

Simulação de cenários de perda do solo por erosão laminar na região metropolitana de Goiânia.

Gabriella Santos Arruda de Lima¹
Nilson Clementino Ferreira¹
Hugo José Ribeiro¹
Sérgio Henrique de Moura Nogueira²

¹ Universidade Federal de Goiás - UFG
Campus Samambaia (Campus II)
CEP 74001-970 – Caixa Postal: 131 – Goiânia – GO, Brasil
gabibela_1@hotmail.com; {nclferreira, hgribeiroge}@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás
Campus Samambaia, LAPIG, Goiânia – GO, Brasil
serque@gmail.com

Abstract. Erosion is a major source of danger to soils. It is caused by natural agents, like rain, cause damage to crops, soil exhaustion, siltation and pollution of watersheds. Such processes are intensified, in the metropolitan region of Goiânia, by the removal of native vegetation and establishment of pastures and crops. The Universal Soil Loss Equation (USLE), applied by the use of the Geographic Information Systems (GIS), allows to estimate erosion in varying land use conditions. USLE was selected as a methodology with the objective of evaluating the erosive susceptibility to the current ground use and also for the remaining vegetation scenarios transformed into agriculture and pasture, comparing their values to predict how the conversion of environmental asset can collaborate for the occurrence of erosion. Considering that the whole metropolitan area of Goiânia, these ensuing scenarios were simulated: Current, Pasture and Agriculture. The erosive susceptibility to pasture was increased to almost five times and Agriculture over 130 times compared to the Current Scenario. It was observed that the simulated scenarios resulted in an increase of the average soil loss of 3.33 t.ha⁻¹.year⁻¹ and 14.3 t.ha⁻¹.year⁻¹ for Pasture and Agriculture, respectively. The results indicate that the conversion of environmental liabilities demonstrates a significant increase in erosive susceptibility.

Palavras-chave: laminar erosion, USLE, anthropization, erosão laminar, EUPS, antropização.

1. Introdução

O transporte de partículas de solos causado pela ação do vento e da água produzem vários tipos de erosão, sendo uma delas a laminar, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1993). De acordo com Ranieri et al. (1998) entre os principais fatores que induzem esse processo estão a erosividade da chuva, erodibilidade dos solos e características do relevo e ainda a ocupação e formas de uso do solo. Em função da sua localização e os elevados índices pluviométricos, no Brasil a erosão hídrica é predominante (Pruski, 2009).

O intenso uso da terra no estado de Goiás para a agricultura e pecuária, sem planejamento e práticas conservacionistas adequadas, pode contribuir para cenários de insustentabilidade ambiental (Ferreira et al, 2009). Na região metropolitana de Goiânia, devido ao intenso processo de urbanização e uso do solo para desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais, vem ocorrendo importantes e profundas alterações do ambiente natural. Com a mudança do uso da terra a infiltração do solo fica reduzida aumentando o escoamento superficial, podendo causar enchentes e a erosão do solo. (Silva, 2015). Além disso, em regiões de grande adensamento urbano ainda ocorre o efeito de ilhas de calor, que podem alterar a intensidade pluviométrica (Teza e Baptista, 2005).

A presença de biomassa vegetal nativa controla a erosão hídrica, pois permite a interceptação pluviométrica, possibilita maior infiltração, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial, que desloca partículas de solo é reduzido (Cook e Doornkamp, 1990). Dessa forma, a presença de cobertura vegetal atua como

um dos principais fatores de controle do processo erosivo. A Equação Universal de Perda dos Solos EUPS, proposta por Wischmeier e Smith (1978) é amplamente utilizada como método de avaliação da perda de solos, podendo ser prevista para cenários hipotéticos, em processos de planejamento, permitindo uma comparação entre os distintos usos da terra (Machado et al. 2003).

Nesse sentido o estudo sobre erosão laminar do solo em regiões antropizadas se torna importante para um maior conhecimento dos agravantes que essa antropização pode causar ao solo. Esse trabalho tem como objetivo estimar a perda do solo na região metropolitana de Goiânia por meio da EUPS com o atual uso da terra e também com os cenários de vegetação remanescente transformada em agricultura e em pastagem, comparando seus valores para se prognosticar o quanto a conversão do ativo ambiental pode colaborar para a ocorrência de erosão.

