

Geoprocessamento aplicado ao estudo do potencial à erosão laminar na bacia hidrográfica do rio areias, no estado do Tocantins

Arnon Batista Nunes¹
Emerson Figueiredo Leite²

¹ Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Faculdade de Ciências Integradas do Pontal – FACIP/UFU
Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal – PPGEP
Rua 20, nº 1600, Bairro Tupã - 38.304-402 – Ituiutaba – MG
arnongeo@ufu.br

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/CPAq
Rua Oscar Trindade de Barros, 740, CEP 79.200-000
Bairro Serraria, Aquidauana - MS, Unidade II
emerson.leite@ufms.br

Abstract: this article presents a geoprocessing technique application result in the erosion study through the Geographic Information Systems (GIS) with the purpose of determining the susceptibility to the laminar flow erosion and, further, presents the potential chart to the laminar flow erosion of the Areias's river watershed, in Tocantins state. To the erosivity yearly average evaluation, geostatistical procedures on GIS QGIS were realized and these started from the precipitation data collected from the climatological seasons of the targeted area's surroundings. From the soil erodibility and declivity maps, the primary laminar flow erosion susceptibility map was determined. For the ramp length map elaboration, the data from the Topodata/INPE project was used and, afterwards, that data was associated to the Spring software database, being analyzed through the Space Language for Algebraic Geoprocessing. The final result went to the synthesis chart that shows information of fragilities to the laminar flow erosion and potential indication to the laminar flow erosion which correlates directly to the layers' integration, use and occupation of Earth with the terrains' susceptibility in developing laminar flow erosion, the potential average is associated to the layer's sort according to this result, use and occupation of Earth that includes yearly cultures, such as soybean, corn and others.

Palavras-chave: watershed, laminar flow erosion, geoprocessing, bacia hidrográfica, erosão laminar, geoprocessamento.

1. Introdução

No artigo em evidência, apresenta-se um resultado da aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo de erosão por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), com fins de determinar a suscetibilidade a erosão laminar e, mais além, expõe a carta de potencial à erosão laminar da bacia hidrográfica do rio areias, no estado do Tocantins.

O avanço da tecnologia de Sensoriamento Remoto e o uso de SIG's, nas últimas décadas, proporcionou diferentes aplicações de modelos geoestatísticos que utiliza de variáveis correlacionadas a erosão dos solos, como por exemplo, os estudos de Equação Universal de Perdas de Solo EUPS, suscetibilidade a movimento massa, desastres naturais, cartografia geotécnica e entre outros.

Segundo Meneses (2012), o acelerado avanço com que o Sensoriamento Remoto se desenvolveu em poucas décadas deve-se à evolução nos meios de se observar a Terra numa escala global e periódica e na rapidez da monitoração dos fenômenos dinâmicos e das mudanças das feições terrestres.

Deste modo, a determinação das fragilidades ou potencialidades por meio de geoprocessamento traz a possibilidade de uma análise integrada da paisagem, sob uma perspectiva da análise ambiental integrada dos componentes físicos da paisagem.

Nesse sentido, a análise espacial da distribuição da suscetibilidade a erosão laminar e a carta potencial, constituem um produto cartográfico a ser utilizado no zoneamento ambiental

que trata-se de um instrumento de ordenamento territorial que permite apontar diretrizes para o planejamento ambiental e orientar os parâmetros de ocupação de um determinado espaço geográfico, sendo este um elemento básico de auxílio na tomada de decisão por parte dos planejadores, ao se detectar por meio destes estudos as potencialidades e fragilidades de um determinado território, seja ele uma bacia hidrográfica ou um município.

De acordo com Guerra (2005), o processo erosivo causado pela água da chuva tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta.

A aplicação do geoprocessamento nos modelos de estudos da erosão, segundo Araújo (1996, p. 30), pode ser efetuada com a utilização de (SIGs), que possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a distribuição espacial da erosão na área estudada.

