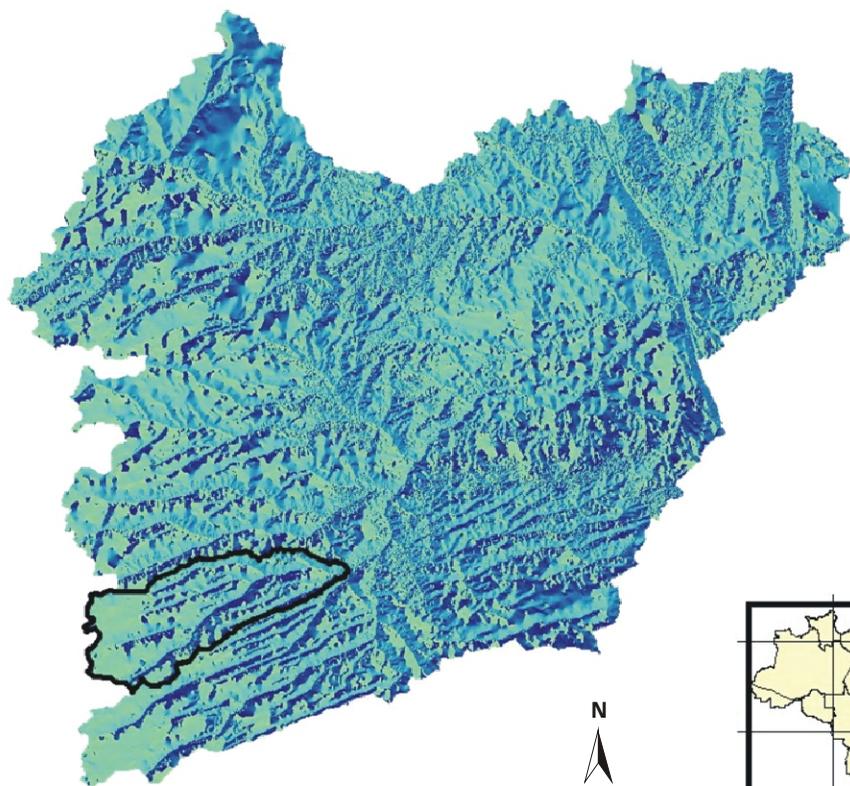


Estudo dos Processos Erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como Subsídio ao Planejamento Agroecológico



30 0 30 60 km





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Dezembro, 2002

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 63

Estudo dos Processos Erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como Subsídio ao Planejamento Agroecológico

Adriana Carvalho de Andrade
Laiza Rodrigues Leal
Renato Fontes Guimarães
Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Éder de Souza Martins
Adriana Reatto

Planaltina, DF
2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

[http\www.cpac.embrapa.br](http://www.cpac.embrapa.br)

sac@cpac.embrapa.br

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Capa: *Chaille Cherne Soares Evangelista*

Edição eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza /*

Jaime Arbués Carneiro

1ª edição

1ª impressão (2001): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Cerrados.

E828 Estudo dos processos erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como subsídio ao planejamento agroecológico / Adriana Carvalho de Andrade... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2002.

26 p.— (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 63)

1. Erosão do solo. 2. Geoprocessamento. I. Andrade, Adriana Carvalho. II. Série.

631.45 - CDD 21

© Embrapa 2002

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Bacia do Rio Grande e a Sub-bacia do Rio de Fêmeas	8
Parâmetros para a Detecção de Perda de Solo	10
Metodologia	12
Tratamento dos dados morfométricos	12
Cálculo do fator topográfico (LS)	13
Tratamento da imagem de satélite	15
Comparação do mapa de uso do solo com o mapa de fator topográfico	16
Construção dos <i>buffers</i>	16
Resultados	16
Discussão dos Resultados	23
Conclusões	23
Referências Bibliográficas	24

Estudo dos Processos Erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como Subsídio ao Planejamento Agroecológico

Adriana Carvalho de Andrade¹; Laiza Rodrigues Leal²; Renato Fontes Guimarães³; Osmar Abílio de Carvalho Júnior⁴; Éder de Souza Martins⁵; Adriana Reatto⁶

Resumo – A partir da década de 1970 houve intenso processo de ocupação do Cerrado brasileiro pela agricultura, gerando impactos ambientais, como erosão dos solos. Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da atividade agrícola nos processos erosivos na Bacia do Rio Grande (Barreiras – BA) por meio de técnicas de geoprocessamento. Neste trabalho, utilizou-se uma metodologia que determina o fator topográfico (LS) presente na Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), a partir da área de contribuição de cada *pixel*. Essa equação foi automatizada no programa em linguagem AML (*ArcInfo Macro Language*), tendo como único dado de entrada o Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi gerado no *software ArcInfo* no módulo *Topogrid*, voltado para hidrologia. Um segundo procedimento foi tratar a imagem de satélite Landsat 7/ETM para gerar o mapa de uso do solo. A metodologia empregada para a confecção do mapa de uso pode ser subdividida em três etapas: (a) conversão dos números digitais em reflectância; (b) detecção dos membros finais pela geometria do simplex utilizando as técnicas de *Minimum Noise Fraction* (MNF), *Pixel Purity Index* (PPI); e, (c) classificação espectral pelo método SAM. Ao mapa de uso do solo, foi sobreposto o de fator topográfico (LS) para identificar as localidades de uso impróprio e com maior potencial erosivo. Pelos mapas gerados, foi possível identificar que as áreas mais susceptíveis a processos erosivos foram as de plantio nas localidades de maiores declividades e concentração de fluxo d'água.

Termos para indexação: USLE, modelagem matemática, agricultura, potencial erosivo.

¹ Geógr., Pós-graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Departamento de Geografia

² Graduação em Geografia, Universidade de Brasília

³ Professor de Cartografia da Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, renatofg@unb.br

⁴ Pesquisador em geoprocessamento, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, osmar@itid.inpe.br

⁵ Geól., Dr., Embrapa Cerrados, eder@cpac.embrapa.br

⁶ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, reatto@cpac.embrapa.br

Erosive Processes study in the Rio Grande Basin (BA) as Support for Agroecological Planning

Abstract – Since the 70s, there is a increasing occupation of the Brazilian “Cerrado” by agriculture, with important soil and erosion impacts. This paper will make an assessment of these impacts, specially erosion, on the basin of “de Fêmeas” river (Barreiras, state of Bahia), by means of geoprocessing tools. The paper uses the contribution area of the pixel to estimate the slope length factor (LS), a part of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The equation was automated using the ArcInfo Macro Language program. The input data is the Digital Terrain Model, created by Topogrid module of the ArcInfo software, focusing on hydrology. A second procedure was handling the LANDSAT7/ETM+ satellite images, to generate a landuse map. The methodology to generate a landuse map involves: (1) a converting process of the digital numbers in reflectance; (2) detection of the final members, using the geometry of the simplex through the techniques of Minimum Noise Fraction (MNF) and Pixel Purity Index (PPI); (3) spectral classification using the SAM method. The landuse map and the slope length factor map were overlapped to identify the largest susceptible areas for erosion, improper to agriculture: the harvested, more sloped areas with water flow convergence.