2. Metodologia

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A região metropolitana de Goiânia encontra-se entre as coordenadas de latitude Sul $16^{\circ} 08'0''$ e $17^{\circ} 12'0''$ e longitude Oeste $49^{\circ} 44'0''$ e $48^{\circ} 48'0''$, conforme Figura 1.

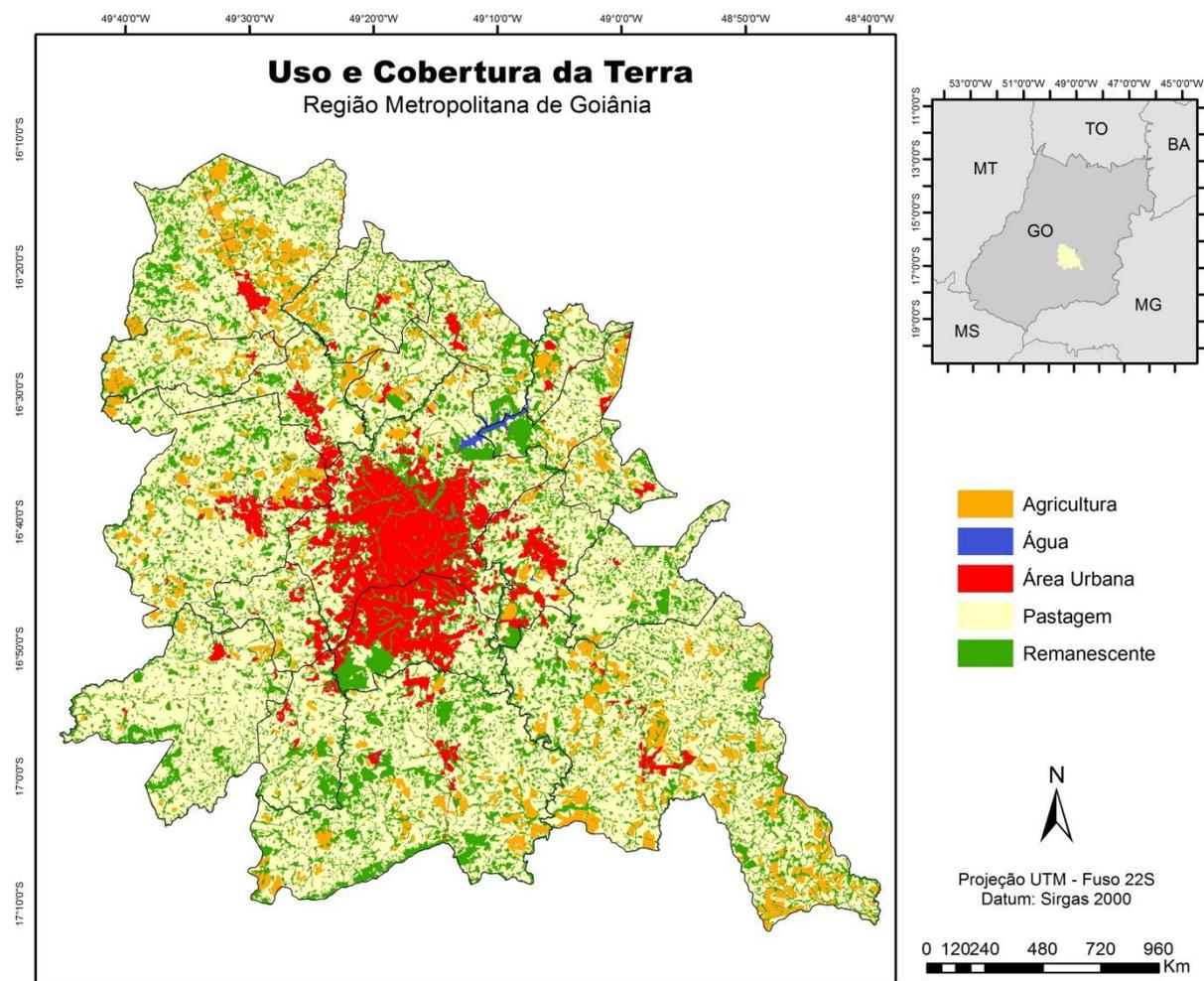


Figura 1. Localização e uso e cobertura da terra da região metropolitana de Goiânia.

