Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental

Integrating GIS and USLE for soil loss mapping in environmental protection area

Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho[1,2]; Fabio Martins Ayres[1]; Teodorico Alves Sobrinho[2]

[1]Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), Avenida Tamandaré, 6000, Caixa Postal 549, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS. E-mail: fernandojcmf@hotmail.com;
[2]Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, MS.

Recebido em: 06/11/2013 Aceito em: 27/03/2014

Resumo. O uso de geotecnologias no planejamento ambiental tem sido instrumento amplamente utilizado. Nesse estudo utilizou-se de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) para o processamento da Equação Universal de Perda de Solos (USLE), para avaliação dos processos erosivos em área de proteção ambiental. Embora a USLE tenha o objetivo quantitativo de estimar a perda anual média de solo por erosão hídrica, o trabalho utilizou-se de dados para mapeamento das áreas vulneráveis ao processo erosivo. O uso integrado de SIG com a USLE facilita o planejamento e a tomada de decisões na proposição de medidas adequadas no plano de manejo para promover a conservação da água e do solo em unidades de conservação ambiental.

Palavras-chave: erosão; planejamento ambiental, vulnerabilidade ambiental.

Abstract. The use of geotechnologies at environmental planning has been widely used instrument. The study uses Geographic Information System (GIS) and the Spatial Language for Algebric Geoprocessing to the processing of Universal Soil Loss Equation (USLE), with aim to evaluate the erosion processes in the area of environmental protection of a watershed. Although the equation has been developed with the quantitative goal of estimating the average annual loss of soil by erosion, the study uses datas to identify areas susceptible to erosion. It can be concluded that the integrated use of GIS with USLE facilitates planning and decision making in proposing appropriate measures in the management plan to promote the conservation of water and soil in environmental conservation units.

Keywords: erosion, environmental planning, environmental vulnerability.

Introdução

O uso de geotecnologias é instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. A utilização de SIG destaca-se como ferramenta para mapear e obter respostas às várias questões sobre levantamento de dados do meio físico e planejamento ambiental, principalmente ao descrever os mecanismos das mudanças no meio ambiente, além de auxiliar no planejamento e manejo dos recursos naturais existentes.

Com a instituição do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, no ano de 2000, foi consolidado o plano de manejo como ferramenta no processo de planejamento e gestão ambiental para todas as categorias de unidades de conservação, determinando que as unidades de conservação devam dispor de um plano de manejo e definiu a abrangência e os prazos de sua elaboração.

Embora seja obrigatório a elaboração e a implementação dos planos de manejo no Brasil, a realidade demonstra que essa ferramenta não está consolidada, pois se estima que apenas cerca de 15% do total de Unidades de Conservação no país possuem plano de manejo aprovado e atualizado. Essa realidade revela o problema de planejamento na gestão dessas áreas, que se traduz em desafios a serem superados pelos órgãos gestores (Medeiros e Pereira, 2011). Tais conselhos, regra geral, não possuem corpo técnico local capacitado e com recursos apropriados.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

A Área de Proteção Ambiental (APA) é exemplo de Unidade de Conservação, entretanto apresenta certa ocupação humana, pois o domínio da terra pode ser público ou privado. Porém, existem restrições quanto ao uso do solo e dos recursos naturais com o objetivo de disciplinar o extrativismo na APA. A região em estudo tem como principal atividade econômica a pecuária extensiva. Portanto, a gestão e o uso inadequado dos solos representam ameaça para essas áreas devendo, de acordo com Pandey et al. (2007), ser tomado como prioridade medidas adequadas de planejamento para evitar a erosão e promover a conservação do solo e da água.

Este trabalho apresenta a aplicabilidade de geotecnologias, com uso do SIG *Spring* e da USLE no levantamento de dados para o diagnóstico do meio físico da região, necessário para o Plano de Manejo de Unidades de Conservação. A USLE é um modelo empírico para o estudo da erosão do solo ainda amplamente aplicado (Dissmeyer & Foster, 1981; Renard et al., 1997 e Oliveira et al., 2011a). Os valores de perda de solo têm sido utilizados como planejamento ambiental e agrícola para identificar as áreas com riscos de erosão em bacias hidrográficas (Zhang et al., 2004).

