

Artigo recebido em: 25/05/13
Revisado em: 18/08/13
Aprovado em: 15/10/13

Ana Paula Campos Xavier¹

Alexandro Medeiros Silva²

Richarde Marques da Silva³

¹ Bolsista de Extensão do Proext
Graduanda em Engenharia
Ambiental/CT/UFPB
paulacx10@hotmail.com

² Bolsista de Iniciação Científica
Pibic/CNPq
medeiros_alexandro@hotmail.com

³ Prof. Dr. do Departamento de
Geociências da
Universidade Federal da Paraíba
richarde@geociencias.ufpb.br

Correspondência:

Richarde Marques da Silva
Departamento de Geociências
Cidade Universitária
João Pessoa-PB, Brasil
CEP 58051-900

MUDANÇAS ESPAÇO-TEMPORAIS DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E PERDAS DE SOLO NA BACIA DO RIO MAMUABA, BRASIL

RESUMO

Os fatores do meio natural aliado, sobretudo as mudanças nos usos do solo devido ao avanço da agricultura nos últimos anos têm provocado grande influência nas perdas de solo. Este trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação para um período de 20 anos e estimar as perdas de solo para a Bacia do Rio Mamuaba, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), além de identificar o risco de erosão existente na bacia em função das características do meio físico através do Potencial Natural de Erosão (PNE). Com relação à variabilidade espaço temporal, verificou-se que a média da precipitação total anual na bacia aumenta na direção de oeste para leste com amplitudes de 1410 mm (a oeste) e 1560 mm (a leste) com diferença de 150 mm, esta distribuição espacial da chuva pode ser atribuída a maior proximidade da porção leste da bacia com o oceano. Os Fatores R, K, LS e CP da USLE foram obtidos em ambiente SIG. Os resultados obtidos mostraram que as perdas de solo variaram de 0 a 84 t/ha/ano. As maiores perdas de solo foram localizadas na porção sudeste. Quanto ao PNE a bacia é caracterizada em sua maior parte, 56,96 % da área total, com potencial natural de erosão muito baixo. Assim, a utilização integrada entre a USLE e SIG mostrou-se ser uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo na bacia Rio Mamuaba para a identificação das áreas mais vulneráveis ao processo de erosão dos solos e na variabilidade espaço-temporal da precipitação.

Palavras-chave: Mapeamento. SIG. Aporte de sedimentos.

SPATIOTEMPORAL CHANGES OF RAINFALL VARIABILITY AND SOIL LOSS IN MAMUABA RIVER BASIN, BRAZIL

ABSTRACT

Changes in land use due to the advance of agriculture in the last years have caused great influence on the soil losses. This study analyses the influence of the changes of land use and occupation on the soil loss and sediment delivery between 1989 and 2001 within Mamuaba River basin. In order to calculate the soil loss, the universal soil loss equation (USLE) was used. The USLE was used to determine the average annual soil loss and its spatial distribution within the basin. The USLE's R, K, LS and CP factors were obtained in a GIS environment. The obtained results showed values of soil losses ranging from 0 to 84 t/ha/year. The main soil losses within the basin occurred in the southeastern part of the basin. The results about the SDR application can be considered quite low (1.18%) and the sediment yield varied between 0.645 and 0.697 t/ha for 1989 and 2001, respectively, showing a variation around 6%. Thus, the use of USLE and GIS showed to be an effective technique in the spatial representation of soil losses within basin in order to identify the most susceptible areas to the soil erosion process.

Keywords: Mapping. GIS. Sediment delivery.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento e gestão acarreta uma série de conseqüências ao meio ambiente, sobretudo no que se refere a erosão do solo por atividades agrícolas em bacias hidrográficas, pois a maioria desse tipo de atividade não possui práticas de manejo do solo, tornando-o cada vez mais susceptível a erosão, além de oferecer riscos de contaminação aos mananciais devido a utilização de defensivos agrícolas.

De acordo com Freitas et al. (2008), a erosão é um dos principais fatores responsáveis pelo decréscimo na produtividade agrícola, provocando perdas de solo, água e nutrientes, com conseqüente eutrofização dos corpos de água e degradação do solo. Sendo assim, a realização de estudos e a compreensão dos fatores que condicionam o processo de erosão dos solos em bacias hidrográficas são de grande importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois auxiliam na busca por medidas mitigadoras das conseqüências decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

As geotecnologias, especialmente o Sensoriamento Remoto e os SIGs, têm sido amplamente utilizadas nas análises ambientais em virtude de sua flexibilidade e disponibilidade, pois trabalham com um sistema computacional que permite analisar as informações de uso e ocupação das Bacias Hidrográficas de forma mais ágil e rápida (VELOSO et al. 2011).

Um dos modelos matemáticos mais utilizados até hoje para estimar a perda de solo por erosão laminar é a Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation - USLE), desenvolvida a partir de 1950 por Wischmeier e Smith (1965). Segundo Galdino e Weill (2010), os modelos matemáticos de predição de erosão são ferramentas poderosas na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação.

Diversas pesquisas foram realizadas utilizando a USLE na avaliação dos processos erosivos em bacias hidrográficas. Como exemplo de uso desta técnica, está o estudo de Bortolin et al. (2011), realizado no Rio São Marcos, RS visando

estimar a geração de sedimentos provocados por erosão laminar, constatando que a área de estudo apresenta potencial de baixa geração de sedimentos.

Analisar ainda a variabilidade espaço-temporal da precipitação em bacias hidrográficas é importante, pois auxiliam na identificação das áreas que sofrem maiores influências da precipitação, visto que o fator erosividade das chuvas é um dos principais elementos naturais que interferem nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica. Segundo Silva et al. (2012), o estudo do comportamento espacial de um determinado elemento climático, como é o caso da precipitação, é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, bem como para o planejamento das atividades agrícolas e, sobretudo para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação para um período de 20 anos e estimar as perdas de solo para a Bacia do Rio Mamuaba, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), além de identificar o risco de erosão existente na bacia em função das características do meio físico através do Potencial Natural de Erosão (PNE).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

A bacia do Rio Mamuaba está localizada entre as latitudes 7°15'0" e 7°21'0" Sul e as longitudes 35°03'0" e 35°7'30" Oeste, no Litoral Sul do Estado da Paraíba (Fig. 1). Essa bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 62 km² e apresenta evaporação média anual de aproximadamente 1.300 mm/ano, enquanto a precipitação média anual é de 1.500 mm/ano. A bacia do Rio Mamuaba é um dos principais rios que compõe a bacia hidrográfica do Rio Gramame, uma das bacias responsáveis pelo abastecimento de água para os municípios de João Pessoa, Conde, Santa Rita, Bayeux e Cabedelo, que fazem parte da Região Metropolitana denominada de Grande João Pessoa no Estado da Paraíba.

