



Previsão da perda de solo na sub-bacia do Ribeirão Moreira utilizando geoprocessamento e o modelo USLE ⁽¹⁾.

Thiago Henrique Arbués Botelho⁽²⁾; Simone de Almeida Jácomo⁽³⁾; Nori Paulo Griebeler⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia; Universidade Federal de Goiás; Goiânia, Goiás; thiago2012arbo@hotmail.com; ⁽³⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia; Universidade Federal de Goiás; Goiânia, Goiás; ⁽⁴⁾ Professor Associado III da Escola Agronomia; Universidade Federal de Goiás; Goiânia, Goiás;

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estimar as perdas de solo por erosão laminar, na sub-bacia do Ribeirão Moreira, em diferentes classes de solos, relevo, uso e manejo. A área de estudo está localizada no Município de Cristalina/GO e vem sendo ocupada, nas últimas décadas, por extensas áreas de agricultura e pastagem, com alta concentração de pivôs de irrigação. Essa área de trabalho foi definida em razão da disponibilidade de dados e importância agropecuária para o Estado de Goiás. Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi utilizado para a espacialização das informações, análise qualitativa e quantitativa dos resultados. A sub-bacia apresentou 35 % de relevo ondulado (com declividade média de 12 %), erosividade média de (8078,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), valor médio do fator topográfico LS (3,6), bem como, valores relevantes de potencial natural de erosão (PNE) e perda de solo (A). A silvicultura foi capaz de manter as perdas de solo abaixo do limite tolerável (10 t ha⁻¹ ano⁻¹).

Termos de indexação: Erosão; SIG; Conservação de solo e água.

INTRODUÇÃO

A região de Cristalina/GO apresentou um incremento nas atividades agropecuárias com uso intensivo de insumos, agricultura tecnificada e mecanizada e isso, vem ocasionando impactos de diversas ordens. Geralmente, estão associados a esses impactos, problemas relacionados ao uso inadequado da água e a ocupação indevida do solo, o que pode contribuir para degradação desses recursos por erosão, provocando prejuízos de ordem econômica, social e ambiental (Rodrigues, 2005).

Nesse sentido, a quantificação da erosão do solo pode ser utilizada como ferramenta para o planejamento conservacionista, sendo o uso adequado da terra o primeiro passo para a conservação do solo (Pruski, 2009). Quantificar as perdas de solo em função de processos erosivos é importante não somente para a identificação de áreas críticas, mas também para recomendação das práticas conservacionistas mais adequadas aos diferentes cenários de uso antrópico (Silva, 2004).

Desse modo, a simulação computacional para predição da erosão do solo é uma forma prática de avaliar o comportamento desse fenômeno, pois simula perdas de solo em diferentes usos agrícolas e de práticas conservacionistas (Pruski, 2009).

Diversos modelos de simulação para a predição de erosão do solo vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados nas últimas décadas, dentre eles, a USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Quando espacializada por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem sido usada para gerar estimativas iniciais de perdas de solo em bacias hidrográficas (Lopes et al., 2009; Magalhães et al., 2012; Miqueloni et al., 2012). Estudos recentes consideram a USLE e seus fatores como uma ferramenta de boa aplicabilidade para estimativa da erosão, uma vez que fornece parâmetros para o planejamento do uso e ocupação do solo (Simões, 2013; Botelho, 2015).

Quanto à utilização prática dos resultados da USLE e/ou de seus fatores para efetuar recomendações conservacionistas a campo, no manejo de áreas cultivadas, pouco se relata na literatura. Assim, considera-se que os resultados desse trabalho possam estimar as perdas de solo por erosão laminar, auxiliando no manejo conservacionista de áreas agrícolas como no caso do município de Cristalina/GO, reconhecido internacionalmente por sua agricultura irrigada por meio de pivôs centrais.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se como área de estudo a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Moreira, com uma área de drenagem de aproximadamente 154 km², desaguando no rio Samambaia, a uma distância aproximada de 40 km da cidade de Brasília-DF. A altitude média é de 957 m, variando entre 836 e 1249 m, com declividade média de 7,3 %. A característica climática da área estudada é do tipo Aw (Köppen), com temperatura média anual de 23 °C e precipitação pluvial média anual de 1.483 mm, com as chuvas concentradas no período entre novembro e abril. As classes de solos que predominam na sub-bacia são Cambissolos, Latossolos e Plintossolos, distróficos,



com textura variando de muito argilosa a cascalhenta, sobre relevo suave-ondulado a ondulado (Goiás, 2005). O uso da área de estudo é constituído principalmente por pastagens cultivadas e naturais.

