



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



**SIMULAÇÃO DE PERDA DE SOLO COM BASE NAS MUDANÇAS  
DAS NORMATIVAS DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO  
PERMANENTE DO CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO.**

Bruno Schultz

Trabalho Final da disciplina de Geoprocessamento, do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientado pelos Dr. Antônio Miguel Monteiro e Dr. Cláudio Barbosa.

INPE

São José dos Campos

2012

## 1 INTRODUÇÃO

Antes mesmo do advento da Constituição de 1988, normas legais foram implementadas e estabeleceram restrições administrativas ao direito de propriedade, visando exatamente resguardar o interesse maior da coletividade o direito difuso da população de conviver num ambiente ecologicamente equilibrado. O Código Florestal, criando as figuras da área de preservação permanente (APP) e da reserva legal (RL), é uma destas normas, cuja importância e observância mostram-se não apenas necessárias, mas essencialmente estratégicas para a garantia de um desenvolvimento equilibrado e sustentável para a nação brasileira.

Desde o início desta implementação, o uso das normativas fez com que propriedades rurais localizadas numa mesma bacia hidrográfica (macro-bacia), suprimissem a vegetação além do permitido na bacia, isto é, de acordo com a propriedade rural. Desacordos entre políticos ligados ao ministério do Meio Ambiente para mudança do Código Florestal foram frequentemente observadas no ano de 2011 a 2012 até a elaboração de seu relatório final. Algumas exigências estão vinculadas a diminuição da faixa de APP em torno dos rios em 50 % para pequena propriedade, contabilização da APP em relação ao leito normal dos rios e quantificação da APP à RL para resultar na obrigatoriedade de RL por propriedade, tudo isso gerando cenários de redução da vegetação natural ainda existente.

Deste modo, o corte da floresta pode acarretar aumento nas perdas de solo por erosão e nas perdas de nutrientes. Como verificado em vários trabalhos (TAYLOR et al, 1971), (MILLER, 1984). Todavia, MEEUWIG (1970), observou que, dentre inúmeras variáveis estudadas, a proporção de solo protegido contra o impacto das gotas das chuvas pela presença da vegetação ou da camada orgânica (solo florestal) mostrou ser a variável que mais contribuiu para o controle das perdas de solo.

Para estimar a quantidade de solo perdida por meio de técnicas de geoprocessamento, pesquisadores utilizam um modelo que faz o balanço anual de perda de solo por hectare por ano em determinada bacia hidrográfica. O modelo denominado Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1965; 1978) consiste em uma equação desenvolvida empiricamente para estimar a quantidade média de solo perdido em função do processo de erosão hídrica (SALGADO et al., 2011). A USLE é constituída, originalmente, por seis fatores que consideram as características do clima (R – rainfall and runoff factor), do solo (K – soil erodibility factor), do relevo (L –

slope-length factor e S – slope-steepness factor), do uso e cobertura do solo (C – cover and management factor) e das práticas conservacionistas (P – support practice factor) em um talhão agrícola. O fator topográfico (LS – topographic factor) modela a influência do relevo sobre o fluxo do escoamento superficial e é composto pelo produto dos fatores L e S.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo calcular a perda de solo por erosão por meio da USLE, para diferentes cenários: (1) faixa de 15 metros de APP em torno dos rios, (2) Faixa de 30 metros em torno dos rios, (3) faixa de 100 metros em torno dos rios, (4) faixa de 100 metros em torno dos rios e (5) uso e ocupação de 2010.

## **2 MOTIVAÇÃO**

A partir do ano de 2010 verificou-se uma grande mobilização de um lado dos deputados da bancada ruralista e, do outro lado, os deputados da bancada ambientalista em relação às mudanças do Código Florestal. As normativas sobre APP são uma das mais polêmicas mudanças propostas no Código.

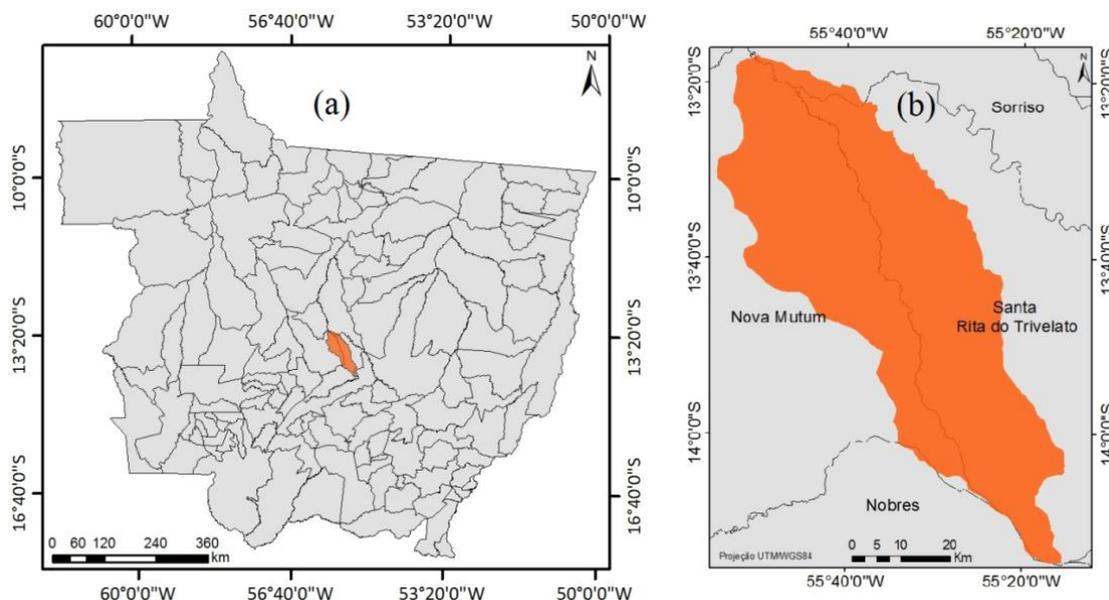
Desta forma, objetivando em avaliar o impacto das perdas de solos no cenário do código antigo em relação às perdas no cenário do novo Código, a pergunta a ser respondida no presente trabalho é a seguinte: Qual será a influência das mudanças no Código Florestal, em termos de perdas de solo por erosão?