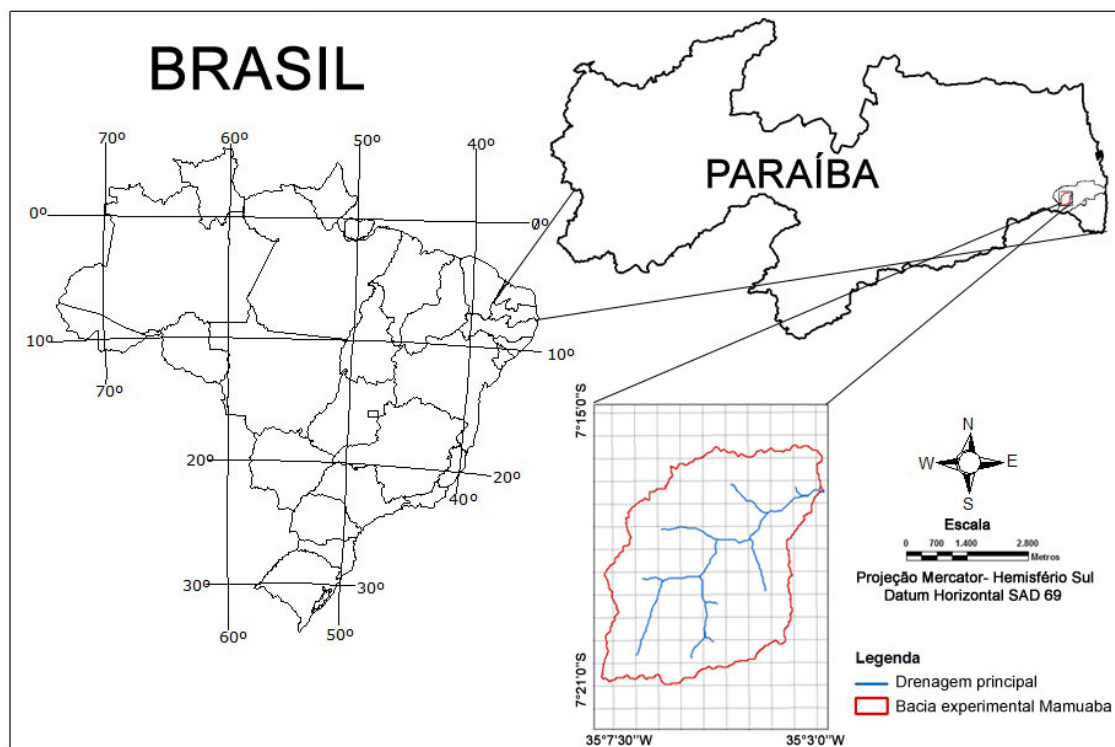


Figura 1- Localização da Bacia do Rio Mamuaba no Estado da Paraíba.

Determinação dos Fatores da USLE

Diversas são as metodologias empregadas atualmente para estimativa de perda de solo por erosão, dentre elas destacam-se a utilização da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), da Equação de Perda de Solo Modificada (RUSLE), dentre outras.

Para a estimativa das perdas de solo para a Bacia do Rio Mamuaba, utilizou-se a USLE (Wischmeier e Smith, 1965), que consiste num modelo matemático que emprega os principais fatores que influenciam a perda de solo por erosão laminar: erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, topografia e os fatores de manejo e práticas conservacionistas do solo a fim de diagnosticar as áreas da bacia mais susceptíveis aos processos de erosão, podendo ser utilizada na identificação de riscos de degradação de solos, desde que adaptado às condições de estudo. Segundo Abdon (2004), a erosão laminar se caracteriza por escoamento superficial da água e se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais.

O modelo é representado pela seguinte equação:

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

no qual A é a estimativa da perda de solo por área no tempo (t/ha/ano), R é o fator de erosividade da chuva ou o potencial de erosão causada pela chuva (MJ·mm/ha/h/ano), K é o fator de erodibilidade do solo que varia de acordo com os tipos de solos (t·ha·h/ha/MJ/mm), LS é o fator topográfico é o conjunto de comprimento de rampa e grau de declividade, C é o fator do uso e ocupação do solo, sendo a relação dos diferentes tipos de manejo da terra e a intensidade das perdas de solo, e P é o fator prática conservacionista do solo onde é a relação entre determinada prática conservacionista e as perdas de solo.

O fator de erosividade da USLE (Fator R) foi calculado com base na equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999). Para isto foram adquiridos dados de precipitação diária de seis postos pluviométricos para o período de 1969 a 1989, junto a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) dos seguintes postos: (a) Acau, (b) Fazenda Santa Emília, (c) Imbiribeira, (d) Jangada, (e) Mamuaba de cima, e (f) Riacho do Salto (Fig. 2). Os dados de precipitação diária foram acumulados para a escala mensal. Em seguida foram calculadas a média mensal e a anual para cada posto para se determinar a erosividade anual para cada posto utilizado. O Fator R pode ser dado por:

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

sendo R o fator de erosividade da chuva (MJ·mm/ha/h/ano), P_m a precipitação mensal (mm), P_a a precipitação média total anual (mm).

Posteriormente, os dados anuais de erosividade foram interpolados pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW) em ambiente SIG. De acordo com Costa e Silva (2012), esse método de interpolação global se baseia no princípio de que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Nesse sentido, procurou-se representar uma maior distribuição espacial da erosividade.

O fator de erodibilidade do solo (Fator K) foi obtido a partir da associação do mapa de solos disponibilizados pela EMBRAPA (1999) com os valores de erodibilidade encontrados na literatura para unidades pedológicas similares às da área de estudo, baseados em experimentos de campo dos estudos de Farinasso et al. (2006) e Mendonça (2005).

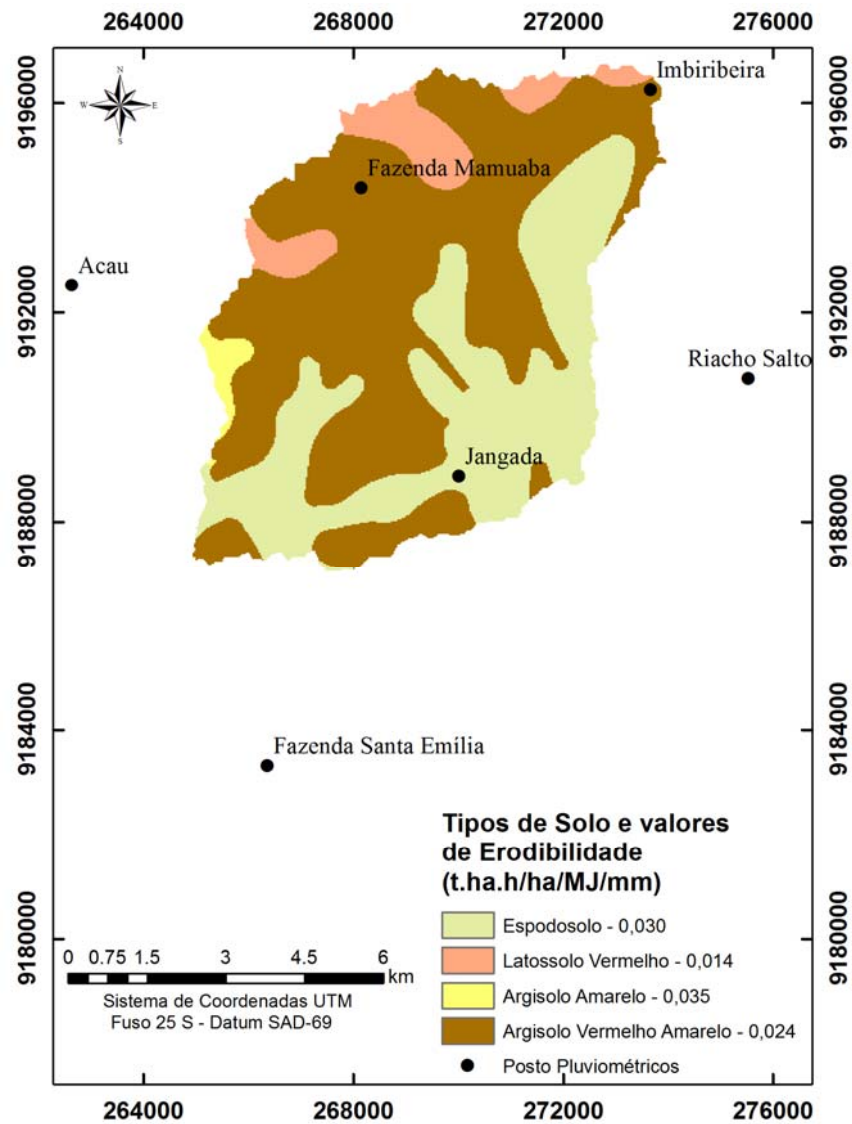


Figura 2 – Distribuição espacial do fator de erodibilidade dos solos para a bacia do Rio Mamuaba e localização dos postos pluviométricos utilizados.