Index terms: USLE, mathematical modeling, agriculture, erosion potential.

Introdução

Um dos grandes desafios colocados no mundo contemporâneo é o desenvolvimento sustentável da agricultura. Segundo [Medeiros \(1998\)](#), a Revolução Verde, movimento ocorrido principalmente na década de 1970, que constituiu basicamente na adoção de novas tecnologias para elevar a produtividade agrícola, foi um dos grandes responsáveis pela degradação ambiental ocorrida desde então.

Atualmente, grandes áreas que antes eram utilizadas pela atividade agrícola tornaram-se impróprias devido a processos erosivos que levaram a fenômenos de desertificação. Embora tais fenômenos sejam considerados naturais, o tipo de uso e a ocupação do solo podem influenciar tanto na aceleração da erosão quanto no seu controle ([Suetergaray, 1996](#)). [Medeiros \(1998\)](#) afirma que processos como esses são o estágio final da degradação dos solos e, conseqüentemente, do ambiente.

A Região do Cerrado, principalmente do Brasil Central, foi alvo dessa revolução, baseado, segundo Cunha, citado por [Medeiros \(1998\)](#), na equivocada idéia de que esses não possuíam diversidade comparável com a da Mata Atlântica e a da Floresta Amazônica. Assim, a atividade agrícola avançou indiscriminadamente sobre o bioma e gerou impactos ambientais terríveis como a perda da biodiversidade, contaminação do ambiente por agrotóxicos, compactação e erosão dos solos.

O trabalho aqui proposto está voltado para estudar e propor medidas que minimizem os impactos da atividade agrícola nos processos erosivos, a partir de técnicas de geoprocessamento.

A área I estudada é a da Bacia do Rio Grande no Município de Barreiras, no oeste da Bahia, e, a área de estudo II (Sub-bacia do Rio de Fêmeas), é uma sub-bacia da área I (conforme mapa de localização 1). Tal divisão, em duas áreas de estudo, foi realizada primeiramente por que a área total é muito extensa sendo composta por várias imagens de satélite Landsat 7 ETM+, portanto, foi escolhida a Sub-bacia do Rio de Fêmeas pelo fato de ela ser uma área bastante representativa da área total, sendo juntamente com os Rios Preto, Branco e de Ondas, os principais afluentes perenes à esquerda, da Bacia do Rio Grande ([Nou](#)

[& Costa, 1994](#)). Este trabalho, que é uma das ações previstas em projeto de Zoneamento Ecológico Econômico da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf), teve como propósito sugerir técnicas, visando a minimizar o impacto da agricultura nas áreas de estudo, com base na avaliação dos fatores que estão acelerando os processos erosivos. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo geral modelar, em ambiente computacional, as feições morfológicas susceptíveis à erosão para subsidiar o planejamento agroecológico da Bacia do Rio Grande.

Para tanto, foi aplicada, para toda a Bacia do Rio Grande, uma rotina de automatização das variáveis da USLE (*Universal Soil Loss Equation* – [Wischmeier & Smith, 1978](#)), os fatores (L) comprimento de rampa e (S) grau de declividade, desenvolvendo-se um procedimento em linguagem AML (*ArcInfo Macro Language*) para obtenção automática desses fatores.

Um segundo objetivo foi o de dar tratamento às imagens de satélite para análise das atividades antrópicas em relação às áreas susceptíveis à erosão. Esse tratamento de imagens foi realizado na Sub-bacia do Rio de Fêmeas por se tratar, como já foi mencionado, de uma área bastante representativa.

Por fim, verificou-se em que medida vem sendo respeitada a legislação vigente, contida no Código Florestal – Lei Nº 4771 de agosto 1997, na área de estudo II, servindo-se, para isso, do mapa de uso de solo.

Bacia do Rio Grande e a Sub-bacia do Rio de Fêmeas

A área de estudo é a Bacia do Rio Grande, localizada no oeste do Estado da Bahia, entre as latitudes 10° 50' e 13° 00' Sul e as longitudes 45° 25' e 45° 30' Oeste, integrante da Bacia do Rio São Francisco. A Sub-bacia do Rio de Fêmeas, segunda área de estudo, é integrante da Bacia do Rio Grande ([Figura 1](#)). O Rio de Fêmeas é um dos principais integrantes da Bacia do Rio Grande em volume de água. Sua nascente encontra-se no chapadão arenoso da Formação Uruçuia ([Nou & Costa, 1994](#)), em grande área de agricultura motivo pelo qual é tão importante seu estudo ([Figura 8](#)).

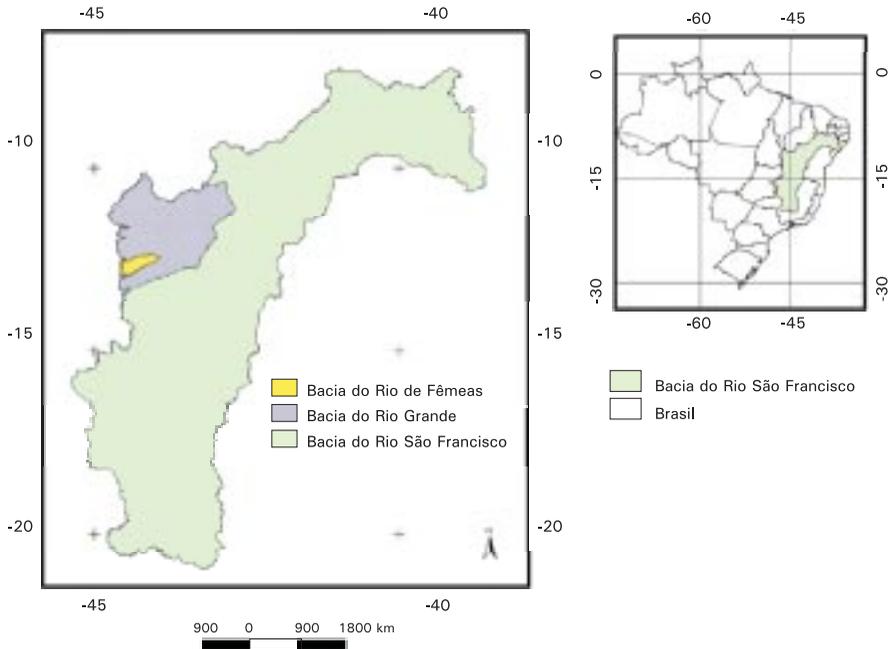


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Rio Grande e do limite do Rio de Fêmeas na Bacia do Rio São Francisco.

O vale do Rio Grande abrange área de 76.000 km², o que equivale a aproximadamente 10% da superfície do estado e é limitado à oeste pela Serra Geral de Goiás. Uma característica importante a ser ressaltada é que o Rio Grande é o último afluente de grande porte e regime permanente do Rio São Francisco, localizando-se em sua margem esquerda.