Considerando que o solo como recurso natural proporciona ao homem o cultivo de alimento para seu sustento, Bertoni e Lombardi (1999, p.73), salientam que o homem, ao explorar o solo, destrói a vegetação protetora, rompe com o arado a superfície do terreno para semear as espécies vegetais úteis às suas necessidades de alimentação e abrigo e submete terra a aração periódica com as ferramentas de preparo do solo, então o processo erosivo adquire velocidade e intensidade.

Localizada entre os paralelos 10°41'19" e 11°17'51" de Latitude (λ) Sul e entre os meridianos 47°47'00" e 48°27'00" de Longitude (ϕ) Oeste, abrange áreas territoriais dos municípios de Porto Nacional, Monte do Carmo, Silvanópolis e Ipueiras, no estado do Tocantins. A área de estudo possui uma área aproximada de 239.700,0000 hectares.

Conforme caracterizado pela Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins SEPLAN (2008), a bacia situa-se na regionalização climática *C2wA'a'* – caracterizado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

No médio e baixo curso, a bacia hidrográfica caracteriza-se pela presença de vastas áreas de relevo plano com declividade <6%, na unidade de relevo depressão no médio Tocantins, essa área é marcada pela presença de Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA).

Já no sentido (NW-SE), a área de estudo caracteriza pela predominância de Plintossolos Pétricos (FF) coincidindo respectivamente com a unidade geológica: Formação Pimenteiras: Grupo Canindé, essa é a penúltima formação do período Devoniano da era *EON* Paleozóico, da Bacia sedimentar do Parnaíba, tendo litologias de argilito e siltito com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal com idade de 389 m.a.

2. Metodologia de Trabalho

Para elaboração desta pesquisa, adota-se a metodologia proposta por de Salomão (2005) para os estudos de suscetibilidade a erosão laminar. Nessa metodologia, o autor sugere que após selecionar e combinar dados disponíveis, através de procedimentos num SIG, as variáveis geográficas como: erodibilidade, erosividade, comprimento de encostas, declividade e uso e ocupação atual podem ser cartograficamente cruzados, gerando um mapa de síntese da análise de fragilidade potencial à erosão laminar.

Desta forma, o presente trabalho possui como objetivo aplicar metodologia proposta por Salomão (2005) para o estudo de fragilidade à suscetibilidade a erosão laminar baseada na combinação de elementos relacionados à erosão. Na primeira etapa, preparou-se os dados cartográficos de estudos do relevo, solo, geologia e vegetação por meio de procedimentos operacionais através do *software* Spring, o qual possui com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados.

Já em um segundo instante, para que essas informações fossem analisadas de forma integrada por meio de um cruzamento matricial dos Planos de Informação PIS, esses dados

foram compilados e adicionados a um Banco de Dados Geográficos, sendo posteriormente correlacionadas de forma que possibilitou a confecção da carta de síntese da paisagem que expressa informações de suscetibilidade e potencial a erosão laminar.

Na elaboração do mapa de declividade utilizou-se de dados altimétricos disponibilizados pelo Projeto Topodata/INPE. Para tanto, fez-se um mosaico no *software* Spring destes dados sendo posteriormente geradas da grade retangular as curvas de nível com equidistância de 20 metros, o que propiciou a geração de uma grade TIN (grade triangular) onde utilizou – se à rede drenagem, como linha de quebra, ou seja, onde a intersecção do cruzamento com a curva de nível deve gerar um ponto de triangulação.

A elaboração do mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar é um resultado do cruzamento matricial dos PI's de declividades, com os PI's de erodibilidade dos solos, por meio de um operador de ponderação utilizando a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL, no *software* Spring. O primeiro passo neste processo consistiu em converter o mapa de solos em uma grade de valores de erodibilidade, e o mapa de classes de declividade em uma grade de valores médios de declividade, usando-se da função *pondere*. Em seguida, foram definidas para essas representações as variáveis que foram associadas aos dados produzidos no LEGAL.

Câmara, Gilberto et al. (1996) explicam que uma variável consiste de um nome, que é então associado a um modelo e uma categoria que irão caracterizar os planos de informação que possam ser por ela representados ao longo de um programa.