Para o cálculo do fator LS da USLE, utilizou-se o do Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 30 metros, obtido junto ao site do INPE

(<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>). Esse método foi escolhido por se mostrar eficaz na representação do fator topográfico em bacias da região litorânea do Nordeste, como apresentado nos trabalhos de Silva et al. (2007), Silva et al. (2012). O Fator LS é dado pela seguinte expressão:

$$LS = \left(\frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

sendo V a acumulação de fluxo multiplicada pelo tamanho da célula, θ o ângulo da declividade em graus, ambos os parâmetros são derivados do Modelo Digital de Elevação.

Para o mapeamento da área de estudo foram obtidas as imagens de satélite do Landsat-5/TM e Landsat-7/ETM, com órbita e ponto 214/65 para os anos de 1989 e 2001 respectivamente, em formato TIFF, no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além do shapefile do limite da bacia hidrográfica em formato vetorial, adquirido por meio do banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) com a finalidade de analisar as modificações ocorridas na cobertura vegetal e no uso e ocupação do solo na bacia do Rio Mamuaba (Fig. 3), bem como a variabilidade espaço-temporal da precipitação, a erosividade das chuvas e estimar as perdas de solo para a bacia.

Em seguida, as imagens foram georreferenciadas em ambiente SIG. Posteriormente foi realizada a composição colorida das bandas 1(R), 2(G) e 3(B), observando aquela composição colorida que mais facilitasse a identificação dos objetos na imagem para análise espacial.

Dispondo desta base de dados, foi possível fazer uma análise inicial e a vetorização das possíveis classes temáticas do uso e ocupação do solo existentes na bacia do Rio Mamuaba, viabilizando a avaliação das características da bacia hidrográfica e o mapeamento que serviu de base para aplicação da USLE.

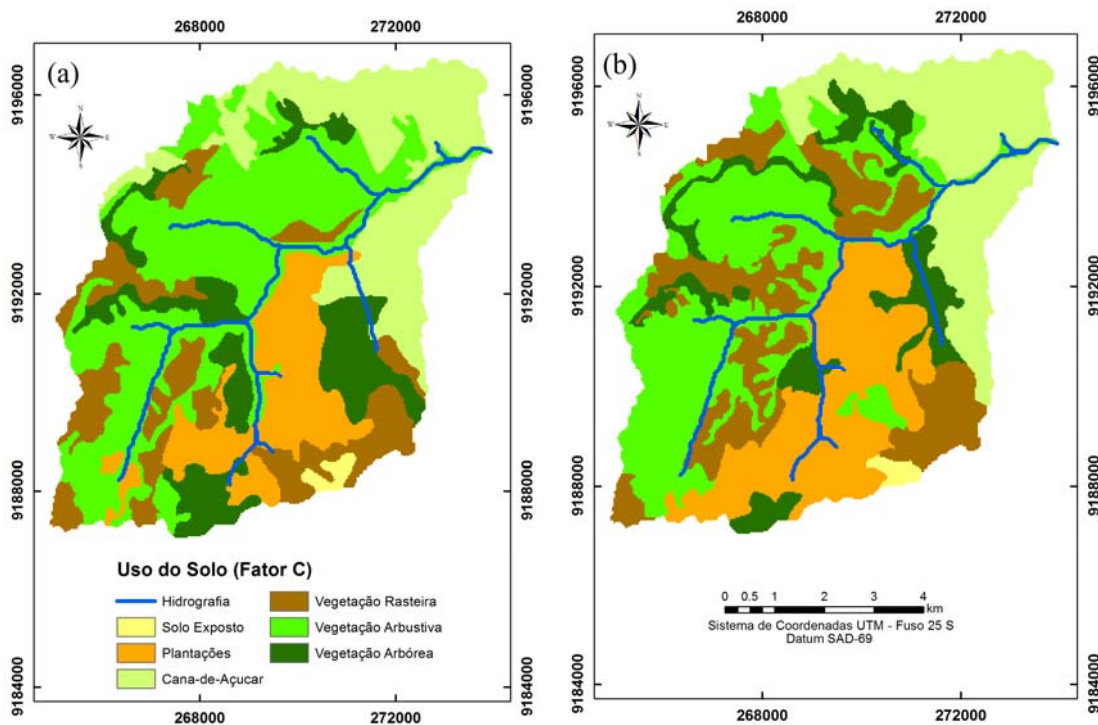


Figura 3 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo na bacia do Rio Mamuaba para os anos de (a) 1969 e (b) 2001.

Segundo Amaral (2006), a obtenção do fator cobertura e manejo do solo é de grande complexidade, devido às muitas condições de superfície e sub superfície do solo, criadas pelo seu manejo, as quais afetam a erosão hídrica. A distribuição da erosividade das chuvas ao longo do tempo, alterações no preparo do solo, sistemas de cultivo e cobertura dos solos diferentes, são alguns dos mais importantes fatores que afetam diretamente o fator cobertura e manejo do solo.

Beskow et al. (2009) expõem que este fator da USLE representa as condições que podem ser facilmente modificado para reduzir a erosão. Portanto, é muito importante ter um bom conhecimento a respeito do uso da terra na bacia para gerar valores de fator de confiança C.

Para o cálculo da perda de solo, adotaram-se os seguintes valores do fator CP: (a) Cana-de-açúcar = 0,018, (b) Plantações = 0,024, (c) Solo exposto = 1, (d) Vegetação arbórea = 0,0004, (e) Vegetação arbustiva = 0,0015, (f) Vegetação rasteira = 0,01, obtidos na literatura de acordo com o uso e ocupação do solo da bacia do Rio Mamuaba. Para as classes temáticas denominadas Plantações, Vegetação rasteira e Cana-de-açúcar, os valores do fator C foram estimados com

base no trabalho de Silva et al. (2012). Para a classe Solo exposto o fator C foi extraído do trabalho de Silva et al. (2010) e para as classes Vegetação arbustiva e arbórea os valores de C foram obtidos do estudo realizado por Silva et al. (2007). Já para o fator P, foi utilizado a metodologia sugerida por Gurgel et al. (2011), que recomendam quando o enfoque do trabalho é a perda de solo por erosão, os fatores C e P estão correlacionados de tal forma que podem ser analisados como um único fator.

Vale ressaltar que, para classificar a perda de solo na Bacia do Rio Mamuaba foi utilizado a classificação proposta pela FAO (1980), que relaciona o grau de erosão a partir de quatro classes de perda de solo (Tab.1).

Tabela 1- Classificação dos graus de erosão.

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

Fonte: FAO (1980).

Determinação do aporte de sedimentos pela SDR

Como a USLE calcula a perda potencial do solo e não considera a deposição de solo. Para estimar os sedimentos transportados foi utilizado a Taxa de Entrega de Sedimentos, ou simplesmente SDR (Sediment Delivery Ratio). O valor de SDR estima a taxa de transferência de sedimentos que passa pelo exutório da bacia. Esse parâmetro utiliza as seguintes características da bacia: (a) a distância que percorre o fluxo entre a área fonte e a saída da bacia, (b) forma da encosta, (c) porcentagem da cobertura vegetal no caminho percorrido pelo fluxo entre a fonte do sedimento e a saída da bacia, e (d) textura do material. O SDR foi calculado pelo método de Maner (Eq. 4) e o resultado foi utilizado para o cálculo da estimativa do aporte de sedimentos na bacia em estudo segundo o Forest Service (Eq. 5).

$$\log(\text{SDR}) = 2,943 - 0,824 \log\left(\frac{L_m}{F_r}\right) \quad (4)$$

no qual L_m é o maior comprimento na bacia, paralelo ao rio principal (m) e F_r o desnível entre a cota média do divisor e a cota do exutório.

$$Y = (\text{SDR} \times A) / A_b \quad (5)$$

sendo Y o aporte de sedimentos estimados (t/km^2), SDR a taxa de transferência de sedimentos, adimensional, A a perda de solo pela USLE e A_b a área da bacia.