Essa área apresenta um zoneamento natural em que a agricultura de sequeiro – na qual o plantio ocorre na época das chuvas – concentra-se próxima à cabeceira dos rios – no oeste da bacia -, onde a umidade é maior. Em uma zona intermediária ocorre um Cerrado ainda bem-preservedo. Em uma terceira área – leste da bacia, volta a aparecer a agricultura, já com irrigação (pivô-central).

O relevo regional é dominado pelo Chapadão Central, plataforma aplainada com altitudes de 700 a 900 metros, formada sobre os arenitos do Grupo Urucua do Cretáceo ([Nou & Costa, 1994](#)). A declividade é muito baixa (2% a 5%), exceto

perto dos vales dos rios onde ocorrem, em geral, afloramentos de rochas. Os rios são de padrão paralelo e correm no sentido nordeste, seguindo o padrão de fraturamento regional.

Nessa área predominam os latossolos, dominando as texturas arenosas com cores vermelho-amarelas; nesses solos há grande facilidade para a mecanização. A agricultura de grãos – principal atividade econômica da região, com destaque para a soja pela alta produtividade, voltada inclusive para o mercado externo – instalou-se, principalmente, sobre LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO álico por localizarem-se em relevos planos.

O clima apresenta duas estações bem definidas, a úmida – que vai de outubro a abril – e a seca – que vai de maio a setembro. O índice pluviométrico registra 1100 mm ao ano.

A vegetação dominante é o Cerrado, ocorrendo campos perto da divisa com Goiás que, gradativamente para leste, passam a Cerrado típico. Ocorrem também veredas, nos vales dos rios ([Verdésio, 1986](#)).

Segundo esse autor, o Cerrado do oeste do Estado da Bahia define-se como fisionomia de vegetação semicaducifolia composta de árvores de caules tortuosos e estruturas vegetais de controle de perda de água, como folhas coriáceas, cortiça grossa, raízes profundas e reprodução vegetativa.

Os recursos hídricos são abundantes graças ao imenso número de canais fluviais que apresentam vazão praticamente homogênea durante todo o ano. Outro ponto importante e que favorece a instalação de grande número de pivôs-centrais é a abundância de água subterrânea na área, demandando, entretanto, investimento em instalação de centrais hidrelétricas.

Parâmetros para a Detecção de Perda de Solo

Alguns parâmetros vêm sendo utilizados para a análise dos processos erosivos e para a estimativa de perda de solo. Esses parâmetros são os fatores controladores – erosividade da chuva, erodibilidade dos solos, características das encostas e natureza da cobertura vegetal – que determinam as variações nas taxas de erosão.

A erosividade (R) é fator relacionado à chuva, isto é, total de chuva, a intensidade, o momento e a energia cinética. A erosividade é definida como “a habilidade da chuva em causar erosão” (Guerra, 1995). Garcia & Zaine (1996) acrescentam a componente cobertura vegetal para tal definição e colocam-na como “capacidade de uma chuva em erodir um solo desprotegido”.

Erodibilidade (K) é fator relacionado às características dos solos. Morgan (citado por Guerra, 1995) define a erodibilidade como sendo “a resistência do solo em ser removido e transportado”. Wischmeier e Mannering citado por Guerra (1995) apontam erodibilidade como principal fator na predição da erosão e no planejamento do uso da terra.

As características da encosta que podem afetar a erodibilidade dos solos são a declividade (S), o comprimento da encosta – também conhecido como comprimento de rampa (L) – e a forma da encosta – ou côncava ou convexa (Guerra, 1995).

Por último, os processos erosivos podem ser influenciados por fatores relacionados à cobertura vegetal. A densidade da cobertura vegetal, por exemplo, “é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo” (Guerra, 1995).

A interação dos fatores controladores pode propiciar áreas com maior susceptibilidade à erosão que outras (Guerra, 1995). Os processos erosivos podem ser acelerados ou mesmo retardados pela intervenção humana. Qualquer alteração em um dos fatores controladores pode desencadear aceleração nos processos erosivos. Por sua vez, uma intervenção positiva pode retardá-los.

Atualmente, tem-se retomado, no estudo dos processos erosivos, a Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (*Universal Soil Loss Equation* – [Wischmeier & Smith, 1978](#)). A modelagem matemática realizada em ambiente computacional, permite maior acurácia e facilidade de uso e fornece subsídios para o planejamento de práticas adequadas no manejo e conservação do solo ([Carvalho Jr. & Guimarães, 2001](#)). Como veremos a seguir, além dos fatores controladores sugeridos por [Guerra \(1995\)](#), algumas variáveis relativas à ação antrópica são destacadas na USLE.

Essa equação estima a taxa de perda média anual de solo em função de seis fatores condicionantes da erosão, conforme a seguir ([Lombardi Neto, 1992](#)):

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde: A é a perda de solo em toneladas, R é a erosividade da chuva, K é a erodibilidade do solo, L é o comprimento de rampa (m), S é a inclinação (declividade %), C é a ocupação das terras e o manejo e P são as práticas conservacionistas;

Os condicionantes naturais R (erosividade da chuva), K (erodibilidade do solo), L (comprimento de rampa), S (inclinação (declividade %)) exprimem as condições naturais do clima, do solo e do terreno e são parâmetros acima descritos como os *fatores controladores* dos processos erosivos.

Os fatores C (cobertura e manejo da cultura) e P (práticas de controle de erosão) são antrópicos, relacionados com a forma de ocupação das terras.

Entre os parâmetros descritos pela USLE, apenas o comprimento de rampa (L) oferece dificuldade para ser estimado. Dessa forma, algumas metodologias vêm sendo desenvolvidas para o cálculo dessa variável em ambiente computacional, tornando o emprego da USLE mais fácil e eficiente. A metodologia utilizada para esse cálculo será pormenorizada posteriormente.

Metodologia

Tratamento dos dados morfométricos

Este trabalho foi realizado seguindo etapas como levantamento bibliográfico, capacitação no *software ArcView* e *ArcInfo*, tratamento das imagens, classificação, verificação relativa à legislação ambiental e elaboração do mapa resultado.

As cartas utilizadas são do banco de dados, em base digital, da Codevasf, tendo sido utilizadas 48 cartas em escala 1: 100.000. O tratamento dessas cartas foi realizado no *software ArcView*: em uma primeira edição foi feita a correção das curvas de nível, pontos cotados e junção das curvas; outro procedimento foi a correção da direção do fluxo dos rios no *software ArcInfo*, posteriormente, aplicou-se a ferramenta *merge* para unir as cartas em um único arquivo. Com base nos dados hipsométricos – curvas de nível e pontos cotados –, foi gerado

o Modelo Digital de Terreno – MDT, com cela unitária (pixel) de 60 x 60 metros, utilizando-se o módulo Topogrid do *software ArcInfo*, projetado para criar um MDT voltado para a hidrologia. É importante ressaltar que o MDT é o único dado de entrada do programa para gerar os mapas derivados.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) representa determinada superfície em uma estrutura matemática possibilitando visualização tridimensional e a extração de informações derivadas ([Teixeira et al., 1992](#)). É um parâmetro bastante útil no caso da compartimentação geomorfológica, além de subsidiar os mapeamentos geológico, pedológico e hidrológico ([Figura 3](#)).