Assim, tomando como área de estudo a Bacia do Alto do Rio Verde, foram utilizadas técnicas do geoprocessamento para avaliar as perdas de solos por ação erosiva resultantes da variação da cobertura florestal nesta bacia, com a simulação de normativas que podem vir a ser modificadas pelo Legislativo na forma do novo Código Florestal.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A bacia do rio Verde está localizada no centro do Estado do Mato Grosso, ao norte de Cuiabá, abrange oito municípios, sendo que alguns possuem sua área localizada totalmente na bacia, e outros apenas parcialmente. Sua área de drenagem é de 78.984 km<sup>2</sup> e está localizada entre as latitudes de 12° 22'S e 13°22'S, e as longitudes de 55°30'W e 55°25'W de Greenwich (Figura 1), que conta com uma população total de aproximadamente 229.700 habitantes (IBGE, 2012). Seus afluentes de maior influência são o rio Branco e o ribeirão Ranchão (ANA, 2012).



**Figura 1** – Bacia do Alto do Rio Verde. Localizada nos municípios de Nova Mutum, Nobres, Santa Rita do Trivelato e Sorriso.

O Rio Verde percorre estimados 520 quilômetros, num rumo ao norte sempre acompanhando o curso do vizinho Teles Pires. É o afluente mais importante do rio Teles Pires pela margem esquerda, somente ultrapassado em tamanho pelo Juruena que, ao se juntar ao Teles Pires no extremo norte de Mato Grosso, forma o rio Tapajós, um dos principais afluentes da margem direita do rio Amazonas (ANA, 2012).

O solo do entorno é composto por latossolos vermelho-amarelados com fertilidade natural baixa, mas que responde muito bem à calagem e adubação. O relevo é plano, com ondulações à beira do rio (EMBRAPA SOLOS, 2012).

O rio nasce em região de cerrado e depois cruza o bioma de floresta amazônica. A vegetação nativa no entorno do rio alterna-se em matas abertas e fechadas, às vezes

cercadas por várzeas e cerrado no alto Verde. O clima é tropical úmido, com temperatura média ao redor de 26°C e 2.000 milímetros de chuvas. A estação chuvosa vai de outubro a abril e a seca, de maio a setembro (EMBRAPA SOLOS, 2012).

### **3.2 Metodologia**

O trabalho foi desenvolvido no software SPRING 5.2 e TERRA VIEW 4.2.0, ambos disponibilizados pelo Departamento de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. Além deles, foi utilizado o ENVI 4.7 para realizar o registro das imagens TM do satélite LANDSAT.

O banco de dados foi montado de acordo com a aquisição de shapes disponíveis de forma gratuita na internet, isto é, a rede hidrográfica (nascentes e hidrografia) foi obtida no site da ANA (Agência Nacional das Águas), o SRTM foi obtido do site da USGS (United States Geological Survey), a imagem Landsat TM foi pega do acervo de imagens do site do INPE e o mapa de solos foi adquirido no site da Embrapa Solos. Os limites de bacia e subbacias foram adquiridos de dados já pré-existentes, obtidos de projetos que estão em execução.

Após a obtenção das imagens mosaicada do sensor TM do satélite LANDSAT, foi realizado o registro da composição colorida (RGB) no ENVI 4.7. Para tal finalidade, foi adquirida uma imagem de 1988 já geocodificada da área, do site da GLCF (Global Land Cover Facility) e após este procedimento, os pontos de controle para registro da imagem de 2010 foram fixados no programa ENVI 4.7.

Para início das operações no programa SPRING, utilizando a imagem já geocodificada, foi obtido o retângulo envolvente da área. Após isso, todos os planos de informação (PI's) foram importados de acordo com a imagem registrada para o DATUM de referência SIRGAS 2000.

O painel de controle do SPRING foi sendo ativado ao proceder a importação dos dados vetoriais e matriciais, ficando definido desta forma: (A) Limites (bacia e subbacias), (B) LANDSAT (composição colorida), (C) Solos, (D) SRTM e (E) Drenagem (nascentes e hidrografia). A partir do limite de macrobacia, foi realizado um recorte em todos os PI's citados acima, com o objetivo de diminuir a quantidade de informações no decorrer do processamento dos dados. Mais detalhes de todas as etapas realizadas no trabalho se encontram no fluxograma de atividade (Figura 2).

