



DETERMINAÇÃO DO FATOR TOPOGRÁFICO DA EQUAÇÃO DA USLE POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO - BACIA DO RIO GURGUÉIA

Miguel Farinasso^{1/2}
Renato Fontes Guimarães²
Osmar Abílio de Carvalho Junior²
Verônica Moreira Ramos²
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes³
Paulo Afonso Silva¹

¹Codevasf – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
SGAN 601- Lote I Edifício Sede Manoel Novaes-70830-091-Brasília-DF

²UnB - Universidade de Brasília - Departamento de Geografia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.

³UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Geografia
Av. Brigadeiro Trompowsky, s/n, ccmn, Bloco H, Sala 8, Ilha do Fundão, 21945-970-RJ

Miguelf@codevasf.gov.br

Palavras-chave: USLE, Fator Topográfico, SIG

Eixo temático - Análise e Diagnósticos de Processos Erosivos

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar e identificar, com a confecção de um mapa de Fator Topográfico (Fator LS) da Equação Universal de Perdas do Solo em ambiente computacional, áreas mais susceptíveis aos processos erosivos na Bacia do Rio Gurguéia, sendo esta uma sub-bacia do rio Parnaíba. Para a elaboração do mapa foram utilizadas as metodologias desenvolvidas por Desmet e Govers (1996) para a determinação do fator comprimento de rampa, a de Tarboton (1997) para o cálculo da área de contribuição, a de Wischmeier & Smith (1978) para o cálculo do fator declividade. Na determinação final do fator topográfico (Fator LS), foi uma metodologia implementada por Carvalho Junior & Guimarães, (2001) em que são gerados automaticamente estes dois fatores da fórmula, tendo como entrada de dados um Modelo Digital do Terreno (MDT). Foram elaborados o Modelo Digital de Terreno com resolução de 200 metros, o mapa de declividade e o mapa de área de contribuição, tendo como resultado o mapa de fator topográfico que delimita as áreas da paisagem mais vulneráveis a processos erosivos.



INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas que afligem os solos brasileiros é a erosão, que vem a ser um processo de degradação do solo devido aos fatores climáticos e antrópicos, em uma bacia hidrográfica, e isto tem sido um fator de grande preocupação para pesquisadores, governos e áreas afins, entidades preocupadas com o meio ambiente em geral.

Inúmeros trabalhos são voltados para a identificação de áreas de fragilidade do meio físico, fornecendo metodologias que realizam combinações entre mapas geológicos, declividade, hipsometria, vegetação e uso do solo, onde são atribuídos pesos para as classes em cada mapa específico (Xavier *et al.*, 1996; Moreira, 1999; entre outros) ou simplesmente baseada no cruzamento do mapa de declividade com mapa geotécnico (Alves e Barroso, 1999). Outros utilizam modelos matemáticos para simulação, predição e quantificação de processos erosivos, fornecendo subsídios para orientar práticas de manejo e conservação do solo.

Dentre os modelos matemáticos utilizados pode-se destacar a USLE, Equação Universal de Perdas do Solo de Wischmeier e Smith (1978), que quando tem seus resultados espacializados por Sistema de Informação Geográfica (SIG), permite estudo e mapeamento do fenômeno de erosão do solo.

No intuito de se otimizar os cálculos e espacializar informações acerca de uma região, existe uma tendência crescente do emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), visando a modelagem destes processos. Para tanto, a automatização requer que se adeque os fatores condicionantes da erosão em um modelo distribuído em forma de grade, onde no menor valor de área (*pixel*) seja reconhecido um valor específico.

Dentre as variáveis utilizadas no modelo da USLE, a que possui maior dificuldade para ser estimada em ambiente computacional é o comprimento de rampa (L) e, conseqüentemente, o fator topográfico (LS). O cálculo do fator comprimento de rampa pode ser realizado separada e manualmente. Visando automatizar o processo, várias metodologias vêm sendo propostas para obtenção destes valores da forma mais confiável possível. Dentro desta linha, Brito *et al.*, (1998), utilizaram o mapa de comprimento de rampa elaborado manualmente e o de declividade no *software* IDRISI. Cerri, *et al.*, (1998), geraram os mapas de declividade e comprimento de rampa em ambiente computacional para elaborar mapas de risco de erosão na bacia do rio Piracicaba.

