

## ESTIMATIVA DO RISCO À EROÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE LUCENA – PARAÍBA

**Erika Rodrigues Dias**

Geógrafa – Universidade Federal da Paraíba  
[erikageo.rodriques@gmail.com](mailto:erikageo.rodriques@gmail.com)

**Richarde Marques da Silva**

Doutor em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba  
[richarde@geociencias.ufpb.br](mailto:richarde@geociencias.ufpb.br)

### RESUMO

A perda de solo por erosão é um fenômeno natural da dinâmica do solo, influenciada pelo clima, as propriedades intrínsecas do solo, e a morfologia, podendo ocorrer em todos os ambientes. Em algumas regiões do Brasil, além da susceptibilidade para a erosão, o risco de degradação da erosão do solo é muito maior devido ao clima quente, úmido e sub-úmido. Na Paraíba vários municípios sofrem a ação dos processos erosivos. O município de Lucena, localizado no litoral paraibano, não é diferente. Esse município foi escolhido como área de estudo por estar inserido em duas unidades geoambientais distintas, a Planície Litorânea e os Baixos Planaltos Costeiros, as quais, somadas ao clima e à interferência antrópica intensificam os processos erosivos já existentes no município. Assim, este artigo analisou a perda de solo no município de Lucena através da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS com vistas a identificar as áreas mais propensas à erosão laminar. Os resultados indicaram que a erosão ocorre com maior intensidade na região onde predomina Argissolo Vermelho Amarelo que apresenta moderado a alto grau de erosão. Por fim, foi possível concluir que a utilização integrada da EUPS em ambiente SIG se mostrou uma técnica eficiente para a representação espacial das perdas de solo e a identificação das áreas suscetíveis à erosão laminar no município de Lucena.

**Palavras-chave:** Erosão; Perda de solo; Sistemas de Informações Geográficas, Equação Universal de Perda de Solo.

### ESTIMATION OF SOIL EROSION RISK IN MUNICIPALITY OF LUCENA – PARAÍBA STATE

#### ABSTRACT

Soil loss for erosion is a natural phenomenon in soil dynamics, influenced by climate, soil intrinsic properties, and morphology, that can occurs in all environments. In some Brazilian regions besides the susceptibility for erosion, the risk of erosive soil degradation is much higher due to the hot, humid and the sub-humid weather. Several municipalities in the Paraíba State suffer the action of erosion including the city of Lucena, located in the coast. This municipality was chosen as study area due to its insertion in two different geo-environmental units: the Coastal Plain and the Low Plateaus Coastal. These two characteristics, added to the climate and anthropogenic interference can intensify the already existing erosion processes. Thus, this paper analyzed the soil loss in the municipality of Lucena through the Universal Soil Loss Equation (USLE) with the goal of identify the most prone areas for sheet erosion. The results indicated that erosion occurs with greater intensity in the region dominated by a type of red-yellow Acrisol soil that presents moderate to high degree of erosion. It was concluded that the integrated use of USLE in environment GIS proved to be an efficient technique to the spatial representation of soil loss and to the identification of susceptible areas to extensive erosion in the municipality of Lucena.

**Keywords:** Erosion; Soil Loss; Geographic Information Systems; Universal Soil Loss Equation.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de processos erosivos é um fenômeno natural que acontece em todos os ecossistemas, contudo, o risco de degradação do solo em regiões brasileiras é muito mais elevado devido às condições climáticas tropicais dominantes e à susceptibilidade quanto a erosividade das chuvas bem como da erodibilidade de alguns dos seus solos (SILVA et al., 2013).

A erosão é o processo pelo qual ocorre a desagregação e o arraste das partículas que constituem o solo (FARIA et al., 2003). Os principais fenômenos relacionados à erosão no Brasil são derivados da dinâmica externa da Terra, como os fenômenos atmosféricos e hidrológicos que ocorrem na atmosfera terrestre (CASTRO et al., 2003).

As erosões são classificadas segundo, Almeida Filho e Ridente Júnior (2001), em dois tipos principais conforme suas características e processos associados: erosão laminar e erosão linear. Neste estudo foi considerado a erosão laminar, pois esse processo erosivo pode contribuir para a ocorrência de perda de solo no município de Lucena.

A erosão laminar ou entressulcos caracteriza-se por incidir na retirada de uma camada fina e relativamente uniforme do solo pela precipitação pluvial e pelo escoamento superficial (SILVA et al., 2007). As consequências gerais desse tipo de degradação são o empobrecimento do solo, o assoreamento de rios e aumento das cheias.

Na Paraíba vários municípios sofrem a ação de intensos processos erosivos hídricos. O município de Lucena, localizado no litoral paraibano, não é diferente. Esse município foi escolhido como área de estudo por estar inseridos em duas unidades geoambientais, a Planície Litorânea e os Baixos Planaltos Costeiros, fato que somado ao clima e à interferência antrópica pode intensificar os processos erosivos laminares já existentes podendo resultar na perda de solo e em movimentos de massa como deslizamentos de terra.

Para a realização de estudos de erosão do solo, uma das ferramentas mais adotadas atualmente tem sido as geotecnologias, que permitem a localização precisa de áreas de interesse e a manipulação dos respectivos dados geográficos possibilitando ainda um monitoramento contínuo de certos fenômenos como o erosivo.

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica, compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que juntos constituem poderosas ferramentas para a tomada de decisões (ROSA, 2005) de inequívoco interesse para organização do banco de dados relativos aos usos dos territórios visando o planejamento de usos do solo mais adequados.

A partir das geotecnologias é possível gerar mapas temáticos de uma determinada área. Dentre as geotecnologias merecem destaque os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto, os Sistema de Posicionamento Global (GPS) e a topografia (formas do relevo e sua distribuição).

Dessa forma, por meio da utilização das geotecnologias é possível realizar estudos referentes à erosão do solo possibilitando a representação espacial das áreas com elevado potencial de erosão permitindo o monitoramento dessas áreas assim como aplicações de políticas adequadas visando conter ou minimizar os seus possíveis efeitos.