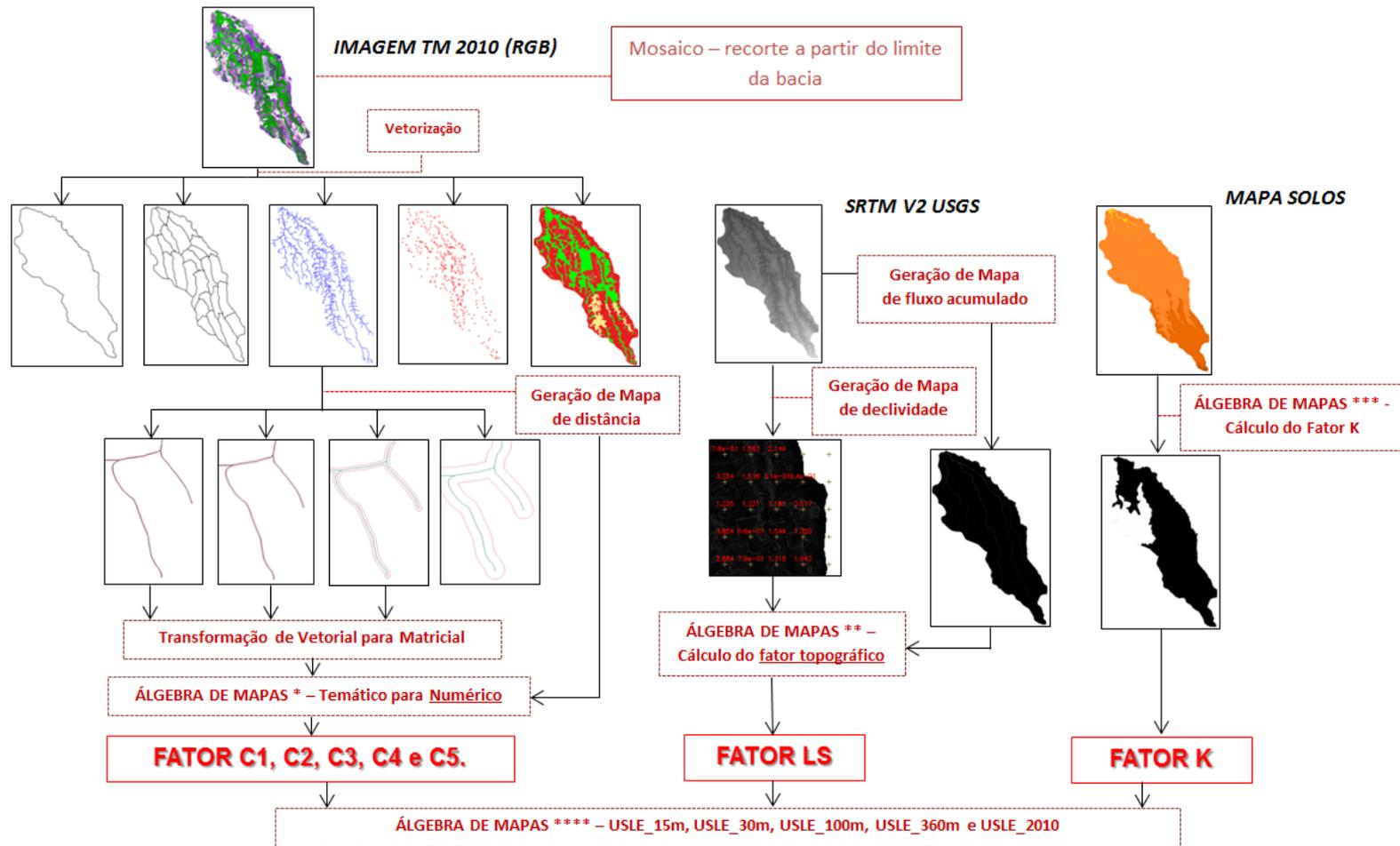


Figura 2 – Fluxograma das atividades desenvolvidas no programa SPRING para obtenção dos valores das USLE de acordo com a cobertura florestal.

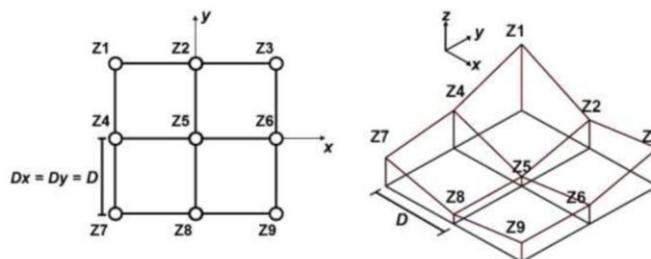
A partir da imagem TM, foi realizada a classificação assistida da imagem, via software SPRING. Para isso foi utilizado um intérprete que já esteve na área para analisar a acurácia do mapa e julgar se as classes de vegetação estão corretas ou não.

Dando continuidade ao trabalho, o passo seguinte foi determinar os mapas de distância (buffers) em torno da hidrografia e nascentes. Para isso, foi adicionado mais um PI (APP) ao banco de dados. Dentro deste PI, foram fatiados quatro mapas de distância: 15 metros, 30 metros, 100 metros e 430 metros. (A) 15 metros – novo código florestal, (B) 30 metros – antigo código florestal, (C) 100 metros – exigência dos ambientalistas e (D) 430 metros – toda área quantificada em 2010, em forma de APP em torno dos rios. Após isso, os dados vetoriais de APP foram transformados em matriciais com resolução de 15x15 m em x e y. Em seguida, cada APP foi “recuperada” no programa LEGAL (ANEXO 1), para transformação dos dados matriciais em numéricos (Figura 2) e definição do FATOR C (cobertura do solo) da USLE.

Foram atribuídos pesos para cada tipologia florestal presente na área, estes pesos foram definidos como: Floresta Estacional - 0,00774 MAEDA, (2008), Contato Savana/Floresta Ombrófila - 0,0006 (COSTA et al., 2005), Savana Arborizada (Cerrado) – 0,08523 (MAEDA, 2008).

Assim como para o FATOR C, o FATOR K foi definido de acordo com a classificação de solo presente na área, isto é, cada tipo de solo possui um “K” específico. Para isso foram utilizados valores de K para: Latossolo Vermelho Escuro distrófico (0,08) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (0,09). Foi utilizado o programa LEGAL (ANEXO 1) para geração de mapas numéricos a partir do mapa temático de solos, obtendo resolução matricial de 15x15 m.

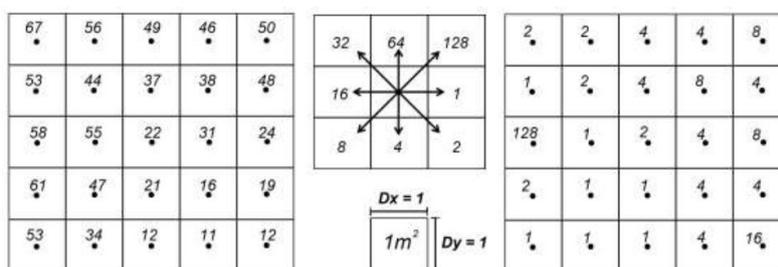
A partir do shapes do SRTM, foram calculados os FATORES LS pelo programa LEGAL. O processo de interpolação dos dados altimétricos para a geração da grade regular que caracteriza a superfície do MDE (modelo digital de elevação) exerce grande influência na análise das características topográficas do terreno, por isto deve ser realizado de acordo com a estrutura do dado altimétrico a ser interpolado (SALGADO, 2011). Foi utilizada a metodologia do vizinho local para geração da grade de altimetria. Assim, dada a matriz 3 x 3 com valores de altitude ‘Z’, representada na Figura 3, as variáveis topográficas locais podem ser calculadas no ponto ‘Z5’, com base nos valores de altitude da vizinhança.



**Figura 3** - Matriz 3x3 com valores de altitude 'Z' e espaçamento 'D' (Fonte: SALGADO, 2011).

Para cálculo do fluxo de escoamento superficial diferentes algoritmos podem ser empregados para a modelagem da distribuição do fluxo. Estes se diferenciam em algoritmos de fluxo simples, que transferem todo o fluxo acumulado para apenas uma célula vizinha, e algoritmos de fluxo composto que permitem distribuir o fluxo acumulado para mais de uma célula vizinha (DESMET; GOVERS, 1996).

O algoritmo Deterministic 8 (D8) apresentado por O'Callaghan e Mark (1984) é um algoritmo de fluxo simples e, por isto, todo o fluxo acumulado em determinado ponto é transferido para apenas um entre os oito pontos da vizinhança. A direção de fluxo é calculada empregando uma máscara 3 x 3 que atribui, ao ponto analisado, um valor convencionalizado (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128) referente à direção do ponto vizinho de menor altitude e maior gradiente de declividade, conforme ilustrado na Figura 4.



**Figura 4** – Representação dos valores de altitude da grade do MDE e valores da grade de direção do fluxo calculado com base na máscara 3 x 3 (Fonte: SALGADO, 2011).