Já em um procedimento de instanciação, que consiste da associação efetiva de planos de informações, permitindo atribuir valores que indicam a contribuição relativa de cada uma das classes de um tema, deste modo, numa operação seguinte, às classes de declividade e erodibilidade dos solos foram combinadas, conforme a regra instituída pela proposta metodológica de Salomão (2005), dando origem a novas classes, tendo como resultado o mapa denominado de suscetibilidade à erosão laminar.

Após esses procedimentos foi efetivada a operação das variáveis declaradas nessa aplicação por meio do cruzamento das variáveis declividades e erodibilidade dos solos, então, em decorrência destas duas sentenças envolvidas obteve-se o mapa que corresponde à suscetibilidade à erosão laminar, com um resultado da média simples pontual dos valores das duas variáveis.

Os estudos climáticos relacionados à erosividade da chuva para setes estações do entorno da bacia foram elaborados a partir dos dados climatológicos publicados nas normais climatológicas do Brasil, período 1961-1990, considerando os resultados obtidos por meio da equação ($E = 6,866 (p^2/P) 0,85$) onde: (p) corresponde a precipitação média mensal e (P) refere-se a precipitação média anual. Posteriormente, para realizar este mapeamento, estes dados foram interpolados através de métodos geoestatísticos de interpolação: Inverso do Quadrado da Distância – IDW disponível no *software Quantum GIS Desktop 1.8.0*, considerando a localização geográfica de cada estação do entorno da bacia.

Para obtenção do comprimento de rampa usou-se a função *Slope Length* do módulo *Terrain Analysis* para a aquisição da grade de comprimento de rampa em metros no *software SAGA GIS*, após este procedimento o arquivo foi exportado no formato *Surfer grid*.

Este procedimento também é descrito por Costa et al (2011, p.2), para elaboração de mapas de declividade e comprimento de rampa para os estados da região Sul do Brasil, no comunicado técnico 66 da Embrapa Solos. Segundo estes pesquisadores, o comprimento de rampa é finalizado quando ocorre a condição de uma célula vizinha apresentar declividade menor que a metade da declividade da célula sob análise.

Para definição dos pesos de declividade e comprimento de rampa foi aplicado o cálculo que determina o fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solos EUPS. Essa equação é empregada para a determinação do fator (LS) descrito que foi adaptada por Bertoni

e Lombardi Neto (2008), na aplicação da EUPS. Tal equação permite calcular as perdas médias de solos para vários graus de declives e comprimento de rampa, expressa por $LS=0,00984 * (L0,63) * (S1,18)$, onde LS= Fator topográfico; L = Comprimento de rampa em m; S - declive em percentagem.

A partir dos mapas de erodibilidade dos solos e declividade das encostas, foi determinado o mapa preliminar de estimativa das áreas de suscetibilidade à erosão laminar, sendo este conferido com visualização em campo objetivando a confirmação e ajustes necessários na definição das classes de suscetibilidade, posteriormente, essas informações foram cruzadas através da LEGAL, Figura 1, com: erosividade e comprimento de rampa dando origem ao mapa final de suscetibilidade a erosão laminar.