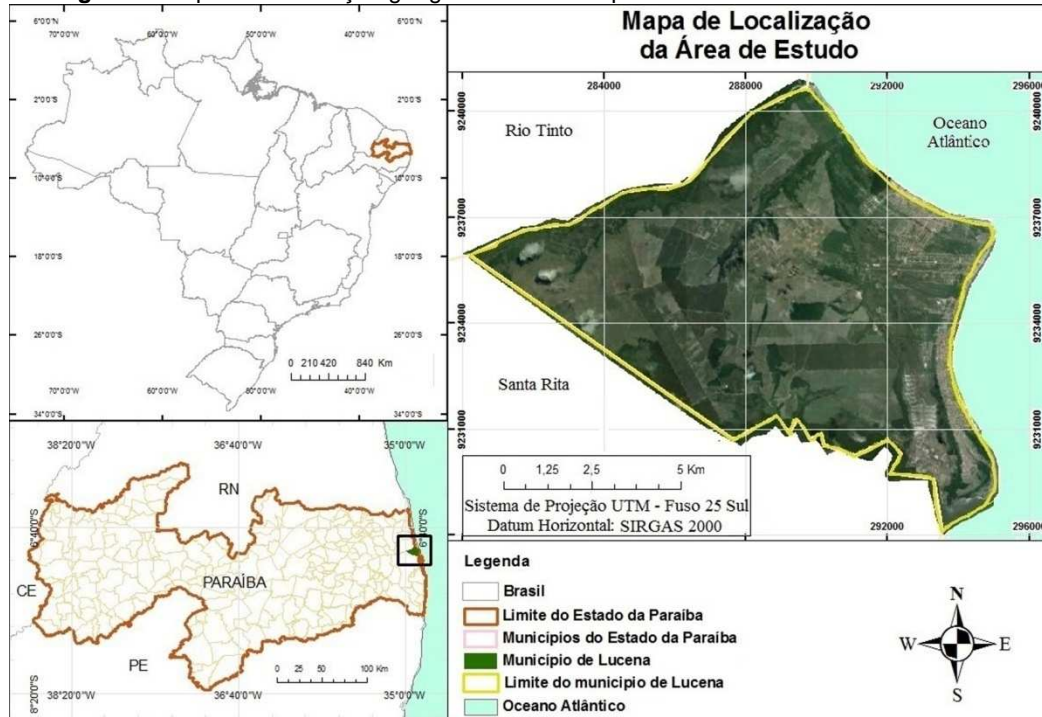
Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar o risco de erosão do solo do município de Lucena – PB, utilizando as geotecnologias, estimando as perdas de solo e as áreas mais susceptíveis à erosão dos solos.

## A ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida como objeto de estudo foi o município de Lucena, conforme mostra a Figura 1. O município de Lucena está localizado na Microrregião Lucena e na Mesorregião Mata Paraibana do Estado da Paraíba, na região Nordeste do Brasil.

Sua área é de 89,6 km<sup>2</sup> representando 0,158% do Estado, 0,0057% da Região e 0,001% de todo o território brasileiro (DIAS, 2014). Lucena encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Miriri. Seus principais tributários são os rios Caboclo, Mangereba e Soé, além do riacho Araçá (CPRM, 2005).

Figura 1. Mapa da localização geográfica do município de Lucena no Estado da Paraíba.



O município é composto pela unidade geoambiental dos Tabuleiros Costeiros, que acompanha o litoral de todo o Nordeste, com altitude variando de 50 a 100 m acima do nível médio do mar, correspondendo a platôs de origem sedimentar (CPRM, 2005), em geral sustentados pelos sedimentos do Grupo Barreiras de idade miocênica a pleistocênica inferior (NUNES, 2011); e pela unidade geoambiental da Planície Litorânea ou costeira, correspondendo a unidades praias, na qual se situa a sede do município onde desenvolvem as atividades urbanas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas imagens obtidas no *Google Earth* e imagens da missão *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, estas possuindo informações altimétricas, com resolução espacial de 90 m. Conjugadas e complementadas com dados climáticos, permitiram obter informações referentes ao tipo de solo e do uso e ocupação do solo do município e informações sobre os principais fatores que influenciam a perda de solo por erosão: erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, topografia e os fatores de manejo e práticas conservacionistas do solo.

As imagens de radar do SRTM foram obtidas no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), nas quais foi escolhido o quadrante que corresponde à área de interesse, que se refere à carta SB-25-Y-A. As informações referentes ao tipo de solo foram disponibilizadas pela Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESAs). As informações de uso e ocupação do solo foram obtidas através da vetorização das classes de uso utilizando como base imagens de satélite obtidas no *Google Earth*, disponíveis em Dezembro de 2014.

O procedimento consistiu na importação da imagem SRTM para o *software* SPRING, no qual, foi realizado um recorte, utilizando como máscara o limite do município de Lucena. A partir dessa imagem foi possível extrair as curvas de nível, equidistantes em 10 m, contendo as informações altimétricas do terreno. Utilizando essas informações altimétricas, foi obtido o Modelo Numérico do Terreno em formato digital, permitindo a geração dos mapas de hipsometria e de declividade do município.

Para a obtenção do mapa hipsométrico foi utilizado o *software* SPRING usando a técnica de fatiamento das faixas de altitudes em sete classes altimétricas, a cada 10 m de intervalo para as duas primeiras classes, devido à presença da unidade geoambiental da planície litorânea, que apresenta pouca variação altimétrica, e a cada 20 m para as classes com maior variação

altimétrica no setor dos Tabuleiros. Depois foram calculados os dados quantitativos referentes à área abrangida por cada classe altimétrica, em km<sup>2</sup>.

Posteriormente, foi elaborado o mapa clinográfico também no *software* SPRING. Para tanto foi criada uma categoria denominada declividade, e, em seguida, escolhida como modelo de entrada do tipo Grade, e a saída também em Grade (Declividade) em porcentagem, do produto final, transformando as curvas de nível em porcentagens de inclinação. A determinação dos intervalos das classes de declividade foi baseada nos critérios de vulnerabilidade proposto por Ross (1994), conforme mostra o Quadro 1.