Após a obtenção das grades de declividade e fluxo de escoamento superficial, foi utilizada as seguintes fórmulas em programa LEGAL para obtenção das grades regulares do FATOR S (equação 1) definida por (RENARD et al., 1997) e FATOR L (equação 2) definida por (MOORE e WILSON, 1992).

$$S = 10,8 \text{ sen}(\theta) + 0,03 \tag{1}$$

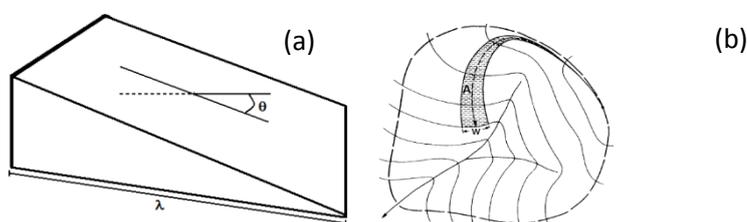
$$L = (ACM/22,13)^{0,5} \tag{2}$$

Onde:

$L*S$  = Fator topográfico;  $\Theta$  = ângulo de declividade e ACM = Fluxo acumulado.

Existem diferentes fórmulas para calcular o fator S com base no ângulo de declividade (MC COOL et al., 1987), no entanto a Equação 1 é diferenciada por adequar-se à modelagem da erosão em áreas de baixa e alta declividade (RENARD et al., 1997).

Com base na teoria de energia do fluxo (YANG, 1984) foi desenvolvido um fator L adequado à modelagem da influência da forma do relevo sobre o escoamento superficial, utilizando a área de captação específica ( $A_s$ ) em substituição à variável comprimento de rampa ( $\lambda$ ) (MOORE & WILSON, 1992), conforme apresentado na Equação 2.



**Figura 5** – 5.a) Comprimento de rampa ( $\lambda$ ) e ângulo de declividade ( $\theta$ ) em uma vertente regular plana. Fonte: Salgado (2011). 5.b) Representação da área de captação ( $A_c$ ) e da largura do fluxo ( $w$ ). Fonte: Moore e Wilson (1992).

Após a definição dos fatores C (cobertura do solo), K (tipo de solo) e  $L*S$  (fator topográfico), foram também definidos os fatores R (clima) e P (práticas conservacionistas). Para definição do FATOR R, foram adquiridos dados de precipitação dos últimos 25 anos da área em questão (1985 a 2010). A partir destes dados foi calculada média para cada período e a média para toda a série histórica, os dados estão expressos quadro 1. O FATOR P foi igual a 1, pelo fato de não haver práticas conservacionistas para o solo na área de estudo, isto é, quanto menor o P, maior será o uso de técnicas agrícolas que contribuem para a diminuição da perda de solos.

CATEGORIA	FATOR R calculado
Média do R para toda a série histórica	11860,33170
Média do R para o período de 1985 a 1990	10286,42564
Média do R para o período de 1990 a 2000	12543,27493
Média do R para o período de 2000 a 2010	11874,22401

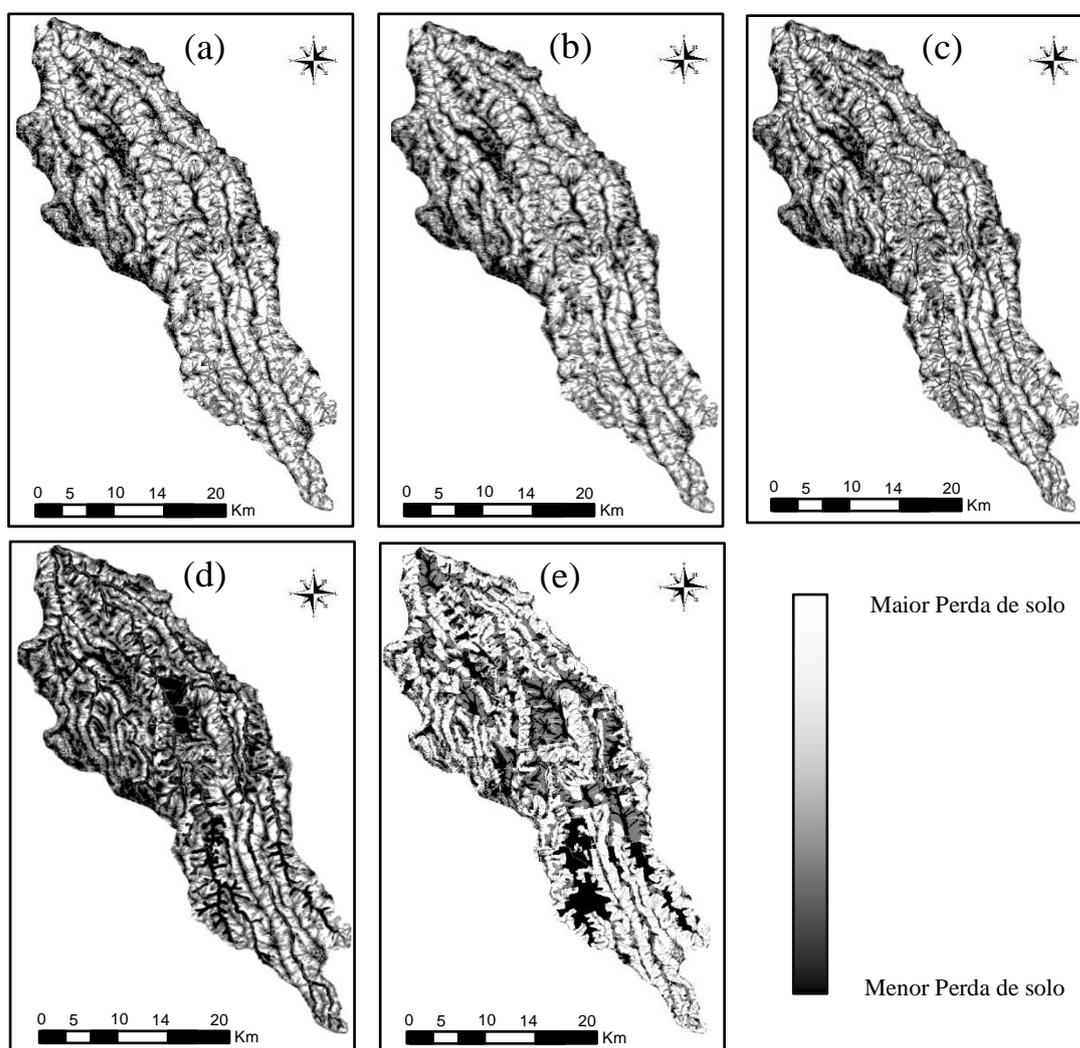
**Quadro 1** – Média da precipitação acumulada para a bacia do Alto do Rio Verde nos períodos que compreendem os anos de 1985 a 2010. (FONTE: ANA, 2012).

