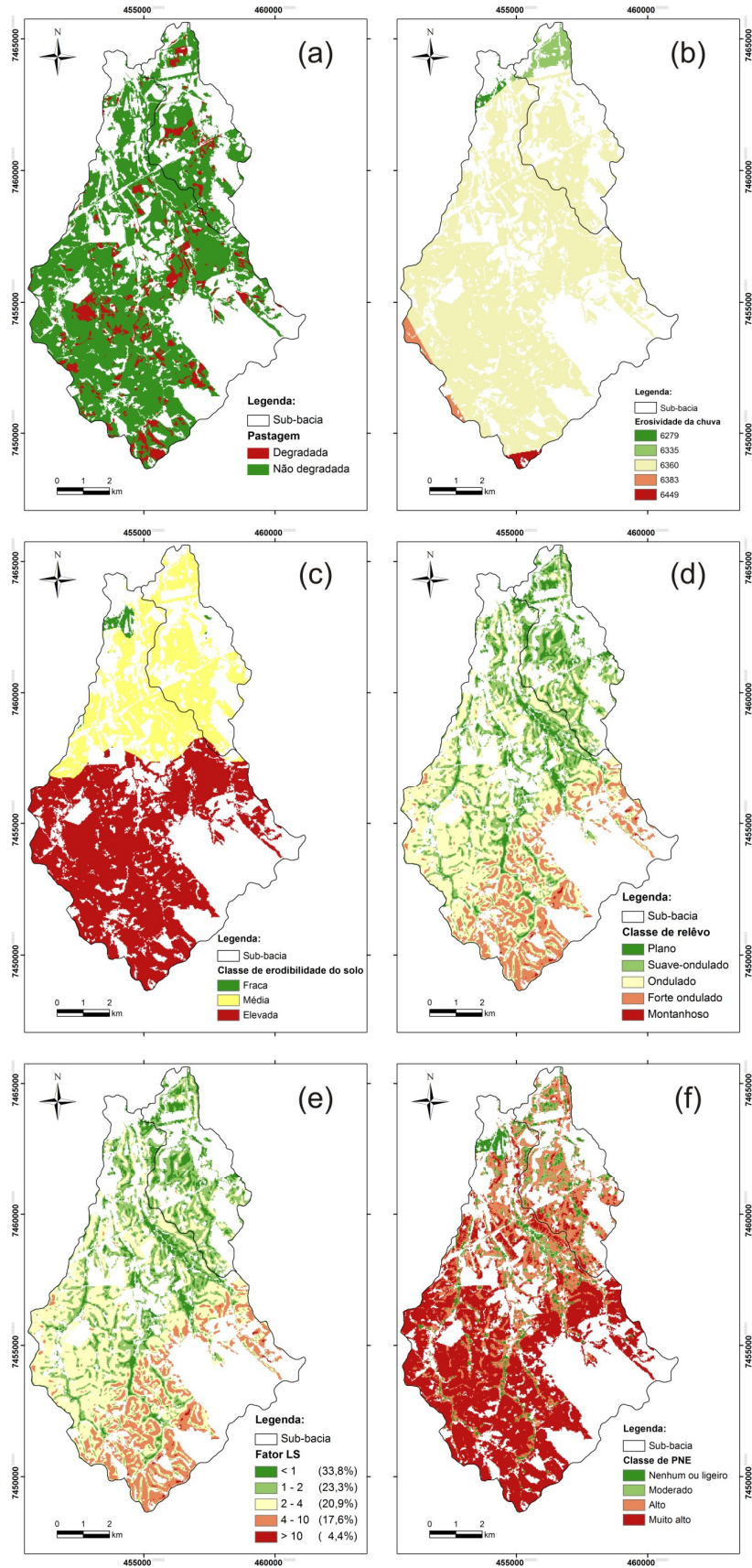


Figura 2. Mapas: a) dos níveis de degradação das pastagens, b) da erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ), c) das classes de erodibilidade do solo, d) das classes de relevo, e) do Fator LS da RUSLE e f) das classes do Potencial Natural de Erosão (PNE) para áreas de pastagens das sub-bacias dos ribeirões da Água Preta e do Cortume, em Pindamonhangaba (SP).

