

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade  
Federal Rural de Pernambuco

de Sousa Barros, Enicléia Nunes; Ribeiro Viola, Marcelo; Martins Rodrigues,  
Jéssica Assaid; de Mello, Carlos Rogério; Avanzi, Junior Cesar; Giongo, Marcos  
Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas  
dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins  
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 13, núm. 1, 2018, pp. 1-9  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal Rural de Pernambuco

DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5509>

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119060469019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais informações do artigo
- Site da revista em redalyc.org

## Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins

Enicleia Nunes de Sousa Barros<sup>1</sup>, Marcelo Ribeiro Viola<sup>2</sup>, Jéssica Assaid Martins Rodrigues<sup>2</sup>, Carlos Rogério de Mello<sup>2</sup>, Junior Cesar Avanzi<sup>3</sup>, Marcos Giongo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins/Campus Universitário de Gurupi. Gurupi, TO, Brasil. E-mail: enicleiajc@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-9319-4307); giongo@uft.edu.br (ORCID: 0000-0003-1613-6167)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras/Departamento de Engenharia de Água e Solo/Núcleo de Engenharia de Água e Solo. Lavras, MG, Brasil. E-mail: mrviola@mail.uff.edu.br (ORCID: 0000-0002-3910-0987); je\_assaid@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-2140-7550); crmello@deg.uflla.br (ORCID: 0000-0002-6033-5342)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras/Departamento de Ciência do Solo. Lavras, MG, Brasil. E-mail: javanzi@gmail.com (ORCID: 0000-0003-2455-0325)

**RESUMO:** A erosão hídrica é um dos principais fatores que leva ao processo de degradação do solo, com impactos que vão desde a redução da produtividade até a diminuição dos recursos naturais existentes. Assim, objetivou-se estimar as perdas de solo aplicando o modelo RUSLE e verificar o efeito das alterações no uso do solo, de 1990 a 2007, para as bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, TO. A erosão hídrica na bacia do rio Lontra, variou de “suave” (51,3%) na região central da bacia (predomínio de relevo plano e mata), a “extremamente alta” (24,6%) na faixa que vai do norte ao oeste, (predomínio de pastagem e relevo mais declinoso). Na bacia do rio Manoel Alves Pequeno, a classe de erosão “suave” (52%) esteve distribuída ao longo da bacia, devido a maior parte dos solos ser de baixa erodibilidade e pela predominância do cerrado. Entretanto, a classe “extremamente alta” (6,7%) ocorreu nas porções norte e oeste devido ao uso do solo caracterizado por pastagens, e na porção leste devido a maior declividade. A avaliação temporal evidenciou que não houveram variações importantes no período estudado. Na bacia do rio Lontra, de 2000 a 2007, ocorreu uma redução 0,3% na classe “extremamente alta”; já na bacia do rio Manoel Alves Pequeno, de 1990 a 2007, houve aumento gradual da taxa de erosão.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica; conservação do solo; perdas de solo; RUSLE; Tocantins-Araguaia

## Water erosion modeling in the watersheds of the rivers Lontra and Manoel Alves Pequeno, Tocantins State, Brazil

**ABSTRACT:** Water erosion is one of the main factors that lead to the process of soil degradation, with impacts ranging from reducing productivity to losses of natural resources. Thus, this work aimed to estimate soil losses performing RUSLE model and to verify the effect of changes in land use changes, from 1990 to 2007, in the watersheds of the rivers Lontra and Manoel Alves Pequeno, Tocantins State-Brazil. Water erosion in the river Lontra ranged from “slight” (51.3%) in the central region of the basin (dominance of flat relief and forest land use), to “extremely high” (24.6%), in the range that goes from the north to the west (dominance of pasture land use and more declining relief). In the watershed of Manoel Alves Pequeno the erosion class “slight” (52%) was distributed along the basin, due to most soils had low erodibility and with most of the area covered by cerrado. While the “extremely high” class (6.7%), occurred in the northern and western part due to pasture land use, and in the eastern part due to the greater slope. Temporal evaluation of soil loss evidenced that there were no significant variations in the period studied. However, in the watershed of river Lontra, from 2000 to 2007, occurred a 0.3% reduction of the “extremely high”; at the watershed Manoel Alves Pequeno, from 1990 to 2007, there was a gradual increase in the soil erosion rate.

**Key words:** watershed; soil conservation; soil loss; RUSLE; Tocantins-Araguaia

## Introdução

A erosão hídrica constitui uma das principais causas de degradação do solo nas condições brasileiras, geralmente está associada ao manejo incorreto do solo e ausência de práticas conservacionistas (Ferreira et al., 2011). A mudança no uso do solo levando a uma exposição da superfície do solo, em razão da redução da cobertura vegetal, constitui no fator desencadeante do processo erosivo. A erosão em um processo mais avançado não transporta somente os sedimentos, mas também remove nutrientes, matéria orgânica e agroquímicos do sistema de produção (Avanzi et al., 2013), ocasionando prejuízos ao ambiente e ao setor agrícola. Além disso, também representa perdas econômicas consideráveis, tendo em vista os gastos com a sua mitigação. Estimativas apontam que anualmente cerca 500 milhões de toneladas de solos são erodidos no Brasil (FAO, 2001).

Nas últimas décadas, a região onde se encontra o estado do Tocantins vem sofrendo profundas modificações quanto ao uso do solo, em razão da expansão da fronteira agrícola brasileira. Esta alteração no uso do solo pode provocar uma aceleração dos processos erosivos, devendo ser analisada com mais detalhes. Assim, os estudos de modelagem da erosão hídrica consideram as alterações da cobertura vegetal decorrentes da expansão agropecuária, e servem como ferramenta para avaliar os impactos causados ao longo do tempo pelo transporte de sedimentos (Alatorre et al., 2011), principalmente em áreas próximas a corpos d'água naturais e artificiais (Bakker et al., 2008). Os métodos diretos para determinação da erosão hídrica requerem experimentos permanentes com coletas contínuas de dados, sendo considerados morosos e de elevado custo. Deste modo, modelos matemáticos de estimativas da erosão visam diminuir estas limitações, e são reconhecidos como importantes ferramentas para o planejamento agrícola e ambiental.