**Quadro 1.** Valores de Vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Declividade (%)
Muito Baixa	0 – 6
Baixa	6 – 12
Média	12 – 20
Alta	20 – 30

Fonte: ROSS (1994).

O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido através da vetorização dos usos do solo a partir da observação de imagens obtidas no *Google Earth*, no ano de 2014. Para tanto, as imagens foram georreferenciadas em ambiente SIG, a partir da qual foi possível, através da observação visual, realizar a vetorização das classes de uso e ocupação dos solos existentes no município de Lucena, viabilizando a avaliação das características do município e o mapeamento que serviu de base para aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

Após a vetorização das classes de uso e ocupação do solo foi realizada uma correção topológica, eliminando os erros de sobreposição e os espaços vazios deixados durante o processo de vetorização. O mapa de tipos de solo foi gerado, a partir de dados fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, como informado anteriormente.

Para a estimativa das perdas de solo foi utilizada a EUPS (WISCHMEIER e SMITH, 1965), que consiste numa equação empírica, que emprega os principais fatores que influenciam a perda de solo por erosão laminar: a erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos, a topografia e os tipos de manejo e práticas conservacionistas do solo. A EUPS é representada pela seguinte equação:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

sendo:

A = a estimativa média anual de perda de solo (t/ha/ano);

R = o fator erosividade das chuvas (MJ.mm/ha.h);

K = o fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm);

LS = o fator topográfico do terreno (adimensional);

C = o fator de cobertura, uso/manejo (adimensional);

P = o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

O fator de erosividade das chuvas (R) é um parâmetro que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão sobre um solo desnudo. Para a realização do estudo sobre a erosividade das chuvas foram utilizados os dados de 98 estações pluviométricas do Estado da Paraíba (Amaral et al., 2014). A obtenção dos dados consistiu na coleta das seguintes variáveis: altitude, latitude, longitude, precipitações mensal e anual. Esses dados correspondem à série temporal de 1911–1990, disponíveis no portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária<sup>2</sup>. Após a obtenção desses dados foi criado um banco de dados da erosividade (fator R) para cada estação usando a Equação 2 (Bertoni e Lombardi Neto, 1999):

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left( \frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,759} \quad (2)$$

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php>

sendo:

R = fator de erosividade da chuva da EUPS;

$P_m$  = precipitação média mensal e;

$P_a$  = precipitação total anual (mm).

Em seguida, os valores de erosividade foram separados segundo as mesorregiões a fim de obter a média e o período chuvoso de cada região, no qual os valores de isoerosividade das regiões foram separados em classes, de acordo com Santos (2008), conforme o Quadro 2. Usando as informações obtidas no portal da EMBRAPA, foram gerados os mapas de erosividade usando o método de interpolação Krigagem.

**Quadro 2.** Classes de erosividade da chuva média anual e mensal.

Classes de Erosividade	Valores de Erosividade	
	MJ.mm/ha.h/ano	MJ.mm/ha.h/mês
Muito Baixa	R < 2500	R < 205
Baixa	2500 < R < 5000	205 < R < 500
Média	5000 < R < 7000	500 < R < 700
Alta	7000 < R < 9000	700 < R < 900
Muito Alta	R > 9000	R > 900

Fonte: Santos (2008).

O fator erodibilidade do solo (fator K) é um parâmetro que reflete a susceptibilidade do solo aos processos erosivos. Esse fator da EUPS foi obtido a partir da associação do mapa de solos encontrados no município, disponibilizado pela AESA, associando os valores de erodibilidade encontrados na literatura para unidades pedológicas similares às da área de estudo. Os valores do fator K adotados neste trabalho estão apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3.** Erodibilidade dos solos (fator K) do município de Lucena.

Tipos de Solos	Valores do fator K (t.h/MJ.mm)
Neossolos Quartzarênicos Marinheiros Distróficos	0,020 <sup>(1)</sup>
Espodossolo Hidromórfico	0,014 <sup>(2)</sup>
Argissolo Vermelho Amarelo	0,032 <sup>(3)</sup>
Neossolo Flúvico	0,042 <sup>(4)</sup>
Solos Indiscriminados de Mangue	0,015 <sup>(5)</sup>

Fonte: <sup>(1)</sup>Távora et al (1985); <sup>(2)</sup>Costa e Silva (2012); <sup>(3)</sup>Silva et al (2007); <sup>(4)</sup>Silva (2004); <sup>(5)</sup>Carvalho Júnior et al (2009).

Para o cálculo do fator LS, utilizou-se o do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 90 m, obtido junto ao site da EMBRAPA. O Fator LS foi obtido, utilizando a função *Raster Calculator* no ArcGis, através da equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999):

$$LS = 0,00984 W^{0,63} D^{1,18} \quad (3)$$

sendo LS o fator topográfico, W o comprimento de rampa (m) e D o grau do declive (%). A obtenção dos valores de comprimento de rampa e classes de declividade também foram obtidos a partir da utilização do MDE.

O fator C é o efeito da cobertura vegetal no processo de erosão do solo. O fator (P) é a razão entre a erosão em uma parcela devido ao preparo do solo e práticas de conservação dos solos. Dessa forma, o fator C se refere à cobertura, uso/manejo da terra, sendo entendido pela razão entre as perdas de um solo de uma área com cultura e manejo específicos e aquela mantida permanentemente descoberta.

Os valores de uso e ocupação do solo e de práticas conservacionistas foram determinados conjuntamente. Para o fator P foi atribuído o valor 1 em todos os usos do solo, considerando-se que não existe a adoção de práticas conservacionistas de controle à erosão, como proposto por Lee (2004), que recomenda que se não existem práticas conservacionistas no solo, deve ser atribuído o valor 1 ao fator P. Essa mesma metodologia foi aplicada no estudo de Tombuş et al. (2012). Assim, os fatores C e P podem ser analisados como um único fator. Para o

mapeamento dos fatores C e P da área de estudo, foi utilizada uma imagem do satélite *Quickbird* de alta resolução espacial de março de 2011, obtida através do software *Google Earth* (GOOGLE, 2015). Em seguida, a imagem foi georreferenciada e iniciou-se o processo de mapeamento do uso e ocupação do solo da imagem, utilizando o método de vetorização de imagens. Os valores desse fator foram obtidos na literatura. O Quadro 4 apresenta os valores dos fatores CP para os usos da terra encontrados em Lucena.