O estudo de caso teve como objetivos: avaliar o uso de geotecnologias na integração SIG e USLE para mapear a perda de solo em área de proteção ambiental; identificar as regiões susceptíveis aos processos erosivos, bem como, verificar a utilidade do levantamento dos parâmetros da USLE como subsídio aos conselhos gestores de unidades de conservação na elaboração de planos de manejo.

Material e Métodos

Área de Estudo

A APA da Bacia do Córrego Ceroula, com área de 670 km^2, situada no município de Campo Grande, MS, é um divisor de águas entre as bacias dos rios Paraguai e Paraná e está localizada entre as coordenadas de latitudes 20° 29’ S a 20° 06’ S e longitudes 54° 52’W a 54° 26’W.

Equação Universal de Perda de Solos (USLE)

A USLE caracteriza-se por estabelecer estimativas de perda média anual de solo por erosão laminar (Kinnell, 2010). Conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), o modelo integra seis fatores do processo erosivo (Equação 1).

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

Em que: A = perda média anual de solo por unidade de área (Mg ha^{-1} ano^{-1}); R = erosividade da chuva (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}); K = erodibilidade do solo (Mg h MJ^{-1} mm^{-1}); LS=fator topográfico (adimensional); C = uso e manejo do solo (adimensional) e P = práticas conservacionistas (adimensional).

Erosividade da Chuva

O Fator R erosividade da chuva, representado pelo índice EI_{30}, é um índice numérico que expressa duas características da chuva: a energia cinética da gota da chuva e sua intensidade com potencial de causar erosão em áreas sem proteção. O índice EI_{30}, para Campo Grande, MS, foi definido por Oliveira et al. (2013) e pode ser estimado pela Equação 2.

$$R=139.44\ (p_i^2\ P^{-1})^{0.6784} \quad (2)$$

Em que: R = fator erosividade, (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}); p_i = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

Erodibilidade do Solo

Utilizou-se neste estudo os valores de erodibilidade de acordo com Brasil (1997) na escala de 1:250.000 (Tabela 1), que estão diretamente relacionados ao mapeamento dos solos da área de estudo. Oliveira et al. (2011a) também utilizaram esses valores de erodibilidade para propor uma metodologia de zoneamento ambiental em função de perdas de solo.

A ferramenta de edição vetorial foi utilizada para classificar os diferentes tipos de solo contidos na área do estudo a partir do mapa do Macrozoneamento Geoambiental (Mato Grosso do Sul, 1989). Após isto foi feita a análise na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). Posteriormente, foram associados os valores da erodibilidade do Tabela 1 aos polígonos vetorizados e classificados de acordo com as classes de solos obtendo, então, o mapa de erodibilidade dos solos (Fator K).

Fator Topográfico

A carta topográfica Campo Grande, Folha SF 21-X-B-II na escala 1:100.000, foi vetorizada de acordo com suas cotas equidistantes de 40 m e pontos cotados em um plano de informação (MNT),

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

criando amostras com os respectivos valores altimétricos. Assim foi possível gerar uma grade retangular, que foi processada no software USLE-2D. O Fator L (Equação 3) foi calculado pela divisão da área de contribuição em relação à largura ao longo do fluxo que pode passar dentro de uma célula. Essa largura depende da direção do fluxo, calculada pelo aspecto da direção (Desmet e Govers, 1996). Foi utilizada por Oliveira et al. (2011a) em área de proteção ambiental, além de ser justificado esse método por Oliveira et al. (2010) para áreas com declividades baixas, caso da área em estudo. Em que: Li,j = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j), Ai,j = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2), D = tamanho da grade de células (m), xi,j = valor da direção do fluxo e m = coeficiente dependente da declividade.