Dentre os modelos que mais se adaptam à aplicação de técnicas de geoprocessamento, sendo amplamente utilizado no Brasil, pode-se citar a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (Renard et al., 1997). Nesta perspectiva, a RUSLE acoplada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) torna possível modelar a erosão hídrica, e visualizar seu resultado de maneira distribuída na bacia hidrográfica de interesse. Além desta vantagem da identificação de áreas prioritárias para se trabalhar em termos de conservação do solo, ressalta-se a possibilidade de análise de extensas bases de dados.

Diante do exposto, o estudo visou modelar as perdas de solo a partir da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE) em ambiente SIG, bem como avaliar o efeito do uso do solo, entre 1990 e 2007, nas estimativas desta erosão, para as bacias hidrográficas dos Rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, importantes afluentes dos rios Araguaia e Tocantins, respectivamente, localizadas na região centro-norte do estado do Tocantins.

## Material e Métodos

A Bacia Hidrográfica do Rio Lontra está localizada na região norte do estado do Tocantins (Figura 1), sendo uma das principais sub-bacias do rio Araguaia, com área de drenagem de aproximadamente 3.870 km<sup>2</sup>. O clima predominante dessa região é subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico (Sousa, 2016). A temperatura média anual é de 25 °C, com precipitação média anual de 1.852 mm (Viola et al., 2012).

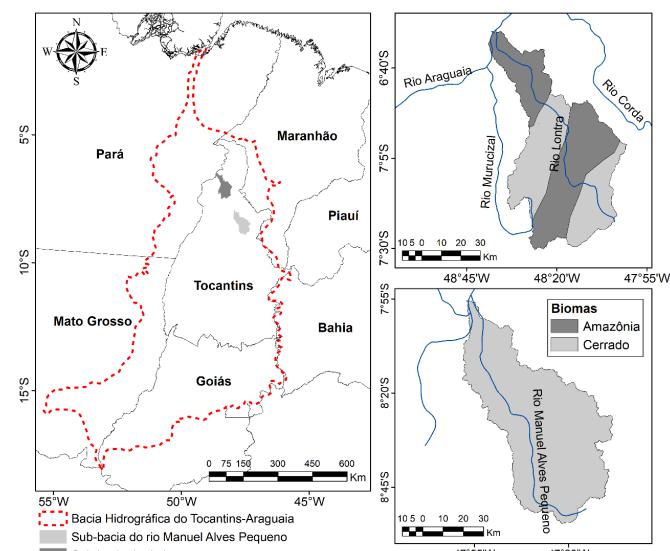
A Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves Pequeno está localizada na região centro-norte do estado do Tocantins (Figura 1), e constitui um dos principais afluentes da margem direita do Rio Tocantins, com área de drenagem de aproximadamente 2.500 km<sup>2</sup>. A precipitação média anual dessa bacia é de 1.571 mm. A Figura 1 mostra a localização de ambas as bacias hidrográficas estudadas no contexto da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

De acordo com Renard et al. (1997) a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE) trata de um modelo paramétrico, sendo expressa pela seguinte equação:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

em que: A - perda de solo média anual (Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); R - fator de erosividade da chuva (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); K - fator de erodibilidade do solo (Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>); LS - fator topográfico, adimensional; C - fator de uso e manejo do solo, adimensional; e, P - fator de práticas conservacionistas, adimensional.

O Fator R ou erosividade da chuva, consiste no potencial natural da chuva em causar erosão do solo, sendo obtido pelo produto da energia cinética total da chuva com sua intensidade máxima em 30 minutos ( $El_{30}$ ) (Wischmeier & Smith, 1978). Devido à baixa disponibilidade tanto espacial



**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins-Araguaia no território brasileiro com destaque para as Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra e Manoel Alves Pequeno.

quanto temporal de séries históricas de precipitação, uma alternativa para estimar a erosividade das chuvas é por meio de equações que relacionam o valor médio do Fator R a algum índice de fácil disponibilidade. Deste modo, para determinação do Fator R, foi utilizado o modelo multivariado proposto por Mello et al. (2013), que calcula a erosividade média anual das regiões brasileiras com base em regressão linear múltipla, em função da latitude (LA), longitude (LO) e altitude (A), extraídas do modelo digital de elevação (MDE), descrita a seguir:

$$\begin{aligned} EI_{30} = & 69,908 + 2713,076 \cdot LA + 1940,569 \cdot LO + \\ & + 0,0008671 \cdot A^2 - 141,233 \cdot LA^2 + 16,5387 \cdot LO^2 + \\ & + 46,014 \cdot LO^2 \cdot A - 3,39 \times 10^{-7} \cdot LO^2 \cdot A^2 + \\ & + 0,1905 \cdot LO^2 \cdot LA^2 + 0,00262 \cdot LA^2 \cdot LO^3 \end{aligned}$$

em que:  $EI_{30}$  representa o Fator R ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

O mapa de solos disponibilizado pelo Atlas do Tocantins, desenvolvido pela Secretaria Estadual de Planejamento (SEPLAN-TO, 2012), foi utilizado de base para o Fator K das bacias hidrográficas em estudo. Para cada classe de solo existente nas bacias foram buscados os valores de referência para a sua erodibilidade. Os valores do Fator K foram obtidos nos trabalhos de Sá et al. (2004) (Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA, Argissolo Amarelo - PA); Silva et al. (2009) (Cambissolo Háplico - CX); Carvalho (2014) (Latossolo Amarelo - LA, Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA, Latossolo Vermelho - LV e Neossolo Quartzarênico - RQ); Oliveira et al. (2014) (Neossolo Litólico - RL); Herrera (2013) (Plintossolo Pétrico - FF) e Baldissera (2005) (Plintossolo Háplico - FX).

O Fator LS foi obtido pela metodologia proposta por Moore & Burch (1986), na qual, utiliza-se o modelo digital de elevação (MDE) combinado a procedimentos de cálculo matriciais em mapas no formato raster em ambiente SIG. Este método também foi aplicado por Durães & Mello (2014), sendo representado pela seguinte equação:

$$LS = \left[ FA \cdot \left( \frac{CS}{22,13} \right) \right]^{0,4} \cdot \left[ \frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right]^{1,3}$$

em que: FA representa o fluxo acumulado ou área de contribuição (m); CS é a resolução espacial do pixel (m); e, S é o declive em radianos, calculado para cada célula.

