



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS – PB**

LUIZ DOS SANTOS LUCENA

**EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DO
POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO DOS SOLOS DO
MUNICÍPIO DE APARECIDA – PARAÍBA**

PATOS – PARAIBA – BRASIL

2017

LUIZ DOS SANTOS LUCENA

**EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL
DE EROÇÃO DOS SOLOS DO MUNÍCIPIO DE APARECIDA – PARAÍBA**

Monografia apresentada à Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal – UFCG, *Campus* de Patos/PB, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Florestal.

Orientador: Izaque Francisco Candeia de Mendonça

PATOS – PARAIBA – BRASIL

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSTR

L935e

Lucena, Luiz dos Santos

Emprego de geotecnologias na estimativa do potencial natural de erosão dos solos do município de Aparecida – Paraíba / Luiz dos Santos Lucena. – Patos, 2017.

36f.: il.; Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2017.

“Orientação: Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça.”

Referências.

1. Solos. 2. Potencial natural de erosão. 3. SIG. I. Título.

CDU 528.8

LUIZ DOS SANTOS LUCENA

**EMPREGO DE GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL
DE EROSÃO DOS SOLOS DO MUNÍCIPIO DE APARECIDA- PARAÍBA**

Monografia apresentada à Unidade Acadêmica
de Engenharia Florestal – UFCG, Campus de
Patos/PB, como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Florestal.

APROVADA em: ___/___/___

Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Almeida Viégas
1^a Examinador

Prof. Msc. Valdir Mamede de oliveira
2^o Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais
Francisco Raimundo de Lucena
Terezinha de Jesus dos Santos Lucena
E ao Meu Avô **João Luiz dos Santos**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família e, em especial, à mãe Terezinha de Jesus dos Santos Lucena, que é mãe e pai ao mesmo tempo e a Rosangela, minha irmã, segunda mãe, que sempre apoiou minhas decisões. Amo todos vocês!

A Jesus, que iluminou meus passos nessa caminhada, fortalecendo minha fé para superar os momentos difíceis, dando-me sabedoria e perseverança para realizar meus sonhos.

Aos meus colegas da universidade pelo apoio que me deram em todo esse tempo de curso, ajudando-me nas horas de dificuldade.

A toda Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal que possibilitou essa realização, em particular, os professores pela dedicação em repassar seus conhecimentos.

Agradeço aos membros da banca examinadora **Prof. Dr. Ricardo Almeida Viégase** **Prof. Msc. Valdir Mamede de oliveira** pela disponibilidade e paciência para examinar esse trabalho.

Agradeço ao meu orientador, **Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça**, pela paciência e dedicação dispensadas na orientação deste trabalho.

Obrigado à instituição Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos – PB.

RESUMO

A sobreutilização das terras no semiárido brasileiro representa um dos fatores limitantes ao seu desenvolvimento socioeconômico visto sua contraposição à manutenção da diversidade funcional sustentável do meio físico. O risco ambiental relacionado à erosão do solo, no semiárido, é de extrema gravidade para seu sistema ambiental, considerando as fragilidades expressas por suas características fisiográficas dominantes. Estudos correspondentes ao meio físico dos solos da região semiárida, em particular, os relativos à determinação do seu Potencial Natural de Erosão (PNE) são relevantes à compreensão dos seus crescentes processos de degradação ambiental. Esta pesquisa tem como objetivo determinar o Potencial Natural de Erosão dos solos do município de Aparecida-PB, inserto na porção ocidental do Estado da Paraíba, mesorregião do sertão paraibano. Para o processamento e análise geoespacial de dados, empregou-se o Sistema de Informações Geográficas IDRISI V. 17.0. Aplicou-se tratamento estatístico com base em regressão linear objetivando caracterizar a correlação simples presente entre os planos de informação PNE e dos seguintes parâmetros determinantes: erodibilidade (K), comprimento de rampa (L) e declividades (S). A estimativa da tolerância de perda de solo permitiu identificar que a unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico apresenta a maior tolerância ($6,6 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), decrescendo em ordem, pelas unidades Luvisolo Crômico ($3,1 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), Vertissolo ($1,5 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e Regossolo Distrófico ($1,1 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).

A estimativa do Potencial Natural de Erosão para o município de Aparecida – PB resultou em 14783 hectares espacializados na classe muito alta ($>800 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), distribuídos nas diferentes classes de declividades, representando 65% da área de estudo e observando que essa distribuição espacial prevalece em, aproximadamente, 50% nas classes de declividades compreendidas entre 2 a 10%.

A aplicação do tratamento estatístico dos dados, através da análise linear de regressão, permitiu explicar que as maiores contribuições para a definição das classes de PNE, com potencial de perda mais elevadas, são a erodibilidade e o comprimento de rampa. Quando se considera, na operação estatística, o valor mínimo das classes de PNE, estes parâmetros explicam respectivamente 71,3 e 85,9% o Potencial Natural de Erosão.

Palavras-chave: Solos, Potencial Natural de Erosão, SIG.

ABSTRACT

The overuse of land in the Brazilian semiarid region represents one of the limiting factors to its socioeconomic development, regarded its contraposition to maintenance of the sustainable and functional diversity of the environment. The environmental risk related to soil erosion in the semiarid region is extremely serious for its environmental system, considering the fragilities expressed by its dominant physiographic characteristics. Studies corresponding to the physical environment of soils in the semiarid region, in particular, the ones related to the determination of the Natural Erosion Potential (NEP) are relevant for the comprehension of their increasing processes of environmental degradation. This research has as a goal to determine the Natural Erosion Potential of the soils in Aparecida-PB, located in the western portion in the State of Paraíba, mesoregion of Paraíba countryside. For the process and analysis of geospatial data, the Geographic Information System IDRISI V. 17.0 was used. Statistical treatment based in linear regression was applied, intending to characterize the simple correlation included among the information plans NEP and the following decisive parameters: erodibility (K), slope length (L) and declivities (S). The estimation of the soil loss tolerance allowed to identify that the unit of Red Yellow Podzolic soil Eutrophic Equivalent presents the greatest tolerance ($6,6 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), decreasing in order, by Chromic Luvisols units ($3,1 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), Vertisols ($1,5 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) and Dystrophic Regosol ($1,1 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).

The estimation of the Natural Erosion Potential for Aparecida countryside – PB resulted in 14783 hectares specialized in a very high class ($>800 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), distributed in different declivity classes, representing 65% of the studied area and observing that this spatial distribution prevails in approximately 50% in the declivity classes understood between 2 to 10%.

The application of the data statistical treatment, through the linear analysis of regression allowed explaining that the greatest contributions for the definition of the NEP classes, with a higher loss potential are erodibility and slope length. When it is considered, in the statistical operation, the minimum value of the NEP classes, these parameters explain respectively 71,3 and 85,9% the Natural Erosion Potential.

