

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

CASSIANO JOSÉ LAGES MARINHO FALCÃO

**SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO LAMINAR (PNE) EM
MACHADOS - PE**

**RECIFE-PE
2018**

CASSIANO JOSÉ LAGES MARINHO FALCÃO

**SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR (PNE) EM
MACHADOS - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador (a): Simone Mirtes A. Duarte

**RECIFE-PE
2018**

CASSIANO JOSÉ LAGES MARINHO FALCÃO

**SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR (PNE) EM
MACHADOS - PE**

Aprovado em 13 de agosto de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Simone Mirtes Araújo Duarte
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Prof. Dra. Janaína Barbosa da Silva
(Universidade Federal de Campina Grande)

Prof. Msc. Jhonathan Gomes dos Santos
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

**RECIFE-PE
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237i	Falcão, Cassiano José Lages Marinho. Determinação de suscetibilidade à erosão laminar (PNE)
em	
Recife,	Machados - PE / Cassiano José Lages Marinho Falcão. – 2018. 56 f. : il.
	Orientador(a): Simone Mirtes Araújo Duarte. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Recife, 2018. Inclui referências.
Araújo, orient.	1. Solos - Erosão 2. Solos - Análise 3. Mecânica do solo 4. Análise espacial (Estatística) I. Duarte, Simone Mirtes
	II. Título
	CDD 634.9

AGRADECIMENTOS

A professora Simone Mirtes por incomparável orientação, incentivo e cooperação durante o desenvolvimento deste estudo.

A minha mãe, Eliane Lages, e todos da minha família pelo suporte, orientação, paciência, apoio e incentivo no decorrer desta jornada.

Aos professores do departamento de Ciências Florestais da UFRPE, pela transmissão de conhecimentos, acadêmicos ou não.

A Aline Veloso pela imprescindível cooperação e incentivo.

A Eudes, Neura, e todos do laboratório de Física de solos da UFRPE pela ajuda e orientação indispensáveis com as análises de solo.

Ao professor Brivaldo pela disponibilidade, orientação e acesso ao laboratório de Física de solos.

A Diogo Ximenes e Victor França pela disponibilidade e incentivo.

Aos amigos Alfran Carvalho, Bianka de Oliveira, Divani Oliveira, Jean Gueiros, Nattan Tavares, Pedro Costa, Sandra Borba e Victor França pela amizade e companheirismo durante estes anos.

A todos da turma 2013.2 e do 10º Período de do Bacharelado em Engenharia Florestal, pela companhia e amizade.

FALCÃO, C. J. L. M. **Suscetibilidade à erosão laminar (PNE) em machados – PE.** 2018. 44p. Trabalho de Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais.

Resumo

Este trabalho objetivou quantificar a suscetibilidade à erosão laminar do município de Machados – PE, empregando para este fim a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), cujos dados foram computados e integrados em interface SIG. A metodologia pode ser subdividida em quatro partes: coleta e integração de dados de precipitação de um período de trinta anos, análise do relevo local usando ferramentas de geoprocessamento, análise em laboratório e posterior geolocalização de parâmetros físicos do solo local, e o cálculo final envolvendo os fatores obtidos através da equação adaptada da EUPS. Os resultados permitiram concluir que o potencial natural à erosão laminar do município é baixo, porém significativo, alcançando uma média de 368t/ha.ano. Pode-se constatar também que, apesar da reduzida área de estudo, houve considerável variação espacial dos dados, justificando o uso de geotecnologias na sua obtenção.

Palavras-chave: Erosão laminar, EUPS, Geoprocessamento, Erodibilidade, Erosividade, Fator LS, Análise Espacial, SIG

FALCÃO, C. J. L. M. **Laminar erosion in Machados – PE**. 2018. 44p. Trabalho de Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais.

Abstract

This paper aimed to estimate laminar erosion susceptibility in Machados County – PE, achieved using the adapted Universal Soil Loss Equation (USLE) and SIG for computing and analyzing data. The methodology used can be split in five steps: collection and integration of rainfall data on a thirty-year interval, local topography analysis using geoprocessing tools, laboratory analysis and posterior geolocation of local soils physical parameters and the final computation through the adapted USLE formulae. The achieved results allowed surmising that the County's soil loss susceptibility is low, but significant, with a mean value reaching 368t/ha.year. The biggest influential factor was the topographic factor, averaging (...). Soil erodibility was considerably high, with a mean value of (...) and rain Erosivity, found to be (...) had the lowest impact on soil erosion. It is also possible to perceive a considerable spatial variation from the results, despite the reduced area of study, endorsing geotechnology use on its determination.

Keywords: Laminar Erosion, USLE, Geoprocessing, Erodibility, Erosivity, LS Factor, Spatial Analysis, GIS