O fator de cobertura e manejo do solo (C) é determinado através da relação entre as perdas de solo ocorridas em uma área com cobertura e manejo específicos e outra área, nas mesmas condições de tipo de solo, declividade e erosividade da chuva, porém sem cobertura (Wischmeier & Smith, 1978). Esse fator pode variar de 0 a 1, sendo que quando os valores se aproximam de 1, significam áreas com pouquíssima cobertura vegetal e maior vulnerabilidade à erosão hídrica. Assim, os valores para o Fator C adotados para as bacias hidrográficas estudadas foram: pastagem 0,220 e mata 0,090 (Silva et al., 2014), cerrado 0,042 (Farinasso et al., 2006), vereda 0,010 (Borges et al., 2012), área urbana e

corpos d'água foi adotado o valor zero, conforme Baptista (2003).

Os mapas que retratam a evolução histórica do uso/cobertura do solo das referidas bacias foram obtidos através da reclassificação dos mapas originais disponibilizados no Atlas do Tocantins (SEPLAN-TO, 2012), e referem-se a mapas temáticos de 1990, 2000 e 2007 obtidos por classificação supervisionada de imagens Landsat.

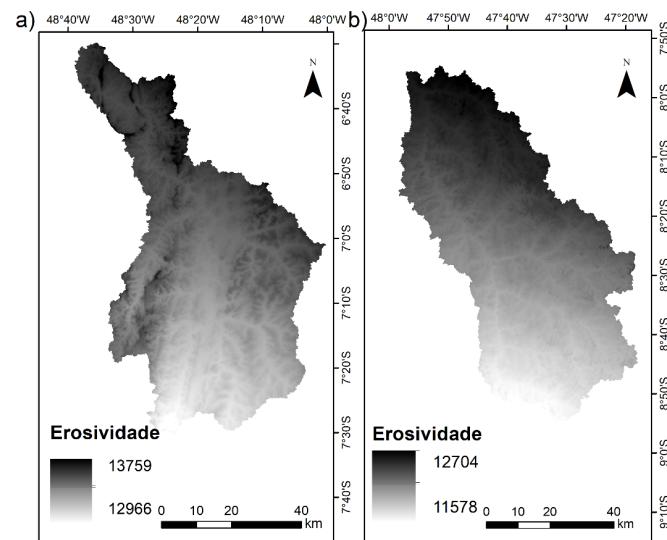
O fator prática conservacionista (P) representa a relação entre a perda de solo em áreas com determinada prática conservacionista e a perda de solo em áreas, nas mesmas condições, sem prática conservacionista (Wischmeier & Smith, 1978). Para efeitos desse estudo, o Fator P foi considerado igual a 1, uma vez que grande parte das bacias não adotam nenhuma prática conservacionista para atenuar o processo erosivo, conforme também considerado por Özcan et al. (2008), Beskow et al. (2009) e Avanzi et al. (2013).

O potencial de erosão nas bacias hidrográficas foi avaliado em função da mudança do uso do solo (1990, 2000 e 2007) por meio da RUSLE em ambiente SIG.

## Resultados e Discussão

Nas Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, os valores de erosividade anual variaram de 12.966 a 13.759  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e de 11.577 a 12.704  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente, conforme Figura 2. De acordo com a classificação proposta por Foster et al. (1981), ambas as bacias apresentam a classe de erosividade “muito alta”.

A bacia do rio Lontra, na qual há presença do bioma Amazônia (Figura 1), ocorreram os maiores valores de erosividade. A bacia do Manoel Alves Pequeno, também com altos índices de erosividade, está localizada próxima a



Fonte: elaborado a partir de Mello et al. (2013).

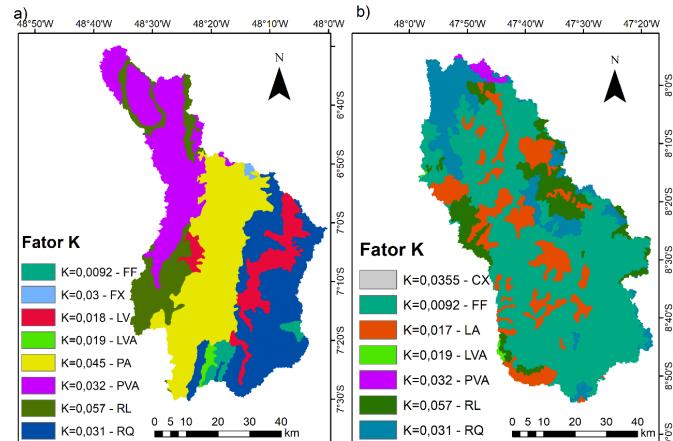
**Figura 2.** Mapas do Fator R ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) nas Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra (a) e Manoel Alves Pequeno (b) gerados pela metodologia krigagem com regressão.

área de abrangência desse bioma. Nesse sentido, os altos valores decorrem da elevada intensidade de precipitação nessa região, que recebe influência da região sudeste da Amazônia, com a predominância de formação de eventos convectivos (Melo et al., 2009; Reboita et al., 2010). Os valores de erosividade anual encontrados para as bacias estudadas estão próximos aos obtidos por Marinho Filho (2014) para a Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, região relativamente próxima às bacias dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno. No estudo de Marinho Filho (2014), o Fator R variou entre 9.400 e 11.300 MJ mm<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes também foram encontrados por Viola et al. (2014), os quais obtiveram valores do Fator R para o Estado do Tocantins, onde de acordo com o estudo, a região em que se encontram as bacias dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno apresentou erosividade anual na faixa de 11.000 a 13.000 MJ mm<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Os valores de erosividade das chuvas apresentaram-se bastante elevados em toda a extensão das bacias estudadas, configurando um fator de considerável contribuição para o processo erosivo nessas áreas, por esse motivo afirma-se a necessidade de ações voltadas ao planejamento sustentável de prevenção à erosão.