Keywords: Soils, Natural Erosion Potential, SIG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, com destaque do município de Aparecida – PB.....	18
Figura 2 – Distribuição espacial das classes de solos do município de Aparecida – PB.....	19
Figura 3 – Mapa hipsométrico da área de estudo município de Aparecida –PB.....	25
Figura 4 – Mapa de erosividade do município de Aparecida – PB.....	26
Figura 5 – Mapa de erodibilidade do município de Aparecida – PB.....	27
Figura 6 – Mapa do fator topográfico do município de Aparecida –PB.....	28
Figura 7 – Mapa do potencial natural de erosão (PNE) do município de Aparecida – PB.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias de balanço hídrico climatológico do posto do município de Aparecida – PB	21
Tabela 2 – Classes de declividades e tipo de relevo do município de Aparecida – PB.....	22
Tabela 3 – Distribuição das classes do fator topográfico (LS) dos solos do município de Aparecida – PB.....	23
Tabela 4 – Erodibilidade e tolerância dos solos do município de Aparecida – PB.....	27
Tabela 5 – Distribuição das classes do potencial natural de erosão do município de Aparecida – PB.....	29
Tabela 6 – Distribuição do cruzamento das classes de PNE <i>versus</i> classes de declividades.....	30
Tabela 7 – Coeficientes de correlação e determinação entre os planos de informações de classes de PNE, erodibilidade(K), comprimento de rampa (L) e declividades (S).....	31

SUMÁRIO

1 Introdução	11
2 Objetivos	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivo específico.....	13
3 Referencial teórico	14
3.1 Erosão laminar.....	14
3.2 Erodibilidade do solo.....	14
3.3 Erosividade do solo.....	15
3.4 Fator topográfico.....	16
3.5 Tolerância a perda de solo.....	16
3.6 Potencial natural de solo a erosão.....	17
3.7 Sistema de informações geográficas SIG`s.....	17
4 Material e métodos	18
4.1 Área de estudo.....	18
4.2 Material.....	19
4.3 Metodologia.....	20
4.3.1 Fator R Erosividade do solo.....	20
4.3.2 Fator K Erodibilidade do solo.....	21
4.3.3 Fator LS Topográfico.....	22
4.3.4 Integração dos dados.....	23
4.4 Altimetria.....	24
4.5 Cruzamentos de P.I.....	24
5 Resultados e discussão	25
6 Conclusões	32
Referências	

1 Introdução

A sobreutilização dos ambientes semiáridos, análoga a outras regiões do mundo, tem contribuído, há décadas, para a geração de importantes passivos ambientais, derivando de inúmeras limitações na qualidade de vida da população. Este desarranjo se configura como desequilíbrio físico-químico e biológico do sistema ambiental decorrente do planejamento inadequado das diferentes formas de apropriação dos solos.

O modelo de exploração agrícola/pecuária adotado nestas regiões, particularmente no nordeste brasileiro, não emprega superlativamente técnicas de manejo e de conservação de solos, gerando redução de sua capacidade produtiva. Associam-se intensos processos de desequilíbrio do ecossistema, especialmente em áreas com declividades acentuadas e com déficit de cobertura florestal. Neste contexto, os processos erosivos determinam alterações importantes na estrutura dos solos, interferindo na composição e no desenvolvimento de diferentes formas de vida.

Segundo Almeida Filho e Ridente Júnior (2001), a classificação da erosão, conforme suas características e processos associados, é expressa em “erosão laminar e erosão linear”. Neste estudo, abordou-se a erosão laminar, tendo em vista sua contribuição para a perda de solo no município de Aparecida/PB. A abordagem considerou o modelo quantitativo, exigindo-se, para tanto, informações relativas a parâmetros físicos do ambiente, associando-se a características físico-químicas dos solos.

Neste âmbito, as geotecnologias agregam importantes ferramentas à resolução de problemas complexos do meio físico, integrando diferentes planos de informações geoespaciais. Para o presente estudo, empregou-se o Sistema de Informações Geográficas (IDRISI V. 17.0) no processamento e na análise dos parâmetros físicos que compõem a expressão matemática do Potencial Natural de Erosão.

A área de estudo se circunscreve ao município de Aparecida – PB, contributiva no conjunto produtivo (agrícola e pecuário), das Várzeas de Sousa. Estas áreas, há décadas, experimentam forte exploração do seu meio físico rural, gerando importantes alterações no sistema ambiental e comprometendo sua diversidade funcional.

O desenvolvimento deste estudo se fundamenta na necessidade de se avaliar o Potencial Natural de Erosão dos Solos (PNE) da área de pesquisa, sugerindo sua distribuição espacial com possíveis indicações de áreas com maior tolerância a processos

erosivos, contribuindo para o desenvolvimento de atividades rurais, que fundamentam os processos produtivos regional em sinergia com seu sistema ambiental.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral:

Estimar o Potencial Natural de Erosão (PNE) do Município de Aparecida – PB.

2.2 Objetivos específicos:

- Identificar a tolerância à erosão natural das unidades de solos da área de estudo.
- Identificar os parâmetros físicos que desenvolvem maior influência no potencial de perda de solos.

3 Referencial Teórico

3.1 Erosão laminar

Os solos são uma fonte de vida e também exigidos para a produção agrícola. O crescente aumento populacional abriu novas fronteiras que permitem o estabelecimento de culturas agrícolas em todas as unidades de solo, gerando degradação ambiental decorrente de processos erosivos, os quais se definem como a perda do solo pela ação da chuva, vento, remoção de vegetação e desgaste natural do solo com sua desagregação e remoção, ou sob a forma de fragmentos e partículas de rochas, ação combinada da gravidade, grau de declividade e comprimento de rampa, provocando escoamento superficial pela ação das precipitações pluviométricas (CARVALHO, 2001). O processo erosivo ocorre com a retirada da vegetação para usos diversos dos solos sem a devida adoção de práticas conservacionistas, deixando-o exposto, sujeito a influências de fatores naturais e humanos (RODRIGUES, 1982). Regiões com solos arenosos que possuem baixa proporção de partículas argilosas e de teor de matéria orgânica apresentam maior facilidade para a erosão, mesmo em pequenas enxurradas.

O solo é coberto por uma camada de terra rica em nutrientes, organismo vivos, macro e micro fauna que permitem o crescimento da vegetação. A erosão laminar compreende a remoção de camadas de solos de forma mais ou menos uniforme sobre a superfície de uma área, resultante do escoamento superficial na forma de enxurradas. Diante disso, a retirada dessa camada promove a perda de importantes propriedades físico-químicas dos solos, limitando sua diversidade funcional (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

3.2 Erodibilidade do solo (K)

Os solos apresentam diferentes erodibilidades mesmo que as condições de chuva, declividade, cobertura vegetal, e as práticas de manejo sejam as mesmas, visto que cada solo apresenta relativa tolerância à perda. Essas diferenças são decorrentes de propriedades físico-químicas e biológicas próprias das diferentes unidades de solo. Sendo assim, a erodibilidade dos solos depende, em grande parte, de suas propriedades, dentre elas: teor de areia, silte, argila, teor de matéria orgânica, densidade aparente, porosidade e estabilidade de agregados. (GUERRA ; CUNHA, 1996).

Silva, v. c. et al, (2004), descrevem que as propriedades físicas do solo oferecem uma taxa de resistência contra processos erosivos, os agregados do solo quanto mais juntos oferecem maior resistência à erosão, enquanto ao ser desprendido são facilmente carregados. Segundo (VALE JÚNIOR, 2009), a erodibilidade representa o efeito dos processos de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, desprendimento dos agregados do solo, acarretando escoamento superficial através do impacto provocado pelas gotas da chuva que provocam salpicamento das partículas mais leves, as quais são arremessadas difusamente. Esse processo de transporte influencia na quantidade e velocidade do escoamento superficial. No Brasil, já se desenvolveram diferentes estudos para cada região sempre levando em conta as diferentes peculiaridades de cada região, para a determinação da erodibilidade dos solos, (MARQUES *et al.* 1996).