**Quadro 4.** Uso e ocupação do solo e de práticas conservacionistas (fatores CP) do município de Lucena.

Uso e Ocupação do Solo	Valores dos fatores C e P
Área Urbana	0,001 <sup>(1)</sup>
Mata Mista	0,010 <sup>(2)</sup>
Mata	0,019 <sup>(3)</sup>
Mangue	0,005 <sup>(4)</sup>
Culturas	0,280 <sup>(5)</sup>
Água	0,000

**Fonte:** <sup>(1)</sup>Silva (2004); <sup>(2)</sup>Agostinho (2005); <sup>(3)</sup>Costa e Silva (2012); <sup>(4)</sup>Thompson e Fidalgo (2013); <sup>(5)</sup>Lemos e Ferreira (2003).

Para estimar as perdas de solo no município de Lucena, a EUPS foi calculada no ArcGIS, utilizando a extensão *Spatial Analyst* e a função *Raster Calculator*, convertendo os arquivos vetoriais para matriciais, utilizando-se uma dimensão de célula de 90 × 90 m. O mapa das perdas de solo estimado pela USLE foi elaborado a álgebra de mapas a partir da multiplicação dos mapas de erosividade (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento da rampa e declividade (fator LS), cobertura vegetal com manejo agrícola e práticas conservacionistas (fator CP).

Para classificar a perda de solo no município de Lucena foi utilizada a classificação proposta pela FAO (1980), que relaciona o grau de erosão a partir de quatro classes de perdas de solo como mostra o Quadro 5.

**Quadro 5.** Classificação dos graus de erosão utilizados neste estudo.

Perda de Solo (t/ha/ano)	Grau de Erosão
< 10	Baixa
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muito Alta

**Fonte:** FAO (1980).

Dessa forma, com base nas informações produzidas nesse trabalho, foi possível realizar uma análise das características geomorfológicas do município de Lucena, assim como, estimar as perdas de solo, identificando as áreas mais propensas à erosão laminar.

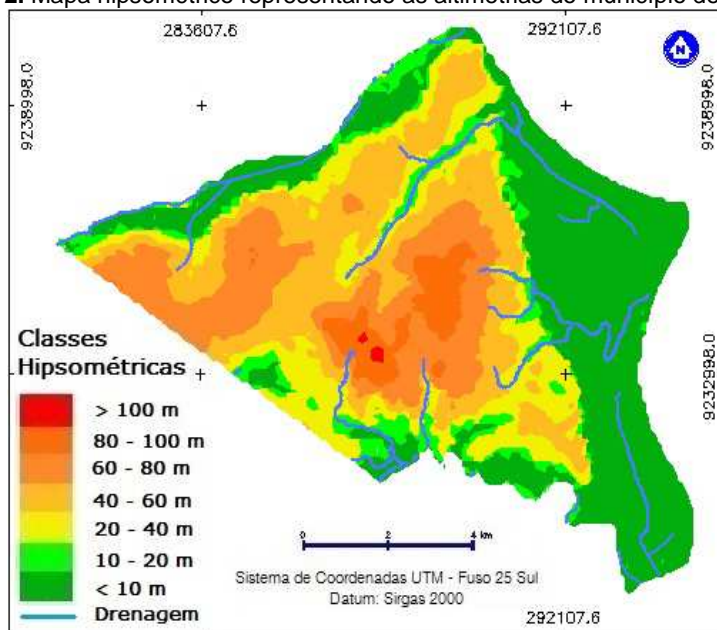
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a altimetria do município e permite constatar que esta oscila entre elevações menores que 10 m e a elevação máxima corresponde a 105 m acima do nível médio do mar.

Na direção oeste, predominam as altimetrias maiores que 20 m, apresentando um relevo heterogêneo, enquanto que na direção leste, predominam menores altitudes, abaixo de 10 m. Após a geração do mapa de hipsometria foram calculadas as áreas de cada classe altimétrica, como mostra a Tabela 1.

Apesar da predominância de terrenos com baixas altitudes, no máximo de 10 m, compreendendo uma área de 31,65 km<sup>2</sup>, verifica-se, observando a Tabela 1, a presença considerável de terrenos com altitudes mais significativas, como é o caso da classe que compreende elevações de 40 a 60 m, que corresponde 19,25 km<sup>2</sup>, e da classe que compreende elevações de 60 a 80 m, que corresponde a aproximadamente 14,08 km<sup>2</sup>, de acordo com a Tabela 1, e que, quando associados aos fatores que influenciam a perda de solo, determinados usando a EUPS, podem representar áreas com alto potencial para a ocorrência de erosão do solo.

**Figura 2.** Mapa hipsométrico representando as altimetrias do município de Lucena.



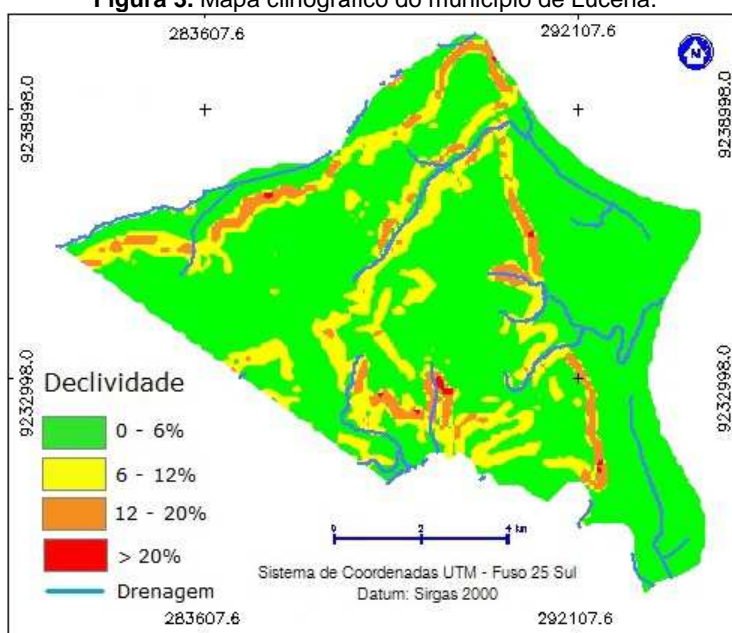
Fonte: SRTM/EMBRAPA. Elaboração: (Erika Rodrigues Dias, 2014).