O cálculo do expoente (m) da Equação 3 foi realizado de acordo com Wischmeier e Smith (1978), sendo S<1 %, m = 0,2; 1 %≤S ≤3 %, m = 0,3; 3 % < S ≤ 5 %, m = 0,4; e S>5 %, m = 0,5.

Para o cálculo do Fator S foi utilizada a metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978): Sws = 65,41sen2 θ + 4,56senθ + 0,065, em que: θ = ângulo (em graus) da encosta.

$$Li,j = [(Ai,j + D2)m+1 – (Ai,j)m+1]/[xi,jm\ Dm+2\ (22,13)m] \quad (3)$$

Tabela 1. Tipos de solos na APA e valores do Fator K (Mg h MJ^{-1} mm^{-1}).

Reclassificação EMBRAPA (2009)	Classes de solo EMBRAPA (1983 e 1986)	Nomenclatura	Erodibilidade Brasil (1997)
Latossolo Vermelho Distrófico	Latossolo Roxo Distrófico	LRd1; LRd2; LRd3; LRd7	0,01223
	Latossolo Roxo Álico	LRa1	0,01223
	Latossolo Vermelho-Escuro Álico	LEa11	0,01630
Neossolo Quartzarênico Órtico	Areias Quartzosas Álicas	AQa3; AQa3; AQa7	0,04580
Gleissolo Melânico	Glei Pouco Húmico Distrófico	HGPd6	0,00102
Neossolo Litólico	Litólico Eutrófico	Re4	0,05090

Uso do Solo e Práticas Conservacionistas

As áreas de vegetação, para adoção dos valores da variável C, foram levantadas por meio de técnicas de geoprocessamento e inter-relacionadas em função do uso e ocupação do solo. Adaptado de Wischmeier e Smith (1978). Adotou-se C = 4 $.10^{-5}$ para área de vegetação de porte alto a médio com cobertura total do terreno (categoria Floresta ou Cerradão); C = 7. 10^{-4} para vegetação de porte médio a baixo com cobertura total do terreno (categoria Cerrado) e valor C = 0,01 para vegetação de porte baixo a rasteiro com cobertura parcial do terreno (categoria Pastagem ou Agricultura). Neste estudo de caso adotou-se o fator P = 1, como sendo constante, pois assim é possível determinar a capacidade de uso e manejo permissível por representar a pior situação de perdas de solo em função da ausência de práticas conservacionistas.

As imagens CBERS (CBERS 2B; Sensor CCD; Órbita 163; Ponto 123; 24/04/2009) foram incorporadas ao banco de dados do projeto por meio do software IMPIMA, para serem georreferenciadas. Após o georreferenciamento, as imagens foram importadas para um plano de informações no banco de dados onde foi feita a composição RGB/432 utilizando a ferramenta contraste para processamento da imagem, objetivando melhorar sua visualização.

Para classificar os tipos de uso e ocupação do solo, usou-se a segmentação para o processamento da imagem, pois ao considerar as características de refletância espectral da vegetação, solo e água, os tipos amplos de feição são separáveis espectralmente.

Posteriormente foi utilizado o método de Crescimento de Regiões, que envolve o agrupamento de dados de forma espacial. Os valores de Similaridade e Área (pixels) foram respectivamente 10 e 20, foram testados e obtiveram a melhor espacialização em relação à imagem

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

CBERS utilizada com o classificador Isoseg no limiar de aceitação de 75%.

Integração SIG e USLE no mapeamento da perda de solos

Os fatores da USLE foram harmonizados utilizando-se a rotina LEGAL. Com essa rotina foi gerada a grade para a perda de solo na área de estudo e, posteriormente, fatiada de acordo com a classificação sugerida por Bertoni & Lombardi Neto (2005), que avalia o grau de risco à erosão em função da perda de solo entre muito baixo até muito alto. Após criar o mapa da perda de solo foram feitas visitas nos locais que apresentaram processos erosivos, com registro fotográfico, para avaliar a resposta do modelo em relação à atual situação da área.