3.3 Erosividade do solo (R)

A erosividade do solo é causada pela chuva sendo que esta provoca escoamento superficial, a chuva gerando fortes precipitações e solos com baixa capacidade de infiltração agrava o escoamento superficial. Com isso, os efeitos dos processos de erosividade são agravados e a desagregação pelo impacto da gota de chuva é estimada pela somatória das médias mensais de precipitação de um determinado local. A erosividade é o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos. Isso mostra a compreensão do impacto das gotas da chuva, no terreno descoberto, e também as conseqüências do desprendimento das partículas do solo, o qual é carregado pelo escoamento superficial, principal causa da erosão provocada pela chuva.(PEDRO; LORANDI,2004).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), a chuva é um dos principais fatores que causa erosão do solo. O fator R (erosividade) é estimado baseando-se em fatores como enxurrada, intensidade da chuva, energia cinética e taxa máxima de descarga. Com o impacto da gota da chuva no solo, é causado o desprendimento das partículas, o estágio inicial da erosão; assim, o salpicamento das partículas mais finas vai, paulatinamente, causando erosão laminar, expondo pedras, raízes, pauperizando os solos.

3.4 Fator topográfico (LS)

O Fator LS representa o resultado da combinação do comprimento de rampa e o grau de declividade do terreno, expressa a expectativa de perda de solo por unidade de área decorrente dos valores de comprimento de rampa e de declividade do terreno. O comprimento de rampa tem estreita relação com a perda de solo, o que pode definir o divisor de águas, origem do escoamento até a deposição do material escoado para a mesma categoria de solo. O fator topográfico tem diferentes perdas de solo devido ao grau de declividade e ao comprimento de rampa (WEILL; SPAROVEK, 2008). O aumento do comprimento de rampa ou o grau de declividade topográfico produz maior escoamento superficial, conseqüentemente enxurradas mais prolongadas e grande velocidade de escoamento superficial. A perda de solo é, portanto consideravelmente mais sensível às mudanças de declividades que o comprimento de rampa (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

3.5 Tolerância à perda de solo

Embora alguns solos sejam erodíveis mais que outros, sabemos que os solos tem certa tolerância a perda, a quantidade de solo perdida pela erosão que ocorre em dadas condições é influenciada por suas propriedades particulares de cada solo devido a sua composição. As composições físico-químicas das diferentes unidades dos solos concorrem para aumentar ou diminuir sua tolerância. Com isso, a vegetação, declividade, rampas muito acentuadas, manejo aplicado, comprimento de rampa, são fatores que concorrem para a definição da tolerância à erosão das diferentes unidades de solos. (PEDRO; LORANDI, 2004).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), é essencial adotar critérios para a escolha da cultura adequada para cada tipo de solo, observando seu manejo adequado, rotação de culturas, dentre outros fatores contribuintes ao estabelecimento de padrões de uso que contribuam para a redução de perda do solo. A perda de solo tolerada é identificada como aquela que contribui para a manutenção da fertilidade do solo em sinergia com o equilíbrio do sistema ambiental.

A tolerância média de perda estabelecida por Lombardi Neto e Bertoni (1975), verificada para solos do estado de São Paulo em estudos já feito, variou de 4,5 a 13,4 e de 9,6 a 15,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para solos com horizontes B textural e B latossólico. Esses

valores de tolerância de perda de solo não se restringem ao uso da área e dos solos, mas impõem restrições na escolha das culturas e manejo que podem ser utilizados na área.

3.6 Potencial natural de erosão do solo (PNE)

O potencial natural de erosão do solo (PNE) se relaciona com os fatores condicionantes do meio físico que interferem no processo de erosão laminar (R, K, L e S), o mesmo compreende a perda de solo em áreas com solo exposto e livre de ações antrópicas. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), o PNE contempla os fatores do meio físico básicos na avaliação de erosão, a saber: topografia, clima e solo.

As estimativas do PNE, expressas por sua distribuição espacial georreferenciada, permitem auxiliar no ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente susceptíveis à erosão (VALÉRIO FILHO, 1994), contribuindo destarte, a abster-se dos efeitos nocivos decorrentes de desastres naturais. Sua definição amplia, exponencialmente, as possibilidades de exploração racional de áreas cujo sistema ambiental expressa fragilidades naturais (PEDRO; LORANDI, 2004)

3.7 Sistemas de Informação geográficas (SIG` s)

Os SIG's constituem um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real, para operações computacionais gerando um conjunto de finalidades representativa do maio físico. Seu emprego facilita o monitoramento e planejamento das ações humanas referente ao espaço físico. Muitas pessoas, quando falam em geotecnologias referem-se, especificamente, ao software e não à tecnologia. Assim, para um entendimento mais completo, é necessário explicar os principais componentes de um SIG, no qual o software é apenas um desses componentes. Os outros elementos a serem definidos são: hardware, dados, usuários e metodologias de análise (ROSA, 2011).

Os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas utilizadas para diagnóstico ambientais, especialmente, a aplicação do modelo USLE (Equação Universal de Perda de Solo) para estimativa da perda de solos por erosão, permitindo identificar áreas com potencial natural de erosão do solo, risco de inundações nas margens dos açudes e rios, suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa nas encostas de montanhas (MEDEIROS; CÂMARA, 2001).

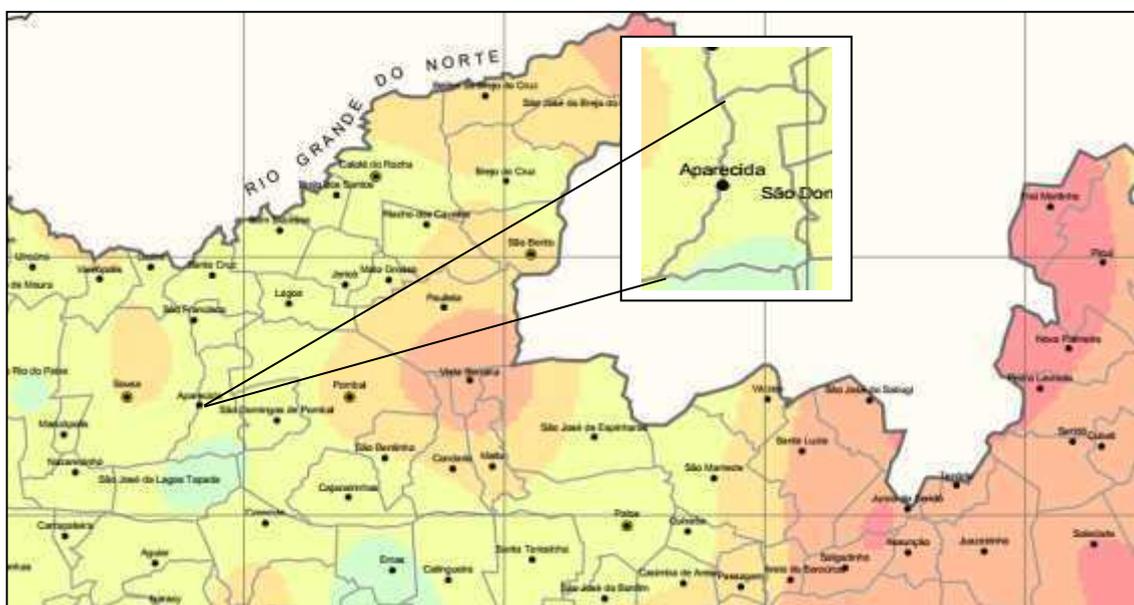
4 Material e métodos

4.1 Área de estudo

Compreende o município de Aparecida – PB, inserto na porção ocidental do Estado da Paraíba, mesorregião do sertão paraibano, especificamente na depressão sertaneja setentrional, esta ecorregião não possui rios permanentes. Engloba uma área de aproximadamente 228,2 km², limitando-se com os seguintes municípios: a Oeste, Sousa, ao Sul, São José da Lagoa Tapada, a Leste, São Domingos de Pombal e Pombal e ao Norte, São Francisco.