**Tabela 1.** Valores de áreas do município por classes altimétricas.

Classes Altimétricas (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
< 10	31,65	35,32
10 – 20	7,07	7,89
20 – 40	13,84	15,44
40 – 60	19,25	21,48
60 – 80	14,08	15,71
80 – 100	3,60	4,02
> 100	0,12	0,13
<b>TOTAL</b>	<b>89,61</b>	<b>100,00</b>

O mapa clinográfico, representado na Figura 3, associado aos dados contidos no mapa de hipsometria permitiu determinar as áreas com alto potencial para a ocorrência de erosão laminar, que correspondem às maiores altitudes, embora seja uma área de pequena extensão.

**Figura 3.** Mapa clinográfico do município de Lucena.



Fonte: SRTM/EMBRAPA. Elaboração: Erika Rodrigues Dias (2014).

A Tabela 2 apresenta o cálculo da área compreendida por cada classe clinográfica, representando as declividades do município. Através da análise desses dois últimos produtos foi possível constatar que a declividade que predomina na área em estudo varia entre 0–6%, abrangendo 67,57 km<sup>2</sup>, a qual, segundo Ross (1994), indica uma vulnerabilidade muito baixa à erosão.

**Tabela 2.** Valores da área do município compreendida pelas classes clinográficas.

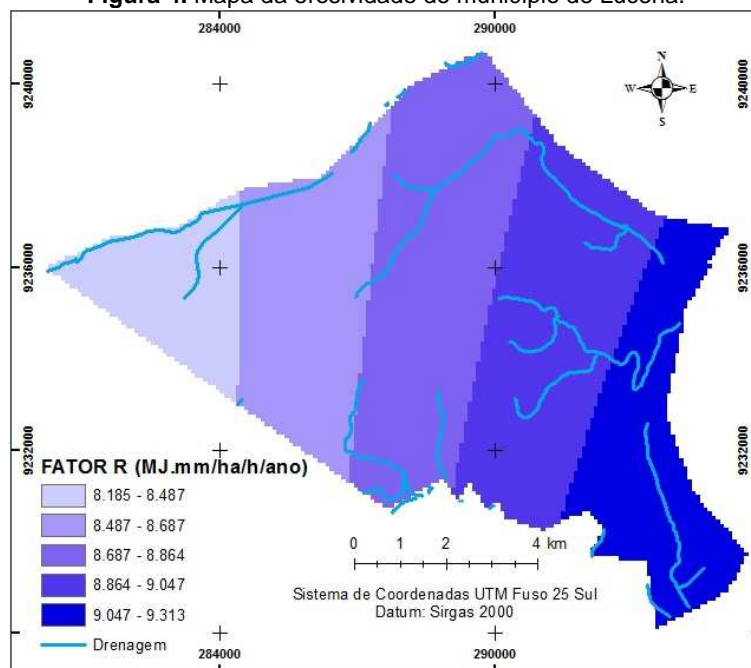
Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 – 6	68,57	76,52
6 – 12	15,24	17,01
12 – 20	4,70	5,24
20 – 30	1,10	1,23
<b>TOTAL</b>	<b>89,61</b>	<b>100,00</b>

A área que apresenta dados considerados de vulnerabilidade alta varia entre 20–30% de declive, mas correspondem às menores áreas dentro do município, abrangendo apenas 0,12 km<sup>2</sup>, entretanto deve ser levada em consideração, porque estas áreas correspondem às maiores elevações do município, e quando associadas ao volume de precipitação local e à densidade de cobertura vegetal presente, podem favorecer um alto potencial erosivo e assim de risco à erosão laminar.

Através dos produtos de hipsometria e clinografia foi possível verificar que no limite entre as duas unidades geoambientais, Planície Litorânea e Baixos Planaltos Costeiros, predominam terrenos com altitudes de até 60 m, cujas vertentes apresentam declividades medianas de 6% a 12%, mas que diminuem gradativamente na medida em que se aproxima do litoral.

O valor de erosividade das chuvas (fator R) obtido através de dados de 98 estações meteorológicas do Estado da Paraíba está representado na Figura 4. A análise da distribuição da erosividade das chuvas (fator R) no município mostra uma variação de 8.185 a 9.313 MJ.mm/ha/h/ano e os maiores índices de erosividade situados na porção leste do município, compreendendo parte da unidade dos Baixos Planaltos Costeiros e a unidade da Planície Litorânea. Na Planície Litorânea, onde se desenvolvem as atividades urbanas, o valor de erosividade foi classificado como muito alto (ver Tabela 2), influenciando diretamente no aumento da degradação do solo do município, principalmente pela fragmentação das partículas do solo ocasionada pelas chuvas (efeito de salpico ou salpicamento). Contudo, é preciso considerar que o município apresenta um clima do tipo tropical chuvoso, conforme CPRM (2005) e que, por ser um município litorâneo, recebe influência de umidade proveniente do oceano.