As Bacias do Rio Grande e do Rio de Fêmeas foram delimitadas de forma automática do limite da bacia, baseando-se na definição de um *pixel*-alvo convertido para um *grid* com dimensões de 60 X 60 metros no *software ArcInfo*. Com essa metodologia delimita-se, com sucesso, o limite de determinada área quando comparada à rede de drenagem, curvas de nível e imagem de satélite.

Cálculo do fator topográfico (LS)

No modelo da USLE, o comprimento de rampa (L) e, conseqüentemente, o fator topográfico (LS) são mais difíceis para serem modelados em ambiente computacional. Alguns autores têm proposto o cálculo desse fator de forma separada e manual ([Jäger, 1994](#)). Nesse sentido, com o intuito de suprir essa deficiência, metodologias vêm sendo desenvolvidas para a obtenção dessa variável de forma automatizada e fornecendo valores mais confiáveis ([Baptista, 1997](#); [Carvalho Júnior et al., 1997b](#) e [c](#); [Chaves et al., 1995](#) e [Rocha et al., 1996](#)).

O conceito de área de contribuição vem sendo amplamente utilizado trazendo nova abordagem para o cálculo automático do comprimento de rampa. [Desmet & Govers \(1996\)](#) propuseram uma formulação para o cálculo desse fator, tomando-se por base a área de contribuição. Esse método apresenta vantagens porque ele não se limita a expressar a capacidade de transporte de sedimento pelo *Runoff*, mas também considera o fluxo de superfície, a geometria da rampa – se côncava ou convexa – e o curso da erosão ([Carvalho Jr. & Guimarães, 2001](#)).

Assim, a equação proposta por Desmet & Govers é expressa como:

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

Onde:

$A_{i,j-in}$ = área de contribuição da célula com coordenada (i, j) (m²);

D = tamanho da célula (m), isto é, tamanho do pixel (que no nosso caso é de 60 m);

m = coeficiente função da declividade para grade de células com coordenadas (i, j);

x = coeficiente função do aspecto para grade de células com coordenadas (i, j).

O coeficiente "m" é obtido de determinadas classes de declividade, sendo:

- $m = 0,5$ se a declividade for $> 5\%$;
- $m = 0,4$ para o intervalo de 3% a 5%;
- $m = 0,3$ para o intervalo de 1% a 3%; e
- $m = 0,2$ para grau de declividade $< 1\%$.

Para o cálculo da declividade, Desmet & Govers (1996) empregaram o algoritmo descrito por Zevenbergen & Thorne (1987):

$$G_{i,j} = G_x^2 + G_y^2 \quad (2)$$

Onde:

G_x = gradiente na direção x (m/m);

G_y = gradiente na direção y (m/m).

Essa equação foi automatizada no programa em linguagem AML (*ArcInfo Macro Language*), tendo como dado de entrada o MDT, conforme fluxograma ([Figura 2](#)).

Dessa forma, os dados de saída são os mapas: de declividade; de aspecto (direção do fluxo em graus); do coeficiente "m" (função da declividade); do coeficiente "x" (função do aspecto); e, do fator topográfico (LS) conforme figuras apresentadas.

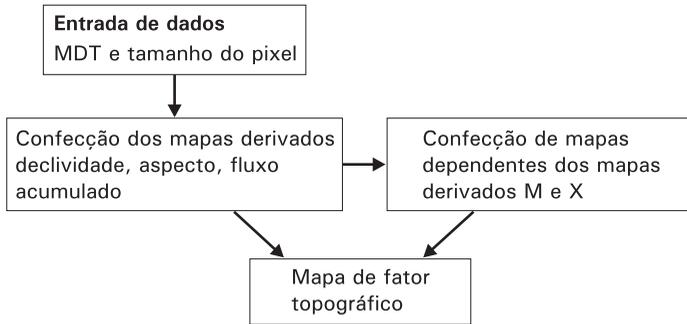


Figura 2. Fluxograma do programa desenvolvido em linguagem AML.

Tratamento da imagem de satélite

A seleção da área amostrada (Sub-bacia do Rio de Fêmeas – área de estudo II) foi feita, baseando-se na Imagem Landsat 7 ETM+ correspondente à órbita/ponto L71220069 de 09/08/1999 com resolução de 30 metros.

Para o tratamento da imagem de satélite, utilizou-se da metodologia de análise de mistura espectral. A área escolhida (Sub-bacia do Rio de Fêmeas) foi recortada da Bacia do Rio Grande. Esse recorte foi realizado no *ENVI 3.4* a partir das coordenadas UTM de um polígono, criado em ambiente *ArcView*, contendo os limites da Sub-bacia do Rio de Fêmeas (área de estudo II).

O tratamento da imagem foi feito levando-se em conta as seguintes etapas:

- Conversão dos números digitais da imagem em valores de reflectância – essa etapa permite minimizar as variações que ocorrem durante a aquisição das cenas ([Carvalho Jr. & Guimarães, 2001](#));
- Detecção dos membros finais ([Carvalho Jr. & Guimarães, 2001](#)) – esta é uma etapa exploratória, em que é feita a primeira avaliação do material presente na cena, baseando-se na metodologia, desenvolvida por [Carvalho et al., 2001](#), de detecção dos membros finais pela geometria do *simplex*. Tal metodologia consiste em duas etapas: redução da dimensão espectral utilizando a técnica de *Minimization Noise Fraction* (MNF), redução da dimensão espacial, considerando o método *Pixel Purity Index* (PPI);

- Classificação da imagem com base no método *Spectral Angle Mapper* SAM – utilizando-se o espectro do pixel mais puro correspondente à vegetação fotossinteticamente ativa. O mapa resultante foi dividido em quatro classes variando das áreas correspondentes aos pivôs e Mata de Galeria, mais fotossinteticamente ativa, até solo exposto.

Comparação do mapa de uso do solo com o mapa de fator topográfico

O mapa do fator LS foi dividido em classes de susceptibilidade à erosão e sobreposto ao mapa de uso do solo para determinação das relações entre as atividades antrópicas e as zonas mais susceptíveis à erosão.

Construção dos buffers

Os *buffers* foram confeccionados no *software ArcView*. Essa ferramenta foi utilizada para criar um limite preestabelecido: no caso, limitou-se às áreas de preservação permanentes (APP), como Mata de Galeria (50 a 100 metros), nascentes dos rios (50 metros) e rebordo de chapada (100 metros em projeção linear). Esses limites foram estabelecidos tendo como referência o Código Florestal Brasileiro – Lei Nº 4771 de agosto de 1997.