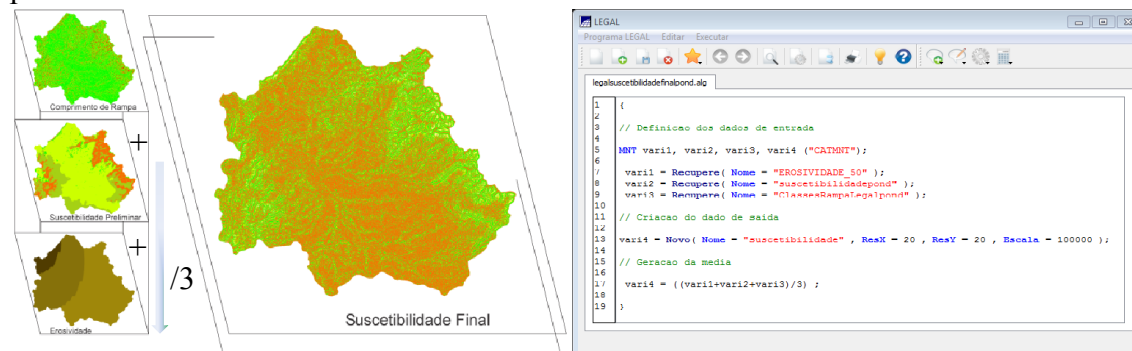


Figura1. Operação de cruzamento matricial em LEGAL no Spring, na confecção do mapa final de suscetibilidade.

Para a confecção do mapa de cobertura e uso da Terra foi utilizada a imagem do satélite *Resourcesat* – sensor P6-LISS3. Este satélite possui resolução espacial de 23,5m, a cena escolhida data de 10 abril do ano de 2012, órbita ponto 327/084-L2, na composição colorida das bandas espectrais 3R4G2B.

Segundo Moreira (2011), esse método utiliza as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas no treinamento. Em seguida, avalia, para cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes.

Conforme Câmara (1996), a medida da distância de *Bhattacharya* é usada neste classificador para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Para o autor, o princípio é análogo ao utilizado para o classificador *Isoseg*, porém a medida de distância usada é a distância de *Bhattacharya*, ao contrário do *Isoseg* que é automático, requer interação do usuário através do treinamento, neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens.

O potencial à erosão laminar pode assim ser definido como o resultado da integração entre a suscetibilidade dos terrenos em desenvolver erosão e a ocupação atual, para tanto segundo Salomão (2005) cita que o critério adotado para o estabelecimento das classes de ocupação deverá ser o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra. O autor ainda explica que por meio do cruzamento matricial das classes de suscetibilidade à erosão laminar com as classes de Uso e Ocupação da Terra, será possível a determinação de três classes de potencial atual à erosão laminar, conforme Figura 2.

Na metodologia supracitada o autor define que a carta potencial à erosão laminar terá como resultado três classes, que são expressas no mapa final de potencial à erosão laminar representando o alto potencial, médio potencial e baixo potencial, sendo descritas com as seguintes recomendações: classe I: alto potencial – uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar; classe II: médio potencial – uso atual do solo incompatível com suscetibilidade à erosão laminar, possível d e ser controlada com práticas

conservacionistas adequadas; classe III: baixo potencial – uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

Suscetibilidade à Erosão Laminar	Cobertura, uso e ocupação atual da Terra				
	1. Muito forte	2. Forte	3. Médio	4. Fraco	5. Muito fraco
1. Extremamente suscetível	I	I	I	II	–
2. Muito suscetível	I	II	II	III	–
3. Modernamente suscetível	II	II	II	III	–
4. Pouco suscetível	II	III	III	III	–
5. Pouco ou não suscetível	III	III	III	III	III

Figura 2. Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar baseados em Salomão (2005) e (IPT-1999).

3. Resultados e Discussão

A análise do mapa de suscetibilidade a erosão laminar apresentados na Figura 3, na qual se pode observar que a distribuição das áreas mais suscetíveis se concentra em áreas de maiores declividades, por conseguinte, nos solos Plintossolos Pétricos, sendo que à medida que aumenta o grau de declividade acrescenta proporcionalmente o de suscetibilidade.