Resultados e Discussão

Fator R

Os valores da erosividade média anual não variaram significativamente na APA, entre as estações meteorológicas Jaraguá, Santa Elisa e DNOS-8DRS, variando em torno de 9%. No entanto, a estação Jaraguari apresentou elevada erosividade média anual, comparada aos valores das demais estações, chegando superar 16,8% a menor erosividade. As estações apresentam regime hidrológico muito semelhante, onde a sazonalidade dos períodos condiz com o clima da região, tornando assim confiável a utilização das mesmas.

Silva (2004) a partir de 1.600 estações pluviométricas em todo o Brasil, obteve valores de erosividade variando entre 3.116 a 20.035 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. Oliveira et al., (2012) encontraram valores entre 4.147 a 11.374 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} para o estado de Mato Grosso do Sul. Em estudo na APA do Lageado, também no município de Campo Grande, MS, o valor de erosividade foi de 6.515 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ (Oliveira et al., 2010). Para Campo Grande, MS, em estudos mais recentes, Oliveira et al. (2013) encontraram valores de R de 9.872 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. Verifica-se que esses valores condizem com os calculados para a APA, entre 6.326 MJ mm ha^{-1} h^{-1} e 7.388 MJ mm ha^{-1} h^{-1}, obtidos com dados de estações meteorológicas na APA.

Fator K

Em estudo de Silva et al. (1999), os valores de K mínimo de 0,002, médio de 0,011 e máximo de 0,034 forma encontrados. Assim, os dados apresentados neste trabalho enquadram-se dentro do esperado para solos brasileiros.

Pode-se afirmar que há predominância de Latossolo Vermelho Distrófico, correspondendo a aproximadamente 74% da área total, seguido pelo Neossolo Litólico com 12% e de Neossolo quartzarênico órtico também com 12%. Os menos erodíveis são os Latossolos, pois são mais intemperizados. À medida que o grau de maturidade e profundidade vai diminuindo, o grau de erodibilidade vai aumentando que, de acordo com Tomazoni e Guimarães (2005), é o caso dos Neossolos.

Fator LS

Nota-se a predominância de áreas com declives entre 0 e 3%, correspondendo a 327,8 km^2, sendo classificadas, de acordo com IBGE (2007), como relevo plano, cuja superfície de topografia é lisa ou horizontal. As áreas com maior propensão a erosão devido à declividade, classificadas como montanhosas (acima de 45%), correspondem a 1,9 km^2.

A maior parte da APA tem como classe de declividade a faixa de 0 e 3%, considerada declividade plana. Entretanto, no centro–leste da APA, onde as altitudes são maiores, os valores de declividade estão entre 20% e 45% e também valores acima de 45%, demonstrando que a área apresenta encostas íngremes. Esta característica, a de encostas íngremes, segundo Pruski et al. (2004), é prejudicial, pois quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento superficial da água e menor a infiltração. Dessa forma, maior será capacidade de desagregação e arraste de partículas de solo, causando a erosão e transportando sedimentos às redes de drenagem.

Fator C

O produto dos valores C reflete ao grau de interferência do homem quanto à sua ocupação na área, que também passou por todo o processamento da imagem com a análise em LEGAL. Em relação ao uso e manejo de solos na área, há predominância por atividades de pastagem e agricultura em 54% da área em estudo, enquanto que área de florestas e cerradão totalizaram 34% (Tabela 2).