Resultados

Para a área da Bacia do Rio Grande, foi aplicado o programa desenvolvido a partir das equações de [Desmet & Govers \(1996\)](#) que consideram a área de contribuição como parâmetro para o cálculo do fator topográfico da USLE. As variáveis necessárias para realizar o emprego do modelo na Bacia do Rio Grande estão presentes na [Figura 3](#) que são os dados de entrada.

O MDT da área estudada, elaborado com base nos dados de altimetria (curvas de nível e pontos cotados) e dados da hidrografia, mostra a hipsometria da área, evidenciando seu relevo. Em sua grande maioria, ele se apresenta pouco movimentado, à exceção das áreas próximas aos cursos d'água onde a declividade é mais acentuada ([Figuras 3 e 4](#)).

Os dados de saída são os mapas dependentes (mapa do coeficiente x e mapa do coeficiente m) e os mapas derivados (declividade, fluxo acumulado, mapa de aspecto), conforme figuras abaixo.

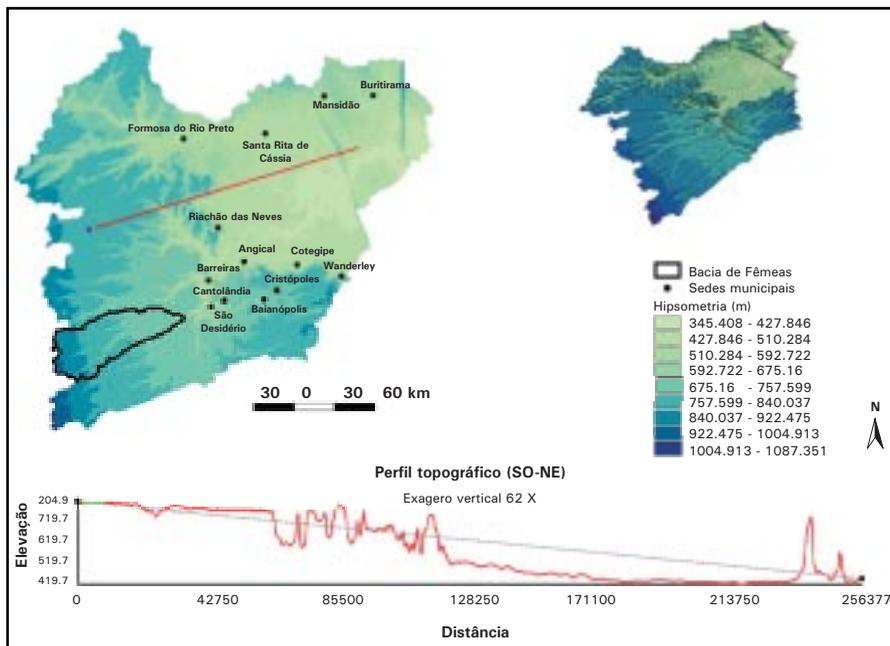


Figura 3. Mapa hipsométrico e modelo digital de terreno da Bacia do Rio Grande contendo o limite da Sub-bacia do Rio de Fêmeas.

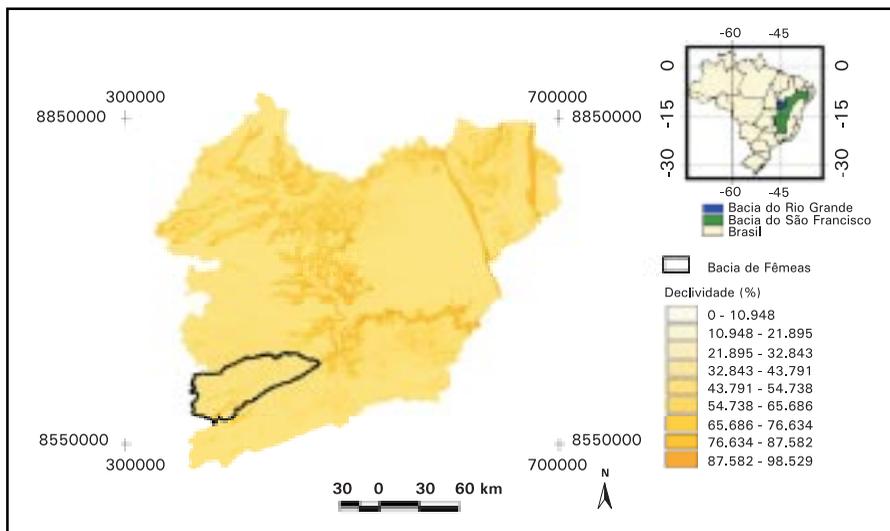


Figura 4. Mapa de declividade da Bacia do Rio Grande contendo o limite da Sub-bacia do Rio de Fêmeas.

No mapa de declividade, entendido como ângulo ou porcentagem de inclinação do terreno verifica-se que as regiões estudadas são, em sua maioria, bastante planas, estando entre 10% e 43% de declividade – que equivalem a 4,5° a 19,7° respectivamente. Tal fato favoreceu o estabelecimento da agricultura na área, apesar de os solos serem bastante pobres em nutrientes. Os solos da região são representados pelas classes LATOSSOLO VERMELHO textura média e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

O mapa da área de contribuição (medida em m²) que representa a área drenada a montante de determinado *pixel* revela as áreas de maior concentração de fluxo de água, coincidentes com as áreas de maior declividade que são as mais suscetíveis a processos erosivos (Figura 5).

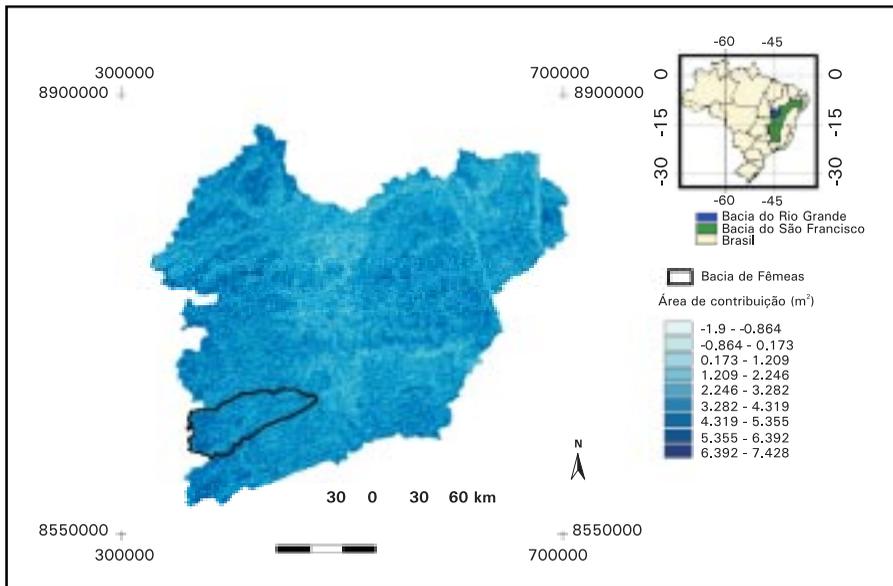


Figura 5. Mapa da área de contribuição da Bacia do Rio Grande contendo o limite da Sub-bacia do Rio de Fêmeas.