Potencial natural de erosão

Para determinação do potencial natural de erosão na Bacia do Rio Mamuaba foi utilizado os fatores da USLE que representam as condições naturais do meio físico, resultante do produto entre os fatores R , K e LS , sendo assim o PNE foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{PNE} = R \cdot K \cdot LS \quad (6)$$

sendo PNE o potencial natural de erosão ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$), R o fator de erosividade das chuvas ($\text{MJ}\cdot\text{mm}/\text{ha}/\text{h}/\text{ano}$), K o fator de erodibilidade dos solos ($\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}/\text{ha}/\text{MJ}/\text{mm}$) e LS o fator topográfico (adimensional).

Em seguida, a partir do resultado da multiplicação dos fatores que determinam o potencial natural de erosão da bacia, fatores R , K e LS , foi realizada a distribuição espacial do PNE em cinco classes: a) 0 a 20 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$), b) 20 a 50 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$), c) 50 a 90 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$), d) 90 a 150 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$) e e) valores maiores que 150 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$), ressalta-se que nesta última classe os valores variaram de 150 a 340 ($\text{t}/\text{ha}/\text{ano}$).

Variabilidade espaço- temporal da precipitação na bacia

Para o estudo da variabilidade espaço- temporal da precipitação foram utilizados dados pluviométricos diários com uma série histórica de 20 anos, de

1969 a 1989, obtidos de seis postos de coleta que estão localizados nas proximidades da bacia do Rio Mamuaba, apresentados na Tabela 2. Dispondo dos dados de precipitação foi possível analisar a evolução anual da precipitação pluvial média e ainda observar a variabilidade pluvial anual na bacia em relação as anomalias. Em seguida, os dados foram interpolados utilizando o método de interpolação, conhecido como Krigagem, onde foi possível determinar a média da precipitação total anual. Este método foi escolhido visto à grande utilização em estudos de distribuição espacial de precipitação.

Tabela 2- Localização e período de dados das estações pluviométricas.

Postos	Latitude (m)	Longitude (m)	Período dos Dados
Acaú	9.192.520	262.630	1969–1989
Fazenda Santa Emília	9.183.317	266.355	1969–1989
Imbiribeira	9.196.257	273.659	1969–1989
Jangada	9.188.865	270.011	1969–1989
Fazenda Mamuaba	9.194.388	268.144	1969–1989
Riacho Salto	9.190.734	275.524	1969–1989

Fonte: Pesquisa direta, 2012/2013.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variabilidade espaço- temporal da precipitação na bacia

A Figura 4 apresenta a evolução anual da precipitação média para a Bacia objeto de estudo. Observa-se que a precipitação máxima anual, para o período analisado, foi de aproximadamente 2000 mm e que em alguns anos, como em 1969, 1974 e 1978, a precipitação foi significativamente acima da média anual que é cerca de 1.500 mm. Destacam-se os anos de 1970, 1975, 1981 e principalmente 1983 que apresentaram os menores índices pluviométricos, registrados abaixo da média, em torno de 930 a 1.200 mm. Essa variação de precipitação pode está associado à influência dos eventos El Niño e La Niña. Segundo Trenberth (1997), no ano de 1982/83 houve grande redução no total anual da precipitação no litoral

da Paraíba, chegando próximo de 1000 mm, ano de ocorrência de El Niño, um dos mais fortes que se tem registro, com duração de 13 meses.

Tanto o El Niño, a La Niña, como o gradiente inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical, são fatores importantes que modulam a precipitação na região Nordeste (NOBRE E SHUKLA, 1996). De acordo com Pereira et al. (2011), dentre os elementos do clima, a precipitação é o que mais influencia a produtividade agrícola, principalmente nas regiões tropicais, onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade.

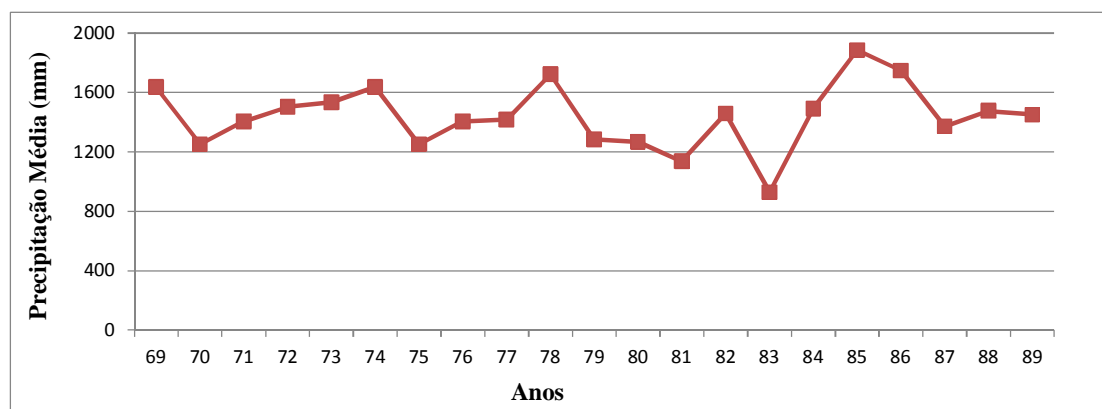


Figura 4- Evolução Anual da precipitação média para a Bacia do Rio Mamuaba.

Na Figura 5, verifica-se a variabilidade pluvial anual em relação as anomalias. Dentre o período analisado 11 anos apresentaram precipitação acima da média, sendo os anos de 1969, 1974, 1978, 1985 e 1986 os mais significativos, variando de 200 a 430 mm, aproximadamente, o índice de precipitação média anual em relação a média histórica da bacia. Referente as anomalias negativas, 10 anos registraram precipitação média anual abaixo da média, destacam-se os anos de 1970, 1975, 1981 e 1983. Segundo Filgueira et al. (2007), os eventos El Niño ocorreram dentre os anos de 1979-83 e 1998-99 e de eventos La Niña 1984-85 e 2000-2002 no qual foram estes anos que apresentam precipitações máximas para La Niña e mínimas para os El Niño.

Minuzzi et al. (2005), enfatizam que durante eventos do El Niño há a ocorrência de irregularidades na distribuição de chuvas, visto que estas tendem a

ficar abaixo da média para a porção compreendida entre o nordeste do Estado de Minas Gerais até a porção leste da Região Nordeste.