A erodibilidade dos solos (Fator K) em ambas as bacias estudadas variou entre 0,0092 e 0,057 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Figura 3). Observa-se que a bacia do rio Lontra apresentou maior susceptibilidade do solo à erosão, com 87,6% de sua área com Fator K variando de 0,031 a 0,057 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, considerada como sendo uma erodibilidade “alta” e “muito alta”, segundo Foster et al. (1981). Nota-se que nesta bacia há predominância dos Argissolos e Neossolos que, devido às suas características pedológicas, são mais propensos à erosão.

A bacia do rio Manoel Alves Pequeno apresentou menor vulnerabilidade à erosão, sendo que em 75,8% de sua área os valores do Fator K variaram entre 0,0092 e 0,017 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, estando dentro das classes de erodibilidade “muito baixa” e “baixa”. Nessa bacia prevalece a presença



Fonte: modificado de SEPLAN-TO (2012).

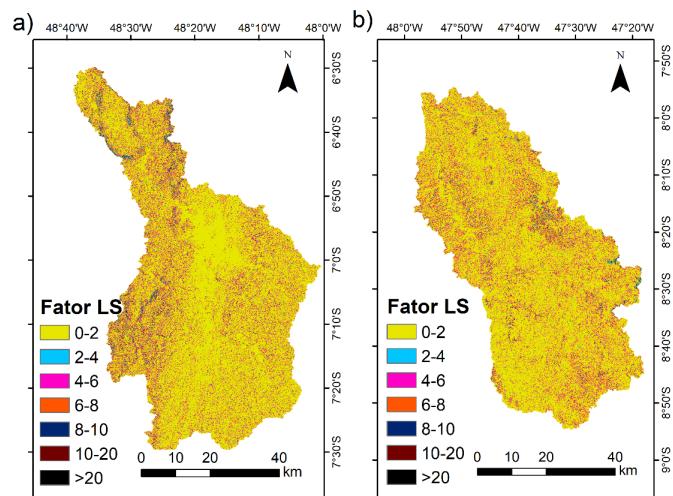
**Figura 3.** Mapas do Fator K ( $Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ) das bacias hidrográficas dos Rios Lontra (a) e Manoel Alves Pequeno (b).

de Plintossolos em 59,9% da sua área total, com baixa propensão a sofrer processos erosivos.

No que diz respeito a erodibilidade dos solos, verificou-se realidades diferentes para as bacias estudadas. A bacia hidrográfica do rio Manoel Alves Pequeno tem a maior parte de sua área (78,8%) formada por solos de baixa vulnerabilidade à erosão (Plintossolo Pétrico e Latossolo Amarelo), no entanto, existem áreas que merecem especial atenção, formadas por solos de alta erodibilidade (Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico) que tem representatividade de área (23,1%), localizados principalmente ao norte e na região central da bacia. Estas são regiões que apresentam um Fator K crítico no que se refere ao processo erosivo, sendo assim, necessitam de um adequado manejo. Entretanto, a bacia do rio Lontra apresentou sua maior parte (87,6%) formada por solos facilmente erodíveis (Argissolos e Neossolos), distribuídos ao longo de toda a bacia, sendo um fator preponderante no volume de sedimentos gerados nessa bacia. Dada esta característica do Fator K é imprescindível um manejo adequado do solo visando a sua conservação.

Quanto à declividade, ambas as bacias apresentam mais de 94% de suas áreas dentro do intervalo que varia de 0 a 20%, distribuídas entre as classes “Plano”, “Suave-Ondulado” e “Ondulado”. Segundo McCool et al. (1987) a perda de solo é significativamente mais vulnerável às mudanças de declividade do que a mudanças de comprimento da rampa.

Os maiores valores do fator topográfico estão localizados nas áreas de maior declividade (Figura 4), onde o escoamento superficial alcança maior velocidade. De acordo com Engel (2003), os resultados propiciados pela metodologia de cálculo do Fator LS, adotada no presente estudo, confere resultados mais precisos no que se refere à determinação das quebras existentes entre as unidades de relevo das bacias hidrográficas, justamente por oferecer o valor de LS célula a célula ao longo de toda a área de estudo. Esta constatação é importante no que se refere à confiabilidade do mapa do fator LS produzido.



**Figura 4.** Mapas do Fator Topográfico (adimensional) das bacias hidrográficas dos rios Lontra (a) e Manoel Alves Pequeno (b).

Observa-se que as bacias apresentam semelhanças quanto a ocorrência das classes do Fator LS (Figura 4). Ambas as bacias apresentaram maior abrangência territorial na classe do Fator LS menor que 2, valores estes que indicam superfícies de relevo plano. Por outro lado, os maiores valores de LS estão localizados nas regiões serranas.

Silva (2008) relatou que valores de LS menores que 2 significam, pelo menos matematicamente, atenuação do processo erosivo, tendo em vista que estudos evidenciam que este intervalo de valores tende a minimizar as taxas de erosão. Nesse sentido, devido a este tipo de comportamento ser predominante nas regiões estudadas, pode-se inferir que em ambas as bacias predominam valores do Fator LS que desfavorecem o processo erosivo, no que tange as características de relevo.

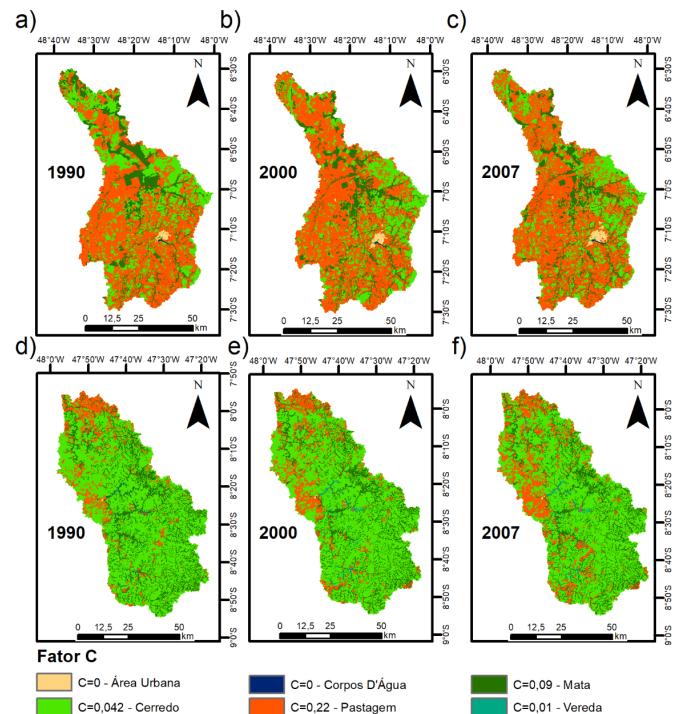
Silva Ferreira & Francisco (2009) pesquisando sobre a erosão na bacia do rio Caceribu-RJ, por meio da aplicação da USLE, obtiveram resultados para o relevo semelhantes ao encontrado neste trabalho, com 90,3% da área total da bacia com declividade inferior a 20%. Os referidos autores afirmaram que os baixos valores de perdas de solo encontrados estão relacionados aos baixos índices de inclinação do relevo, e que resultam em reduzidos valores do Fator LS, no que tange a aplicação da USLE.