A Região Metropolitana de Goiânia, com seus vinte municípios, ocupa $7.397,203 \text{ km}^2$, onde residem 2,384 milhões de habitantes, ou 35% da população e 36,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do estado de Goiás (IBGE, 2010), sendo a região de maior representatividade

demográfica, social e econômica do estado. Os solos encontrados na região predominantemente são argissolo, cambissolos, gleissolos, latossolos e neossolos (Embrapa, 1999). Nos meses de dezembro e janeiro, de maior concentração pluviométrica, a média de precipitação é de 270 mm e no período de maior seca, nos meses de junho, julho e agosto as médias pluviométricas são bastante reduzidas podendo chegar a 0 mm (INMET, 1992). O relevo é predominantemente plano a suave-ondulado com poucas áreas com declividade mais elevada. Verifica-se que a maior parte dos municípios está antropizado, as pastagens tem maior predominância em toda a região rural, com presença de agricultura distribuída, mas nota-se maior ocorrência ao norte e sul, a vegetação remanescente está presente em toda a região, mas amplamente fragmentada, por outro lado é possível observar as grandes áreas urbanizadas, principalmente, no município de Goiânia.

2.2 Materiais e métodos

A metodologia adotada para estimar a perda dos solos foi a EUPS dos autores Wischmeier e Smith (1978) com os seguintes fatores da Equação 1:

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

Sendo,

A= perda anual do solo ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R= fator erosividade da precipitação ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($\text{ton ha MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

LS = fator comprimento de rampa (adimensional);

C = fator de cobertura e manejo da cultura (adimensional);

P = fator prática de manejo (adimensional).

A erosividade da chuva (fator R) foi estimada por meio da Equação 2 proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para cálculo da média mensal do índice de erosão.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (2)$$

Sendo:

$$EI_{30i} = 67,3555 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,85} \quad (3)$$

Onde,

EI é a média mensal do índice de erosão ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{há}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);

r é a precipitação média mensal (mm);

P é a precipitação média anual (mm);

i é o índice de meses; e

R é a erosividade.

Os valores das médias de precipitações mensal e anual foram obtidos por meio do Satélite tropical de medição de precipitações (TRMM sigla em inglês) ao longo de 12 meses do ano de 2012 sendo os dados mais recentes disponibilizados pelo satélite.

A erodibilidade dos solos (fator K) foi extraída a partir da revisão bibliográfica da obra de Silva e Alvares (2005), fruto de uma compilação de dados que resultaram em uma tabela contendo os solos e os respectivos valores de erodibilidade. Para este trabalho foram selecionadas apenas as classes dos solos relevantes para a área em estudo e estão descritos conforme Quadro 1. O mapa de solos da região foi adquirido junto a Agência Ambiental.

Quadro1. Valores de Erodibilidade para classes de solo.

Solos	Fator K (erodibilidade em ton ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Argissolos	0,01990
Cambissolos	0,0182
Gleissolos	0,0279
Latossolos	0,0043
Neossolos	0,0127

Fonte: Silva e Alvares (2005), adaptado.

O fator topográfico (fator LS) foi obtido a partir do modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 30 metros adquirido a partir do projeto Topodata SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Processado no software SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) utilizando como referência a equação de Moore e Burch (1986), conforme Equação 4.

$$LS = \left(\frac{As}{22.1}\right)^m \times \left(\frac{\text{sen}\theta}{0,896}\right)^{0,6} \quad (4)$$

Onde, **As** é o produto da acumulação de fluxo pelo tamanho da célula (área de contribuição);

θ é o declive em graus; m é o comprimento do ângulo de inclinação.

Os valores de CP foram utilizados em conjunto, sendo o primeiro cobertura e manejo da cultura obtido a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra com os valores adotados da literatura de Baptista (2003) conforme Quadro 2. As práticas conservacionistas (fator P) foi adotado valor constante 1, como sendo o pior caso, onde não há práticas conservacionistas, havendo maior suscetibilidade à erosão. (Ferraz et al, 2013).

O mapa de uso e ocupação da região metropolitana de Goiânia foi elaborado a partir de imagens Landsat 8 OLI do ano de 2015 e 2016, referentes às orbitas-ponto 221-72, 222-71 e 222-72. Com o objetivo de realizar um mapeamento em escala superior a 1:100.000, foi realizada uma fusão entre as bandas multiespectrais e a banda pancromática deste sensor, com resolução espacial de 15 metros. Em seguida, tais imagens foram segmentadas no software Spring 5.2.6.1 em polígonos com áreas superiores a 6,25 ha, então se procedeu com a classificação das imagens. Por fim, foi realizada uma inspeção visual na classificação gerada para a eliminação possíveis inconsistências. Os polígonos classificados equivocadamente foram alterados manualmente. As classes consideradas foram agricultura, área urbana, vegetação savânica e pastagem.