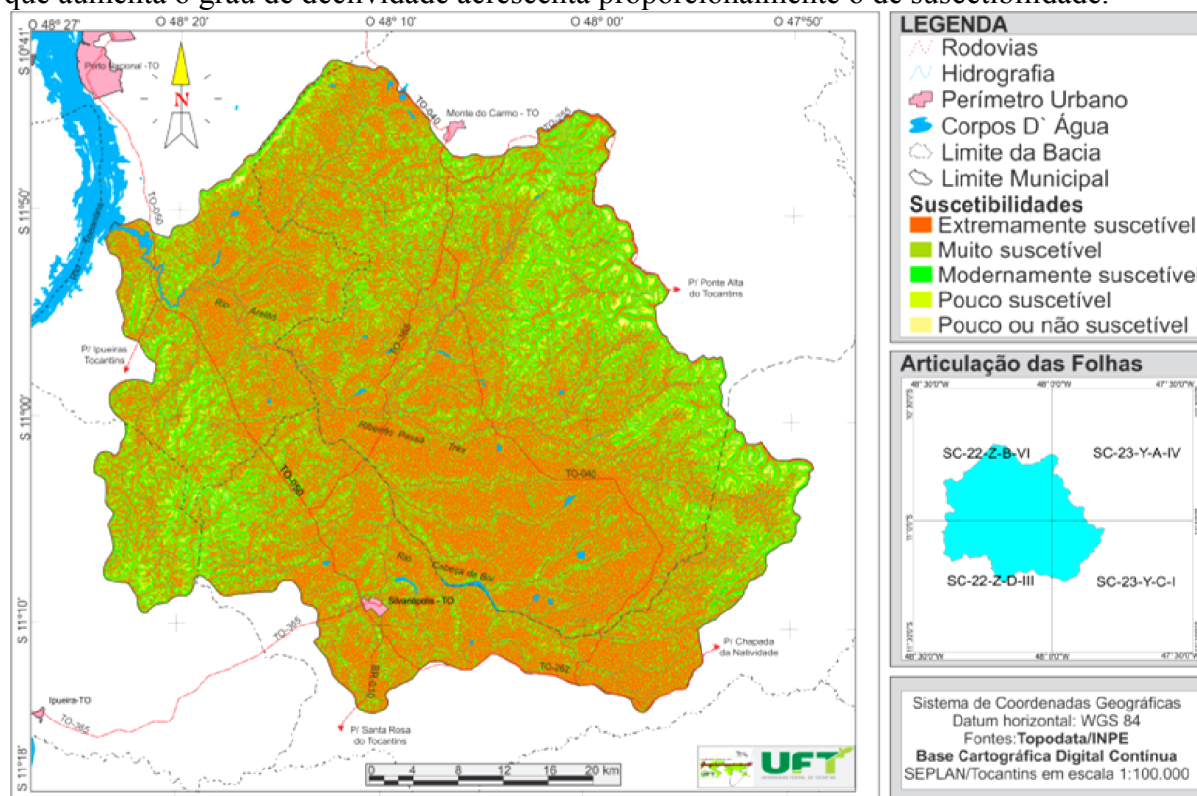


Figura 3. Mapa final de suscetibilidade à erosão laminar da bacia hidrográfica do rio Areias.

O resultado do mapeamento de cobertura, uso e ocupação da Terra, mostra a predominância da classe pasto sujo sendo aos remanescentes de pastagens abandonadas e as formações campestres, tais como, os três tipos fisionômicos principais: Campo Sujo, Campo Rupestre e o Campo Limpo, sendo estes definidos pela Embrapa (1998, p. 130) como Campo Sujo e caracterizando-se pela presença marcante de arbustos e substratos entremeados nos estratos herbáceos.

Segundo definição feita pela Embrapa (1998) o Campo Rupestre possui estrutura similar ao Campo Sujo, diferenciando-se tanto pelo estrato, composto por afloramento de rocha,

quanto pela composição florística, que inclui muitos endemismos. Já no Campo Limpo, a presença de arbustos e subarbustos é insignificante o que nos permite concluir que essa classe é equivalente à vegetação de baixo porte sem floresta-de-galeria, sujeita ao fogo anual.

A classe I – Culturas anuais, representa cerca de 18,76% são geralmente lavouras alimentares para comercialização de soja, milho, e outros, tendo uma porção representativa de 449.767,200 hectares na área de estudo, sendo presente nas áreas de relevos planos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos.