Resultado semelhante também foi encontrado por Oliveira et al. (2015) no estudo da erosão na bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica de Lageado, Botucatu-SP. Os autores verificaram que 90,6% da área total da bacia apresenta declividade de até 12%, sendo que o relevo predominante foi o ondulado, com declividade de 6 a 12%, ocupando 36,9% da área total, seguido do relevo suave-ondulado em 32,4% da área, e plano em 21,3%.

As bacias dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno apresentaram semelhança em relação à baixa declividade, resultando em baixos valores do Fator LS, que significam que as áreas das bacias são relativamente planas, fator positivo no que se refere ao processo erosivo. Contudo, as áreas mais declivosas (> 20%), que foram de 5,7% na bacia do rio Lontra, e 4,8% na bacia do rio Manoel Alves Pequeno, foram identificadas como pontos críticos para a geração de sedimentos, tendo-se em vista que a declividade acentuada é um dos fatores preponderantes para a erosão hídrica.

Na Figura 5 se observa a evolução histórica da vegetação e uso do solo e consequentemente do Fator C, nos anos de 1990, 2000 e 2007, nas bacias hidrográficas dos Rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, respectivamente.

Na bacia hidrográfica do Rio Lontra as classes de uso e cobertura do solo consideradas preservadas (cerrado, corpos d'água e mata) nos anos de 1990, 2000 e 2007 totalizaram 44,8, 39,85 e 40,5%, respectivamente, enquanto que a área antropizada (pastagem e área urbana) totalizaram 55,2, 60,1 e 59,5%, respectivamente. Nesse sentido, observa-se que de 1990 para 2000 houve um aumento da área antropizada de cerca de 4,92%, principalmente pela expansão da atividade pecuária nessa bacia. Contudo, de 2000 a 2007 ocorreu uma redução das áreas utilizadas por pastagens, passando de



**Figura 5.** Mapas do Uso/Cobertura do solo nos anos 1990, 2000 e 2007 das bacias hidrográficas dos Rios Lontra (a, b, c) e Manoel Alves Pequeno (d, e, f).

59,42 para 58,46%, e assim, a área antropizada teve uma pequena redução nesse período.

Na bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves Pequeno, as classes de uso e cobertura do solo consideradas preservadas (cerrado, corpos d'água, mata e vereda) totalizaram nos anos de 1990, 2000 e 2007 um percentual da área da bacia de 88,3, 86,2 e 82,7%, respectivamente, enquanto que as áreas antropizadas (pastagem e área urbana) nos mesmos anos, eram de 11,7, 13,8 e 17,3%, respectivamente. Nesse sentido, observa-se que, de 1990 para 2007, houve um aumento gradual da área antropizada, totalizando 5,6%, notadamente pela expansão da pecuária.

A maior parte da bacia hidrográfica do rio Lontra encontra-se antropizada, com percentual de áreas distribuídas entre pecuária e área urbanizada variando de 55,2 a 60,1% no período estudado; assim o valor predominante do Fator C nesta bacia foi de 0,220, em mais de 54% da área, corroborando para a elevação da taxa de perda de solo. Este valor refere-se a classe de uso do solo denominada pastagem.

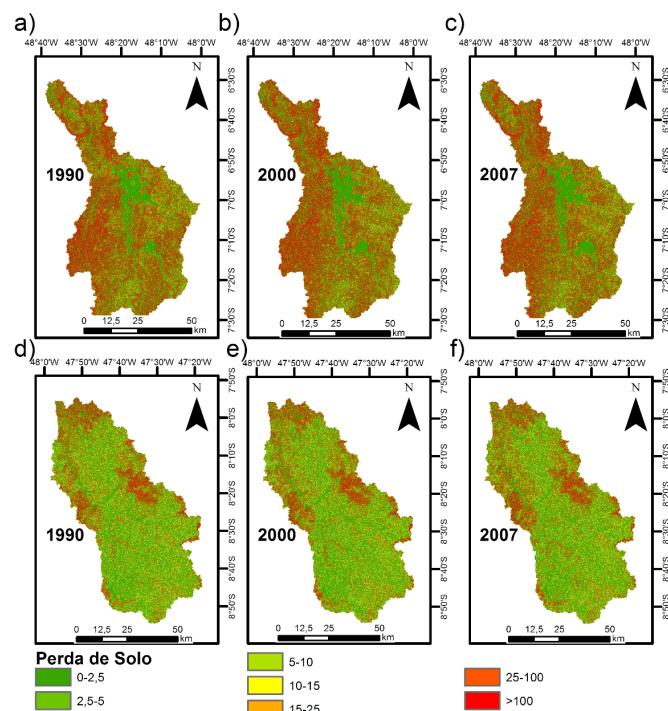
Por outro lado, a bacia do rio Manoel Alves Pequeno é coberta em sua maioria por paisagens de vegetação preservada, entre cerrado, corpos d'água, mata e vereda, em um percentual que varia de 82,7 a 88,3% nos anos estudados, e com valor predominante do Fator C de 0,042, em mais de 62% da área da bacia. Este valor refere-se ao cerrado, que por sua vez tem por características principais a presença de camadas de árvores e de arbustos e ervas, todos bem definidos, apresentando árvores baixas, inclinadas e tortuosas, com uma distribuição espacial irregular, não sendo de cobertura contínua (SEPLAN, 2012).