Quadro2. Fator CP em função do uso e ocupação da terra.

Uso e ocupação da terra	Fator CP (adimensional)
Agricultura	0,12
Área urbana	0,0
Vegetação Savânica	0,0007
Pastagem	0,055

Fonte: Baptista (2003)

2.2.1 Cenários previstos para conversão da vegetação remanescente

Os fatores erosividade (fator R), erodibilidade (fator K), topográfico (fator LS), cobertura e manejo da cultura (fator CP) a partir da metodologia aplicada resultaram em rasters com resolução espacial de 30 metros, sendo gerado desta forma o mapeamento de cada um destes fatores separadamente.

De posse destes dados foram multiplicados os fatores para obtenção da susceptibilidade erosiva para a região metropolitana de Goiânia com o cenário atual de uso e ocupação da terra. Bem como foram calculadas as potenciais perdas dos solos para outros dois cenários hipotéticos, o primeiro cenário o uso do solo de áreas remanescentes são simuladas como sendo agricultura e o segundo cenário como pastagem. No Cenário Agricultura as áreas de remanescentes receberam o valor 0,12 (adimensional) e no Cenário Pastagem o valor 0,055 (adimensional).

3. Resultados e discussão

Os resultados da EUPS nesse trabalho devem ser analisados de forma qualitativa, por se tratar de uma grande área analisada. Desta forma os valores foram classificados de acordo com Perovic et al. (2013) para camadas de suscetibilidade erosiva com classificações que vão de fraca a muito severa.

A partir do mapeamento de uso da terra realizado e o processamento da EUPS inferiu-se uma área 1702,47 km² de vegetação remanescente possuindo uma perda do solo média de apenas 0,006763 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. A agricultura na região abrange uma área de 608,49 km² correspondendo a uma perda de solo de 5,98 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, a pastagem 4.298,17 km² e possui perda do solo média de 5,96 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, como pode ser verificado na Tabela 1. A diferença de área entre pastagem e agricultura é acentuada, porém apresenta susceptibilidade erosiva próxima, isso se deve aos valores do fator CP atribuído a cada uma delas.

Tabela1. Valores médios de perda dos solos

Perda dos Solos Média	Remanescente	Pastagem	Agricultura
Área (km ²)	1702,47	4.298,17	608,49
Cenário atual (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	0,006763	5,96	5,98
Área (km ²)	1702,47	6000,64	2.310,96
Cenário Hipotético (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	-	9,29	20,28

Por meio da simulação de cenários baseado na mudança de uso do solo, nota-se (tabela 01) nos valores médios de perda do solo para toda a Região Metropolitana de Goiânia, que se toda a área de remanescente (1702,47 km²) for convertida em pastagem haverá a mudança da classe fraca para a classe moderada. Sendo toda a área de remanescente convertida em agricultura a classe muda de fraca para muito alta. Representando, para área simulada como pastagem, um aumento de perda do solo de 3,33 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e para agricultura 14,3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

Segundo Tomazoni et al. (2005) a cobertura vegetal representa uma proteção natural para o solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de proteção que cada cultura oferece. Nesse trabalho isso pode ser confirmado a partir do produto dos fatores da EUPS (A= R.K.LS.CP). É possível observar na Figura 2 que a presença de vegetação

remanescente representa uma maior proteção ao solo em contrapartida as pastagens e agricultura que diminuem significativamente essa proteção.

Há uma mudança perceptível dos valores de susceptibilidade erosiva (Figura 2). No Cenário Atual pode se observar que a presença de cobertura vegetal savânica possui valores que vão de 0 a 192 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, já no Cenário Pastagem os valores aumentam para 0 a 509 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e o Cenário Agricultura que ofereceu menor proteção ao solo está entre 0 e 1.111 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os resultados apresentados indicam um controle eficiente da presença de cobertura vegetal savânica para a diminuição da susceptibilidade erosiva, devido a capacidade dessa vegetação em minimizar os efeitos do impacto das gotas de chuva sobre o solo e a melhora no escoamento superficial das águas.