A USLE (equação 1), foi utilizada para estimar as perdas de solo provocadas pelas erosões laminar e em sulcos, em relação a fatores que representam o clima, o solo, a topografia, o uso e o manejo do solo, bem como a adoção de práticas conservacionistas de suporte (Pruski, 2009).

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

em que A = perda de solo média anual ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), R = erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); K = erodibilidade ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); L = comprimento da vertente (adimensional); S = declividade da vertente (adimensional); C = uso e manejo do solo (adimensional) e P = práticas conservacionistas (adimensional).

A erosividade (R) foi calculada utilizando-se a equação 2, desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

$$R = 67,355 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

em que R = média mensal do índice de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); p = média mensal de precipitação (mm); e P = média anual de precipitação (mm).

Os dados pluviométricos mensais foram obtidos da rede de postos da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da plataforma hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>), selecionando-se dez estações mais próximas da área estudada. Valores de erodibilidade (K) foram compilados da literatura em relação ao mapa pedológico da área, sendo usado um valor médio de K para a associação de solos. O fator topográfico (LS) foi calculado respectivamente por meio das equações 3 e 4, propostas por Desmet e Govers (1996) e Nearing (1997):

$$L = \frac{(A_{ij} + D^2)^{m+1} - (A_{ij})^{m+1}}{\alpha_{ij}^m \times D^{m+2} \times 22,13^m} \quad (3)$$

$$S = -1,5 + \left[\frac{17}{1 + e^{(2,2 - 6,1 \sin \theta)}} \right] \quad (4)$$

em que A_{ij} = área de contribuição para cada célula, fluxo acumulado, (m^2); m = coeficiente de ajuste (adimensional); D = tamanho do pixel da grade do Modelo Digital de elevação – MDE (m); α_{ij} = ângulo da direção do fluxo, a partir do ângulo de aspecto (rad); θ = ângulo de declividade (rad).

Para o cálculo do fator LS foram utilizados dados de altitude (MDE) obtidos do banco de dados geomorfométricos do Brasil, por meio da plataforma topodata, (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>). O MDE utilizado possui resolução espacial de

aproximadamente 30 m. Também foi utilizada uma cena do OLI/Landsat 8, de 5 de janeiro de 2014. O mapa de Uso e Cobertura do Solo (UCS) foi gerado a partir de classificação supervisionada por pixel. Os valores do fator C foram obtidos dos estudos propostos por Stein et al. (1987), Silva (2004) e Miguel (2010), associados às classes de UCS. Já o fator P foi obtido a partir dos estudos adaptados para o Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Os resultados da USLE foram avaliados por meio de amostragem de pontos. As perdas de solo foram classificadas a partir de chaves de interpretação e limiares de tolerância de perdas de solo para os principais tipos de solo da área estudada, segundo com Bertoni e Lombardi Neto (2010). As perdas de solo foram ranqueadas em classes de potencial à erosão, conforme Valério Filho (1994) e Carvalho (2008). O Potencial Natural de Erosão (PNE), em $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, foi obtido pelo produto dos fatores R, K, L e S.

Os fatores (R, K, L, S, C e P) foram analisados de acordo com os procedimentos da estatística descritiva, referentes às medidas de tendência central e variabilidade, quanto às estimativas de perda de solo (PNE e A).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do Ribeirão Moreira apresentou erosividade média de $8078,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, possuindo erosividade forte, de acordo com Carvalho (2008). A erodibilidade média foi de $0,019 t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, sendo classificada como média, conforme sugerido por Mannigel et al. (2002). O valor médio do fator LS foi 3,6, sendo que 46,7 e 21,2 % do total da área da sub-bacia corresponde as classes de LS (1 a 5) e acima de 5, respectivamente. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), valores de LS acima de 5 são considerados moderados. Os maiores valores de LS foram verificados na meia encosta em direção ao terço inferior da sub-bacia, onde há convergência de fluxo, bem como altas declividades. O mapa do fator topográfico (LS) apresentou semelhanças com os mapas do potencial natural de erosão (PNE) e perdas de solo (A), bem como, com o mapa de declividades. O intervalo de declividades (3 a 8 %) foi o mais expressivo, ocorrendo em 44 % da área.

Os maiores valores de PNE variaram entre 6,7 e $130,170 t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com média aritmética de $567 t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, desvio padrão de $300 t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e coeficiente de variação de 188 %. De acordo com classificação proposta por Valério Filho (1994), aproximadamente 60 % da área apresentou PNE fraco, ou seja, baixo (Figura 1a).