A bacia do rio Lontra, devido ao uso intensivo de grande parte de sua área (58,5%) pela pecuária, torna-se mais propícia a erosão, com pontos críticos distribuídos ao longo de toda a extensão de sua área. Em contrapartida, a bacia do rio Manoel Alves Pequeno possui pontos críticos para a geração do processo erosivo em uma área de aproximadamente 17% da área total da bacia, localizada predominantemente na faixa que vai da região norte para o oeste. O Fator C merece especial atenção por se tratar do único fator possível de ser modificado visando a conservação do solo. Os demais fatores não permitem a interferência, pois dizem respeito a aspectos climáticos e características físicas da bacia. Nessa perspectiva, a bacia do rio Lontra apresentou mais da metade de sua área total com considerável potencial erosivo, necessitando de um planejamento adequado do uso e ocupação do solo para a sustentabilidade do mesmo.

Na Figura 6 é possível observar a evolução da distribuição espacial da taxa de erosão média anual, em um período de 17 anos, para a Bacia Hidrográfica do Rio Lontra.

A perda de solo calculados pela RUSLE classificados em intervalos de classes qualitativas (Tabela 1), vão desde “suave” a “extremamente alta”, conforme classificação proposta por Avanzi et al. (2013).

Em relação às taxas de perda de solo na bacia do Rio Lontra verificou-se que o percentual de área da bacia na classe “suave” nos anos de 1990, 2000 e 2007, foi de 51,1, 51,1 e 51,3%, respectivamente, demonstrando a baixa taxa de erosão na bacia do rio Lontra. Esse resultado pode ser explicado principalmente pelos baixos valores do Fator LS,



**Figura 6.** Distribuição espacial da taxa de erosão média anual ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) no período de 1990, 2000, e 2007, nas Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra (a, b, c) e Manoel Alves Pequeno (d, e, f).

**Tabela 1.** Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Lontra e classes qualitativas de acordo com a classificação proposta por Avanzi et al. (2013).

Perdas de solo $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Área (%)			Classes qualitativas de perda de solo
	1990	2000	2007	
0-2,5	51,1	51,1	51,3	Suave
2,5-5	1,1	1,0	1,0	Suave/moderada
5-10	2,2	2,1	2,1	Moderada
10-15	2,1	2,0	2,0	Moderada/Alta
15-25	3,9	3,7	3,7	Alta
25-100	16,2	15,2	15,3	Muito Alta
>100	23,6	24,9	24,6	Extremamente alta

que apresentou valores entre 0 a 2 em mais de 78% da área total da bacia, o que significa predominância de relevo plano.

Na Figura 6A, 6B e 6C pode-se observar que os pontos críticos de maior erosão estão distribuídos ao longo de toda a bacia, com maior ocorrência em uma faixa que se estende da região norte até o oeste, isso pode ser justificado pela contribuição de uma série de fatores intervenientes no processo erosivo, tais como, “muito alta” erosividade da chuva nessa região, com valores acima de  $12.900\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$  e grande ocorrência de solos altamente erodíveis: Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo, com valores de erodibilidade variando entre 0,031 e 0,057  $Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ , e o predomínio do uso do solo por pastagens, que foi a atividade de maior propensão a erosão identificada nas bacias (Fator C de 0,220). Existem alguns pontos de maior declividade localizados ao norte, no município de Araguanã, e ao oeste, em Carmolândia e Aragominas, classificados como “montanhoso” e “escarpado”, contribuindo para a elevação da taxa de erosão nessas regiões. Nesse sentido identifica-se a necessidade de investimentos em conservação dos solos nessas regiões, com a adoção de técnicas úteis de atenuação da erosão, tais como terraceamento, plantio em nível, dentre outras, realizadas em terrenos declivosos com o objetivo de minimizar o processo erosivo. Por outro lado, verificou-se que na região central da bacia ocorrem as menores taxas de erosão, com a predominância da classe de erosão “suave-ondulado”. Isso ocorre devido principalmente ao relevo plano destas áreas, nas quais o Fator LS variou de 0 a 2, e também devido à cobertura do solo predominantemente por matas, com Fator C de 0,09.

De acordo com as Figura 6D, 6E e 6F e Tabela 2, os resultados referentes à perda de solo na bacia do rio Manoel Alves Pequeno evidenciaram que o somatório do percentual das áreas das classes “suave”, “suave/moderada” e “moderada”, em 1990, 2000 e 2007, foram de 68,3, 68,0 e 67,2%, respectivamente. Isto mostrou o reduzido potencial da erosão hídrica na maior parte da bacia em todos os anos estudados. Além disso, verificou-se que as classes de perda de solo “alta”, “muito alta” e “extremamente alta” estão presentes em menos de 26,4% da bacia; contudo, de 1990 a 2007, houve o aumento de 1,4% da área referente a essas classes, devido ao avanço da pecuária sobre o cerrado.

**Tabela 2.** Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves Pequeno e classes qualitativas, adaptadas de Avanzi et al. (2013).

Perdas de solo Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Área (%)			Classes qualitativas de perda de solo
	1990	2000	2007	
0-2,5	52,3	52,2	52,0	Suave
2,5-5	6,0	5,9	5,7	Suave/moderada
5-10	10,0	9,9	9,6	Moderada
10-15	6,7	6,6	6,4	Moderada/Alta
15-25	7,3	7,3	7,2	Alta
25-100	11,8	12,0	12,5	Muito Alta
>100	5,9	6,2	6,7	Extremamente alta

Destaca-se que, em 1990 cerca de 11,6% desta bacia estava ocupada por pastagens e 67,2% correspondia ao cerrado, porém em 2007 a pecuária saltou para 17,3% e o cerrado caiu para 62,3%.

Diante desses resultados, pode-se afirmar que a bacia do rio Manoel Alves Pequeno apresentou menor susceptibilidade à erosão hídrica quando comparada à bacia do rio Lontra. Isso pode ser justificado pelos seguintes fatores: predominância de valores baixos do Fator K, variando de 0,0092 a 0,017 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, classificado como erodibilidade “muito baixa” e “baixa”; Fator LS com intervalo de 0 a 2 em mais de 78% da área total da bacia, o que significa a predominância de um relevo plano; além de boa conservação da paisagem natural da bacia (cerrado, corpos d’água, mata e vereda), nos anos de 1990 (88,3%), 2000 (86,2%) e 2007 (82,7%).