**Figura 4.** Mapa da erosividade do município de Lucena.



**Fonte:** EMBRAPA. **Elaboração:** Erika Rodrigues Dias (2014).



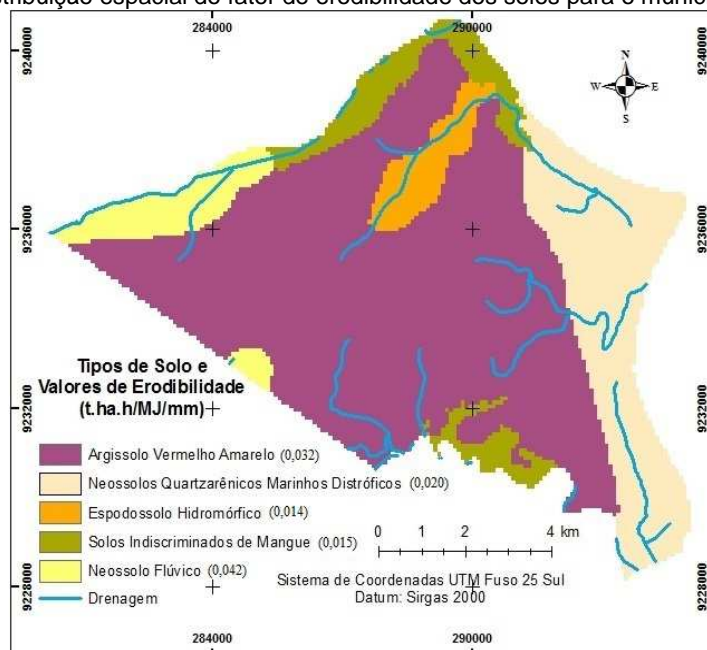
Os tipos de solos presentes no município de Lucena, extraídos junto à AESA, permite verificar que predominam cinco tipos de solos: areias quartzosas marinhas distróficas, podzol hidromórfico, podzólico vermelho amarelo, solos aluviais e solos indiscriminados de mangue, segundo o sistema brasileiro de classificação brasileira de solos de 1999 (EMBRAPA, 1999). Na classificação de solos publicada em 2006 (EMBRAPA, 2006), tais solos correspondem, respectivamente, aos Neossolo Quartzarênico marinho distrófico, Espodossolo hidromórfico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo flúvico e Solos indiscriminados de mangue. O cálculo da área abrangida por cada tipo de solo existente no município pode ser visualizado na Tabela 3. A partir da associação de informações de tipos solos com os valores de erodibilidade encontrados na literatura, foi obtido o mapa de erodibilidade do solo (Fator K), como mostra a Figura 5.

**Tabela 3.** Valores da área compreendida pelos tipos de solos existentes no município em estudo.

Tipos de Solos	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Neossolo Quartzarênico marinho distrófico	17,5	19,53
Espodossolo Hidromórfico	3,6	4,02
Argissolo Vermelho Amarelo	56,01	62,50
Neossolo Flúvico	5,6	6,25
Solos Indiscriminados de Mangue	6,9	7,70
<b>TOTAL</b>	<b>89,61</b>	<b>100,00</b>

É possível perceber, através da Figura 5, a predominância de Argissolo Vermelho Amarelo, correspondendo a 56,10 km<sup>2</sup>, na unidade dos Baixos Planaltos Costeiros; e do tipo Neossolo Quartzarênico marinho distrófico na unidade geoambiental da Planície Litorânea, correspondendo a 17,50 km<sup>2</sup>.

**Figura 5.** Distribuição espacial do fator de erodibilidade dos solos para o município de Lucena.

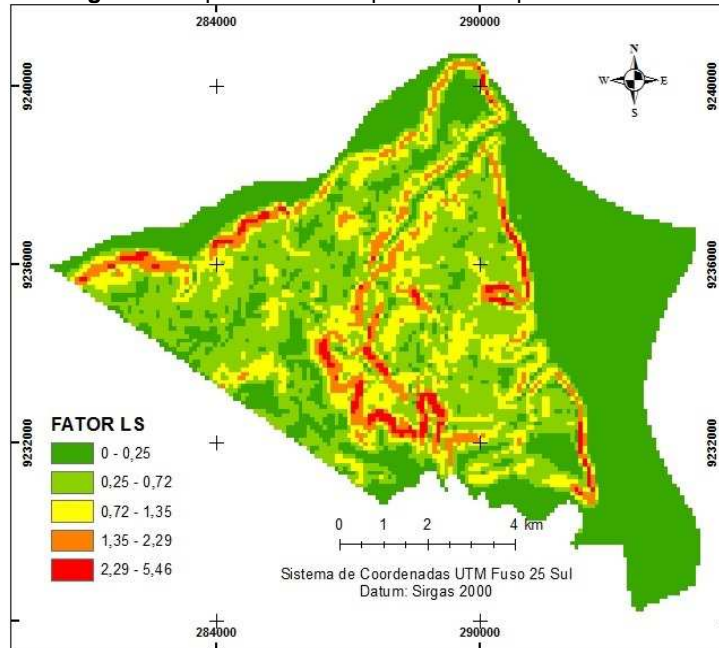


Fonte: Adaptado de EMBRAPA pela Autora, 2014.

Os valores de erodibilidade encontrados para os tipos de solo revelam que o Neossolo Flúvico apresenta maior valor, de 0,042 t.h/Mj/mm, enquanto que o tipo Espodossolo Hidromórfico apresenta o menor valor, de 0,014 t.h/Mj/mm. Sendo assim, foi possível verificar que o Neossolo Flúvico apresenta maior susceptibilidade à erosão, enquanto o Espodossolo Hidromórfico apresenta baixa susceptibilidade aos processos erosivos.

Para o fator topográfico (LS) constatou-se uma variação de 0 a 5,46, sendo que a maior parte do município possui índices que variam de 0 a 0,25. Os pontos de maior representatividade, que são de 2,29 a 5,46 ocorrem principalmente na porção sul do município, como pode ser visto na Figura 6.