Conforme classificado, a classe II está distribuída nas lavouras semi permanentes como a mandioca e pastagens. São áreas cuja vegetação apresenta baixa e médio porte onde solo na maioria das vezes apresenta vegetação de gramíneas, com atividades antrópicas moderadas, destinadas ao pastoreio do gado. No resultado da medição de classes verifica-se que ela representa 3,72 %, a classe V, ocupa um valor abaixo cerca de 1%, pouco menos que a média das outras constituindo 3,71% sendo as áreas de espelhos d' água e várzeas.

Por fim, as áreas que compõem a classe IV representam uma porcentagem de 16,09 %, sendo capoeirão, Floresta Densa e reflorestamento, que consistem em formações arbóreas, estando distribuída nas margens dos cursos d' água da bacia hidrográfica, associados aos Gleissolos, como pode ser observado no mapa de cobertura, uso e ocupação da Terra.

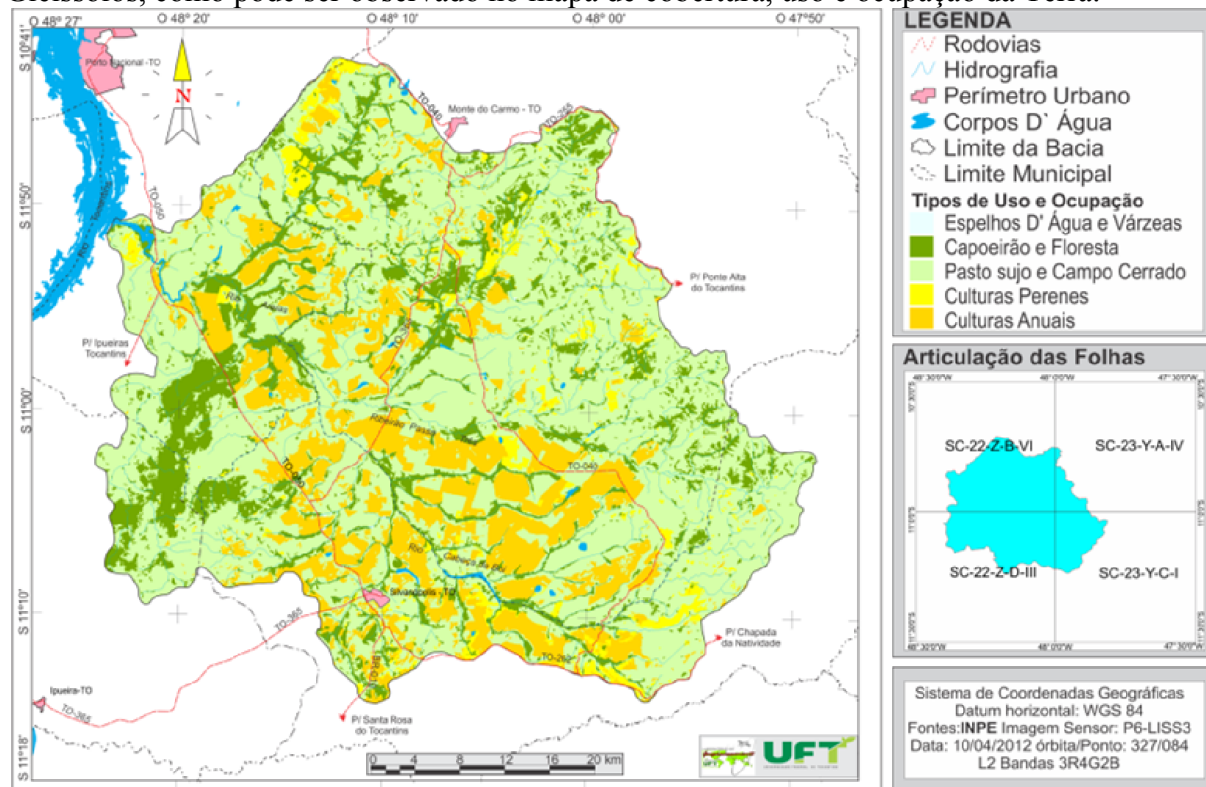


Figura 4. Mapa de cobertura, uso e ocupação da Terra, da bacia hidrográfica do rio areias.