Em contrapartida, existem pontos críticos de erosão localizados no extremo norte, leste e oeste dessa bacia, conforme Figura 6, apresentando perda de solo classificada como “extremamente alta”. Essas altas taxas de perda de solo nesses pontos são justificadas pelos seguintes fatores: erosividade da chuva “muito alta”, acima de 11.500 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, erodibilidade do solo indicada como “alta” a “muito alta”, com a presença dos solos Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico ao norte, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico ao leste, e Neossolo Litólico ao oeste, com valores de erodibilidade variando de 0,031 a 0,057 Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Além disso, as porções norte e oeste têm a predominância do uso do solo pela pecuária, com Fator C de 0,22, contribuindo para a geração de sedimentos, enquanto que a porção leste da bacia apresentou maior declividade, classificada como “ondulado” a “forte-ondulado”, com declividade de 8,1 a 45%. As ações de planejamento sustentável visando a mitigação da erosão nessa bacia devem reconsiderar o uso do solo nas classes de solos mais erodíveis (norte e oeste), buscando uma cobertura vegetal que os proteja do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial, além da adoção de medidas de atenuação da erosão por meio de técnicas de terraceamento, plantio em nível, dentre outros, para regiões mais declivosas (leste).

Olivetti (2014) avaliando a distribuição espacial da erosão na sub-bacia do ribeirão Caçus-MG encontrou

resultados que evidenciam que aproximadamente 82,3% da bacia apresentou as classes de perda de solo “suave” e “moderada” e as classes “alta”, “muita alta” e “extremamente alta” representaram cerca de 3,2% da bacia, indicando que a bacia se encontra em bom estado de conservação. A bacia do rio Manoel Alves Pequeno, mesmo alcançando o melhor resultado entre as bacias estudadas, ainda difere bastante dos resultados encontrados por Olivetti (2014), com um percentual de aproximadamente de 57,7% da área total com taxas de perda de solo classificadas como “suave” e “suave/moderada” e algo em torno de 26,4% nas classes “alta”, “muita alta” e “extremamente alta”.

No trabalho de Durães & Mello (2016) no qual foi estimada a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí-MG por meio da RUSLE, os autores encontraram resultados coerentes aos do presente trabalho para a bacia do rio Lontra. Para o rio Sapucaí as classes de erosão “suave” e “suave/moderada” totalizaram 52,3%, enquanto que para o rio Lontra foram de 47,94%. Já para as classes “alta”, “muito alta” e “extremamente alta” os totais foram de 39,4 e 43,6%, respectivamente.

De modo geral, as taxas de perda de solo de ambas as bacias não sofreram variações expressivas ao longo dos anos de 1990, 2000 e 2007. Isto pode ser justificado pelo baixo índice de variações no uso/cobertura do solo nesse período. Contudo, foi possível verificar que a bacia do rio Lontra, de 2000 a 2007, obteve uma redução de 0,3% das áreas que apresentavam classe de erosividade “extremamente alta”, devido principalmente ao recuo das áreas de agropecuária em 0,9% nesse período. Já na bacia do rio Manoel Alves Pequeno, de 1990 a 2007, houve o aumento gradual da taxa de erosão, sendo que as classes denominadas “alta”, “muito alta” e “extremamente alta” passaram de 25 para 26,4%, devido principalmente ao aumento da atividade pecuária nessa bacia.

Estabelecendo um comparativo entre os resultados das duas bacias estudadas, nota-se que as alterações na cobertura do solo influenciaram na perda de solo pela erosão hídrica, uma vez que os dados indicaram que a bacia do rio Lontra, antropizada em mais de 55% de sua área, apresentou os maiores índices de perda de solo, com mais de 43% da área com as classes qualitativas de perda de solo “alta”, “muito alta” e “extremamente alta”. Isto alerta para a necessidade do planejamento sustentável do uso e ocupação do solo, visando minimizar o processo erosivo na referida bacia. Ressalta-se que, com a expansão da fronteira agrícola em direção ao norte do Tocantins, usos do solo tais como culturas anuais e silvicultura tendem a integrar a paisagem das bacias estudadas, demandando o desenvolvimento de novos estudos que possibilitem minimizar os impactos negativos provocados pela erosão hídrica.

## Conclusões

A RUSLE/SIG mostrou-se bastante eficiente no que se refere a integração dos dados para a identificação e

caracterização das áreas de maior vulnerabilidade ao processo erosivo nas bacias analisadas, com agilidade e eficiência na geração dos resultados.

A alteração do uso do solo no período avaliado refletiu diretamente nas taxas de erosão. Na bacia do rio Lontra, a modificação do uso do solo ocasionou um acréscimo nas taxas de perdas de solo entre os anos 1990 e 2000. Entretanto, de 2000 a 2007 houve uma leve redução destas taxas, ocasionada pela redução das áreas de pastagens. Já para a bacia do rio Manoel Alves Pequeno, em ambos períodos avaliados, verificou-se um aumento das taxas de erosão hídrica, provocado pelo aumento progressivo da atividade pecuária na bacia. Entretanto, a bacia do rio Manoel Alves Pequeno apresentou menores valores globais de perdas de solo do que a bacia do rio Lontra.

Com o avanço da fronteira agrícola para o norte do Tocantins, onde se localizam as bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, a inserção de culturas anuais em vastas áreas pode resultar em maiores perdas de solo, sobretudo nos locais de maior vulnerabilidade identificados no presente estudo. Isto alerta para a necessidade de adoção de medidas de atenuação da erosão por meio de técnicas de terraceamento, plantio em nível, sistema plantio direto, integração lavoura-pecuária, dentre outras.