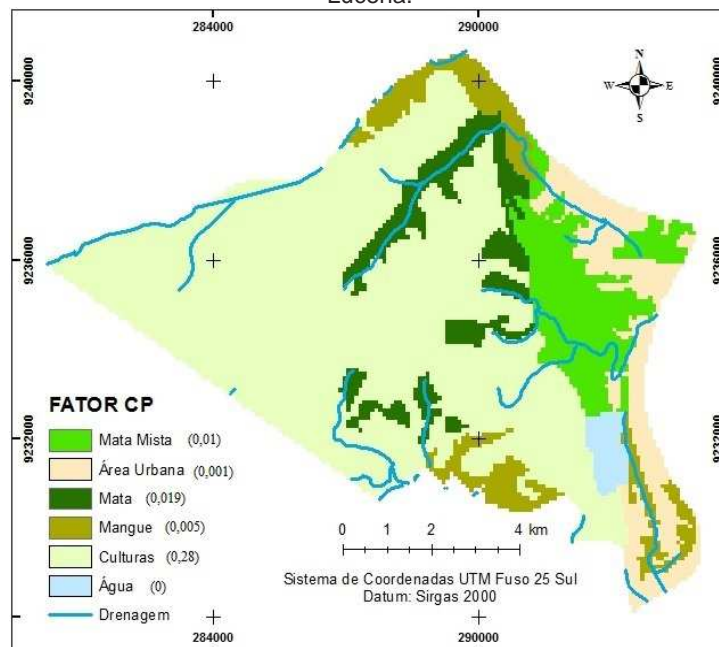
Figura 6. Mapa do Fator LS para o município de Lucena.



Fonte: SRTM/EMBRAPA. Elaboração: (Erika Rodrigues Dias, 2014).

A determinação de valores para os fatores CP ao seguir a metodologia sugerida por Gurgel et al. (2011), que propões a junção dos fatores C e P como um único fator. Dessa forma, com base nos valores obtidos na literatura referentes ao uso e ocupação do solo e de práticas conservacionistas foi gerado o mapa do Fator CP do município de Lucena, representado pela Figura 7. As classes de uso e ocupação do solo do município são mostradas na Tabela 4.

Figura 7. Uso e ocupação do solo e de práticas conservacionistas (fator CP) do município de Lucena.



Fonte: Google Earth (2014). Elaboração: Erika Rodrigues Dias (2014).

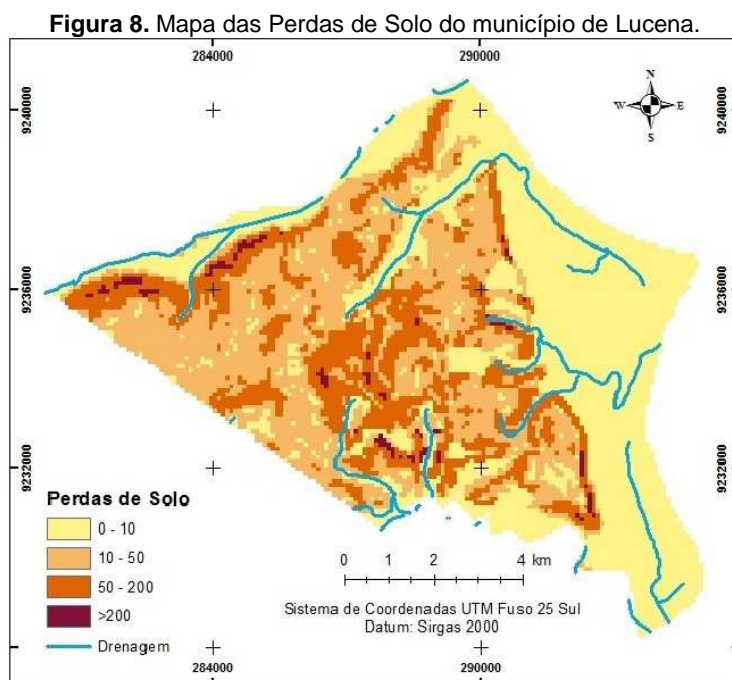
Por meio desses dados é possível perceber que em Lucena ainda predominam atividades rurais, e que a área urbana representa apenas 8,75 km<sup>2</sup>, ou seja, é um município que tem grande potencial para se desenvolver de forma planejada, porém, é necessária uma adequação do uso da terra, com enfoque para práticas sustentáveis de manejo do solo, que levem em consideração as características físico-químicas de cada tipo de solo, evitando assim,

a intensificação dos processos erosivos. A Figura 8 representa a espacialização da perda de solo por erosão de Lucena.

**Tabela 4.** Valores da área abrangida por cada classe de uso e ocupação do solo.

Uso e Ocupação do Solo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Área Urbana	8,75	9,76
Mata Mista	9,29	10,37
Mata	6,94	7,74
Mangue	6,69	7,47
Culturas	56,49	63,04
Água	1,45	1,62
<b>TOTAL</b>	<b>89,61</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Google Earth. Autor: Erika Rodrigues Dias.



Fonte: SRTM/EMBRAPA. Elaboração: Erika Rodrigues Dias (2014).

As perdas de solo em grande parte do município de Lucena podem ser classificadas, segundo FAO (1980), como de baixo a moderado grau, ou seja, cujos valores de perda de solo são inferiores a 10 t/ha/ano, predominando solos do tipo Neossolos Quartzarênicos Marinheiros Distróficos que apresentam baixa variação altimétrica; e valores que atingem até 50 t/ha/ano onde predominam solos do tipo Argissolo Vermelho Amarelo, que apresenta elevada variação altimétrica e dominam nos tabuleiros costeiros (Tabela 5).

**Tabela 5.** Estimativas de perda de solo no município de Lucena.

Perdas de Solo (t/ha/ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 – 10	38,81	43,31
10 – 50	31,15	34,76
50 – 200	17,94	20,02
> 200	1,71	1,91
<b>TOTAL</b>	<b>89,61</b>	<b>100,00</b>

Fonte: EMBRAPA. Elaboração: Erika Rodrigues Dias (2014).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização integrada entre SIG e EUPS se mostrou eficiente na representação espacial das perdas de solo no município de Lucena e na identificação das áreas mais suscetíveis a perda de solo por erosão laminar.

A análise do risco de erosão do solo através de técnicas de modelagem de dados revelou a predominância de classes de baixa à moderada de susceptibilidade a perda de solo na maior parte do município.