Os maiores valores médios de PNE (779,91 e $672,66 t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), foram associados às unidades



de mapeamento de solos com fator K de 0,024 e 0,019, respectivamente. O maior valor de erosividade média também foi encontrado para a associação (Cambissolos + Plintossolos, com $K = 0,024$). Contudo, os dois maiores valores médios do fator LS (4,39 e 3,97) foram observados para as associações com fator K de 0,019 e 0,024, respectivamente. Apesar da sensível diferença entre os valores do fator LS, o PNE foi maior na associação em que houve aumento de erosividade e erodibilidade. A associação composta principalmente por Cambissolos e Plintossolos, com fator $K=0,024$, está correlacionada com maiores altitudes e declividades, sobre relevo ondulado e forte ondulado, correspondendo a 11,1 % dos solos da sub-bacia.

Utilizando a chave de interpretação adaptada por Carvalho (2008), foi possível observar que aproximadamente 35 % da sub-bacia possui perda de solo (erosão atual) classificada como nula a pequena (Figura 1b) De modo que, ao contrário, em 65 % da área, a perda de solo foi moderada a muito forte. Silva (2004) constatou que apenas 33 % da área apresentou perdas de solo superiores a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em um estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Paracatu, no vale do São Francisco.

A sub-bacia apresentou maior percentual de pastagem (33%), sendo que a perda média de solo nesta classe foi $66,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já para a classe cerrado, que ocupou aproximadamente 20 % da área, a perda média de solo foi $43,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Contudo, para a silvicultura, apenas 3 % da área total, a perda média de solo foi de $4,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, abaixo do limite médio de tolerância estabelecido por Bertoni e Lombardi Neto (2010). As perdas de solo abaixo de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podem ser verificadas mais comumente nas áreas compostas por Latossolos em relevo plano a suave ondulado, cuja declividade média foi em torno de 3 %. Estes solos são profundos, bem drenados, com maior grau de desenvolvimento e resistência à erosão em relação aos Cambissolos. A perda média de solo por erosão atual (A) é inferior a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ somente para declividades de até 3 %, cujo fator L médio foi inferior a 2,00 e o fator S médio foi inferior a 0,21, em todas as sub-bacias avaliadas.

Quase de 35 % da área possui perda de solo abaixo de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, classificada como nula a pequena, segundo Carvalho (2008). As perdas de solo abaixo de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podem ser verificadas mais comumente nas áreas compostas por Latossolos em relevo plano a suave ondulado, cuja declividade média foi em torno de 3,0 %. Estes solos são profundos, bem drenados, com maior grau de desenvolvimento e resistência à erosão em relação aos Cambissolos.

No extremo sul da sub-bacia do Ribeirão Moreira existe uma área ocupada por mineração onde o solo

encontra-se totalmente exposto. A resposta do modelo nessa área resultou em valores de perda de solo muitos elevados, quase $500 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Consequentemente, isso promoveu um risco erosivo muito forte, por serem regiões consideradas altamente erodíveis com valores de C e P iguais à unidade.

CONCLUSÕES

A maior variabilidade das perdas de solo foi atribuída aos fatores: topográfico (LS), uso e manejo do solo (CP). O fator topográfico tem maior influência no potencial natural erosivo, principalmente quando o relevo foi ondulado, seguido pelo fator erodibilidade, quando o relevo foi plano a suave ondulado.

Apenas para a classe silvicultura, a perda média de solo foi abaixo do limite médio de tolerância, em razão ao tipo de relevo da sub-bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFG.

REFERÊNCIAS

a. Periódicos:

- DESMET PJJ, GOVERS G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J Soil Water Conserv.* 1996; 5:427-33.
- LOMBARDI NETO F, MOLDENHAUER WC. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas-SP. *Bragantia.* Campinas. 1992; 51:189-96.
- LOPES JAA, BIAS ES, RIBEIRO RJ C. Aplicação da USLE para avaliação de perdas de solo no município de Águas Lindas de Goiás-GO. *Geografia.* 2009; 34:347-69.
- MAGALHÃES IAL, NERY CVM, ZANETTI SS, PENA FER, AVELINO RC, SANTOS AR. Uso de geotecnologias para estimativa de perda de solo e identificação das áreas susceptíveis a erosão laminar na sub-bacia hidrográfica do Rio Vieira, município de Montes Claros, MG. *Cad Geoci.* 2012; 9:74-84.
- MANNIGEL AR, CARVALHO MP, MORETI D, MEDEIROS LR. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scient.* 2002; 24:1335-40.
- MIQUELONI DP, BUENO CRP, FERRAUDO AS. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. *Pesq Agropec Bras.* 2012; 47:1358-67.
- NEARING MA. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. *Soil Sci Soc Am J.* 1997; 61:917-9.
- RODRIGUES W. Valoração Econômica dos Impactos Ambientais de Tecnologias de Plantio em Região de Cerrados. *R Econ Sociol Rural.* 2005; 43:135-53.
- SILVA VC. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). *Pesq Agropec Trop.* 2004; 34:147-59.