Um conceito que trouxe uma nova abordagem para a estimativa do comprimento de rampa em SIG foi o de área de contribuição. Em decorrência das limitações existentes na



concepção original do comprimento de rampa, Moore & Bruch (1986) propuseram uma modelagem considerando a variável área de contribuição, a qual permite determinar com melhor acurácia os processos erosivos advindos do fluxo laminar sobre declives. Posteriormente, Desmet & Govers (1996) desenvolveram uma formulação matemática para ajuste da área de contribuição no cálculo do fator topográfico presente na USLE e Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).

Deste modo, o objetivo do presente trabalho é a obtenção do mapa de fator LS (denominado fator topográfico) a partir de uma rotina desenvolvida por Carvalho Júnior & Guimarães (2001) utilizando a metodologia proposta por Desmet & Govers (1996).

ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do rio Gurguéia é pertencente à bacia do rio Parnaíba, e nasce numa das vertentes da chapada das Mangabeiras, que tem o nome de Galhão. Trata-se de um rio extenso, com vários afluentes, sendo que os mais importantes são os rios Paraim e Contrato (Baptista, 1987).

A bacia do rio Gurguéia é considerada uma das regiões mais férteis do vale do Parnaíba, com água subterrânea em abundância, com vocação para fruticultura irrigada, tendo para tanto clima e insolação favoráveis. A vegetação característica da bacia é a de transição entre cerrados e a caatinga. Quanto à geomorfologia, na região são encontrados estruturas tabulares em forma de chapadões, caracterizados por uma superfície plana ou levemente onduladas. Do ponto de vista econômico é uma das regiões mais promissoras do estado, devido ao potencial de produção de grãos (CEPRO, 1996).

Localiza-se na parte sul da bacia do Parnaíba e na parte ocidental da região nordeste conforme como pode ser observado abaixo (Figura 1). O rio Gurguéia banha 21 municípios piauienses, dos quais sete tem suas sedes às margens do rio e os restantes espalhados pelo seu vale. Entre eles se destacam os municípios de Floriano, Corrente e Gilbuéis.