Situa-se aproximadamente entre os meridianos de 38° 00' 52" e 38° 05' 29" de longitude a oeste de Greenwich e os paralelos de 6° 41' 25" e 6° 53' 04" de latitude sul (Figura 01).

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo, com destaque do município de Aparecida - PB.



Fonte – (LUCENA, 2017)

A climatologia do município é classificada na categoria As, tropical com verão seco de (Alvares et al., 2014), temperatura média anual de 29 °C, com variações mínimas de amplitude anual. A precipitação pluviométrica média anual é de 907,7 mm, apresentando quadra chuvosa compreendida entre janeiro a abril, sendo que o período de estiagem é de oito meses, estendendo-se de maio a dezembro. Eventualmente, em condições

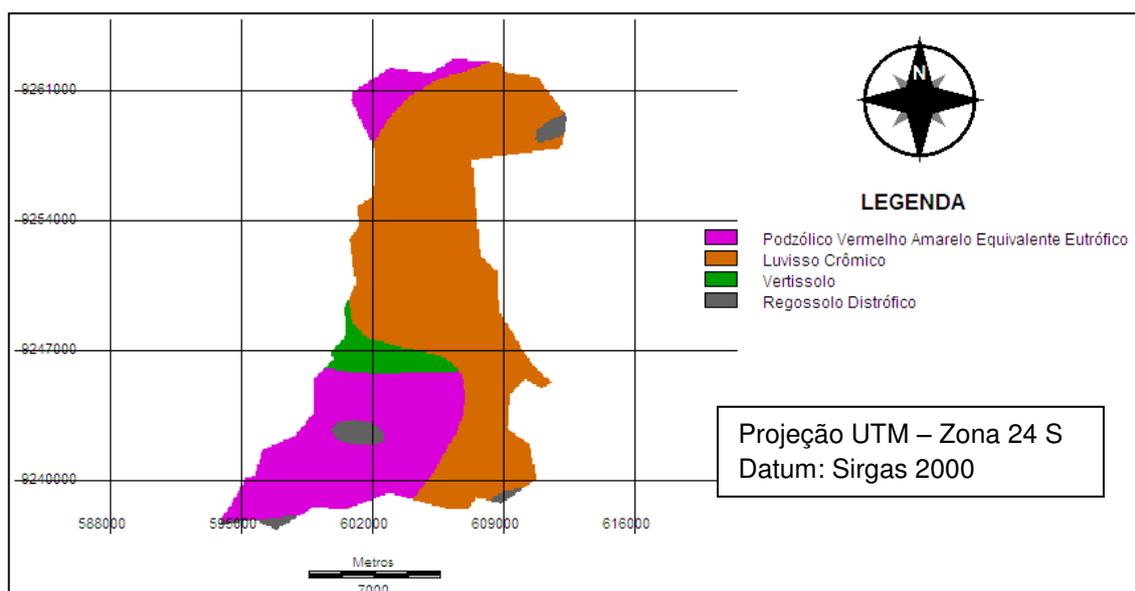
favoráveis de brisa marítima (ondas de leste), podem-se verificar eventos de precipitação nos meses de maio e junho. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's), esporadicamente, contribuem com eventos pluviométricos já a partir do mês de dezembro. Sob este domínio climático, encontram-se formações florestais de caatinga hipoxerófila e hiperxerófila.

4.2 Material

Para o desenvolvimento do trabalho serão empregados documentos cartográficos, imagens orbitais e sistema de informação geográfica para geração, integração e tratamento estatístico da informação espacial.

Mapa exploratório das unidades de solos, escala 1:500000 do município de Aparecida, editado pela Embrapa Solos UEP Recife. Figura 02.

Figura 02 – Distribuição espacial das classes de solos do município de Aparecida-PB



Fonte – (LUCENA, 2017).

Para geração dos planos de informações derivados de altitudes, será empregada imagem da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM/NASA), com informações altimétricas na resolução espacial de 90 m, obtidas no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Para o cálculo da erosividade dos solos, serão utilizados dados de precipitação pluviométrica do Departamento de ciências atmosféricas, dados climatológicos do estado da Paraíba.

O trabalho, com a informação espacial, utilizará os seguintes programas computacionais:

- Idrisi, versão 17.0 (Clark University)
- Garmin MapSource 6.16.3
- Excel, versão 12.0

4.3 Metodologia

A metodologia adotada no trabalho está relacionada à aquisição de dados relativos aos parâmetros do Potencial Natural de Erosão (PNE), a saber:

4.3.1 Erosividade do solo (Fator R):

Considerando que o Fator R está relacionado às precipitações pluviométricas e por não haver variabilidade significativa do relevo na área de estudo, considerou-se um valor constante para este parâmetro, a ser obtido através da formulação matemática demonstrada por SUDENE (1985), que calculou a erosividade para toda a região Nordeste do Brasil, a parte da Equação (1) de Lombardi Neto e Moldenhauer (1980).

$$EI_{\text{mensal}} = 89,823(P_m^2/P_a)^{0,759} \quad (1)$$

Sendo EI_{mensal} a média mensal do índice de erosão (MJ.mm/h. ha) para o mês, P_m é a precipitação mensal (mm) do mês considerado e P_a é a precipitação média anual (mm). Os dados de precipitação média, mensal e anual foram fornecidos pela DCA, UFCG, representados na tabela 01.

Tabela 1 – Médias de balanço hídrico climatológico do posto do município de Aparecida – PB

Balanço hídrico	
Meses	Precipitação (mm)
Jan	81,1
Fev	138,6
Mar	213,2
Abr	202,4
Mai	94,4
Jun	50,2
Jul	26,3
Ago	11,4
Set	8,9
Out	8,7
Nov	6,7
Dez	41,1
Total da media anual	907,7

Fonte – (DCA.UFCG/clima/chuvapb, 2017)

4.3.2 Erodibilidade (Fator K)

O fator erodibilidade do solo expressa a suscetibilidade do solo em relação à erosão laminar. Tal fator está relacionado às classes de solos presentes no município de Aparecida, já que são dependentes das propriedades físico-químicas de cada unidade de solo. Os valores de erodibilidade a serem adotados no trabalho serão adquiridos na literatura para as unidades de solos presentes na área de pesquisa, já empregados na região semiárida do nordeste brasileiro.

4.3.3 Fator topográfico LS

O fator L (comprimento da encosta ou rampa) e o fator S (grau de declividade) serão combinados em um único fator o LS ou fator topográfico, de acordo com equação (2) (BERTONI; LOMBARDI NETO 2012):

$$LS = 0.00984 \times L^{0.63} \times D^{1.18} \quad (2)$$

LS = fator topográfico (adimensional).

L = comprimento de rampa.

D = declividade em porcentagem.

O plano de informação “Declividades” será derivado a partir do modelo digital do terreno, observando a seguinte rotina no SIG Idrisi v. 17.0 Gisanalysis>TopographicVariables>Slope. Este plano será reclassificado segundo as seguintes classes, distribuídas na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de declividades e tipo de relevo do município de Aparecida-PB

Declividades relevo	
Classes	Tipo
1	0 – 2
2	2 – 5
3	5– 10
4	10 – 20
5	20 – 40
6	> 40

Fonte – (RAMALHOFILHO; BEEK, 1995).

O fator comprimento de rampa, derivado do MDT, será obtido segundo a seguinte rotina: Gisanalysis>SurfaceAnalysis>FeatureExtraction>Slopelenght.