Os valores médios dos parâmetros físicos nas áreas de pastagens foram: erosividade das chuvas de  $6.359,77 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , erodibilidade dos solos de  $0,0292 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , declividade de  $11,72\%$ , fator L de  $1,51$ , fator S de  $1,60$ , fator LS de  $2,78$  e PNE de  $596,22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A área de estudo apresentou classe de erosividade das chuvas “moderada a forte”, de acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008), modificada para o sistema métrico internacional por Foster et al. (1981). A distribuição da erosividade das chuvas pode ser visualizada na Figura 2(b). As pastagens degradadas apresentaram valores médios dos fatores físicos maiores que as pastagens não degradadas. Entretanto, os coeficientes de correlação entre as classes de pastagens e as variáveis físicas foram praticamente nulos, evidenciando que essas variáveis não explicaram a diferença no nível de degradação das pastagens.

A Tabela 3 apresenta a distribuição de classes de parâmetros físicos para diferentes níveis de degradação de pastagens e a correlação entre essas classes/níveis.

Tabela 3. Distribuição (%) de classes de parâmetros físicos para diferentes níveis de degradação das pastagens, e coeficiente de correlação de Kendall ( $r_{\text{Kendall}}$ ) entre as classes de pastagens e as classes das variáveis físicas.

Parâmetro físico	Classe	Pastagem		$r_{\text{Kendall}}$
		Degradada (%)	Não degradada (%)	
Erodibilidade do solo	Fraca	0,81	1,11	0,1120**
	Média	21,58	35,55	
	Elevada	76,61	63,35	
Relevo	Plano	10,06	12,26	0,0581**
	Suave-ondulado	24,02	29,92	
	Ondulado	43,63	42,29	
	Forte ondulado	21,99	15,17	
	Montanhoso	0,31	0,35	
	Escarpado	0	0	
Potencial de Erosão (PNE)	Natural Nenhum ou ligeiro	5,21	7,75	0,0593*
	Moderado	3,21	4,29	
	Alto	23,50	30,46	
	Muito alto	68,07	57,50	

\* Correlação significativa ao nível de 0,05.

\*\* Correlação significativa ao nível de 0,01.

A classe de erodibilidade “fraca” proposta por Carvalho (2008), modificada para o sistema métrico internacional de acordo com Foster et al. (1981), compreende valores de K até  $0,01529 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Valores de K, compreendidos entre  $0,01529$  e  $0,03058 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , correspondem à classe de erodibilidade do solo “média”. Valores superiores a  $0,03058 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  correspondem à classe de erodibilidade “elevada”. Na Figura 2(c), pode ser visualizada a distribuição das classes de erodibilidade do solo. Nas áreas de pastagens, tanto degradadas quanto não degradadas, a classe de erodibilidade do solo predominante foi a “elevada”. A correlação entre as classes do fator K da USLE com os níveis de degradação das pastagens, apesar de altamente significativa, evidenciou baixa relação linear entre essas variáveis.

A Figura 2(d) apresenta a distribuição das classes de declividade das terras nas áreas de pastagens. As classes de relevo consideradas foram: plano (< 3%), suave-ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (>75%).

Observando a Tabela 3, verifica-se que, nas áreas recobertas por pastagens degradadas, o relevo é ligeiramente mais acidentado, contudo, o coeficiente de correlação entre as classes de relevo e os níveis de degradação das pastagens apresentou baixa relação linear entre esses fatores.

A distribuição do fator LS pode ser visualizada na Figura 2(e). Na maioria da superfície das sub-bacias recoberta por pastagens, o fator topográfico foi inferior a 2 (57,1%), e em apenas 4,4% da área de estudo, o fator LS da RUSLE foi superior a 10.