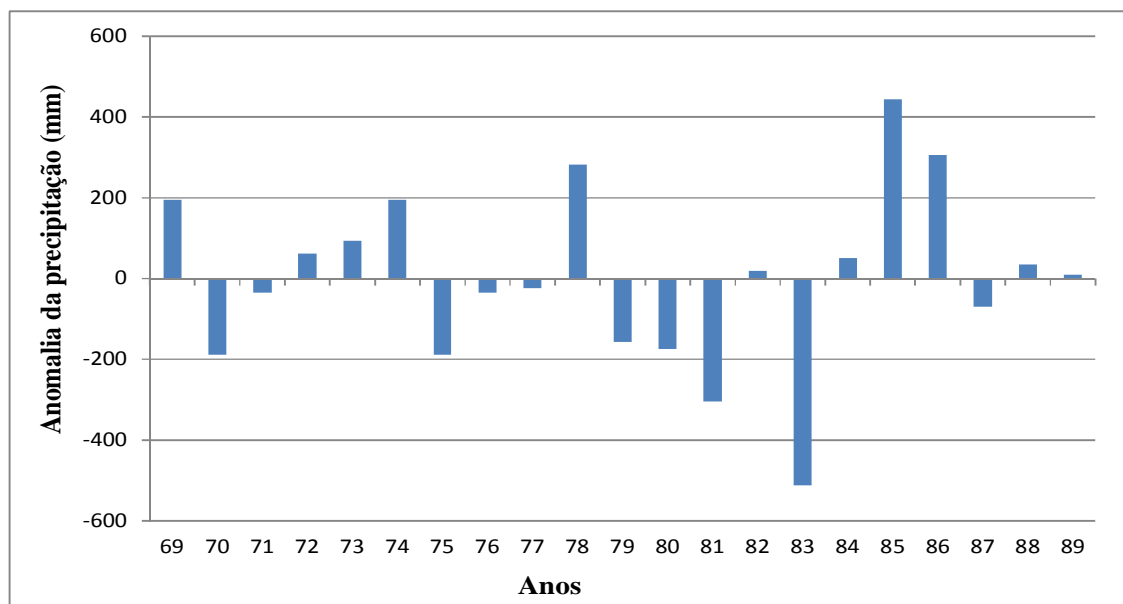


Figura 5 – Anomalia das precipitações médias anuais (mm), para o período de 1969 a 1989.

Para a representação da distribuição espacial da precipitação na bacia foi utilizado o método de interpolação Krigagem para determinar a precipitação total anual para o período analisado (Fig. 6). Isaaks e Srivastava (1989) retratam que o método de interpolação pela krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa. Bettini (2007) acrescenta que a técnica consiste em estimar valores médios. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto.

Ressalta-se de acordo com a Fig. 6, que a média da precipitação total anual aumenta na direção de oeste para leste com amplitudes de 1410 mm (a oeste) e 1560 mm (a leste) com diferença de 150 mm. O maior índice de precipitação

ocorre na parte leste da bacia, podendo ser atribuída pela maior proximidade em relação ao oceano.

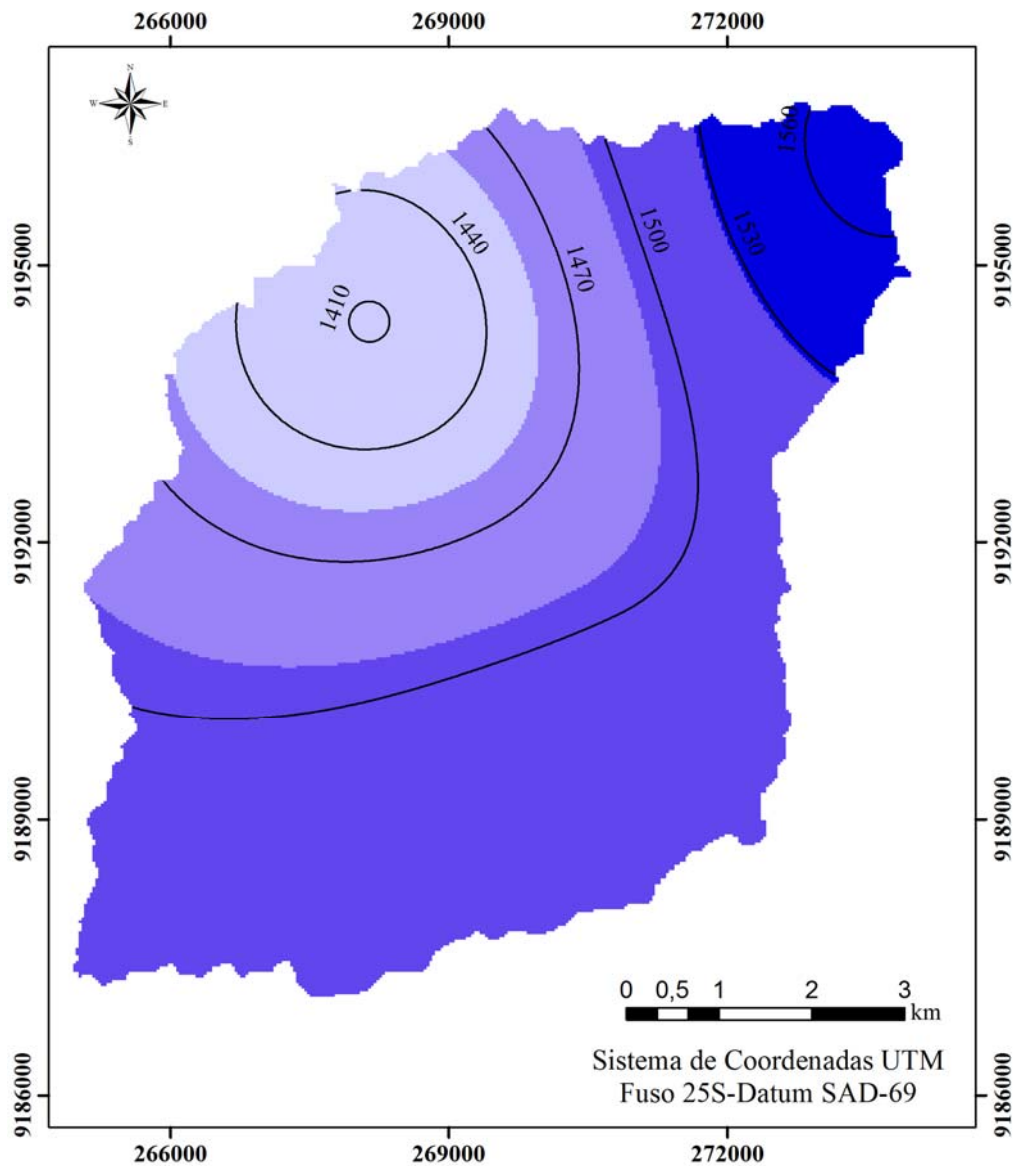


Figura 6 – Média da precipitação total anual (mm), para a Bacia do Rio Mamuaba no período de 1969 a 1989.

3.2 Análise das Perdas de Solo na Bacia do Rio Mamuaba

Para o fator topográfico (LS) constatou-se uma variação de 0 a 13, onde a maior parte da bacia possui índices que variam de 0 a 3, já nas áreas próximas às

margens dos cursos de água, localiza-se os pontos de maior representatividade que são de 4–13%, principalmente na parte sudeste e noroeste da bacia, como pode ser visto na Fig. 7. A Figura 8 apresenta a distribuição do fator de erosividade (R) para a bacia em estudo. Verifica-se que os resultados da erosividade variaram de 567 à 662 MJ.mm/ha/h/ano e que os maiores índices de erosividade causado pelas chuvas encontram-se na parte leste da bacia e no exutório, onde há maior influência das ações antrópicas, principalmente pelo cultivo de cana-de-açúcar. Já os menores índices encontram-se na parte oeste da bacia, área onde há predominância, sobretudo da vegetação arbustiva.

A partir das classes de interpretação para índices de erosividade utilizada por Costa e Silva (2012), o valor máximo da erosividade da bacia do Rio Mamuaba (662 MJ.mm/ha/h/ano) é considerado médio a forte, influenciando diretamente no aumento da degradação do solo da bacia, principalmente pela fragmentação das partículas do solo ocasionado pelas chuvas.

Com relação ao fator K de erodibilidade dos solos, primeiramente foram identificados a predominância de quatro tipos de solo: Espodossolo, Latossolo Vermelho, Argissolo amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo. A Tabela 3 mostra os valores utilizados para a espacialização deste fator, com base na literatura para cada tipo de solo existente na bacia, bem como o percentual de abrangência para cada tipo. Por meio da espacialização do fator K obteve-se o mapa de erodibilidade (Fig. 2) com os valores deste parâmetro para cada tipo de solo.