O Fator Topográfico será obtido pelo produto do plano de declividades pelo plano de comprimento de rampa, observando-se a seguinte rotina:

GisAnalysis>DataBaseQuery>Overlay. A Tabela 3 mostra a distribuição das classes do Fator Topográfico a ser observada.

Tabela 3 – Distribuição das classes do fator topográfico (LS) dos solos do Município de Aparecida – PB.

Topografia	
Classes	Variável (adimensional)
1	< 1
2	1 – 2
3	2 – 5
4	5 – 10
5	>10

Fonte – (MENDONÇA, 2005)

4.3.4 Integração dos dados

A integração dos parâmetros relativos à perda natural de erosão de solo será implementada pelo Sistema de Informações Geográficas Idrisi v. 17.0. Trata-se de um procedimento largamente empregado para processamento e análise conjunta de dados espaciais e consistirá na multiplicação dos parâmetros do PNE referentes à mesma área através da calculadora do SIG, consoante à seguinte operação na equação (3):

$$\text{PNE} = R \times K \times \text{LS} \quad (3)$$

Sendo:

PNE = Potencial Natural de Erosão (t/ha/ano);

R= Fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha. h);

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

LS= fator topográfico (adimensional).

4.4 Altimetria

Para geração do mapa de altimetria, foram estabelecidas cinco classes hipsométricas, observando-se a seguinte rotina no software Idrisi v. 17.0: GisAnalysis>databaseQuery>Reclass.

4.5 Cruzamentos de P.I

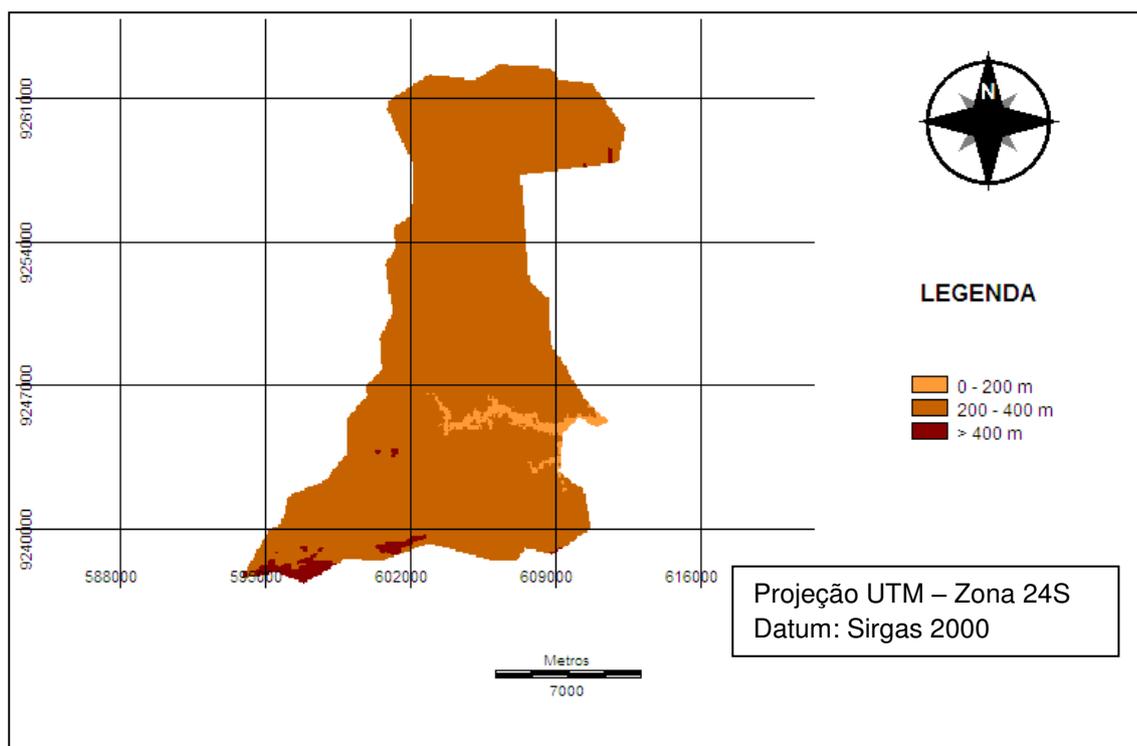
Foram procedidas operações de cruzamentos dos planos de informações, declividades e tolerância de perda de solos com o PNE, objetivando-se avaliar suas relações e contribuições para o comportamento do potencial natural de erosão.

5 Resultados e Discussão

A Figura 3 representa o plano de informações correspondente à altimetria da área de estudo (hipsometria) e permite constatar que as cotas mais baixas se distribuem até 200m de altitude, ocorrem na porção centro/sul, com relevo distribuído em uma faixa no sentido leste/oeste. As cotas relativas à classe hipsométrica de 200 a 400 m se distribuem, predominantemente, por toda a área do município, prevalecendo sobre as demais classes; esta distribuição homogênea identificada nesta classe é característica da distribuição do relevo nas áreas da “depressão sertaneja setentrional”.

As cotas superiores a 400 m de altitude se distribuem na porção sul/sudoeste, com uma pequena área a leste do município, ressaltando-se que, nesta classe, a altitude máxima observada foi de 583 m, e corresponde a elevações ocorrentes na depressão sertaneja, Figura 03.

Figura 3 – Mapa hipsométrico da área de estudo



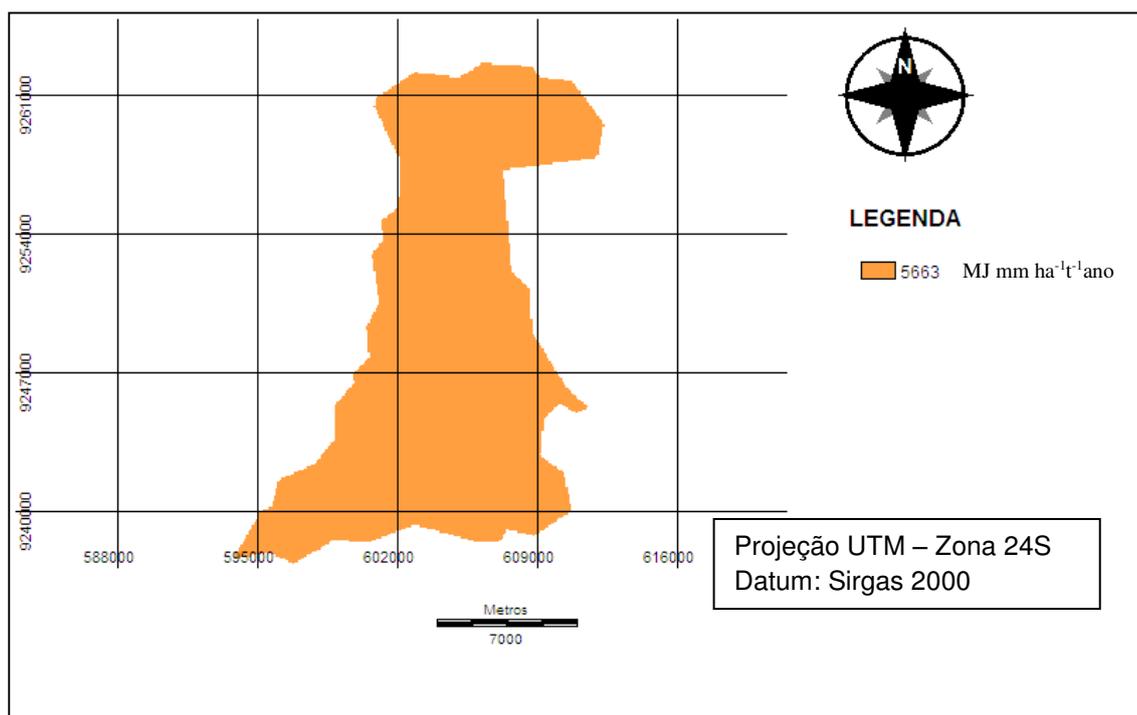
Fonte – (LUCENA, 2017).