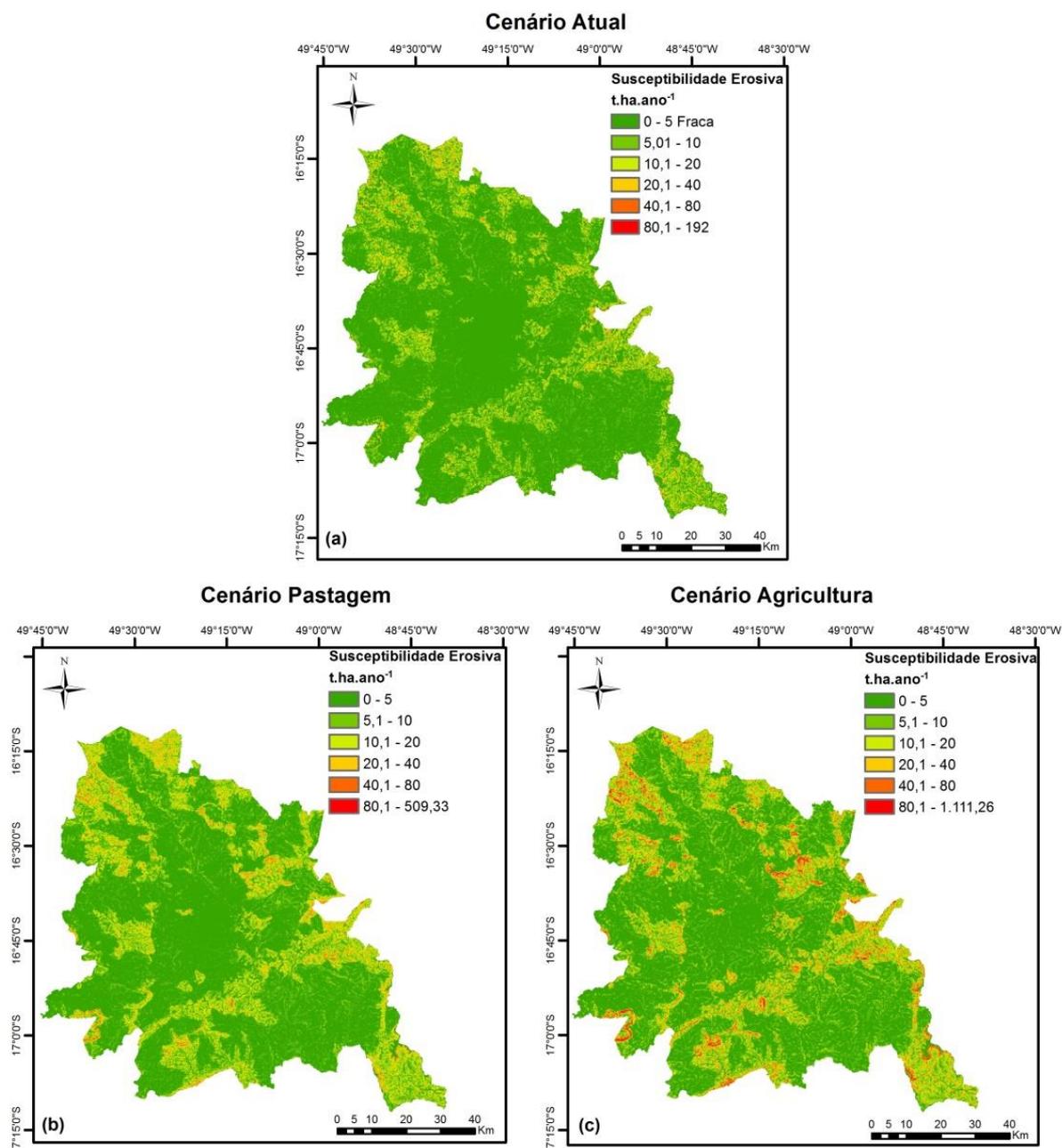


Figura 2. Mapa da distribuição espacial da susceptibilidade erosiva. (a) Situação atual (Cenário Atual); (b) Simulação para pastagem (Cenário Pastagem); (c) Simulação para agricultura (Cenário Agricultura).

Na Tabela 2 é considerada toda a área da região metropolitana de Goiânia (7.297,45 km²), onde são apresentados os valores de perda do solo para o Cenário Atual, Pastagem e Agricultura. Em todos cenários a maior parte da área (75,23%, 63,62% e 58,47% respectivamente) se encontra classificada como fraca onde a perda do solo é de até 5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e a menor parte (0,01%, 0,03% e 0,81%) classificada como Muito Severa com perda do solo maior que 80 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, na qual a área aumentou o equivalente a quase cinco vezes para o Cenário Pastagem e mais de 130 vezes para o Cenário Agricultura.