Observa-se que os maiores valores de erodibilidade foram referentes aos solos: Argissolo Amarelo com fator de erodibilidade de 0,035 t·ha·h/ha/MJ/mm e o Espodossolo com 0,030 t·ha·h/ha/MJ/mm, com abrangência de 1,35% e 34,25%, respectivamente, da área total da bacia hidrográfica, sendo os solos da bacia mais susceptíveis a erosão. Nota-se ainda que o solo Argissolo Amarelo não sofreu grande influência na bacia, visto que abrange uma pequena área, diferentemente do Espodossolo que abrange uma área maior (21 km²). Os solos Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho apresentaram os menores valores de erodibilidade, e, conseqüentemente, menor susceptibilidade a processos erosivos na bacia.

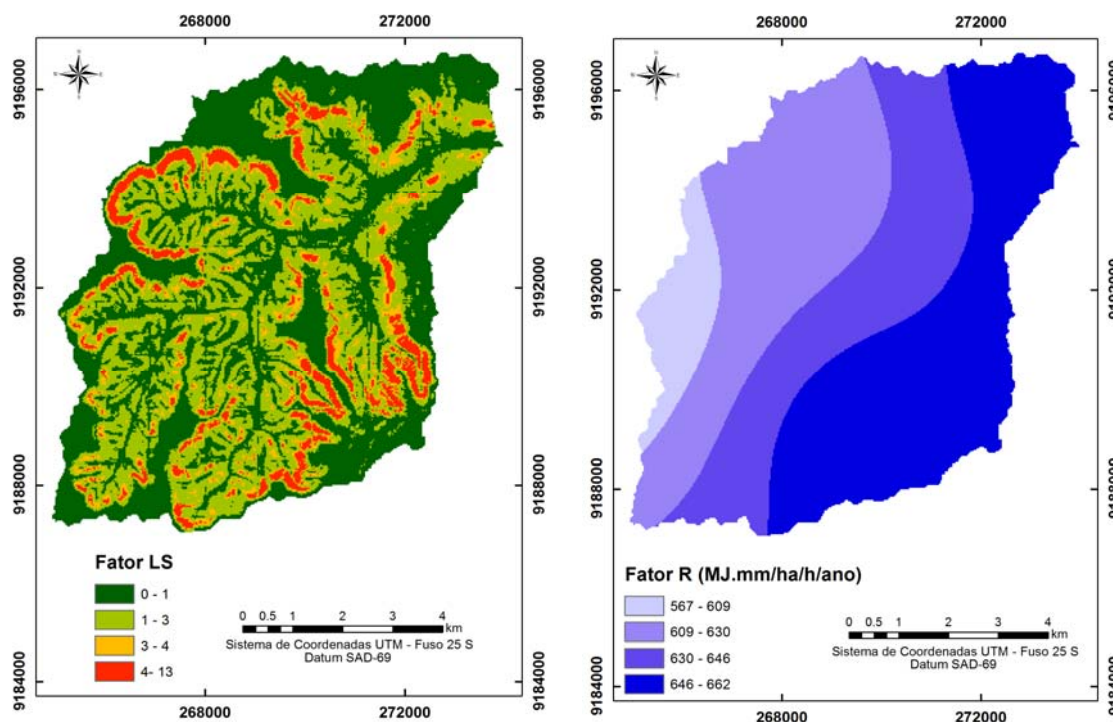


Figura 7 – Mapa do Fator Topográfico (LS) Figura 8 – Mapa de Erosividade das chuvas da para a bacia.

Tabela 3 – Valores do fator K para os solos da bacia do Rio Mamuaba.

Tipos de Solo	Erodibilidade (t.ha.h/ha/MJ/mm)	Área (km ²)	(%)
Espodossolo	0,030 ⁽¹⁾	21,00	34,25
Argissolo Vermelho Amarelo	0,024 ⁽¹⁾	35,00	57,08
Argissolo Amarelo	0,035 ⁽²⁾	0,83	1,35
Latossolo Vermelho	0,014 ⁽²⁾	4,49	7,32

Fonte: ⁽¹⁾Mendonça (2005) e ⁽²⁾Farinasso et al. (2006).

A Tabela 4 e a Fig. 9 apresentam a evolução e o percentual de ocupação dos usos do solo na Bacia Mamuaba, referente aos anos de 1989 e 2001. Pode-se observar que houve uma diminuição de aproximadamente 25% da área de Vegetação Arbórea e em paralelo um aumento significativo nas áreas de plantações, onde aumentou cerca de 43%, outra alteração que traz fortes consequências no que tange a perda de solo, foi o aumento da área de Solo exposto, onde houve um aumento de 13%. Essas modificações na paisagem da bacia do Rio Mamuaba podem ser observadas na Figura 3. A Tabela 5 mostra o resultado da

estimativa da perda de solo para os anos de 1989 e 2001, utilizando a USLE, com o nível médio de produção de sedimentos por tipo de solo.

Tabela 4 – Evolução do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Mamuaba para os anos de 1989 e 2001.

Classe	1989		2001	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Cana-de-açúcar	12,64	20,61	12,24	19,96
Vegetação arbustiva	21,89	35,7	16,51	26,92
Vegetação rasteira	9,39	15,31	13,66	22,28
Vegetação arbórea	8,51	13,88	6,30	10,27
Plantações	8,44	13,76	12,10	19,73
Solo exposto	0,45	0,74	0,51	0,84
TOTAL	61,32	100,0	61,32	100,0

Fonte: O autor, 2013.

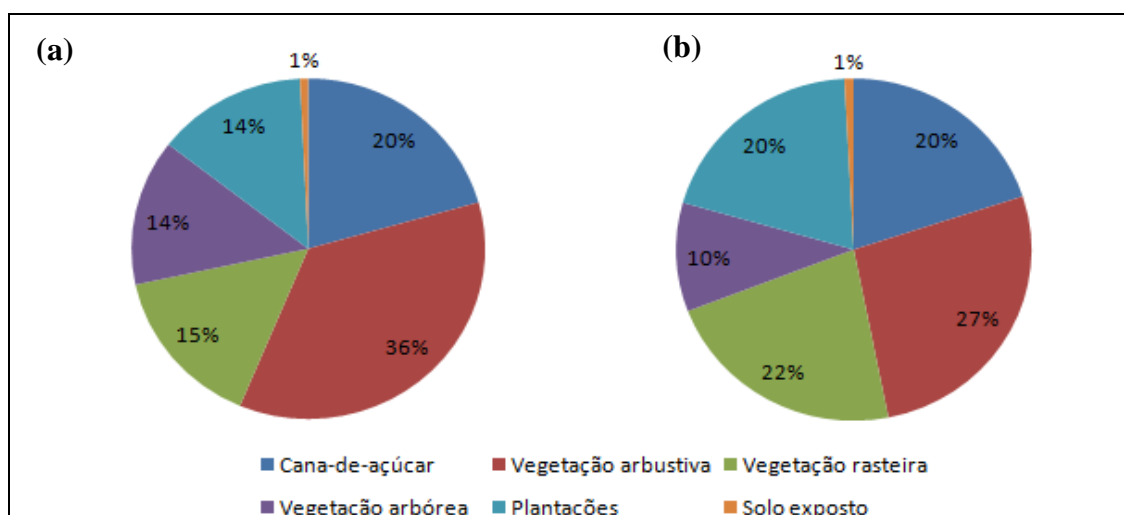


Figura 9 – Percentual das classes temáticas em: (a) 1989 e (b) 2001.

Tabela 5– Relação entre os tipos de solo e os níveis médios de perda de solo da bacia do Rio Mamuaba.

Tipos de Solo	Perda de Solo (t/ha)	
	1989	2001
Argisolo Amarelo	0,081	0,049
Argisolo Vermelho amarelo	0,226	0,364
Espodosolo	0,604	0,669
Latossolo Vermelho	0,030	0,226

Fonte: O autor, 2013.