A espacialização da erosividade, calculada segundo a equação (1), assumiu o valor único de $5663 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{t}^{-1}\text{ano}$. Assim, permite-se esta condição em decorrência da baixa variabilidade espacial das precipitações pluviométricas observadas na área de

estudo. A distribuição homogênea do relevo, na classe de 200 a 400 m, com poucas elevações, contribui para que não se observem obstáculos significativos aos eventos de precipitação.

A Figura 4 representa o plano de informações referente ao mapa de Erosividade (Fator R), da área de estudo.

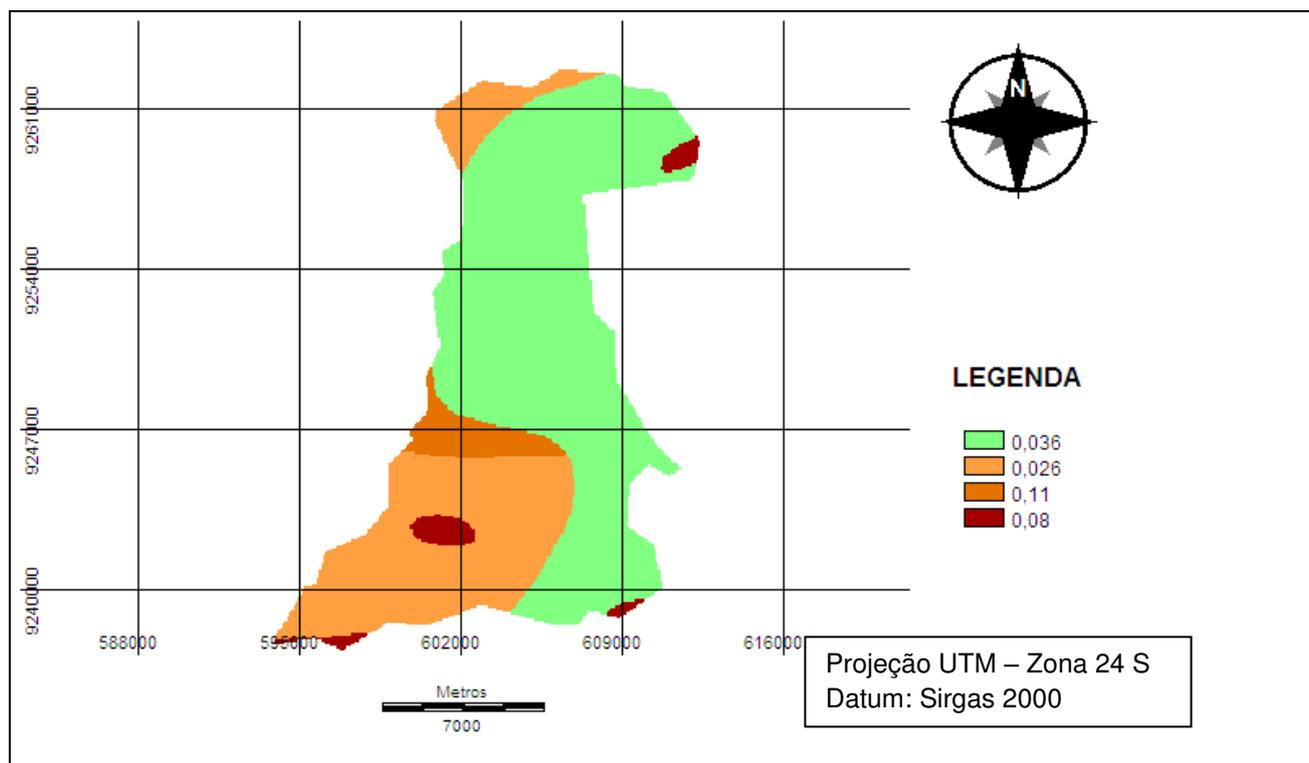
Figura 4 – Mapa de erosividade do município de Aparecida – PB



Fonte – (LUCENA, 2017).

De acordo com levantamento exploratório das unidades de solos, presentes na área de estudo, segundo EMBRAPA-CNPS (2013), verifica-se que predomina quatro unidades de solos: Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Luvisolo Crômico, Vertissolo e Regossolo Distrófico. A partir da correspondência das unidades de solos com os valores de erodibilidade disponibilizados na literatura, gerou-se o mapa de erodibilidade do solo (Fator K), representado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa de erodibilidade do município de Aparecida – PB.



Fonte – (LUCENA, 2017).

A distribuição das erodibilidades associada às suas respectivas unidades de solos, mostrada na Tabela 4, permite verificar que o Vertissolo apresenta maior erodibilidade, de 0,11 (t.ha/MJ.mm), distribuído em 4,4% da área total. O Podzólico, com menor valor de 0,026 (t.ha/MJ.mm), distribuiu-se em 31,5% da área de estudo. Luvissole Crômico, ocupando uma posição intermediária na distribuição das classes de erodibilidade, apresenta valor de 0,036 (t.ha/MJ.mm), ocupa a maior área com 61,3%. Regossolo, com valor de 0,08 (t.ha/MJ.mm), ocupa 2,7% da área total do município de Aparecida.

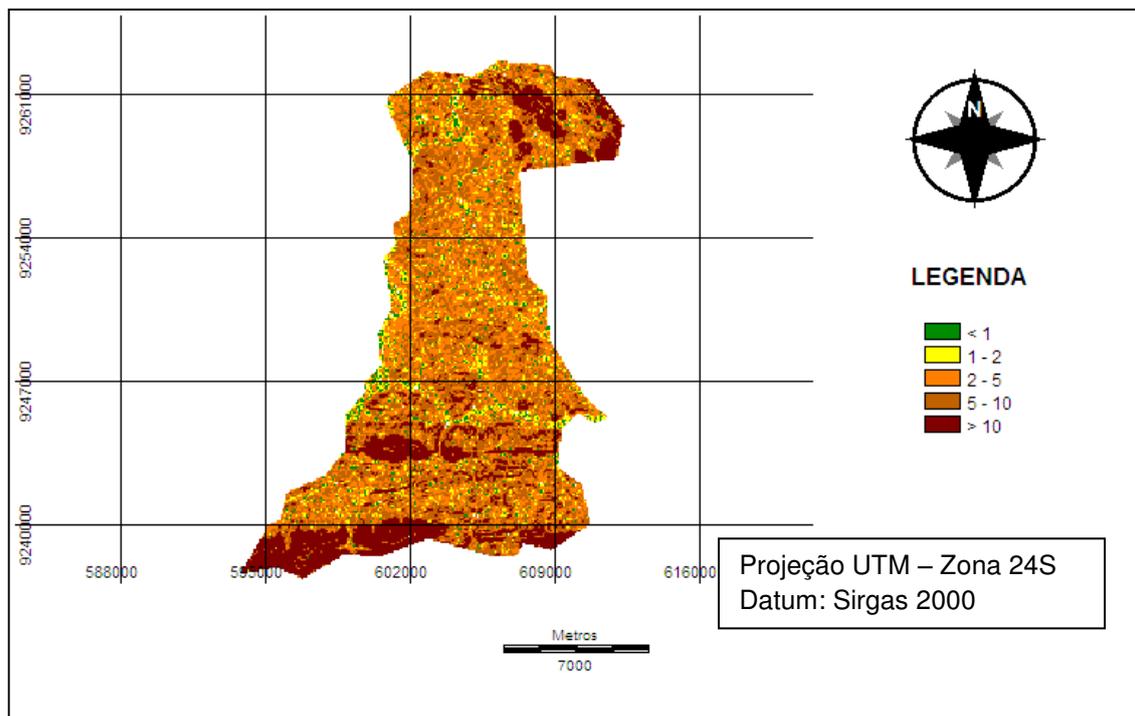
Tabela 4 – Erodibilidade e Tolerância dos solos do Município de Aparecida – PB

Classificação (EMBRAPA – CNPS 2013)	Erodibilidade (t.ha/MJ.mm)	Tolerância (t/ha/ano)
Luvissole crômico	0,036	3,1
Podzólico vermelho amarelo equivalente a estrófico	0,026	6,6
Vertissolo	0,11	1,5
Regossolo distrófico	0,08	1,1

Fonte – EMBRAPA – CNPS (2013).