Tabela 2. Classificação do grau de erosão por cenários na região metropolitana de Goiânia.

Classes	Perda do Solo t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Cenário Atual		Cenário Pastagem		Cenário Agricultura	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Fraca	0 a 5	5.490,08	75,23	4.642,33	63,62	4.267,08	58,47
Moderada	6 a 10	909,04	12,46	1234,30	16,91	1240,36	17
Alta	11 a 20	645,27	8,84	935,70	12,82	976,32	13,38
Muito Alta	21 a 40	229,16	3,14	416,56	5,71	523,64	7,18
Severa	40 a 80	23,44	0,32	66,42	0,91	230,98	3,17
Muito severa	>80	0,43	0,01	2,12	0,03	59,04	0,81
Total		7.297,45	100	7.297,45	100	7.297,45	100

4. Conclusões

A mudança de uso e cobertura da terra representa um importante fator na perda do solo, no qual diferentes usos apresentam distintas capacidades de intensificação na susceptibilidade erosiva. Sendo que a presença de pastagem e agricultura elevam esses níveis consideravelmente, pois altera as condições naturais da cobertura vegetal e das propriedades dos solos que se tornam compactados. Para grandes áreas como a selecionada a metodologia, de estimativa de erosão laminar, adotada oferece bons resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pela concessão de bolsa de estudos e ao LEMA (Laboratório de Estudos de Monitoramento Ambiental) pela disponibilização de estrutura para realização do trabalho.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação**. Editora Universa. Brasília, DF. 2003, 140p..
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. (1993). **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo.
- Cook, R. U.; Doornkamp, J. C. **Geomorphology in environmental management**. Oxford: Clarendon, 1990.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa do Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro : Embrapa SPI, 1999. 412p.
- Ferraz et al. **Simulação de perdas de solo em função de cenários de adequação ambiental em microbacias agrícolas**. Sci. For., Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 271-282, jun. 2013

Ferreira, M. E.; Miziara, F.; Ferreira Júnior, L. G.; Ribeiro, F. L.; Ferreira, N. C. **Ativos ambientais do bioma cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 1, n. 61, p. 37-50, 2009.

IBGE. Censo demográfico 2010. **Indicadores municipais: resultados do universo.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>. Acesso em: 23 out. 2016.

INMET. **Normais Climatológicas 1961 a 1990.** INMET. Brasília, 1992.

Lombardi Neto, F. & Moldenhauer, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP).** Bragantia, Campinas, 51(2):189-196, 1992.

Machado, R. E.; Vetorazzi, C. A.; Xavier, A. C. **Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p.727-733, 2003.

Moore, I. D.; Burch, G. L. **Modeling erosion and depositon: topographic effects.** Transaction of the ASAE. v. 20, n. 6, p. 1624 –1630, 1986.

Perovic, V.; Zivotic, L.; Kadovic, R.; Dordevic, A.; Jaramaz, D.; Mrvic, V.; Mrvic, V.; Todorovic, M. **Spatial modelling of soil erosion potential in aountain watershed of South-eastern Serbia.** Environ Earth Sci. Environ Earth Sci, n.68, p.115–128, 2013.

Pruski, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In:(ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 2.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009a. p. 13-23. (cap.1).

Ranieri S.B.L. Sparovek G. Souza M.P Dourado Neto D. **Aplicação de Índice Comparativo va Avaliação do Risco de degradação das Terras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Volume 22, n. 4, Viçosa - MG, outubro a dezembro de 1998.

Silva, M.A. **Modelagem hidrológica e das perdas de solos: suas relações com a forma do relevo e uso do solo na Bacia do rio Taperoá-PB,** 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

Silva, A.M.; Alvares, C.A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. Geociências, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

Teza, C. T. V.; Baptista, G. M. de M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 8 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12,** Goiânia: INPE, 2005. p. 3911-3918.

Tomazoni, J.C.; Mantovani, L.E.; Bittencourt, A.V.L.; Rosa Filho, E.F. da. **A sistematização dos fatores da Eups em Sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR).** Estudos Geográficos, Rio Claro, v.3, n.1, p.1-21, jan./jun. 2005.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. **Predicting a rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** Washington: USDA/ARS, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook n^o 573).