No mapa de aspecto demonstra-se a direção preferencial do fluxo de água, sendo essas orientações bastante simétricas nas áreas mais planas definidas como chapadas. Nas áreas mais movimentadas (depressões) a orientação é mais difusa (Figura 6).

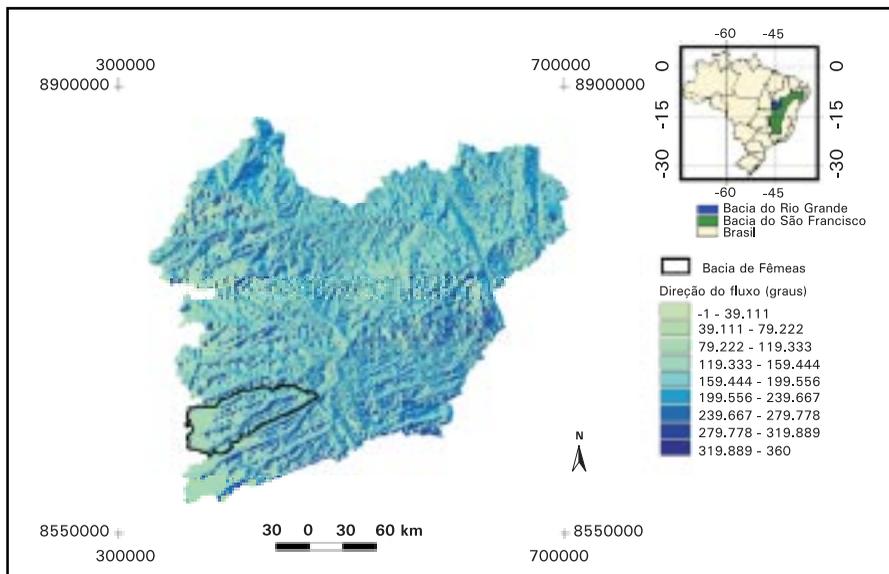


Figura 6. Mapa de aspecto da Bacia do Rio Grande contendo o limite da Sub-bacia do Rio de Fêmeas.

Os mapas do coeficiente M (função da declividade) e do coeficiente X (função do aspecto) são os mapas dependentes, expressos na equação de [Desmet & Govers \(1996\)](#) conforme [Figuras 7 e 8](#).

O mapa do fator topográfico – conjunção dos fatores de comprimento de rampa e declividade – demonstra que as áreas mais susceptíveis a processos erosivos encontram-se onde há maior declividade com presença de convergência de fluxo ([Figura 9](#)).

Uma sobreposição do mapa de fator topográfico, reclassificado, foi feita à imagem, para identificação das áreas susceptíveis a processos erosivos, confirmando a hipótese de que a proximidade entre a agricultura e as áreas de preservação podem acelerar os processos erosivos ([Figura 10](#)).

A imagem foi classificada para distinção das áreas naturais das de cultivo, possibilitando melhor análise da ocupação do solo. As áreas foram classificadas numa gradação que vai da vegetação fotossinteticamente ativa até o solo exposto. A classificação, apesar de distinguir as áreas de cultivo dos espaços naturais, obteve uma resposta espectral semelhante para a Mata de Galeria e as áreas de irrigação, o que não impossibilita uma visualização nítida dessas áreas ([Figura 11](#)).

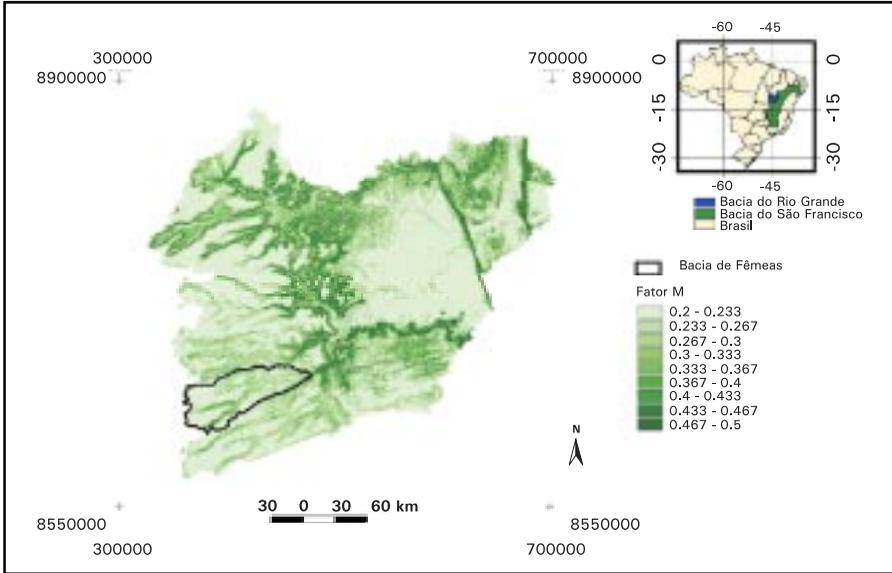


Figura 7. Mapa do coeficiente M (função da declividade).

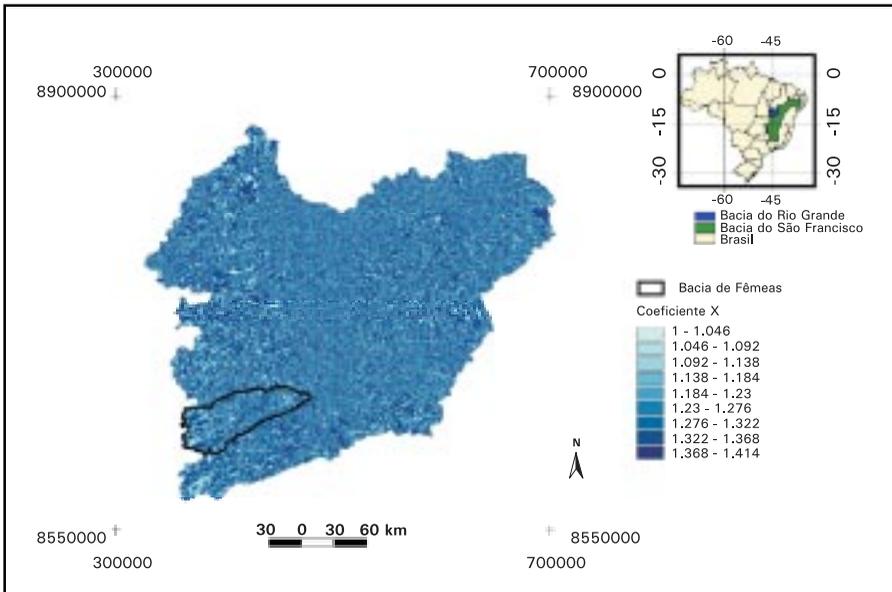


Figura 8. Mapa do coeficiente X (função do aspecto).