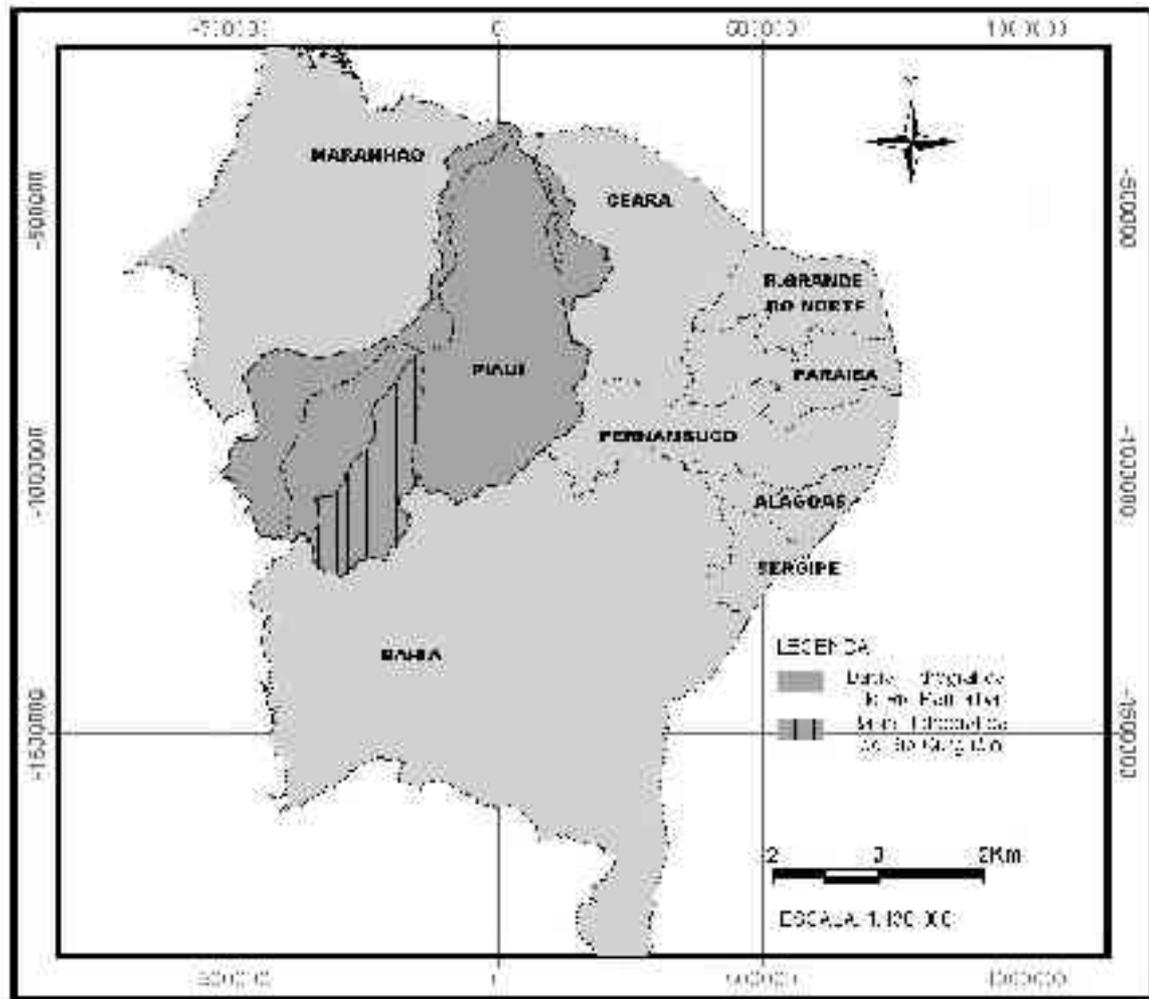


Figura 1 – Localização da Área de Estudo

METODOLOGIA

Para a confecção do mapa do fator topográfico a metodologia foi dividida em duas etapas, assim descrita: elaboração do modelo digital de terreno, determinação do mapa de fator topográfico (LS).

ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

O modelo digital de terreno (MDT) foi confeccionado a partir da Base Cartográfica Integrada ao Milionésimo do IBGE (escala de 1:1000000). Esta base contempla 46 folhas que recobrem todo o território nacional, sendo que para o presente estudo foram utilizadas 2 folhas (SB23, SC23) .



Para a elaboração do MDT, foi utilizado o módulo *Topogrid*, que é um método de interpolação desenvolvido para criação de modelos digitais de terreno. De acordo com ESRI (1993), neste método, rede de drenagem, lagos, depressões e cumes, curvas de nível e pontos cotados, são levados em consideração. Ele utiliza uma técnica de interpolação de diferença finita. O mesmo foi projetado para tirar proveito dos dados de entrada disponíveis como hidrografia e características das superfícies de elevação. Este interpolador utiliza os conhecimentos e impõe estas características no processo de interpolação, no que resulta em uma estrutura de drenagem conectada e representação mais precisa de cumes e vales. Com esta condição de drenagem imposta se produz um MDT com mais alta precisão. Levando em conta a escala de mapeamento dos dados disponíveis a dimensão do *pixel* estabelecida para o MDT foi de 200x200 m.

DETERMINAÇÃO DO MAPA DO FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

Como exposto anteriormente, dentre as variáveis da USLE, a de maior dificuldade em ser estimada em ambiente computacional é o comprimento de rampa (L), e como consequência disto o fator topográfico (LS). Este fator é obtido por meio da integração do fator comprimento de rampa (L) com o fator declividade (S), na equação do potencial erosivo (USLE).

Visando automatizar o processo, várias metodologias vêm sendo propostas para obtenção destes valores da forma mais confiável possível. Um conceito que trouxe uma nova abordagem para a estimativa do comprimento de rampa em SIG foi o conceito de área de contribuição.

Neste estudo foi utilizada uma metodologia proposta por Desmet & Govers, (1996). Estes desenvolveram um algoritmo para calcular o fator L, baseado na equação de Foster & Wichemair (1974), em que consideraram o fluxo acumulado como estimativa do comprimento de rampa. O fluxo acumulado a montante de cada *pixel* consiste na área e é denominada área de contribuição. No presente trabalho, foi utilizado um mapa de área de contribuição gerado pelo método matemático D_{∞} desenvolvido por Tarboton (1997), que calcula direção de fluxo d'água de acordo com a declividade do terreno, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas. A equação proposta por Desmet & Govers (1996) para o cálculo do fator L (comprimento de rampa) pode ser representada conforme mostrado abaixo:



$$L_{i,j} = [(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}] / [D^{m+2} \cdot x_{i,j}^m \cdot (22,13)^m]$$

Onde:

$L_{i,j}$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j)

$A_{i,j-in}$ = área de contribuição da célula em de coordenadas (i,j) (m²)

D = tamanho da célula

x = coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j)

m = coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j)

O coeficiente “m” é obtido a partir de determinadas classes de declividade sendo, no entanto, necessário que as mesmas esteja expressas em porcentagem, portanto:

m = 0,5 se declividade for > 5%

m = 0,4 para intervalo de declividade de 3 a 5%

m = 0,3 para intervalo de declividade de 1 a 3 %

m = 0,2 para declividade < 1%

Já o coeficiente de “x” é função da direção do fluxo (aspecto) e expressa uma relação do comprimento de rampa dentro da célula unitária, podendo ser obtido pela equação:

$x = \text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha$, onde:

α - é o ângulo de direção de fluxo.