VALÉRIO FILHO M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: Pereira VP, Ferreira ME, Cruz MCP, editores. Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal: FCAV/UNESP/SBCS; 1994. p.223-42.

b. Dissertação:

BOTELHO THA. Disponibilidade e aplicabilidade de dados espaciais na caracterização e quantificação de perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Samambaia, Goiás [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2015.

MIGUEL P. Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS/Pablo Miguel – Santa Maria [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2010.

SIMÕES HDG. Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo: aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) [dissertação]. Castelo Branco: Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Castelo Branco; 2013.

c. Livro:

BERTONI J, LOMBARDI NETO F. Conservação do solo. 7ª. ed. São Paulo: Ícone; 2010.

CARVALHO NO. Hidrossedimentologia Prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência; 2008.

PRUSKI FF. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2ª. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV; 2009.

d. Internet:

GOIÁS. Secretaria de Estado de Indústria e Comércio – SIC. Mapa de Solos, escala: 1:250.000 [internet]. Goiânia, GO: Secretaria de Estado de Indústria e Comércio; Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, UFV, Ruralminas, modelagem, alimentação do SIG e edição das cartas; 2005 [acesso em 10 ago 2013]. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br>.

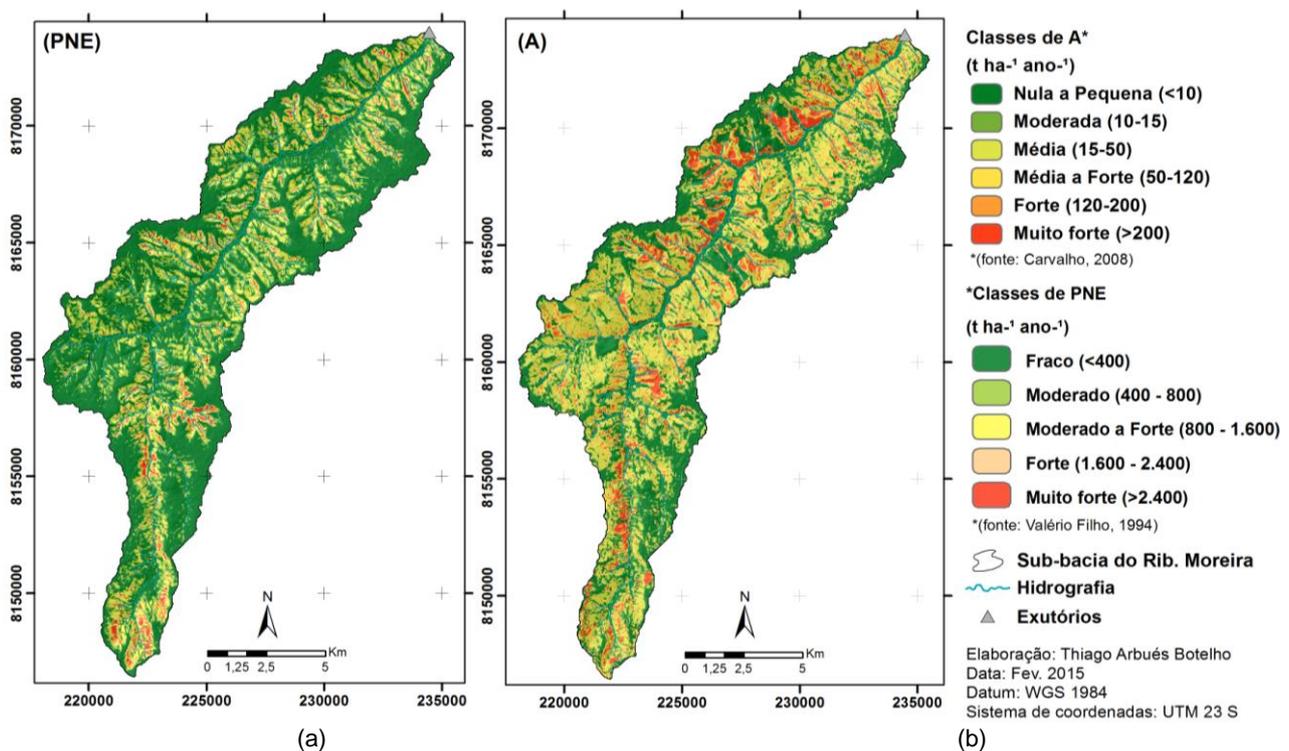


Figura 1 – Potencial Natural de Erosão – PNE (a) e Perdas de solo – A (b) na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Moreira

**XXXV Congresso
Brasileiro de
Ciência do Solo**

CENTRO DE CONVENÇÕES - NATAL / RN



**O SOLO E SUAS
MÚLTIPLAS FUNÇÕES**
02 a 07 DE AGOSTO DE 2015