Definidos todos os fatores para USLE, por meio do LEGAL foi realizada álgebra de mapas para representar a equação 3. De acordo com os diferentes fatores C calculados, foram obtidos cinco diferentes resultados para a USLE da bacia: (1)

Uso\_2010, (2) USLE\_15m, (3) USLE\_30m, (4) USLE\_100m e (5) USLE\_430m (Figura 7).

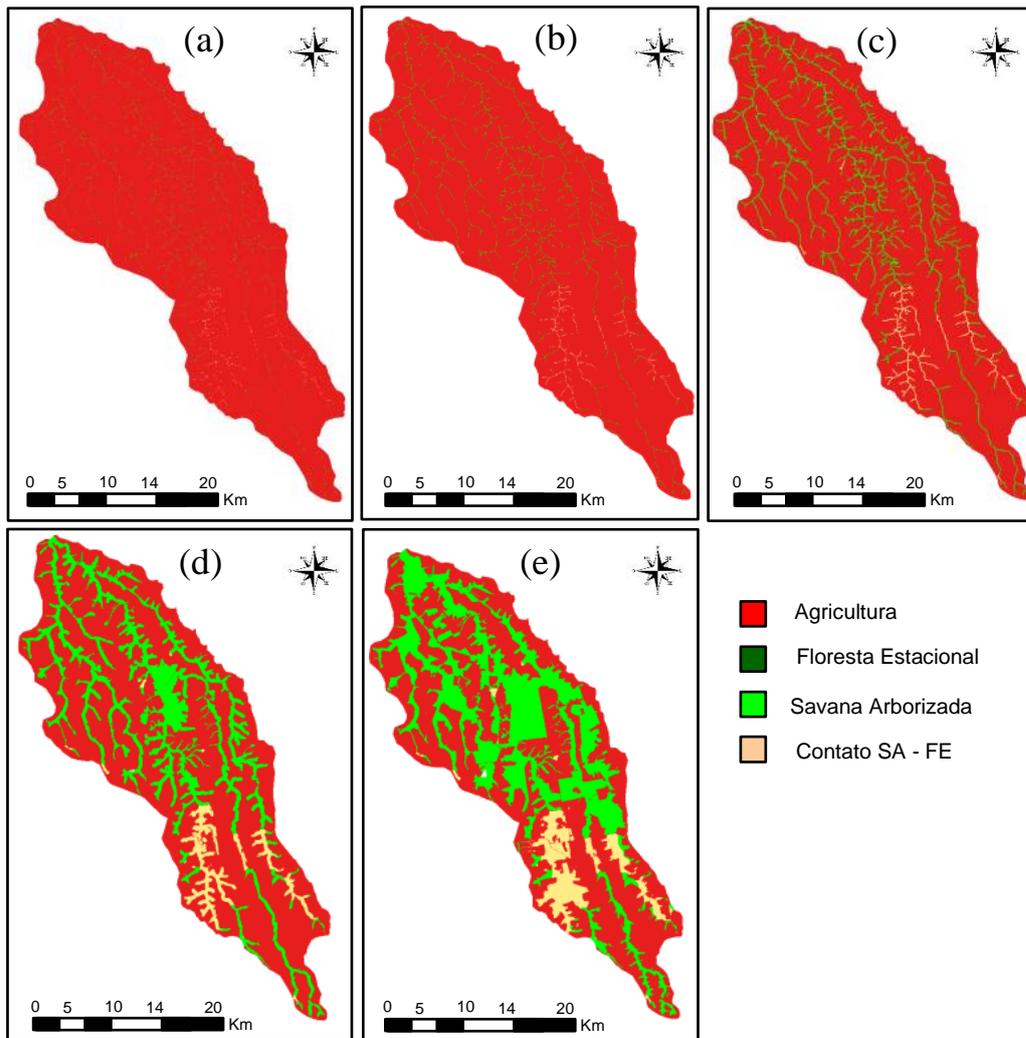
#### 4 RESULTADOS

Para análise da perda de solos para cada fator C encontrado, foram gerados os mapas de figura 6. Observa-se que quanto maior a faixa de cobertura florestal sobre a superfície da bacia (figura 6), menor é a perda de solo calculada pela Equação Universal de Perda de Solo (figura 6). Isto ocorre pelo fato de que os fatores C variaram de 0,0007 (floresta estacional) á 0,09 (contato cerrado/floresta ombrófila), e ao se gerar um PI numérico como estes valores, o valor da USLE diminuiu em áreas florestadas.



**Figura 6** – **6.a)** USLE para bacia do Rio Verde, onde o Fator C varia com cobertura florestal de 15 metros em torno dos rios. **6.b)** USLE para bacia do Rio Verde, onde o Fator C varia com cobertura florestal de 30 metros em torno dos rios. **6.c)** USLE para bacia do Rio Verde, onde o Fator C varia com cobertura florestal de 100 metros em torno dos rios. **6.d)** USLE para bacia do Rio Verde, onde o Fator C varia com cobertura florestal de 430 metros em torno dos rios. **6.e)** USLE para bacia do Rio Verde, onde o Fator C é igual ao mapa de uso e ocupação correspondente ao ano de 2010.

Maeda (2008) comenta que áreas de Formação Pioneira e as Florestas Estacionais Aluviais são classes valores de C muito pequenos, indicando a baixa suscetibilidade à erosão das mesmas. De acordo com o mesmo autor, as classes de Pasto e Culturas temporárias apresentaram um grande contraste quando comparadas aos demais usos e coberturas da área de estudo, sendo o valor de CP atribuído a elas de 0,005 e 0,2, respectivamente.