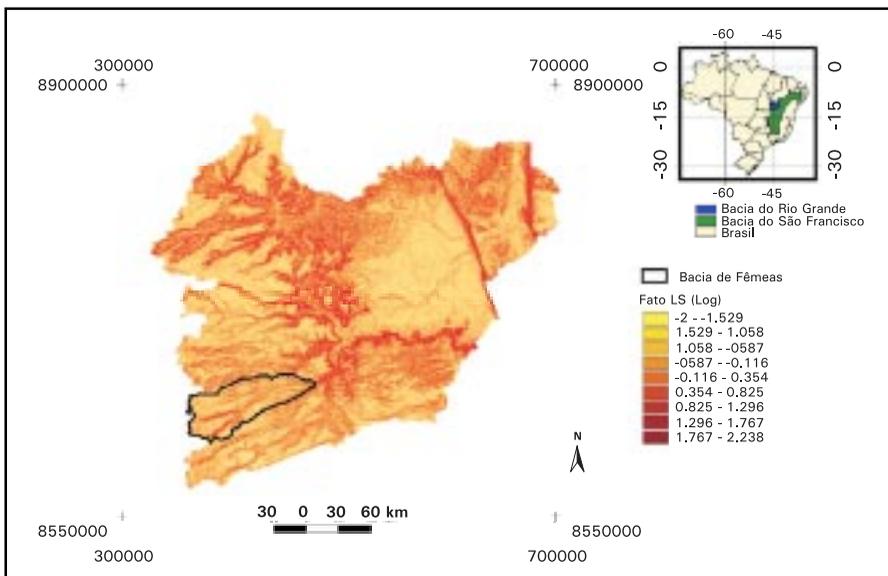


Figura 9. Mapa do fator topográfico (LS) da Bacia do Rio Grande contendo o limite da Sub-bacia do Rio de Fêmeas.

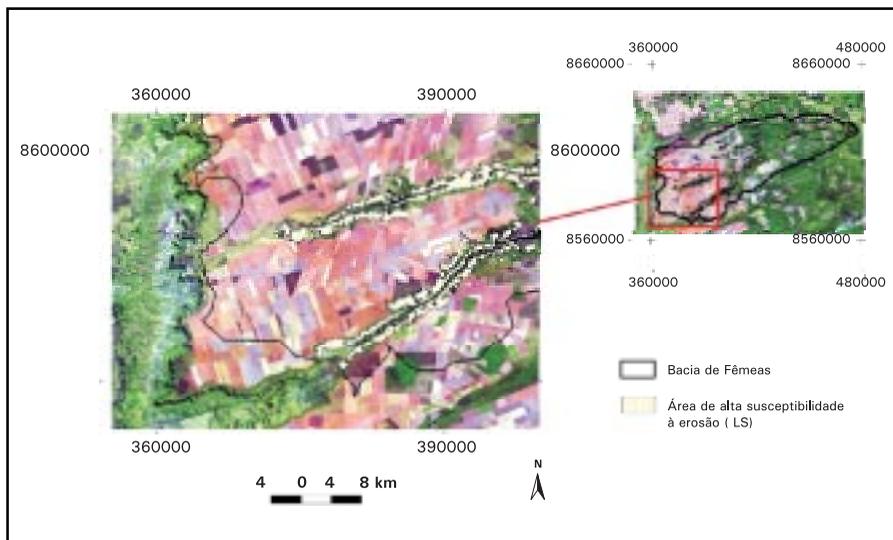


Figura 10. Sobreposição do mapa do fator topográfico à imagem de satélite.

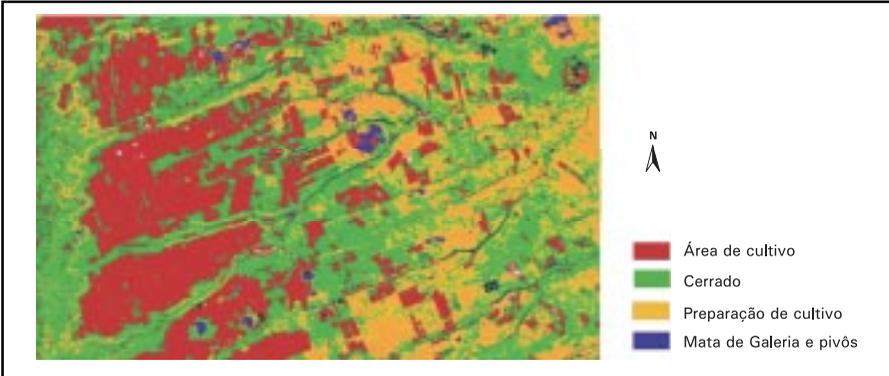


Figura 11. As áreas em azul apresentam a vegetação mais fotossinteticamente ativa (Mata de Galeria e pivôs). As áreas em vermelho e verde são de vegetação menos fotossinteticamente ativas (Cerrado e área de cultivo). As áreas em amarelo são predominantemente de solo preparado para cultivo.

A delimitação das áreas de proteção, sobrepostas à imagem de satélite, demonstra que as áreas – Mata de Galeria, nascentes dos rios e rebordos de chapadas –, delimitadas conforme legislação vigente, encontram-se, em sua grande maioria, preservadas, embora fique claro pela imagem que esse limite não é suficiente. Pelo fato de a escala do mapa ser 1:100.000 e o tamanho do *pixel* – as áreas delimitadas segundo a legislação – praticamente, não aparecem na imagem, foi necessário ampliá-las (Figura 12).

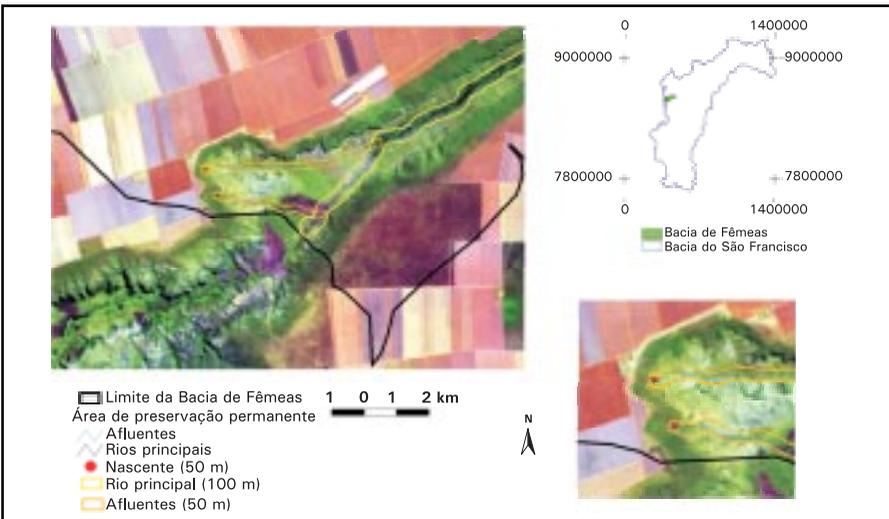


Figura 12. *Buffers* das áreas de preservação permanentes da área amostrada.