A Figura 10 mostra a espacialização das perdas na bacia do Rio Mamuaba. O nível médio de produção de sedimentos do solo tipo Espodosolo manteve-se como maior nível de perda de solo para os dois anos de estudo, indicando a forte influência deste tipo de solo nos processos erosivos da bacia em estudo. Tal resultado está relacionado com os fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, fator topográfico e fator CP. A estimativa de perda de solo para o presente estudo foi distribuída em seis classes que variaram de 0 a 85 t/ha/ano.

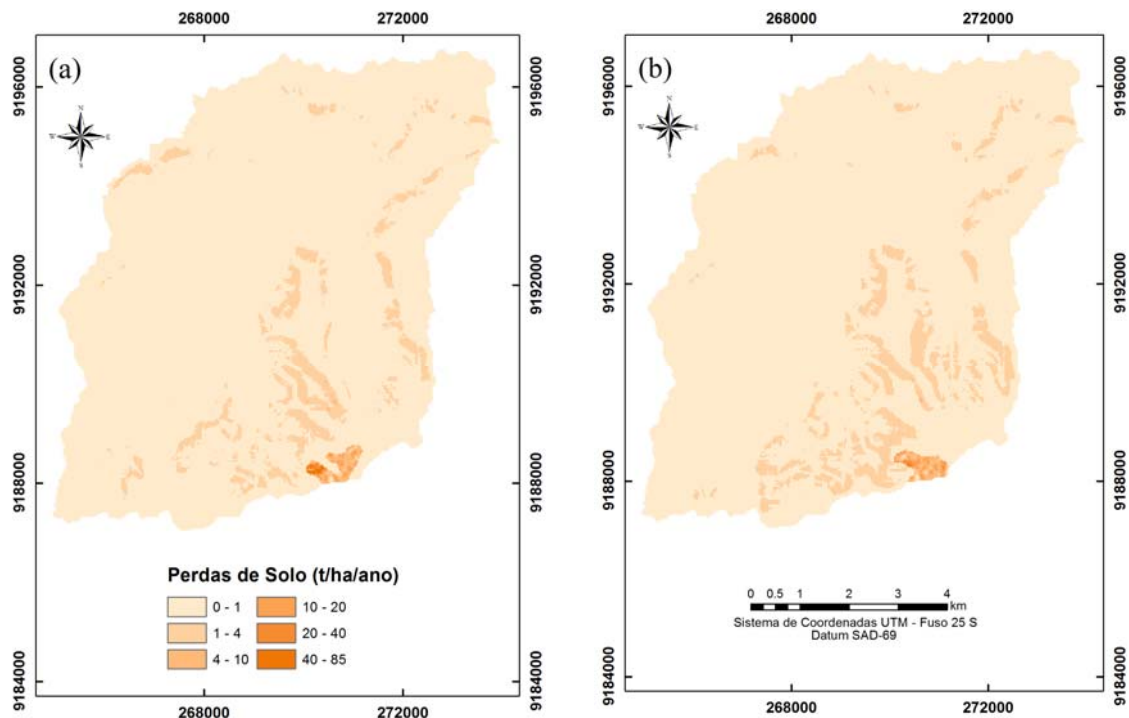


Figura 10 – Mapas das perdas de solo da bacia do Rio Mamuaba para o ano de (a) 1989 e (b) 2001.

Observa-se que as perdas de solo para a bacia do Rio Mamuaba ocorreram em grande maioria abaixo de 1 t/ha/ano, no qual segundo FAO (1980) valores menores que 10 t/ha/ano são classificados como baixo grau de erosão. Já as maiores perdas de solo, ou seja, de 40 a 85 t/ha/ano, se deram nas áreas com maiores índice LS, parte sudeste da bacia, onde predominam o solo do tipo Espodosolo e as classes temáticas Plantações, Vegetação rasteira e uma pequena área de solo exposto.

A Figura 11 apresenta a distribuição espacial do potencial natural de erosão da bacia, cujos intervalos variaram de 0 a maiores que 150 (t/ha/ano), verifica-se

que a porção noroeste da bacia é onde se encontram os maiores valores do PNE, sendo também nesta área da bacia onde está presente significativos valores de erosividade das chuvas, as maiores declividades e a predominância do tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo.

A Tabela 6 mostra os valores dos intervalos do PNE, bem como as respectivas áreas de abrangência para a Bacia do Rio Mamuaba. Nota-se que as maiores áreas de abrangência do PNE estão na classe 0 a 20 t/ha/ano representando 56,96% da área da bacia, enquanto as menores áreas de abrangências estão na classe com valores maiores que 150 t/ha/ano representando 2,82% do total da área de estudo. Assim sendo, os resultados revelaram que a Bacia do Rio Mamuaba é caracterizada em sua maior parte com potencial natural de erosão muito baixo.

Tabela 6 - Classes do Potencial Natural de Erosão (PNE) e respectivas áreas de abrangência para a bacia do Rio Mamuaba.

Classes	PNE (t/ha/ano)	Área (km²)	Área total (%)
Muito baixo	0- 20	34,93	56,96
Baixo	20- 50	13,63	22,23
Médio	50 - 90	7,62	12,43
Alto	90- 150	3,41	5,56
Muito alto	>150	1,73	2,82

Fonte: Adaptado de Correa e Sanjos (2012).

Com relação à taxa de transferência de sedimentos SDR, o valor encontrado para a bacia foi de 1,187%, o que pode ser considerado aceitável para bacias de tamanho médio (até 100 km²), os valores do SDR variam de 0,25 a 25%. O aporte de sedimentos encontrado para a bacia do Rio Mamuaba é relativamente baixo, visto a baixa taxa do SDR. Foram encontrados os valores de 0,654 t/ha para o ano de 1989 e 0,697 t/ha para 2001, mostrando uma variação entre os anos analisados, em torno de 6%.