De acordo com a fórmula desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), o fator de declividade (S) é função da declividade média da vertente:

$$S = 0,00654 s^2 + 0,0456 s + 0,065$$

Onde:

S = fator de declividade (adimensional)

s = declividade média da vertente (%)

Finalmente, o Fator LS (fator topográfico), é obtido pelo produto do fator de comprimento de rampa (L) pela declividade (S). No intuito de se automatizar e espacializar os cálculos definidos por Desmet & Govers (1996), neste trabalho foi empregada a



metodologia implementada por Carvalho Junior & Guimarães (2001), que consiste na utilização de um programa.

Conforme mostra a Figura 2, para esta metodologia o MDT em formato *grid* é o dado de entrada. O algoritmo gera automaticamente os dados referentes à declividade, aspecto, coeficiente “*m*”, coeficiente “*x*” e, como colocado anteriormente, para a determinação da área de contribuição foi utilizada a metodologia desenvolvida por Tarboton (1997), e esta foi incorporada ao algoritmo para a definição do Fator LS.

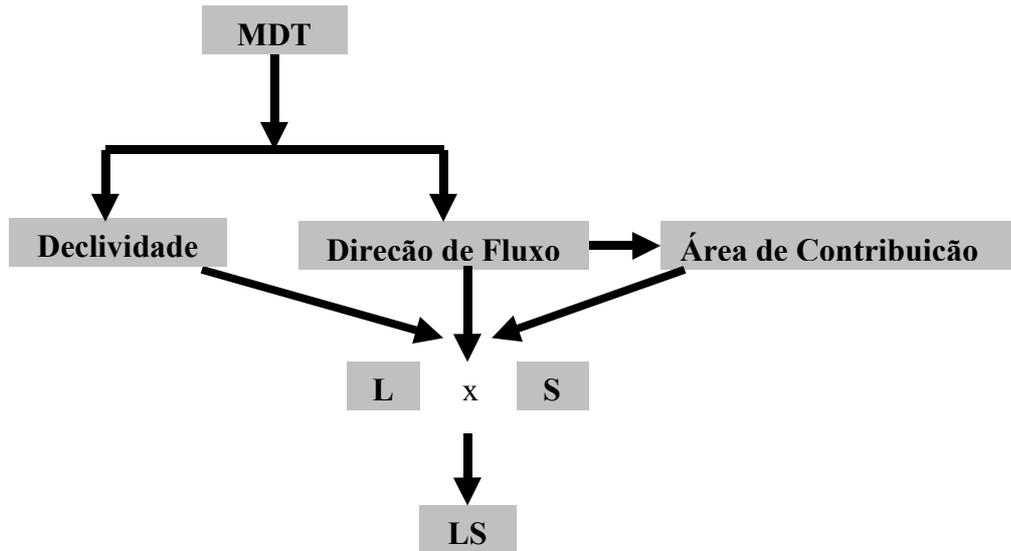


Figura 2 - Representação da metodologia usada para a obtenção do Mapa do Fator LS
(modificado de Costa, 2003)

RESULTADOS

O Modelo Digital de Terreno (Figura 3) confeccionado para a bacia do rio Gurguéia mostra as feições geomorfológicas que se caracterizam por um relevo que varia de 110 a 870 metros de altitude, formado por extensos chapadões e vales, cujo recuo das vertentes originou escarpamentos íngremes que contornam os chapadões que lhes servem como divisores. Esta porção faz parte da depressão periférica e interplanáltica do rio Paranaíba.