No PNE, foi utilizada a proposta da FAO, PNUMA e Unesco (FAO, 1980). Foram consideradas as seguintes classes: nenhum ou ligeiro ( $PNE < 10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), moderado (10 a  $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), alto ( $50 \text{ a } 200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e muito alto ( $PNE > 200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A distribuição das classes do PNE nas áreas de pastagens pode ser visualizada na Figura 2(f). Observando a Tabela 3, verifica-se que, tanto nas áreas de pastagens degradadas como não degradadas, a classe do PNE predominante foi “muito alto”, evidenciando que as áreas recobertas por pastagem apresentam elevado risco potencial natural de erosão. A correlação entre os níveis das pastagens e o PNE também foi muito baixa, próximo de zero, evidenciando praticamente inexistência de relação entre essas variáveis.

A análise da relação entre os níveis de degradação das pastagens e os parâmetros físicos associados ao potencial natural de erosão, ou seja, chuva, solos e relevo, demonstra, para a área de estudo, que esses parâmetros não foram determinantes para diferenciar o nível de degradação das pastagens. Assim, muito provavelmente, o fator que mais influenciou na degradação ou não das pastagens foi o manejo das gramíneas adotado pelos pecuaristas.

#### 4. Conclusões

A utilização de sistema de informações geográficas permitiu gerar indicadores espacialmente explícitos a partir dos planos de informação derivados do processamento de imagens de satélite e parâmetros físicos da área de estudo.

Os parâmetros físicos associados ao potencial natural de erosão não foram determinantes para diferenciar o nível de degradação das pastagens nas sub-bacias avaliadas.

A interpretação das informações geradas permitiu ainda inferir sobre o estado geral das áreas consideradas degradadas e sua relação com outros fatores não analisados neste estudo, sugerindo-se que o fator que potencialmente mais influenciou no nível de degradação foi o manejo das pastagens adotado pelos pecuaristas da região.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – GeoDegrade” (Embrapa – SEG n. 02.10.06.011.00.00) e à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA-SP).

#### Referencias Bibliográficas

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. **Circular Sup/AGRIS n° 49/2012 – BNDES**. Rio de Janeiro, 2012. 15 p.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

Carvalho, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.

Dias-Filho, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

Estatcamp. Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade. **Software Action**. São Carlos, SP, 2014. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em: 22/09/14

FAO. **Metodologia provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**. Roma: Unesco/Pnuma, 1980, 86 p.

Ferraz, J.B.S.; Felício, P.E.D. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

Ferreira, D.J.; Zanine, A.M. Importância da pastagem cultivada na produção da pecuária de corte brasileira. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 8, n. 3, p. 1-18, 2007.

Foster, G.R.; Mccool, D.K.; Renard, K.G.; Moldenhauer, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355–359, 1981.

Galdino, S.; Grego, C.R.; Silva, J.S.V. Distribuição espacial da erosividade da chuva na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014. Campo Grande, MS. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2014. p. 211-219

Galdino, S.; Weill, M.A.M. Estimativa do fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia do alto Taquari – MS/MT, utilizando algoritmo do ângulo de inclinação limite para erosão/deposição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4813-4820.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=23&i=P&c=854>. 2014>. Acesso em: 06/10/14

Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

Macedo, M.C.M.; Zimmer, A.H.; Kichel, A.N.; Almeida, R.G.; Araujo, A.R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA - TEC - FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

Manningel, A.R.; Carvalho, M.P.; Moreti, D.; Medeiros, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda de solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335–1340, 2002.

Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rosi, M.; Braz-Calderano, F. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agronômico; Embrapa Solos, 1999. 2 v.

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). Washington, D. C: United States Department of Agriculture, 1997, 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

Valeriano, M.M.; Rossetti, D.F. Topodata: Brazilian full coverage re-finement of SRTM data. **Applied Geography** (Sevenoaks), n. 32, p. 300-309, 2011.

Van Remortel, R.D.; Maichle, R.W.; Hickey, R. Computing the LS factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 1043–1053, 2004.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. **Predicting rainfall erosion losses** – a guide to conservation planning. Washington, D. C: United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (USDA: Agricultural handbook, 537)