O mapa do Fator Topográfico (Fator LS) foi gerado a partir do produto do comprimento de rampa pelo plano de declividades e representa o relevo do modelo PNE, representado na Figura 6.

Figura 6 –Mapa do Fator Topográfico do município de Aparecida – PB.



Fonte – (LUCENA, 2017).

Os dados de extensão de vertentes apresentaram grande variabilidade em suas dimensões, com valores de aproximadamente 100 metros até 1698,3 metros. O plano de declividades demonstra que, aproximadamente, 60% da área de estudo se distribuem em relevos planos a suaves ondulados, ocupando 13581,3 ha, enquanto que as áreas com relevo moderado ondulado ocupam 6372,7 ha representando 28,03% da área. As áreas classificadas com relevos classificados com ondulado, forte ondulado e montanhoso escarpado ocupam a menor área, da área de estuda com valor de 2779,9 ha, representado 12,1% de ocupação.

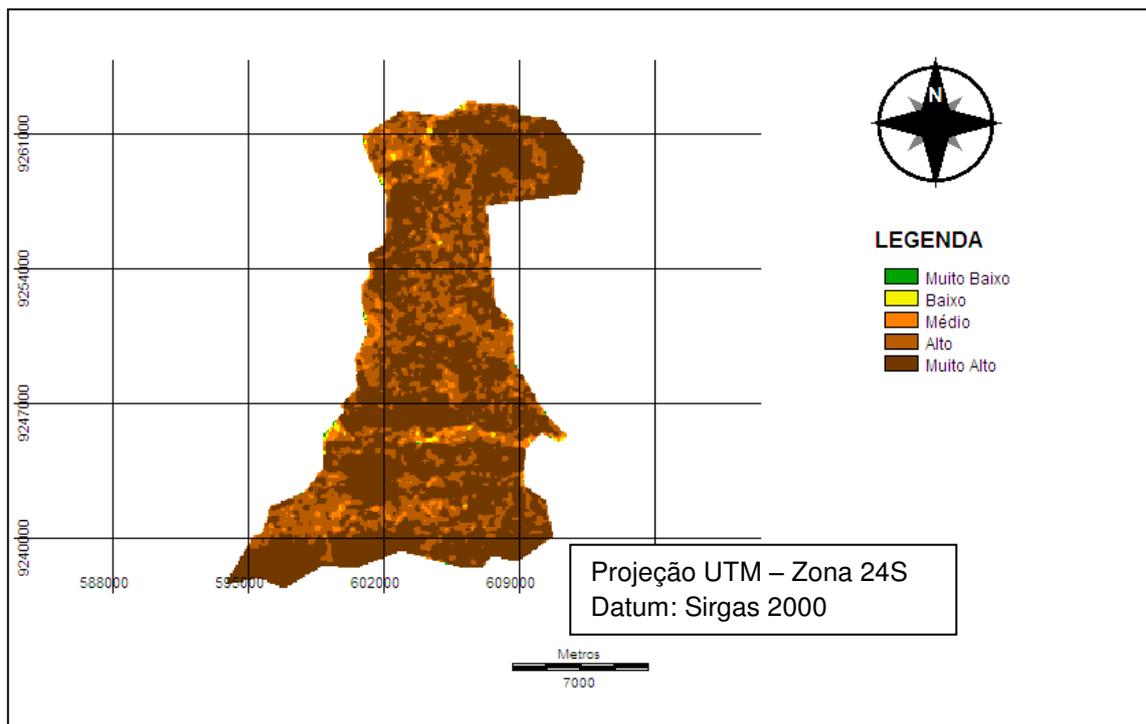
O Potencial Natural de Erosão (PNE), Figura 7, foi obtido pela integração dos Fatores Erosividade (R), Erodibilidade (K) e Comprimento de Rampa (LS); a integração foi processada no programa Idrisi v. 17.0, sendo os fatores multiplicados entre si através da rotina explicitada na metodologia. Para uma categorização qualitativa, os valores de PNE foram agrupados em seis classes propostas por Pinto (2013), representadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Distribuição das classes do potencial natural de erosão do município de Aparecida-PB

PNE		
Classes	Valor (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Classificação
1	0 – 100	Muito baixo
2	100 – 200	Baixo
3	200 – 400	Médio
4	400 – 800	Alto
5	>800	Muito alto

Fonte – (PINTO 2013).

Figura 7 – Mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE) do município de Aparecida – PB.



Fonte – (LUCENA, 2017).

Procedeu-se com o cruzamento do plano PNE com o plano declividades objetivando-se caracterizar sua relações existentes, os dados são apresentados na Tabela 6

Tabela 6 – Distribuição do cruzamento das classes de PNE *versus* classes de Declividades.

PNE Decliv.	0 – 100		100 – 200		200 – 400		400 – 800		>800	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0 – 2	22,3	0,98	111,6	0,49	704,6	3,10	1517,4	6,67	728,7	3,20
2 – 5	6,9	0,03	18,9	0,083	384,5	1,69	4572,0	20,12	5505,8	24,23
5 – 10	0,8	0,0037			17,2	0,075	577,6	2,54	5777,1	25,42
10 – 20					0,85	0,0037	4,3	0,018	1413,6	6,22
20 – 40					0,85	0,0037			1123,5	4,94
>40									234,3	1,03

Fonte – (LUCENA, 2017).

Diante dos resultados obtidos pelo cruzamento destes planos, verifica-se que os maiores valores de PNE representados pela classe (>800), correspondendo 49,6% da área de estudo, estão distribuídos em 11282,9 ha nas classes 2 e 3 de declividades em relevo suave ondulado a ondulado. Deve-se considerar que estas classes ocupam, aproximadamente, 60% da área de estudo e que outros fatores tenham contribuído para distribuição dos maiores valores de PNE, nestas classes de declividades.

É importante observar que a área (234,3 ha), da classe seis de declividades, representada pelas áreas acima de 40%, distribui-se nas classes de PNE > 800. As classes de PNE de muito baixo até médio apresentaram seus menores percentuais distribuídos em sua maioria nas classes de até 10% de declividade.

Destarte, com base neste cruzamento, não é conveniente afirmar que solos distribuídos em áreas de maiores declividades apresentam maior potencial natural à erosão, o contrário é verdadeiro. Valores obtidos por Lima (2000), em trabalho desenvolvido no município de Sapé – PB, corrobora esta afirmativa quando descreve que as maiores contribuições para as classes de PNE são a erodibilidade e a extensão das vertentes.