Já com relação aos estudos do Potencial a Erosão Laminar, a classe I: Alto potencial – definida por Salomão (2005) como uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, por conseguinte relacionadas nas classes: extremamente suscetível à erosão laminar, juntamente com áreas de culturas anuais correspondeu a 1,62%, da área da Bacia hidrográfica do rio areias.

A classe II: Médio potencial – compreendem as classes de cobertura, uso e ocupação da Terra: Capoeirão, Floresta em áreas (Extremamente suscetível), juntamente com cobertura vegetal (Capoeirão, Floresta, Pasto sujo e Campo Cerrado) em áreas muito suscetíveis.

Ainda sobre o mapeamento Potencial a Erosão Laminar, (Tabela 1 e Figura 5), incluem também no (Médio potencial) a associação das classes Modernamente Suscetível e Pouco

suscetível, associados a uso/ocupação e cobertura da terra, por Culturas Anuais, Culturas Perenes Pasto Sujo e Campo Cerrado, como: nos usos agrícolas de soja, milho, e outros sujeitos o uso atual do solo incompatível com suscetibilidade à erosão laminar, mas possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas.

Tabela 1. Classes de Potencial à Erosão Laminar.

Potencial a Erosão Laminar	Área e hectares	Porcentagem
I : Alto Potencial	3.885,200	1,62%
II : Médio Potencial	57.668,000	24,06%
III : Baixo Potencial	178.146,800	74,32%
Área total das classes	239.700,000	100%

A classe III: baixo potencial abrange todas as áreas das Pouco ou não suscetível, associados a uso/ocupação e cobertura da terra como de culturas perenes e vegetação campestres em relevos planos com declividade de 0 a 6%, e comprimentos de rampas de até 125 metros, ao qual o uso atual da terra é compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