As áreas com maior propensão a erosão, devido à baixa capacidade de proteção, são as de pastagens e agricultura, com valores de C de 0,01,

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

correspondendo a 54,2% da área da APA. Já as regiões de Floresta e Cerradão, com o valor de C de 0,00004, que oferece ótima proteção ao solo, corresponde a 34% da área da APA. Com valores de C de 0,0001, a região de Cerrado oferece proteção mediana aos solos, que corresponde apenas à 11,8% da APA em estudo. Esses valores de C estão entre as faixas utilizadas por Tomazoni e Guimarães (2005). O uso inadequado do solo gera problemas ambientais e acelera o processo de perda de solo, reduzindo a produtividade agrícola e causando o assoreamento dos corpos d'água cujos efeitos podem comprometer o abastecimento de água de uma região.

Tabela 2. Tipos de Uso e Manejo do Solo e suas respectivas áreas.

Tipos de Uso e Manejo do solo		**Área (km²)**	**Área (%)**
Grupo	**Categoria**		
1. Vegetação de porte alto a médio com cobertura total do terreno	Floresta	163,9	28,5
	Cerradão	31,9	5,5
2. Vegetação de porte médio a baixo com cobertura total do terreno	Cerrado	68,0	11,8
3. Vegetação de porte baixo a rasteiro com cobertura parcial do terreno	Pastagem Agricultura	312,2	54,2

Mapeamento da perda de solo

Cerca de 3% da área apresenta risco à erosão entre alto e muito alto, sendo que 1% corresponde às perdas de solo maiores que 16 Mg ha^{-1} ano^{-1}. Aproximadamente 88% da área apresentam valores de perda de solo considerados baixo (Tabela 3). Esses valores foram espacializados para criar o mapa que identifica áreas mais suscetíveis à erosão (Figura 1).

Tabela 3. Valores calculados de perda de solo na área e Classes de Risco à Erosão.

Classes de Risco à Erosão (*)	**Perda de Solo ($Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$)**	**Área (km²)**	**Área (%)**
Muito Baixo	0 a 1	388,1	67,6
Baixo	1 a 4	122,7	21,4
Médio	4 a 8	47,0	8,2
Alto	8 a 16	12,2	2,1
Muito Alto	> 16	4,3	0,8

(*) conforme Bertoni e Lombardi Neto (2005)

Pode-se estimar que na APA em estudo, considerando os maiores valores de perdas de solos de cada classe, ocorre perda de 1.544 Mg ano^{-1}, representando perda média de 3,0 Mg ha^{-1} ano^{-1}. Oliveira et al. (2011a) obtiveram, também, valores semelhantes para a perda média anual em duas outras APAs no mesmo município (APA do Guariroba e APA do Lageado, Campo Grande, MS).

As áreas críticas, com maior risco à erosão, estão localizadas em pontos nas regiões noroeste, centro e centro sul. Toda a região central da APA é caracterizada por altos valores do fator LS, ou seja, são áreas com declividade acentuada e grandes comprimentos de rampa. Entretanto, nota-se que apenas alguns pontos têm potencial de perda de solo alto e muito alto, isso se deve ao fato de que boa parte dessa região apresenta baixos valores do fator CP, com proteção ao solo, basicamente com vegetação de porte alto e médio, composto por florestas e cerrado. Porém, existem alguns pontos com o uso e ocupação do solo inadequado com áreas de agricultura e pastagem. Os pontos críticos com riscos à erosão alto e muito alto (Tabela 3 e Figura 1) foram identificados a campo, para avaliar a resposta do modelo USLE. Foi observada, em campo, a falta de práticas conservacionistas, como terraceamento.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