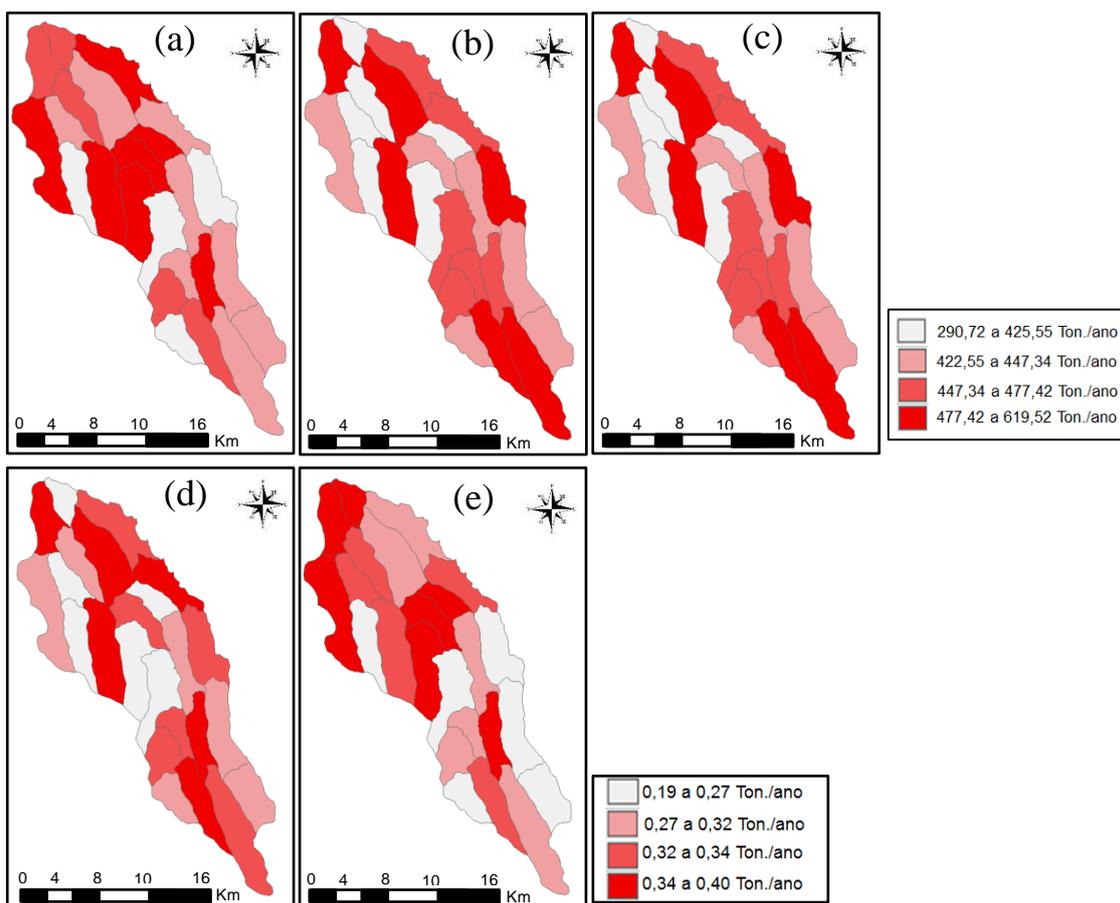
**Figura 7 – 7.a)** Cobertura florestal da bacia do rio verde com mapa de distância de 15 metros em torno dos rios. **7.b)** Cobertura florestal da bacia do rio verde com mapa de distância de 30 metros em torno dos rios. **7.c)** Cobertura florestal da bacia do rio verde com mapa de distância de 100 metros em torno dos rios. **7.d)** Cobertura florestal da bacia do rio verde com mapa de distância de 430 metros em torno dos rios. **7.e)** Cobertura florestal da bacia do rio verde com mapa de uso e ocupação correspondente ao ano de 2010.

Mais ao Sul da bacia ocorre um predomínio da tipologia contato savana/floresta ombrófila (figura 7). Desta forma observa-se que mais ao sul das imagens da figura 6, encontra-se maior predomínio de áreas claras, que podem ser associadas a maior perda de solo. Além disso, é possível observar na figura 7, que na figura 1.a, 1.b, 1.c e 1.d há

ao sul da bacia um predomínio de subbacias de cor vermelha. Esta cor está associada a maior perda de solo.

Por outro lado, FREDRIKSEN (1970) e VERSFELD (1981) verificaram que não é a atividade silvicultural em si (isto é, o corte raso, o desbaste, etc.) que ocasiona maior escoamento superficial e erosão, mas que estes processos são, na realidade, de ocorrência localizada, sendo originados principalmente nas estradas, nos carregadores, em áreas compactadas, etc.. Desta forma, a preocupação para com o planejamento adequado destas atividades, assim como para com a proteção destas áreas críticas e manutenção da camada orgânica do solo, torna-se, portanto, necessária para alcançar um controle mais efetivo da erosão.

De acordo com a variação do fator C (cobertura do solo) obtivemos a figura 7, para análise da perda de solo para toda a bacia hidrográfica particionada em subbacias.



**Figura 7** –**7.a)** Perdas de solo por subbacia de acordo com 15 metros de APP em torno dos Rios. **7.b)** Perdas de solo por subbacia de acordo com 30 metros de APP em torno dos Rios. **7.c)** Perdas de solo por subbacia de acordo com 100 metros de APP em torno dos Rios. **7.d)** Perdas de solo por subbacia de acordo com 430 metros de APP em torno dos Rios. **7.e)** Perdas de solo por subbacia de acordo com uso do solo de 2010.

É claro que a erosão não depende apenas destes fatores, estando, também, relacionada com a erosividade das chuvas, a qual depende de características como a intensidade, duração, energia cinética das gotas, etc.. Assim, é freqüente ocorrer que a maior parte das perdas anuais de solo por erosão seja produzida 'por uma ou por apenas algumas chuvas isoladas (MILLER, 1984), e o conhecimento destas características da chuva, e de sua distribuição ao longo do ano, é também fator importante no estabelecimento de modelos preditivos que facilitem a previsão e o controle da erosão para diferentes condições de solo.

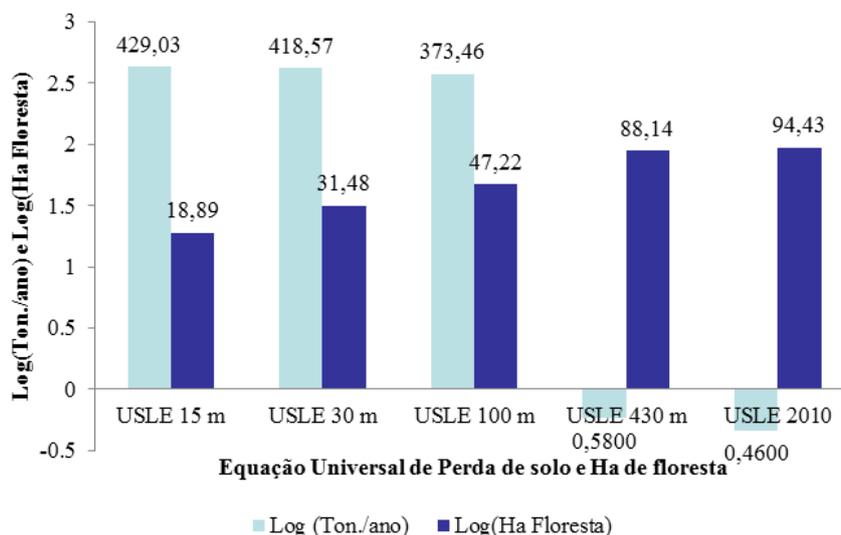
De acordo com a figura 6, pode se observar que ocorreu um grande aumento da perda de solo ao manter apenas 15, 30 e 100 metros de APP ao longo dos rios em comparação ao uso de 2010 e 430 metros de faixa florestada ao longo dos rios. Ao variar de 15 a 100 metros de floresta ciliar, não é notório a diferença para análise por subbacia, isto é, quase todas as subbacias (figura 7.a, 7.b e 7.c) se apresentam inalteradas para perda de solo. Notamos que a USLE, para estas condições de avaliação, se mostrou igual para quase todas as subbacias ao variar 15 a 100 metros de margem dos rios. Isto mostra que a variação da faixa de mata ciliar para mais (100 metros) ou para menos (15 metros) do exigido hoje pelo código florestal, não tem influência sobre os resultados da USLE. As principais funções da Área de Preservação Permanente são: a) preservar os recursos hídricos, b) preservar a paisagem, c) preservar a estabilidade geológica, d) preservar a biodiversidade, e) preservar o fluxo gênico da fauna e flora, f) proteger o solo e g) assegurar o bem-estar das populações humanas (CFB, lei 4.771/65). Vemos que tanto a exigência dos ambientalistas (100 metros de floresta em torno dos rios), quanto à exigência dos ruralistas (15 metros em torno dos rios) não afeta diretamente a preservação de solo, uma das funções da APP.