Discussão dos Resultados

No mapa do fator topográfico e nas imagens conjuntamente, nota-se que as áreas de cultivo ([Figuras 10, 11, 12](#)) encontram-se muito próximas das áreas mais suscetíveis a processos erosivos, representadas no mapa de LS pelos tons em vermelho. Essas áreas são, exatamente, as de maior declividade com alta convergência de fluxo (conforme mapa de declividade e mapa de área de contribuição). Essa conjunção de fatores pode acelerar os processos erosivos, degradando os perfis do solo, levando à baixa produtividade e a posteriores processos de esgotamento dos solos.

Os limites impostos pela legislação quanto à Mata de Galeria, nascentes dos rios e rebordos das chapadas, definidas como áreas de preservação permanente (APP), não são suficientes para evitar a aceleração dos processos erosivos. Se se observar, por exemplo, o limite da bacia, definido pelas áreas de maior altimetria – divisores d'água, ([Figuras 3, 9, 10, 11 e 12](#)) – fica evidente que a área de preservação do rebordo da chapada não é adequada, pois o divisor fica no limite da bacia e não a partir da linha de ruptura do rebordo onde a declividade já é acentuada. Portanto, é perceptível que a área de cultivo ultrapassa o divisor de drenagem, já na direção de fluxo da Serra Geral, funcionando como um catalisador nos processos erosivos, inclusive, acelerando o processo de captura de drenagem como mostra a [Figura 12](#).

Conclusões

1. O trabalho realizado alcançou, com sucesso, os objetivos propostos, permitindo o levantamento dos problemas decorrentes da atividade humana, associando-os aos processos erosivos.
2. A metodologia desenvolvida e aplicada no trabalho possibilitou a realização automática e eficiente do mapa de uso do solo, a partir dos mapas gerados. O método de [Desmet & Govers \(1996\)](#) para o cálculo do fator topográfico (LS), desenvolvido com base no conceito de área de contribuição, foi bastante eficiente, tendo sido automatizado, a partir do algoritmo desenvolvido por [Carvalho Jr. & Guimarães \(2001\)](#), para toda a Bacia do Rio Grande (área de estudo I).

3. No mapa resultado distinguem-se as áreas naturais das de cultivo e determina-se as mais susceptíveis a processos erosivos, relacionando-as às de preservação. Essas áreas – Matas de Galeria, nascentes dos rios e rebordo das chapadas –, definidas pelo Código Florestal, encontram-se preservadas. Mas é preciso esclarecer que essa preservação parece ser insuficiente, o que leva à conclusão de que deveria ser determinada uma área de amortecimento além do limite previsto. A proximidade entre cultivos e cursos d'água e nascentes, por um lado e o desmatamento próximo aos rebordos das chapadas (ainda que obedecidos os limites impostos pela legislação) por outro lado, têm provocado impactos ambientais.
4. Novos modelos de utilização sustentável dos recursos naturais vêm sendo propostos, mas sua efetivação, no que tange às áreas estudadas, ainda não está sendo colocada em prática. As áreas estudadas, principalmente, as chapadas têm sofrido transformações decorrentes da atividade antrópica relacionadas à agricultura. O planejamento deficiente do uso do solo tem trazido conseqüências negativas para toda a Bacia. O desenvolvimento no campo deve ocorrer com o aumento da produtividade e produção agrícola, promovendo, ao mesmo tempo, a conservação dos recursos naturais.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, no Distrito Federal, por meio do Geoprocessamento**. 112 f. 1997. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, 1997.

CARVALHO, A. P.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; BUSTAMENTE, M. M. C. Metodologia para análise de mistura espectral em imagens TM-Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 10., 2001, Foz do Iguaçu. [Anais...]. [S. l.]: SELPER: INPE, 2001. 1 CD-ROM.

CARVALHO JÚNIOR, O. A ; GUIMARÃES, R. F. Implementação em ambiente computacional e análise do emprego da área de contribuição no cálculo do fator topográfico (LS) da USLE. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia (GO). [Anais...]. [s. l.]: ABGE, 2001. 1 CD-ROM.

CARVALHO JÚNIOR, O. A; FERREIRA, A. P. M. F; OLIVEIRA, A. L. Metodologia para a estimativa da distância horizontal do comprimento de rampa

por meio de técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Informação, globalização, uso do solo**: anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997b. 1 CD-ROM.

CARVALHO JÚNIOR O. A.; OLIVEIRA, A. L.; CARVALHO, A. P. F.; BAPTISTA, G. M. M.; ARAÚJO, A. H. Metodologia para a estimativa proporcional do comprimento horizontal de rampa por meio de geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 7., 1997, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 1997c. 1 CD-ROM.

CHAVES, H. M. L.; SILAVA P. A.; CARLOS, R. J., Aplicação da usle e de sig na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**: resumos expandidos. Viçosa: SBCS: UFV, 1995.

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**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-33, 1996.

GARCIA, G. J.; ZAINÉ, M. F. Modelagem de cenários agrícolas a partir de estimativas de perda de solos por erosão. **Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 355-366, 1996.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

INSTITUTO Biodinâmico. **Código Florestal Brasileiro Lei Nº 4771 de agosto de 1997**. Disponível em: < <http://www.ibd.com.br/legislacao/codigoflorestal.htm> > Acesso em: 15 set. 2002.

JÄGER, S. **Modelling Regional Soil Erosion Susceptibility Using the Universal Soil Loss Equation and GIS**. In: Rickson, R. J. (Ed.). *Conserving Soil Resources – European Perspectives*. Cambridge: Silsoe College, 1994. Cap. 17, p. 161-177.

LOMBARDI NETO, F. Uso e manejo do solo e da água: manejo e conservação do solo. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, A. O. (Org.) **Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP)**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1992. p. 65-85.

MEDEIROS, S. A. F. Agricultura moderna e demandas ambientais: o caso da sustentabilidade da soja nos cerrados. In: GOULART, L. M. (Org). **Tristes cerrados: sociedade e biodiversidade**. Brasília: Paralelo 15, 1998. p. 127-145.

NOU, E. A. U.; COSTA, N. L. (Coord.). **Diagnóstico da Qualidade Ambiental da Bacia do Rio São Francisco, sub-bacias do Oeste Baiano e Sobradinho**. Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 111p. (Série Estudos e Pesquisas em Geociências, 2).

ROCHA, J. L; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A. A. A. Metodologia para a determinação do fator comprimento de rampa (l) para a equação de perda de solo, In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1., 1996, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: [FAE: Embrapa: CEPA: Unicamp], 1996. p. 3-6.

SUETERGARAY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 249-289.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 1992. 79 p.

VERDÉSIO, J. J. **Os Cerrados do Oeste da Bahia: recursos naturais, uso atual e potencial**. Salvador: Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional, 1986.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: Department of Agriculture, 1978. 58 p. 1978. (Agriculture Handbook, 537).

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. Quantitative analysis of land surface topography. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chischester, v. 12, p. 47-5, 1987.