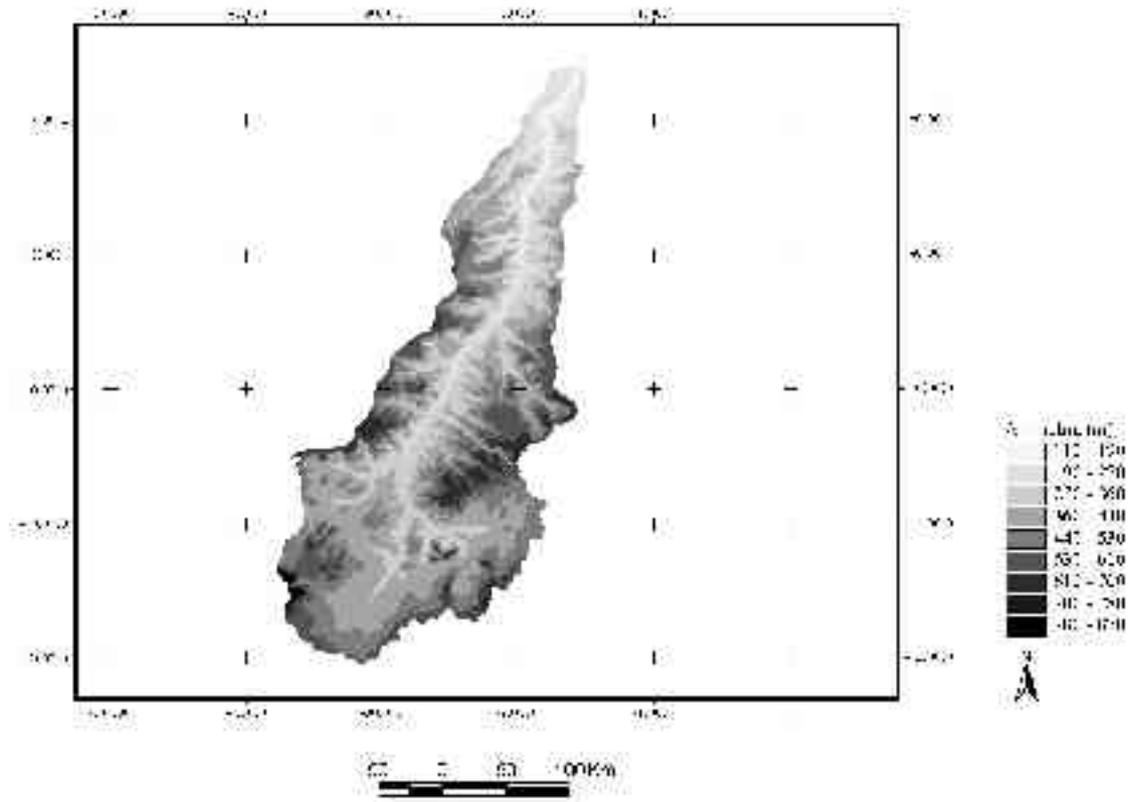


Figura 3 - Modelo digital de terreno da bacia do rio Gurguéia

A partir do MDT foram confeccionadas as cartas derivadas empregadas na modelagem do fator topográfico: declividade (s), aspecto (α) e área de contribuição (A). O mapa de área de contribuição ou mapa de fluxo acumulado (Figura 4), teve seus valores submetidos a uma função logarítmica para ressaltar as áreas de acumulação de fluxo nas encostas. Objetivando uma melhor visualização dos resultados obtidos dividiu-se o valor de áreas de contribuição em 9 classes. Comparando-se esse mapa com o modelo digital de terreno (Figura 3) verifica-se um aumento gradativo do fluxo em direção às porções do relevo que apresentam os menores índices altimétricos, ou seja, aquelas classes de elevada contribuição localizam-se, como é de se esperar, nas partes mais baixas do relevo. Por outro lado, as classes de menor contribuição são observadas nas porções do relevo que apresentam declividades elevadas (Figura 5).

O mapa de Fator Topográfico - LS (Figura 6) também foi submetido a uma função logarítmica para realçar os valores mais baixos. As áreas mais vulneráveis aos processos erosivos estão localizadas nas porções onde existe a convergência de fluxo associado às declividades mais altas (Figura 5). Pode-se observar as porções do relevo com seu respectivo grau de vulnerabilidade onde os mais altos valores estão localizados nas áreas dissecadas de vale, evoluindo em direção às bordas de chapadas.