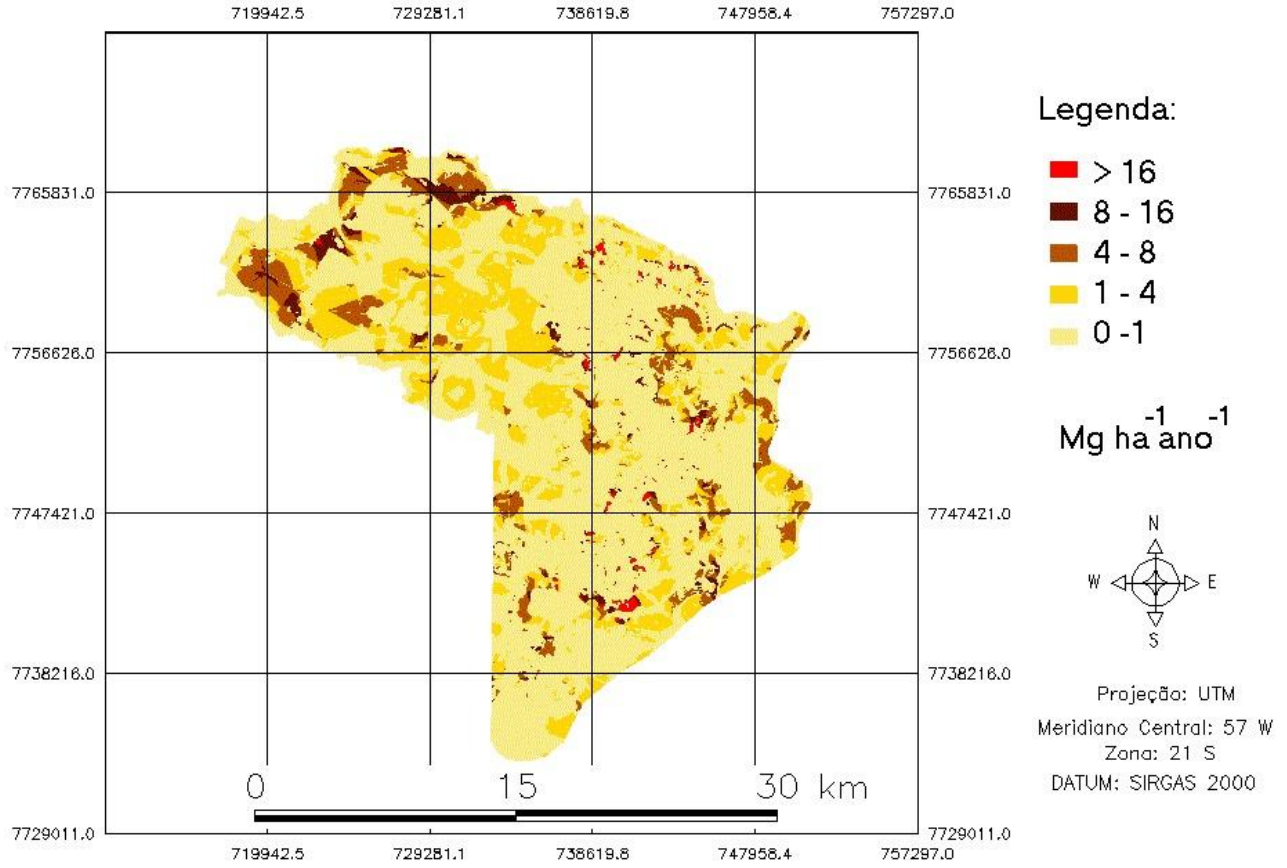

Figura 1. Mapa temático do risco à erosão, segundo o modelo USLE.

A região noroeste apresenta relevo mais plano, com declividades e comprimentos de rampa menos acentuados, ou seja, o fator LS menor, além de uso e ocupação do solo por pastagem e agricultura. No entanto, o fator R apresenta maiores valores, entre 6.800 e 7.400 $mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, o que leva a valores de perda de solo maiores e com grau de risco à erosão para alto e muito alto. Oliveira et al., (2012) também encontraram valores maiores de erosividade nessa região.

O levantamento dos fatores da USLE mostra-se como excelente meio de obter dados necessários para o diagnóstico físico do plano de manejo de Unidades de Conservação. As características hidrológicas da região podem ser avaliadas pelo fator R e o relevo com o fator LS, identificando áreas mais íngremes. Ainda, pode ser verificado o tipo de solo da região e, consequentemente, a aptidão agrícola pelo fator K e os usos e manejos do solo pelo fator C.