O município apresenta moderado grau de erosão na região oeste, que possui Argissolo Vermelho Amarelo, indicando a necessidade de medidas para o controle do processo erosivo com possível readequação do uso e, sobretudo, manejo do solo, adotando-se coberturas vegetais que sejam capazes de proteger o solo e técnicas adequadas ao manejo da terra.

A topografia foi fundamental na determinação das áreas mais propensas a perdas de solo, pois se verificou maior potencial de erosão na unidade que compreende Tabuleiros Costeiros por estes apresentarem uma superfície mais heterogênea com vertentes cujas declividades podem chegar até 20%, enquanto que os menores graus de erosão foram verificados na unidade da Planície Litorânea por esta apresentar uma superfície plana, embora nela predominem solos arenosos.

Os tipos de solos encontrados no município também foram importantes para a análise da perda de solo devido a resistência (erodibilidade) que eles oferecem à ação dos processos erosivos. Nesse sentido, os Argissolos Vermelho Amarelos se mostraram como os mais suscetíveis à perda de solo. Isto pode se justificar pelo contraste morfológico, sobretudo textural entre seus horizontes superficiais (arenosos) e subsuperficiais (de textura média ou mesmo argilosos). O mapa representando a perda de solo permitiu verificar que os valores estimados para a perda de solo variaram de menos de 10 t/ha/ano a mais de 200 t/ha/ano, contudo, predomina baixo a moderado grau de erosão, conforme a classificação de perda de solo proposta pela FAO (1980).

Por fim, este estudo possibilitou a identificação das áreas com maior potencial de perda de solo, verificando-se um grau moderado de erosão na zona de transição entre as duas unidades geoambientais relatadas e um moderado a alto grau de erosão na porção oeste do município, associada aos tabuleiros.

Conclui-se que há necessidade de um monitoramento das áreas com potencial à erosão e das já afetadas pelos processos erosivos, além de por em prática planos que visem à proteção do solo, através de formas adequadas de uso e manejo do solo que considerem as características naturais do município de Lucena.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F.D.R. **Uso de análise energética e sistema de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas**. Campinas, SP, 2005.

ALMEIDA FILHO, G.S.; RIDENTE JÚNIOR, J.L.; Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. (7: 2001: Goiânia). **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

AMARAL, B. S. D.; DANTAS, J. C.; CARVALHO NETO, J.F.; SILVA, R.M. Variabilidade Espacial da Erosividade das Chuvas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife: UFPE, v. 7, n. 3, p. 691-701, 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1999, 355p.

CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; FIDALGO, E.C.C.; PEDREIRA, B.C.C.G.; BHERING, S.B.; PEREIRA, N.R. **Zoneamento Agroecológico da Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu**. Projeto Entre Serras e Águas – Plano de Manejo da APA da Bacia do Rio Macacu. Instituto Bioatlântica, 2009.

CASTRO, A.L.C. de; CALHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; BRINGEL, M.L.N. da C. **Manual de Desastres Naturais**. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2003, 174p.

COSTA, S.G.F.; SILVA, R.M. Potencial natural e antrópico de erosão na Bacia Experimental do Riacho Guaraira. **Revista Cadernos do Logepa**. João Pessoa: UFPB, v. 7, p. 72-91, 2012.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado da Paraíba**: Diagnóstico do município de Lucena. Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DIAS, E.R. Análise do risco à erosão do solo no município de Lucena (Paraíba). 2014. Monografia (Graduação em Geografia) – João Pessoa, PB: UFPB.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, SPI/CNPS, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306p.

FAO. **Metodologia provisional para evaluación de la degradación de los suelos**. Roma: FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO. 1980. 86 p, 1980.

FARIA, A.L.L.; SILVA, J.X.; GOES, M.H.B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**. Uberlândia: UFU, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.

GOOGLE. **Google Earth**. Google Inc., 2015. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2014.

GURGEL, R.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T, GUIMARÃES, R.F.; CÂMARA, J.F.A.; SOBRINHO, D.A.; MARTINS, E.S.; BRAGA, A.R.S. Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos no município de Riachão das Neves – BA. **Revista Geografia Ensino e Pesquisa**. Santa Maria: UFSM, v. 15, n. 3, p. 93-102, 2011.

LEE, S. Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea. **Environmental Geology**, Berlin: Springer, v. 45, n. 4, p. 457-465, 2004.

LEMOS, P.C.; FERREIRA, E. Análise da Relação das Áreas de Forte Risco à Erosão com os Fragmentos de Vegetação Nativa Arbórea na Área de Influência da UHE-Funil. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1323-1329.

NUNES, F.C.; SILVA, E.F. **Grupo Barreiras**: características, gênese e evidências de neotectonismo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011,31 p.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, v. 16, n. 1, p. 81- 90, 2005.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, n. 8, p. 63-74, 1994.

SANTOS, C.N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2008. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, J.F.C.B.C. Estimativa das perdas de solo na bacia experimental do rio Guaraíra a partir da EUPS em ambiente SIG. **Anais...** Porto Alegre: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007, ABRH. v. 1. p. 1-13.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, V.C.L.; SILVA, L.P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. Wageningen: Springer, v. 185, n. p. 8977-8990, 2013.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia: UFG, n. 34, v. 3, 147-159, 2004.

TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.R.C.; MOREIRA, E.G.S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v. 9, p. 59-62, 1985.

THOMPSON, D.; FIDALGO, E.C.C. Estimativa da perda de solos por meio da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) com uso do Invest para a bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu – RJ. **Anais...** Bento Gonçalves: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, RS, 2013. p. 1-7.

TOMBUŞ, F.E.; YÜKSEL, M.; ŞAHİN, M.; OZULU, I.M.; COŞAR, M. Assessment Of Soil Erosion Based On The Method USLE; Çorum Province Example. **Anais...** Knowing to manage the territory, protect the environment, and evaluate the cultural heritage Rome, Italy, 6-10 May 2012.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, USDA-Agricultural Research, 58p. (Agricultural Handbook, 537), 1965.