Tendo em vista as dificuldades para uma análise mais afirmativa das relações existentes entre os parâmetros físicos à geração do PNE, procedeu-se com análise de regressão linear objetivando avaliar a correlação simples entre os planos de informação PNE e erodibilidade, PNE e comprimento de rampa e PNE e declividades. Para esta operação, o empregou-se a seguinte rotina no SIG Idrisi v. 17.0

GisAnalysis>Statistics>Regress. A análise de regressão foi aplicada observando o PNE com variável dependente e os parâmetros (Erodibilidade, Comprimento de Rampa e Declividade), variáveis independentes. O plano de informação do PNE considerado foi o reclassificado; para sua implementação, adotaram-se seus valores máximo, central e mínimo. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos com o processamento da regressão.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação e determinação entre os planos de informações de classes de PNE e Erodibilidade (K), Comprimento de Rampa (L) e Declividades (S).

Variáveis		Coeficiente de Correlação (R)	Coeficiente de Determinação (R ²) em %
Valor Máximo	PNE x K	0,73	53,08
	PNE x L	0,77	59,36
	PNE x S	0,65	42,70
Valor Central	PNE x K	0,73	53,47
	PNE x L	0,77	59,88
	PNE x S	0,65	42,83
Valor Mínimo	PNE x K	0,84	71,27
	PNE x L	0,93	85,86
	PNE x S	0,67	45,26

Fonte – (LUCENA, 2017).

Em análise aos resultados alcançados, observa-se que os parâmetros Erodibilidade e Comprimento das Vertentes apresentam as maiores contribuições para o PNE, particularmente, quando se considera o valor mínimo das classes de PNE. Estes resultados se coadunam com a análise feita por cruzamento dos planos das Classes de PNE versus classes de declividades, onde se verifica que valores altos de PNE estão associados a classes baixas de declividades. É importante destacar que as áreas de declividades superiores a 40% são restritas a 1,03% da área.

6 Conclusões

Em acordo com a metodologia aplicada e em observância aos objetivos traçados, a integração entre SIG e o modelo matemático do PNE, demonstrou-se satisfatória na predição do Potencial Natural de Erosão para o município de Aparecida – PB.

A estimativa do Potencial Natural de Erosão para o município de Aparecida – PB resultou em 14783 ha na classe muito alta ($>800 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), distribuídas nas diferentes classes de declividades, representando 65% da área de estudo. Estes valores indicam que os solos do município, ao considerar a análise quantitativa do PNE, são extremamente susceptíveis a erosão laminar.

A estimativa da tolerância à perda de solo permitiu identificar que a unidade de solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico apresenta a maior tolerância à perda de solos ($6,6 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), seguido, em ordem decrescente, pelas unidades Luvissoilo crômico ($3,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Vertissolo ($1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e Regossoilo distrófico ($1,1 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).

A aplicação do tratamento estatístico dos dados, através da análise linear de regressão, permitiu explicar que as maiores contribuições para se estabelecer as classes de PNE são a erodibilidade e o comprimento de vertentes. Quando se considera o valor mínimo para as diferentes classes de PNE, estes parâmetros explicaram 71,27 e 85,86%, respectivamente, o PNE. Observou-se ainda que o parâmetro declividade explica somente 45,26% do PNE; neste caso, valores altos de PNE ocorrem em classes de declividades baixas. Quando se processa o cruzamento dos planos das Classes de declividades *versus* Classes de PNE, verifica-se que 49,6% da área de estudo, (PNE > 800), estão distribuídos em 11282,9 ha nas classes 2 e 3 de declividades em relevo suave ondulado a ondulado.

O estudo demonstra a necessidade de se estabelecerem ações públicas e privadas objetivando o ordenamento do uso do solo visando à recuperação de áreas já degradadas e manutenção do equilíbrio do sistema ambiental naquelas áreas com potencial à erosão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, G. S.; GOUVEIA, M. I. F.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; CANIL, K. Prevenção e controle da erosão urbana no estado de São Paulo. In: 21º, 2001. ANAIS... JOÃO PESSOA: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001.

ALVERES. C. A. ;Koppen`S Climate Classification Map For Brazil. **MeteorologischeZeitschrift**, Vol. 22, Nº 6, 711-728 (2014).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo, Editora Ícone, São Paulo, Brasil, 335 p. 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 8ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 355p, 2012.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 9. ed. São Paulo: Ícone, 355p, 2014.

CARVALHO, J. C., LIMA, M. C & MORTARI, D. considerações sobre prevenção e controle de voçoroca. **VII simpósio nacional de controle da erosão**. ABGE. Goiana-GO, 03 a 06 maio, p. 1-10, (2001).

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/ SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. (3 ed.), Brasília, DF :**Embrapa**, 2013. 353 p

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; 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**, 7(2): p.73-85, 2006.

GUALBERTO S. M.; CESAR J. A.; NAVES M. L. S.; NILTON C.; FONSECA S. **erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros**, v. 41, n. 3, p. 322-327, jul./set.2011.

J.J.G.S.M. MARQUES, R.C. ALVARENGA, N. CURTI, D.P. SANTANA & M.L.N. SILVA. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados. Ci. Solo, viçosa, 21: p.427-434, 1997.

LUCENA, L. S. **emprego das geotecnologias na estimativa do potencial natural de erosão dos solos do município de Aparecida - Paraíba**. 2017, Monografia (Graduação Em Engenharia Florestal) – Universidade Federal De Campina Grande, Centro De Saúde E Tecnologia Rural, Patos – PB 2017.

MARCO A. S.; RANZINI M.; ENRIQUEM.G. G.; CARLOS F S. A.; CICCIO V.; estudo integrado do processo erosivo numa micro bacia experimental localizada no município de cunha – SP, São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 43-53, 2005.

MARQUES, J.J.G.S.M. Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Lavras, UFLA, Dissertação de Mestrado, 119p. 1996

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 10, p.1-36. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.impe.br/col/sid.impe.br/2004/04.22.07.43/doc/publicação.pdf>> . Acesso em: 24 ago. 2017.

MENDONÇA, I. F. C. **Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da Microbacia hidrográfica do Riacho Una, Sapé-PB**. 158p Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, -Campinas, SP. 2005.

PEDRO, G.F; LORANDI, R. Potencial Natural de Erosão na Área Periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 56/01, p. 28-33, 2004.

PINTO, N. G. M. e CORONEL, D. A. A Degradação Ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. Observatorio de la Economía Latino-americana, Málaga, n. 188, p. 1-8, 2013.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras**. 3ed. Rio de Janeiro. EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RODRIGUESdoÓ, N.C. Erodibilidade das principais classes de solo do Estado da Paraíba determinada por chuva simulada e método monográfico. Areia, UFPB, Dissertação de Graduação, p. 29, 1986.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264 p.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3ª ed., Brasília, DF :Embrapa, 2013. 353 p

SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. & CAMPOS FILHO, O.R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método monográfico. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10: p. 283-287, 1986.

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

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Dados pluviométricos mensais do nordeste – Série pluviometria 5. Estado da Paraíba. Recife, 239p.

Universidade federal de campina grande. **Departamento de ciências atmosféricas**, dados climatológicos do estado da Paraíba. Disponível em <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvapb.htm>>. Acesso em: 04 Maio, 2017.

VALE JÚNIOR, J. R. et al. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de Acacia mangium em Roraima. **Revista Agroambiente Online**. v. 3, n. 1, p. 1-8, 2009.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de Bacias Hidrográficas. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. Jaboticabal: Faculdade Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP - **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, p. 223-242, 1994.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 801- 814, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predictingrainfallerosionlosses: a guidetoconservationplanning**. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (AgricultureHandbook,537).