## Literatura Citada

- Alatorre, L. C.; Beguería, S.; Vicente-Serrano, S. Evolution of vegetation activity on vegetated, eroded, and erosion risk areas in the central Spanish Pyrenees, using multitemporal Landsat imagery. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.36, n.3, p.309-319, 2011. <https://doi.org/10.1002/esp.2038>.
- Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Norton, L. D.; Beskow, S.; Martins, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. *Ciência e Agrotecnologia*, v.37, n.5, p.427-434, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000500006>.
- Bakker, M. M.; Govers, G.; van Doorn, A.; Quetier, F.; Chouvardas, D.; Rounsevell, M. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology*, v.98, n.3-4, p.213-226, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.12.027>.
- Baldissera, G. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2005. 132p. Dissertação Mestrado. <http://www.pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/dissertacoes/62-gisele-cristina-baldissera>. 22 Dez. 2016.
- Baptista, G. M. M. Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação. Brasília: Editora Universa, 2003. 140p.
- Beskow, S.; Mello, C. R.; Norton, L. D.; Curi, N.; Viola, M. R.; Avanzi, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, v.79, n.1, p.49-59, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>.
- Borges, K. M. R.; Carvalho Júnior, O. A.; Martins, E. S.; Gomes, R. A. T.; Guimarães, R. F. Vulnerabilidade natural: A perda de solo da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da equação universal de perda de solos. *GEOgraphia*, v.14, n.27, p.101-125, 2012. <https://doi.org/10.22409/geographia.v14i27.522>.
- Carvalho, F. H. Uso do modelo SWAT na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do Cerrado brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília, 2014. 152p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.unb.br/handle/10482/17371>. 17 Dez. 2016.
- Durães, M. F.; Mello, C. R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.21, n.4, p.677-685, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>.
- Durães, M. F.; Mello, C. R. Hydrosedimentologic disturbance index applied to watersheds of Minas Gerais state. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.1, p.61-67, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000100007>.
- Engel, B. Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) and the ArcView. Purdue: Purdue University, 2003. <https://goo.gl/DSrnK7>. 05 Dez. 2016.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations – FAO. Conventional ploughing erodes the soil – zero - tillage is an environmentally - friendly alternative. In: International Conference on Conservation Agriculture, 2001, Madrid. Proceedings Madrid: FAO, 2001. p.1-5.
- Farinasso, M.; Carvalho Júnior, O. A.; Guimarães, R. F.; Gomes, R. A. T.; Ramos, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI/MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.7, n.2, p.73-85, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.80>.
- Ferreira, V. M.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Oliveira, A. H.; Silva, M. A.; Avanzi, J. C. Influência antrópica e atributos de solo: relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. *Geografia*, v.36, n.1, p.209-219, 2011. <https://goo.gl/ZWQpjG>. 05 Dez. 2016.
- 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, n.6, p.355-359, 1981. <http://www.jswconline.org/content/36/6/355>. 18 Dez. 2016.
- Herrera, D. J. M. Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento. Brasília: Universidade de Brasília, 2013. 120p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.unb.br/handle/10482/13465>. 22 Dez. 2016.
- Marinho Filho, G. M. Avaliação do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio formoso através da aplicação da equação universal de perda de solo. Gurupi: Universidade Federal do Tocantins, 2014. 52p. Dissertação Mestrado. <http://hdl.handle.net/11612/63>. 12 Dez. 2016.

- McCool, D. K.; Brown, L. C.; Foster, G. R.; Mutchler, C. K.; Meyer, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, n.30, p.1387-1396, 1987. <https://doi.org/10.13031/2013.30576>.
- Mello, C. R.; Viola, M. R.; Beskow, S.; Norton, L. D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, v.202-203, p.88-102, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.009>.
- Melo, A. B. C.; Cavalcanti, I. F. A.; Souza, P. P. Zona de convergência intertropical do atlântico. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Dias, M. A. F.; Justi, M. G. A. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina do Texto, 2009. p.26-41.
- Moore, I. D.; Burch, G. J. Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of the ASABE*, v.29, n.6, p.1624-1640, 1986. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>.
- Oliveira, F. G.; Seraphim, O. J.; Borja, M. E. L. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. *Energia na Agricultura*, v.30, n.3, p.302-309, 2015. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p302-309>.
- Oliveira, V. A.; Mello, C. R.; Durães, M. F.; Silva, A. M. Soil erosion vulnerability in the Verde River Basin, Southern Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.3, p.262-269, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000300006>.
- Olivetti, D. Modelagem temporal e especial da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Caçus, Alfenas, MG. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas, 2014. 66p. Dissertação Mestrado. <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/569>. 11 Dez. 2016.
- Özcan, M. M.; Ünver, A.; Uçar, T.; Arslan, D. Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chemistry*, v.106, n.3, p.1120-1127, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.042>.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p.185-204, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>.
- Renard, K. G.; Foster G. A.; Weesies, D. 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, DC: USDA, 1997. 404p. (USDA. Agriculture Handbook, 703). [https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/rusle/ah\\_703.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/rusle/ah_703.pdf). 05 Nov. 2016.
- Sá, M. A. C.; Lima, J. M.; Curi, N.; Massaroto, J. A.; Marques, J. J. G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.691-699, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700011>.
- Secretaria de Planejamento - SEPLAN. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. 6.ed. Palmas: SEPLAN, 2012. 80p. <https://goo.gl/vFK22C>. 05 Nov. 2016.
- Silva Ferreira, A.; Francisco, C. N. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu - RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. Anais. Natal: INPE, 2009. p. 3777-3784.
- 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.5-13, 2008. [https://www.scipedia.com/wd/images/8/82/Draft\\_Content\\_899107259Marco-da-Silva.pdf](https://www.scipedia.com/wd/images/8/82/Draft_Content_899107259Marco-da-Silva.pdf). 21 Dez. 2016.
- Silva, A. M.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Avanzi, J. C.; Ferreira, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>.
- Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Oliveira, A. H.; Avanzi, J. C.; Norton, L. D. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.2, p.160-172, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200007>.
- Sousa, F. H. M. Regionalização de Thornthwaite e Mather para o Estado do Tocantins. Gurupi: Universidade Federal do Tocantins, 2016. 118p. Dissertação Mestrado.
- Viola, M. R.; Avanzi, J. C.; Mello, C. R.; Lima, S. O.; Alves, M. V. G.; Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49, n.2, p.125-135, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000200007>.
- Viola, M. R.; Mello, C. R.; Giongo, M.; Beskow, S.; Santos, A. F. Modelagem Hidrológica em uma Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Rio Araguaia, TO. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v.3, n.3, p.38-47, 2012. <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/302>. 15 Nov. 2016.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington DC: USDA, 1978. USDA. (Agriculture Handbook, 537). <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>. 10 Dez. 2016.