Para o mapa de uso e ocupação de 2010 e 430 metros em torno dos rios, a bacia perde menos de meia tonelada de solo por ano (Figura 7.f e 7.g). Com a mudança do código florestal, ao se for mantida uma faixa de mata ciliar no total de 15 metros contabilizada a partir do leito normal dos rios, sem levar em consideração as faixas de mata ciliar obrigatória pelo código de 1965 em torno do leito de cheia dos rios, pode ocorrer um aumento médio de 739,70 % em perdas de solo por erosão e lixiviação. Este valor está contabilizado em função da APP e não soma a reserva legal, outra variável que pode contribuir para diminuição da perda de solos.

A Reserva Legal tem como objetivo uma dimensão maior de proteção, uma vez que mantém a biodiversidade, de importância para o equilíbrio do clima da região,

conserva as espécies ameaçadas de extinção, tanto animais como florestais. Enfim, garante reservas de água, solo, flora e fauna para as futuras gerações, mantendo um balanço positivo entre a atividade humana e o ambiente onde esta atividade é desenvolvida (CFB, lei 4,771/65). Com os resultados da USLE vemos que além de todas estas funções descritas pelo código florestal para a RL, outra implicaria em proteção de solos, visto que ocorreu diminuição da USLE para o uso e ocupação de 2010 em comparação a mesma quantidade de área apenas em torno dos rios (Gráfico 1).

A perda de solo na ordem de 400 t/ha.ano (Gráfico 1) é termos absolutos muito grande em comparação aos resultados encontrados na literatura, que também utilizaram formas empíricas para estimar esta variável. Para Maeda (2008), as mudanças mais significativas de perda de solo bacia do rio Suiá-Miçu, ocorreram no período entre 1984 e 2005, na região central da bacia com 4 e 7 t/ha.ano aproximadamente. As regiões nordeste e leste da bacia também obtiveram aumentos expressivos na produção de sedimentos entre 1984 e 2005, variando entre 1,5 e 4 t/ha.ano. O autor utilizou a EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), que considera outras variáveis para estimar a quantidade de sedimentos carregados ao rio comparado a USLE, deste modo a comparação dos resultados deve ser criteriosa, levantando-se todos os fatores que podem diferenciar os resultados comparativos.



**Gráfico 1** – Equação Universal de Perda de Solo de acordo com a mudança na cobertura florestal da bacia. Os dados estão expressos em Log para facilitar o entendimento da escala no gráfico.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

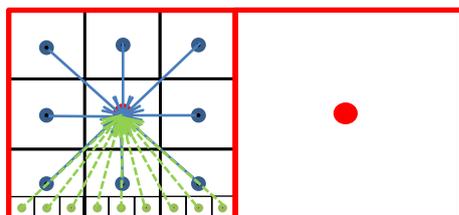
- Como elemento de investigação prospectiva, a aplicação da USLE mostrou-se procedente, embora permaneça a questão de este modelo estar restrito uma avaliação semiquantitativa dos processos de perda de solos e apresentar restrições/limitações intrínsecas a sua estrutura (WISCHMEIER, 1976).

- A abordagem recomenda a constituição de aprofundamento dos procedimentos adotados neste estudo, para posterior derivação dos dados a partir de modelos analíticos de estrutura matemática mais robusta. A aplicação desses modelos, todavia, requer um refinamento da base de dados e, sobretudo, o detalhamento de um plano experimental que permita: (1) validação dos resultados e (2) inserção efetiva das informações derivadas no âmbito da reformulação do código florestal.

## 5. PROBLEMAS ENCONTRADOS

- Um dos principais problemas encontrados na execução deste trabalho foi em relação ao resultado final da álgebra de mapas. O valor final da USLE está sendo estimado pelo maior elemento de resolução, isto é, 90 x 90 m do SRTM. Desta forma todos os outros PI's resultantes do uso e ocupação do solo (30 x 30 m) e tipo de solo (30 x 30 m), que foram refinados para 15 x 15 m, perdem seu valor de refinamento. Os resultados finais podem estar subestimados ou superestimados.

- O SPRING 5.2 faz a álgebra de mapas de PI's com diferentes resoluções em grade. Desta forma ele leva em consideração o centroide de cada grade e multiplica o valor dos centroides mais próximos (figura 8), desta forma o erro no resultado final pode ser reduzido.



**Figura 8** – Multiplicação dos planos de informação SRTM (90 x 90 m), cobertura do solo (30 x 30 m) e faores da USLE (15 x 15 m) ponto a ponto no LEGAL. O SRTM possui resolução em grade de 90 x 90 m e os demais possuem menor resolução em grade, desta forma todos os centroides localizados dentro da maior resolução serão multiplicados entre si (vizinhos mais próximos).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Região Hidrográfica Amazônica**. Disponível em: < <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx> >. Acesso em: 18 maio 2012.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 10, n. 3, p. 311-331, 1996.

EMBRAPA SOLOS. **Mato Grosso**. Disponível em: < [http://www.catalogosnt.cnpia.embrapa.br/catalogo20/catalogo\\_de\\_produtos\\_e\\_servicos/arvore/CONTAG01\\_11\\_4112005181517.html](http://www.catalogosnt.cnpia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONTAG01_11_4112005181517.html) > Acesso em: 18 maio de 2012.