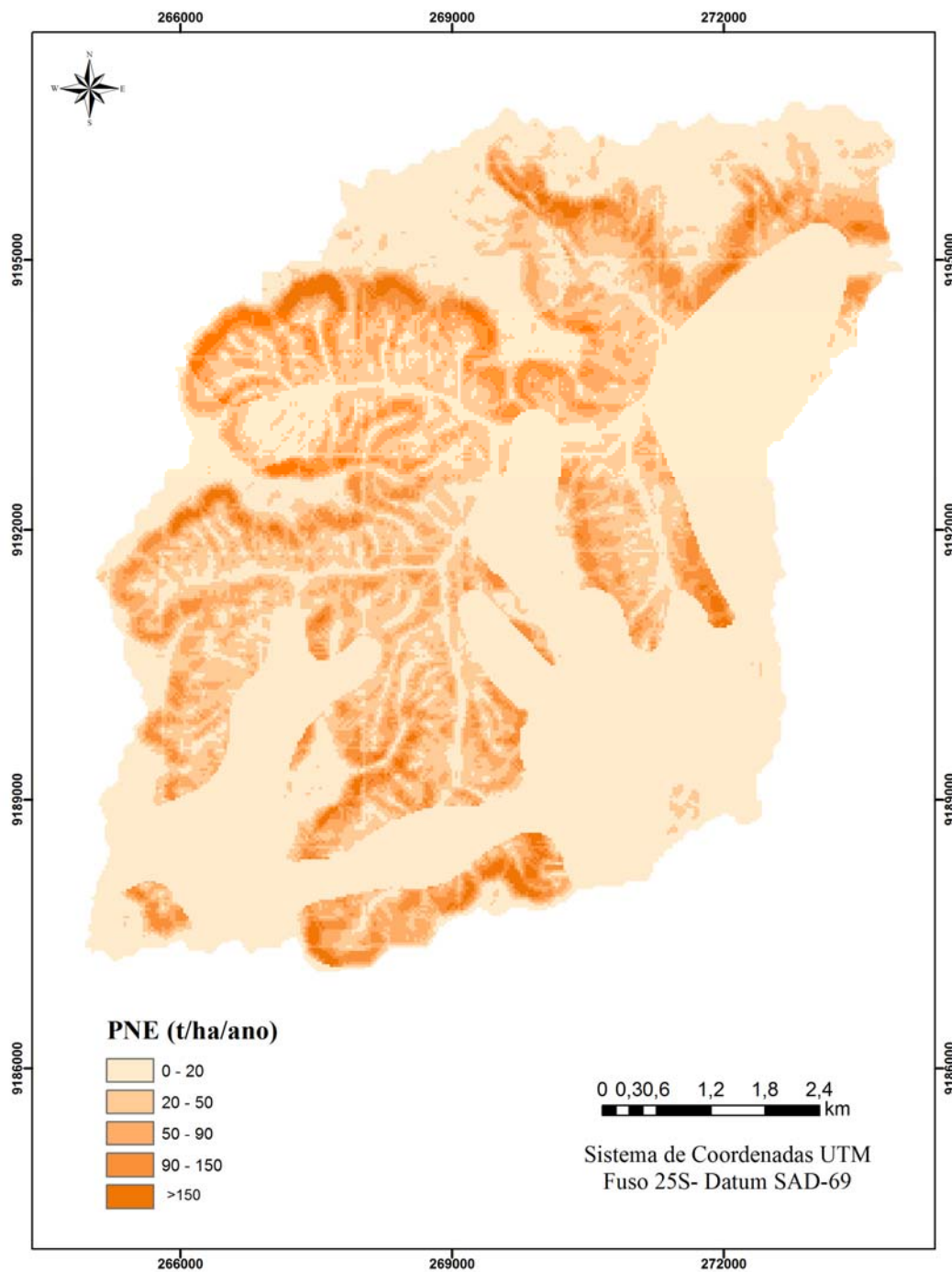


Figura 11 – Mapa do potencial natural de erosão da bacia do Rio Mamuaba.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado da estimativa de perda de solo para a bacia do Rio Mamuaba, primeiramente, permitiu identificar as alterações ocorridas no seu uso e ocupação

do solo durante o período compreendido entre 1989 e 2001. Observou-se que a maioria das áreas em que predominam as atividades de cana de açúcar ocorre em extensões com baixas altitudes, pois são esses espaços mais susceptíveis às ações do homem, acarretando na diminuição da cobertura vegetal e no aumento de práticas agrícolas que influenciam no fator de perda de solo, cuja qualidade da água pode ser alterada tanto pela presença de sedimentos na bacia quanto pelo uso de agrotóxicos e nutrientes, o que pode dificultar o tratamento desta água que servirá para consumo humano, visto que a bacia do Rio Mamuaba contribui para o abastecimento de água da grande João Pessoa. De maneira geral, o estudo mostrou que a maior parte da bacia do Rio Mamuaba é formada por solos que apresentam média susceptibilidade às perdas de solo e ao aporte de sedimentos para ambos os anos analisados. Quanto ao potencial natural de erosão predomina no total de 56,96 % da bacia a classe PNE muito baixo, detectou-se que os maiores valores do PNE foram encontrados nas áreas de maiores declividade, maior Fator LS da bacia, e que possuem significativos valores de erosividade das chuvas. Com relação à variabilidade espaço-temporal da precipitação, verificou-se que a média da precipitação total anual na bacia aumenta na direção de oeste para leste, podendo esta distribuição espacial da chuva ser atribuída a maior proximidade da porção leste da bacia com o oceano.

Diante dos pressupostos é importante a realização de estudos que analisem os fatores que influenciam o avanço da erosão, sobretudo em bacias hidrográficas que sofreram mudanças no uso e ocupação do solo por ações antrópicas, podendo servir de subsídios para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, que diante a uma gama de dados e fatores a serem analisados, a utilização de geotecnologias acoplados a um SIG tem se mostrado útil enquanto ferramenta capaz de auxiliar nas análises ambientais de forma mais rápida e satisfatória.

REFERÊNCIAS

ABDON, M.M. Os impactos ambientais no meio físico- erosão e assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em decorrência da Pecuária. 2001. 309 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

AMARAL, A.J. Fator Cobertura e Manejo da Equação Universal de Perda de Solo para Soja e Trigo em um Cambissolo Húmico Alumínico Submetido a Diferentes Sistemas de Manejo. 2006. Dissertação de mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil, fev. 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação dos solos. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, v. 79, Issue 1, 15 October 2009, Pages 49–59, 2009.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, 2007. cap. 4, p. 193-234.

BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G. SCHNEIDER, V. E. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio São Marcos, RS. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, Mai. 2011, INPE pp.1495-1502, 2011.

CORREA, E. A.; SANJOS, S. A. F. P. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia Hidrográfica do córrego Monjolo Grande (Ipeúna-SP). *Revista Geonorte, Edição Especial*, V.2, N.4, p.1356 - 1367, 2012.

COSTA, S.G.F.; SILVA, R.M. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do Riacho Guaraíra. *Cadernos do Logepa*, v. 7, n. 1, p. 72-91, 2012.

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

FARINASSO, M.; JÚNIOR, O. A. C.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI/MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 7, nº 2*, pp.73-85, 2006.

FILGUEIRA, H.J.A.; NETO, A.F.S.; BARBOSA, M.P. Impacto dos eventos ENOS (El Niño-Oscilação Sul) nas precipitações pluviométricas, nos recursos hídricos superficiais e na degradação do solo em região do semi-árido brasileiro. In *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3893-3898, 2007.

FREITAS, F.J.; CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; SILVA, M.D.R.O.; SANTOS, P.M.; CORREA, R.M.; LIMA, P.A.; FILGUEIRA, S.B. Erosão em Entressulcos sob Caatinga e Culturas agrícolas. *Revista Bras. Ci. Solo* 32:1743-1751, 2008.

GALDINO, S.; WEILL, M.A.M. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari – MS/MT. In Anais do 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, Out. 2010 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, pp. 260-269, 2010.

GURGEL, R.S.; JÚNIOR, O.A.C.; 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, Geografia Ensino e Pesquisa, v.15, n.3, 2011;

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 561 p., 1989.

MENDONÇA, I.F.C. Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da microbacia hidrográfica do Riacho Una, Sapé-PB. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2005.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J.M.N. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9(3), p. 364-371, 2005.

NOBRE, P.; SHUKLA J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. Journal of Climate, 9(19), p. 2464-2479, 1996.

PEREIRA, V. C.; SOBRINHO, J.E.; OLIVEIRA, A. D.; MELO, T. K.; VIEIRA, R. Y. M. Influência dos Eventos El Niño e La Niña na Precipitação Pluviométrica de Mossoró-RN. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011 Pág1- 13, 2011.

SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, 22 (2): 357-372, agosto, 2010 pp. 357-372.

SILVA, R.M.; MONTENEGRO, S.M.G.; SANTOS, C.A.G. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment. Natural Hazards 63(3), p. 576-592, 2012.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, L.P.; SILVA, J.F.C.B.C. Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models. Revista Ambiente e Água, v. 2, n. 3, p. 19-33, 2007.

SILVA, R.M.; SILVA, L.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G.. Spatial analysis of vegetal cover and sediment yield in Tapacurá river catchment based on remote sensing and GIS. Warsaw University of Life Sciences - SGGW Annals. Land Reclamation, v. 42, p. 5-16, 2010.

TRENBERTH, M. R. The definition of the El Niño. Bulletin American Meteorological Society, 78(12):2771-2777, 1997.

VELOSO, G.A.; LEITE, M.E.; ALMEIDA, M.I.S. Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do Riachão, no norte de Minas Gerais. Revista de Geografia (UFPE), v. 28, n. 2, pp.165- 184, 2011.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planting. Washington: USDA, 1965. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).