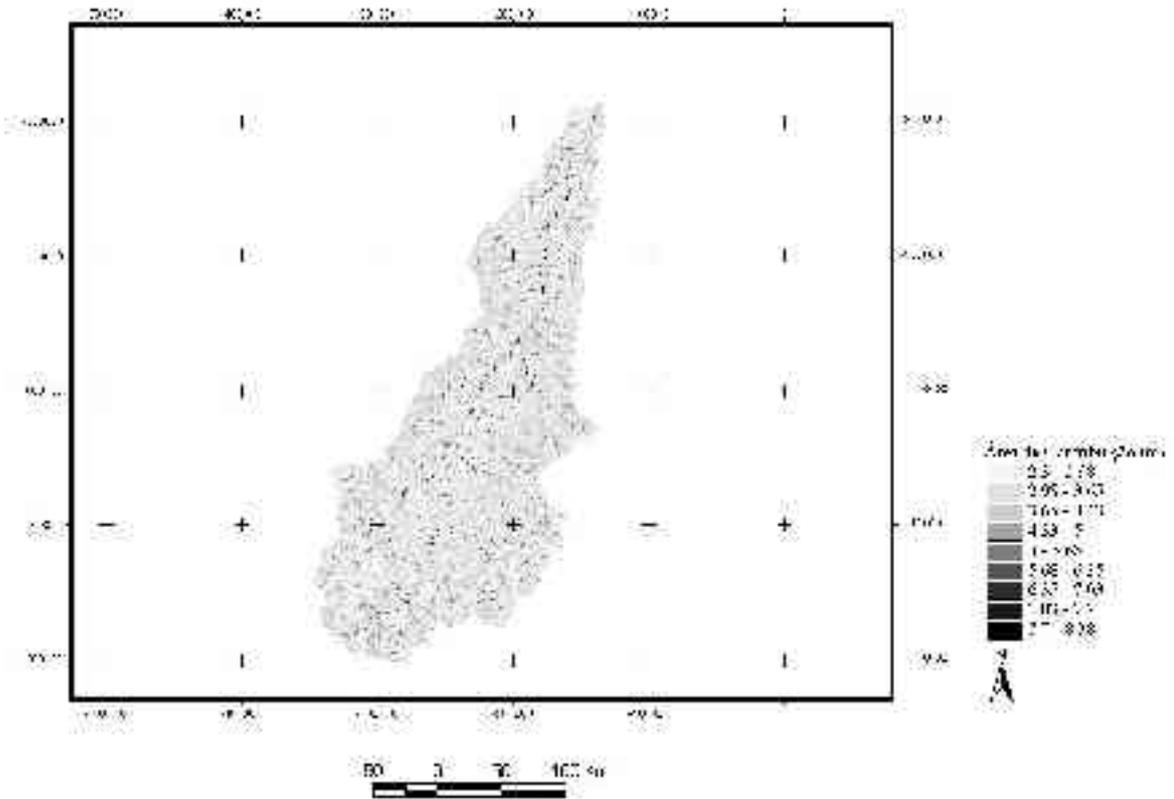


Figura 4 - Mapa de área de contribuição da bacia do rio Gurguéia

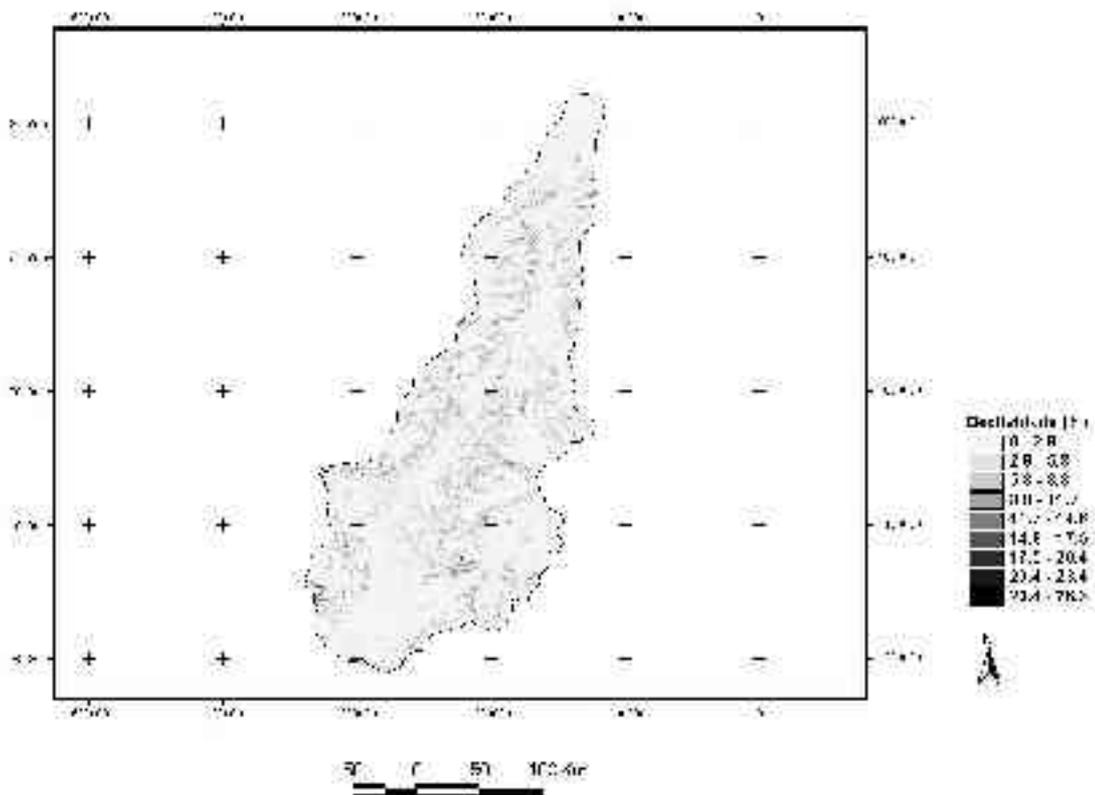


Figura 5 - Mapa de declividade da bacia do rio Gurguéia

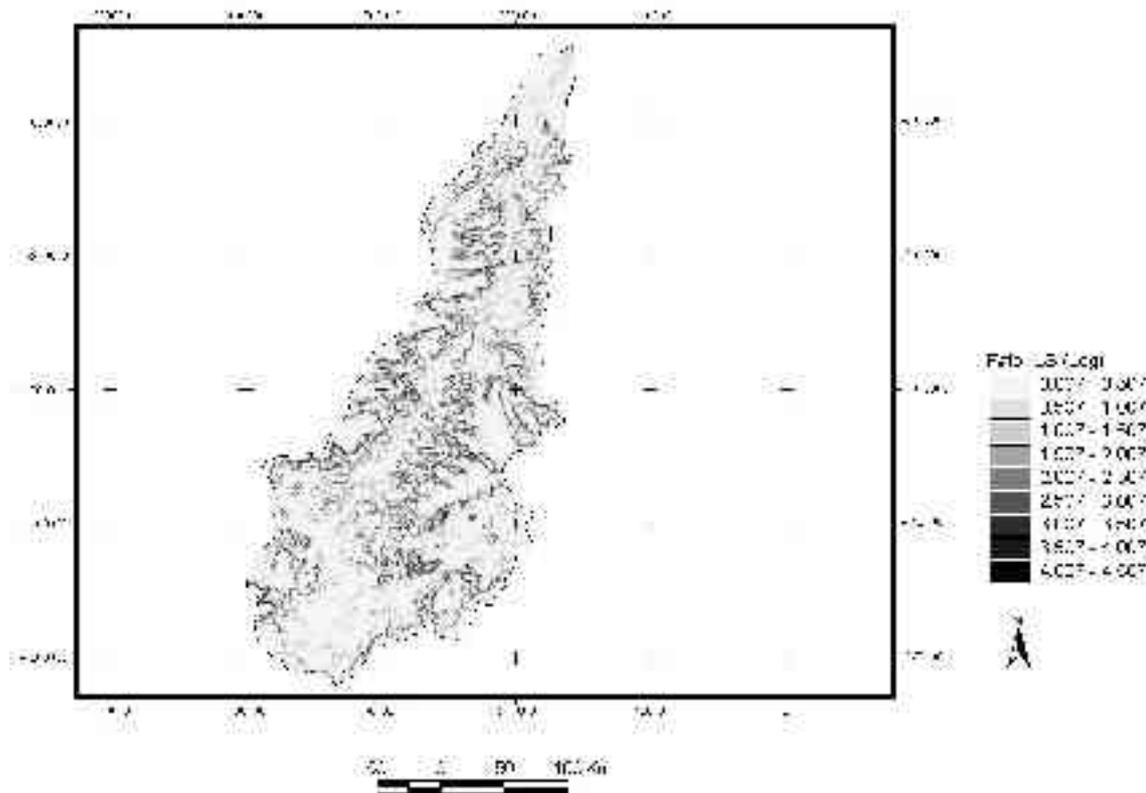


Figura 6 - Mapa do Fator LS da bacia do Gurguéia

CONCLUSÕES

Considerando a concepção da USLE que se limita às condições de glebas homogêneas, a utilização da área de contribuição para o cálculo do comprimento de rampa apresenta vantagens, pois permite uma melhor simulação de modelos automatizados, das condições de fluxo de superfície, curso da erosão e geometria da rampa presentes em uma bacia hidrográfica.