FREDRIKSEN, R.L. - Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small western Oregon watersheds. **USDA. Forest Service. PNW research paper**, Berkeley V.104. P. 1-15, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bacia hidrográfica: Alto do Rio Verde**. 2012. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=150060>>. Acesso em: 18 maio 2012.

MAEDA, E.E. Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da Bacia do Alto Rio Xingu. 102 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2008.

MC COOL, D.K.; BROWN, L.C.; FOSTER, G.R.; MUTCHLER, C.K.; MEYER, L.D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 30, p. 1387-1396, 1987.

MEEUWIG, R.O. - Sheet erosion on intermountain summer ranges. **USDA. Forest Service. INT research paper**, Ogden, v. 85, p. 1-25, 1970.

MILLER, E.L. - Sediment yield and storm flow response to clear-cut harvest and site preparation in the Ouachita Mountains. **Water Resources Research**, Washington, v. 20, n. 4, p. 471-475, 1984.

MOORE, I. D.; WILSON, J. P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 47, n. 5, p. 423-428, 1992.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, p. 323 – 344, 1984.

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.** Washington: USDA, 1997. 384p. (Agriculture Handbook n. 703)

SALGADO, M.P.G. **Avaliação dos dados SRTM e GDEm aplicados a modelagem do fator topográfico de USLE.** 123 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2011.

TAYLOR, A.W. et alii - Nutrients in streams draining woodland and farmland near Coshocton, Ohio. **Water Resources Research.** Washington, v. **7**, n. 1, p. 81-89, 1971.

VERSFELD, D.B. - Overland flow on small plots at the Jonkershoek Forestry Research Station. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 119, p. 35- 40, 1981.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation.** Washington, USDA, 1965. 47p.

YANG, C. T. Unit stream power equation for Gravel. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 110, n. 12, p. 1783-1797, 1984.

## ANEXOS

## Programas utilizados no LEGA L – SPRING 5.2

### ANEXO 3 - Programa 1\* - Buffers em matricial (“desbaste”)

```
1 {
2 Tematico t1,t2, t3, t4, t5 ("APPs");
3 Tematico t1, t2, t3, t4, t5, t6, tsai1, tsai2, tsai3, tsai4, tsai5, tsai6 ("Cobertura da Terra");
4
5 t1 = Recuperere( Nome = "Nascentes" );
6 t2 = Recuperere( Nome = "Rios_15metros" );
7 t3 = Recuperere( Nome = "Rios_30metros" );
8 t4 = Recuperere( Nome = "Rios_100metros" );
9 t5 = Recuperere( Nome = "Rios_430metros" );
10 t6 = Recuperere( Nome = "2010" );
11
12 tsai1 = Novo( Nome = "Cob_2010_15m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
13 tsai1 = Novo( Nome = "Cob_2010_30m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
14 tsai1 = Novo( Nome = "Cob_2010_100m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
15 tsai1 = Novo( Nome = "Cob_2010_430m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
16 tsai1 = Novo( Nome = "2010", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
17
18
19 tsai2 = t1.Classee==1?t2:t3.Classee==1?t2:Classee(2);
20 tsai2 = t1.Classee==1?t3:t3.Classee==1?t3:Classee(2);
21 tsai2 = t1.Classee==1?t4:t3.Classee==1?t4:Classee(2);
22 tsai2 = t1.Classee==1?t5:t3.Classee==1?t5:Classee(2);
23 tsai2 = t1.Classee==1?t6:t3.Classee==1?t6:Classee(2);
24
25 }
```

### ANEXO 2 - Programa 2\*\* Temático para numérico

```
1 {
2 Tematico t1, t2, t3, t4, t5 ("Cobertura da Terra");
3 Numerico n1, n2, n3, n4, n5 ("CAT_MNT");
4
5 t1 = Recuperere( Nome = "Cob_2010" );
6 t2 = Recuperere( Nome = "Cob_2010_15m" );
7 t3 = Recuperere( Nome = "Cob_2010_30m" );
8 t4 = Recuperere( Nome = "Cob_2010_100m" );
9 t5 = Recuperere( Nome = "Cob_2010_430m" );
10
11 n1 = Novo( Nome = "Cob_2010_Fator_C", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
12 n2 = Novo( Nome = "Cob_2010_15m_Fator_C", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
13 n3 = Novo( Nome = "Cob_2010_30m_Fator_C", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
14 n4 = Novo( Nome = "Cob_2010_100m_Fator_C", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
15 n5 = Novo( Nome = "Cob_2010_430m_Fator_C", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
16
17
18 n1= t1.Classee==1?0.08523:t1.Classee==2?0.476:t1.Classee==3?0.007:t1.Classee==4?0.0006:0;
19 n2= t2.Classee==1?0.08523:t2.Classee==2?0.476:t2.Classee==3?0.007:t2.Classee==4?0.0006:0;
20 n3= t3.Classee==1?0.08523:t3.Classee==2?0.476:t3.Classee==3?0.007:t3.Classee==4?0.0006:0;
21 n4= t4.Classee==1?0.08523:t4.Classee==2?0.476:t4.Classee==3?0.007:t4.Classee==4?0.0006:0;
22 n5= t5.Classee==1?0.08523:t5.Classee==2?0.476:t5.Classee==3?0.007:t5.Classee==4?0.0006:0;
23
24 }|
```

### ANEXO 3 - Programa 3\*\*\* - Definição da USLE

```
1 {
2 Numerico n1, n2, n3, n4, n5, n6, nsai1, nsai2, nsai3, nsai4, nsai5 ("CAT_MNT");
3
4
5 // recupera os arquivos
6
7 n1=Recupere(Nome="FATOR_k");
8 n2=Recupere(Nome="FATOR_S");
9 n3=Recupere(Nome="FATOR_L");
10 n4=Recupere(Nome="FATOR_C_2010");
11 n5=Recupere(Nome="FATOR_C_2010_15m");
12 n6=Recupere(Nome="FATOR_C_2010_30m");
13
14 nsai1 = Novo( Nome = "USLE_2010", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
15 nsai2 = Novo( Nome = "USLE_2010_15m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
16 nsai3 = Novo( Nome = "USLE_2010_30m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
17 nsai4 = Novo( Nome = "USLE_2010_100m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
18 nsai5 = Novo( Nome = "USLE_2010_430m", ResX = 15 , ResY = 15 , Escala = 50000 );
19
20 nsai1=11860.3317*(n1/10000)*n2*n3*n4;
21 nsai2=11860.3317*(n1/10000)*n2*n3*n5;
22 nsai3=11860.3317*(n1/10000)*n2*n3*n6;
23 nsai4=11860.3317*(n1/10000)*n2*n3*n6;
24 nsai5=11860.3317*(n1/10000)*n2*n3*n6;
25
26
27 }
```