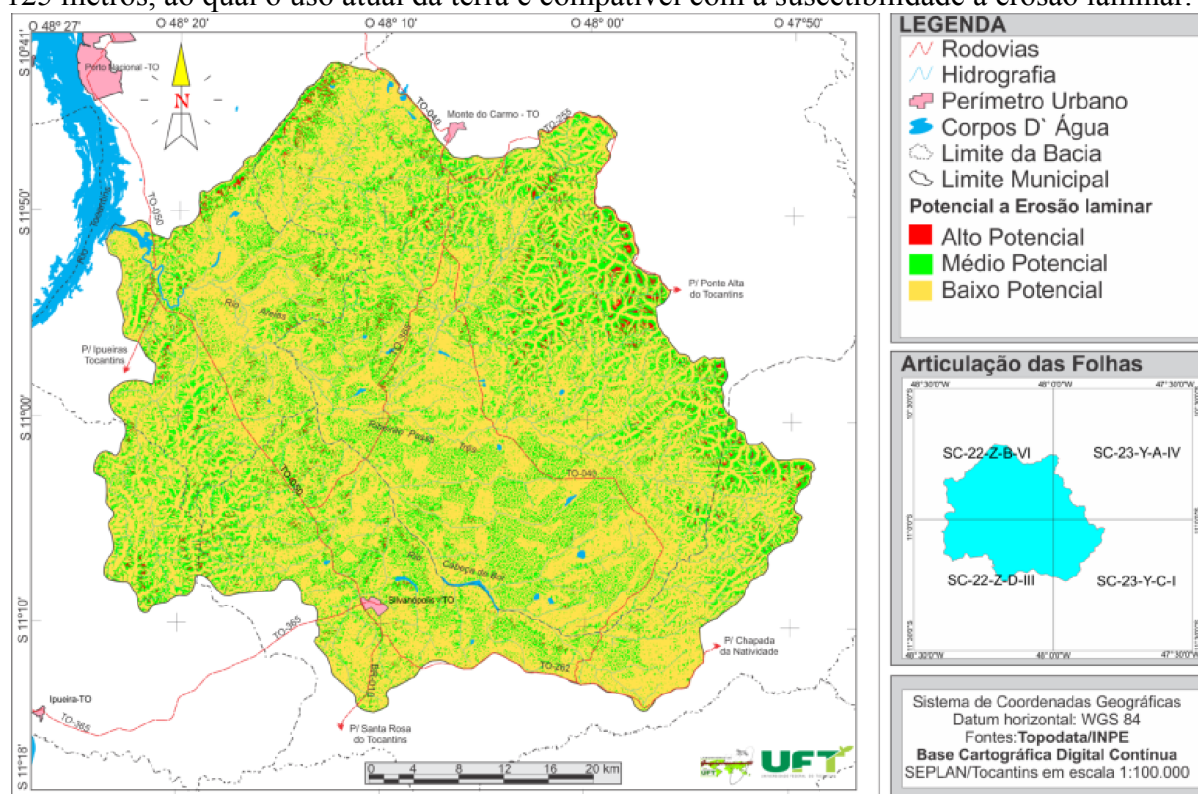


Figura 5. Carta de Potencial a Erosão Laminar da bacia hidrográfica do rio areias.

4. Conclusões

Os resultados decorrentes da pesquisa mostram que com estudos por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento utilizando a LEGAL é possível chegar aos resultados com eficiência e rapidez e, assim, possibilita obter uma melhor compreensão da suscetibilidade à erosão laminar permitindo determinar o potencial à erosão laminar.

A análise espacial da distribuição da suscetibilidade à erosão laminar pode se constituir, junto à carta potencial, em um produto cartográfico a ser utilizado no zoneamento ambiental. A configuração da determinação do resultado do potencial à erosão, caracteriza-se conforme as zonas ou áreas com variados potenciais ao desenvolvimento da suscetibilidade à erosão laminar com um mesmo nível de suscetibilidade ocupado de maneira diferente, em cobertura

e uso ocupação, como o caso da classe de médio potencial que está associado às classes de cobertura e uso culturais anuais.

A análise do mapa de suscetibilidade a erosão laminar nos mostra que a distribuição das áreas mais suscetíveis se concentra em áreas de maiores declividades, por conseguinte, nos solos Plintossolos Pétricos, sendo que à medida que aumenta o grau de declividade acrescenta proporcionalmente o de fragilidade. Por fim, ressaltamos que este tipo de mapeamento pode ser um instrumento importante na análise das condições de fragilidades ambientais da bacia, sendo relevante aos estudos de ordenamento e gestão territorial.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal do Tocantins – UFT, durante a realização do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, Elienê Pontes de. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento** / Elienê Pontes de Araújo. – São José dos Campos: INPE, 2006. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.89p.
- CÂMARA, Gilberto et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- COSTA; FIDALGO; et al. Comunicado técnico 61: **Procedimentos para elaboração de mapas de declividade e comprimento de rampa para os estados da região Sul do Brasil**. SOLOS, Embrapa. 2011. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58014/1/comtec61-elaboracao-mapas.pdf>>acesso em 19 de junho de 2016.
- SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, v. 412, 1999.
- RIBEIRO, José Felipe et al. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. **Cerrado: ambiente e flora**, 1998.
- GUERRA, Antonio Teixeira; DA SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 2009.
- JOÃO JOSÉ BIGARELLA. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Processos erosivos, Vertentes, Movimentos de Massa, Atividade endógena, Superfícies de erosão, Compartimentação do relevo, depósitos correlativos e Ambientes Fluviais. Vol.3. Cap.15 2003
- MAFRA, Neusa Maria Costa. Erosão e planificação de uso do solo. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 301-322, 1999.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4°. São Paulo: Ícone, 1999.
- MOREIRA, MAURÍCIO ALVES. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4.ed. – Viçosa: UFV, 2011.
- PAULO ROBERTO MENESE. **Princípios de Sensoriamento Remoto** in: Paulo Roberto Meneses & Tati de Almeida (org.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília 2012, 1-31.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do departamento de geografia, v. 8, p. 63-74, 2011.
- SALOMÃO, FX de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA et al. **Erosão e conservação dos solos**. 2ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p 229-267.