Outra possibilidade é utilizar a USLE como ferramenta para o programa Produtor de Água (Chaves et al., 2004) da Agência Nacional de Águas (ANA). O fator P pode ser utilizado para avaliar as medidas conservacionistas e posteriormente realizar o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em função da adoção de medidas adequadas que minimizem a perda de solo e água (Oliveira et al., 2011b), promovendo maior interesse, conscientização e, consequentemente, maior participação por parte da população da região.

Conclusões

A partir da integração de SIG com a USLE, verifica-se que penas 2% da área da bacia apresenta valores altos de perdas de solos com risco alto e muito alto de erosão, com perdas de solo maiores que 16 $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

O uso integrado de SIG com a USLE facilita o planejamento e a tomada de decisões de uso e ocupação do solo e na proposição de medidas adequadas no plano de manejo para a conservação do solo e da água.

O levantamento dos fatores da USLE mostra-se como excelente meio de obter dados necessários para o diagnóstico físico do plano de manejo tanto de Áreas de Proteção Ambiental como de qualquer outra Unidade de Conservação.

O mapeamento da perda de solo, identificando áreas susceptíveis ao processo erosivo, é ferramenta de planejamento ambiental para os órgãos gestores e administradores de APA com possibilidade de ser utilizada também por programas de Pagamento por Serviços Ambientais.

Referências

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ed. Ícone, Piracicaba, 2005. 368 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP. Brasília, DF: PNMA, 1997. 376 p.

CHAVES, H.M.L.; BRAGA JR., B.; DOMINGUES, A.F.; SANTOS, D.G. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do "Programa do Produtor de Água" (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.9, n.3, p.5-14, 2005.

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**, v.51, n.5, p.427-433, 1996.

DISSMEYER, G.E.; FOSTER, G.R. Estimating the cover management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. **Journal of Soil and Water Conservation,** v.36, n.4, p.235–240, 1981.

EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2009. 412 p.

IBGE. Manual de Pedologia. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro. 2007. 316p.

KINNELL, P.I.A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. **Journal of Hydrology**, v.385, n.1, p.384-397, 2010.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento. Macrozoneamento geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS: SEPLAN/FIPLAN, 1989, 242 p.

MEDEIROS, R; PEREIRA, G. S. Evolução e implementação dos planos de manejo em parques nacionais no estado do Rio de Janeiro. **Revista Árvore,** v.35, n.2, 279-288, 2011.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resources Management**, v. 25, n.3, p.1021-1036, 2011a.

OLIVEIRA, P.T.S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Zoneamento Ambiental aplicado à Conservação do Solo e da Água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.35, n.5, p.1723-1734. 2011b.

OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.1, p. 69-79, 2012.

OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Estimativa do fator topográfico da USLE a partir de três algoritmos. **Revista Ambiente & Água**, v.5, n.2, p.217-225, 2010.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review**. Catena**, v.100, n.1, p.139–147, 2013.

PANDEY A; CHOWDARY V.M; MAL B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resources Management**, v.21, n.4, p.729–746. 2007.

PRUSKI, F.P.; BRANDÃO, V.S; SILVA, D.D. Escoamento Superficial. Viçosa: UFV. 2004. 87 p.

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**. In: U.S. Department of Agriculture. Handbook. Washington: USDA. 1997. 404 p.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brasil. **Catena**, v.57, n.3, p.251–259. 2004

SILVA M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA M.M.; LIMA, J.M.; FERREIRA, D.M. Proposição de Modelos para Estimativas da Erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2287-2298. 1999.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E. A Sistematização dos Fatores da USLE em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia,** v.57, n.3, p.235-244, 2005.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** U.S. Department of Agriculture, Handbook. 1978. 537 p.

ZHANG, X.; SHAO, M.; LI, S.; PENG, K. A review of soil and water conservation in China. **Journal of Geographic Sciences**. v.14, n.3, p.259-274, 2004.