O uso da metodologia implementada em ambiente computacional possibilita a obtenção rápida e eficiente do fator topográfico, não necessitando de cálculos adicionais. Isto apresenta maior relevância devido ao fato do fator LS ser o componente da USLE de mais difícil determinação automática.

Para a bacia do rio Gurguéia foi observado que as áreas mais susceptíveis aos processos erosivos estão localizadas nos divisores de drenagem.

A presente metodologia para o cálculo do fator topográfico em ambiente computacional é de grande valia para que, posteriormente, com a obtenção dos outros fatores da fórmula da USLE possam ser calculados e obtidos os mapas de erosão atual e erosão potencial para bacias deste porte ou maiores, objetivando assim, fornecer



mecanismos e subsídios para tomada de decisões quanto à melhor utilização dos recursos naturais de uma bacia dentro de um desenvolvimento sustentável. O presente trabalho servirá de subsídio para elaboração de estudos de degradação de solos na bacia do rio Parnaíba

BIBLIOGRAFIA

ALVES, M. G. e BARROSO, J. A. Técnicas de Geoprocessamento Aplicado ao Diagnóstico de Impactos Ambientais e ao Uso do Solo. In: CD-ROM do IX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Pedro - SP, 1999.

BAPTISTA, JOÃO GABRIEL. Geografia Física do Piauí. Academia Piauiense de Letras. 3ª ed., 1987. 109p.

BRITO, J. J. S, LIMA, S. do C. SHIKI, S., MOREIRA, M. R. O Uso do Geoprocessamento na Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Laminar em Iraí de Minas – MG. IN: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos: Trace Disk Multimídia Ltda, 1998. 1 CDROM.

CARVALHO JUNIOR, O. A. & GUIMARÃES, R F. Implementação em Ambiente Computacional e Análise de Emprego da Área de Contribuição no Cálculo do Fator Topográfico (LS) da USLE. VII Simpósio Nacional de Controle da Erosão, Goiânia-Go, CD ROM, 2001.

CEPRO. Piauí: Caracterização do Quadro Natural - Teresina: Fundação CEPRO, 1996. 58p.

CERRI, E.E.P.; BALLESTER, M.V.R.; MARTINELLI, L. & VETORAZZI, C. Mapas de Risco de Erosão do Solo da Bacia do Rio Piracicaba, Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. IN: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos: Trace Disk Multimídia Ltda, 1998. 1 CDROM

COSTA, J. S. Agricultura Familiar nos Municípios de Silvânia e São Miguel do Passa Quatro (GO). Distribuição Espacial e Limitações ao Desenvolvimento. Universidade de Brasília. Brasília - DF, 2003. 92p.

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, 1996. P. 427-433.

ESRI *Understanding GIS – The ArcInfo Method*. Environmental Systems Research Institute, Willey, New York, 535p.



- FERREIRA, N. C. Princípios para Elaboração de MNE e Geoestatística. Brasília, 2000- CIORD-UnB.
- FOSTER, G. R. & WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soils loss prediction. *Trans. ASAE*, 17. 1974, p. 305-309
- IBGE. Base Cartográfica Digital do Brasil ao Milionésimo. Rio de Janeiro, CD ROM, 2003. 28 p.
- MOORE, I. D. & BURCH, G. J. Physical Basis of the length – slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil science society of america journal*, New Orleans, v. 50, n. 5, 1986. p.1294 - 98.
- MOREIRA, I. C., Avaliação das Áreas de Risco Ambientais Urbanos do Vale do Quitite – Jacarepaguá – RJ. Monografia (UFRRJ), Rio de Janeiro, 1999. 48p.
- TARBOTON, D. G. A. New Method for the Determination of Flow Directions and Up slope Áreas in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, v. 33, 1997. p. 309-319
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning. Washington: U.S. Departament of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook No 537).
- XAVIER DA SILVA, J., GOES, M. H. B., FERREIRA, A. L., BERGAMO, R. B. A. A., IERVOLINO, P., ROCHA, E. N., PACHECO, E. A., SILVEIRA, R. S., MACHADO, R. D., COSTA, W. P. Estimativa de Riscos de Deslizamentos/Desmoronamentos no Maciço do Tinguá e Arredores. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia, v. 4, 1996. p.273-276.