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Fator P.....	13
Quadro 2 - Classes de Declividade.....	21
Quadro 3- Classes de Erosividade.....	33
Quadro 4 - Classes de Erodibilidade do Solo.....	36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de Declividade de Machados - PE.....	27
Tabela 2 - Classes de Comprimento de Rampa em Machados.....	28
Tabela 3 - Fator LS em Machados.....	31
Tabela 4 - Índices Mensais de Erosividade em Machados	33
Tabela 5 - Perfis e Classes de Solo em Machados.....	35
Tabela 6 - Classes da PNE em Machados	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Machados-PE.....	15
Figura 2 - Plantio de Banana	17
Figura 3 - Cana-de-açúcar em declive	17
Figura 4 - Hipsometria de Machados - PE.....	18
Figura 5 – Classes de Solo em Machados - PE	19
Figura 6 - Classes de solo e pontos de coleta do município de Machados - PE.	22
Figura 7 - Secagem ao sol dos solos coletados.....	24
Figura 8 - Agitador tipo Wagner.....	25
Figura 9 - Classes de declividade do município de Machados - PE.....	28
Figura 10 - Comprimento de Rampa do Município de machados - PE.....	29
Figura 11 - Fator LS do município de Machados - PE.....	30
Figura 12 - Precipitações Anuais em Machados - PE.....	32
Figura 13 - Médias Mensais das Precipitações em Machados - PE	32
Figura 14 - Índices de Erosividade anuais em machados - PE.....	34
Figura 15 - Fator Erodibilidade do solo no município de Machados - PE	36
Figura 16 - Potencial Natural à Erosão Laminar de Machados - PE.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	EROSÃO	3
2.2	EROSÃO LAMINAR.....	3
2.2.1	Chuvas	4
2.2.2	Cobertura Vegetal.....	4
2.2.3	Solos	5
2.2.4	Topografia.....	6
2.3	AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A EROSÃO.....	6
2.4	EUPS E POTENCIAL NATURAL Á EROSÃO LAMINAR	7
2.4.1	Erosividade (R).....	8
2.4.2	Erodibilidade (K)	9
2.4.3	Declividade (S)	10
2.4.4	Comprimento de Rampa (L).....	11
2.4.5	Fator Topográfico (LS).....	11
2.4.6	Cobertura do Solo e Práticas Conservacionistas (CP).....	12
2.6	SIG E EROSÃO	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.1.1	Localização da Área de Estudo.....	15
3.1.2	Aspectos Socioeconômicos	15
3.1.3	Caracterização Física E Geográfica.....	18
3.2	METODOLOGIA.....	20
3.2.1	Fator Topografia (LS).....	20
3.2.1.1	Fator Declividade (S).....	20

3.2.1.2 Fator Comprimento de Rampa (L)	21
3.2.2 Fator Erosividade da Chuva (R)	21
3.2.3 Fator Erodibilidade do Solo (K)	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 FATOR RELEVO (LS)	27
4.1.1 Fator Declividade (S).....	27
4.1.2 Fator Comprimento de Rampa (L)	28
4.1.3 Fator Relevo (LS)	30
4.2 FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA (R)	31
4.3 FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K)	35
4.4 POTENCIAL NATURAL À EROSÃO LAMINAR (PNE)	36
5 CONCLUSÕES.....	39
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é o arrastamento e transporte das camadas superficiais do solo por ventos, chuva ou cursos de água. Frequentemente agravada por alterações antrópicas na superfície do solo que o tornam mais vulnerável ao intemperismo natural, a erosão é um processo degradante do solo que acompanha atividades agropecuárias e silviculturais desde sua origem.

A erosão hídrica é um dos fatores que mais tem contribuído para a degradação de solos no território brasileiro. Ao remover a camada mais superficial e fértil do solo a erosão hídrica causa prejuízos massivos em compra de fertilizantes e a degradação de terras agricultáveis causa perdas ambientais e econômicas ainda maiores (Bertoni & Lombardi Neto, 2012).

Para a aplicação correta de práticas de manejo conservacionistas, indispensáveis ao controle do processo erosivo, torna-se necessário analisar e descrever o modo em que este ocorre em diferentes regiões, para que se possa adequar o uso da terra às suas características. Este é o objetivo de modelos como a EUPS e PNE e medidas de tolerância do solo à erosão, que a décadas vêm sendo usados para quantificar os riscos da erosão hídrica.

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é um modelo empírico construído a partir de regressões feitas com dados de unidades experimentais de solos expostos ao processo erosivo (Wischmeier & Smith, 1978) que vêm sendo aperfeiçoado e empregado em estudos e modelamentos de erosão desde então.

O Potencial Natural à Erosão laminar (PNE) é uma equação derivada da EUPS que expressa a suscetibilidade de uma região a erosão através dos parâmetros erosividade das chuvas (R), erodibilidade do solo (K), declividade (S) e comprimento do declive (L).

Geotecnologias compreendem um conjunto de ciências e técnicas empregadas no estudo de fenômenos em relação ao espaço. As ciências rurais têm empregado cada vez mais os diferentes Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e dados de sensoriamento remoto na quantificação e análise de fenômenos ocorridos sobre o solo. Sistemas de Informação Geográfica são largamente empregados em modelamentos de erosão da terra (TOMAZONI & GUIMARÃES, 2005; FARINASSO et al., 2006 e MARTINS et al., 2003).

O município de Machados situa-se no agreste Pernambucano e a produção de bananas é uma de suas principais atividades econômicas, seguida pela pecuária. Situado

em uma região com declividades ultrapassando 80% e regime de precipitações irregular, características que favorecem a erosão hídrica, a aplicação de práticas sustentáveis de uso e manejo do solo é, no mínimo, recomendável dado o extenso uso agropecuário de regiões de alta declividade observado na região.

Dentro do contexto descrito, o presente estudo objetivou quantificar o potencial natural à erosão laminar no município de Machados, Pernambuco, visando gerar subsídio para melhores estratégias de conservação do solo não só na área de estudo, como também no restante do estado, que tem sofrido com escassez de esforços para a contenção da degradação de suas áreas agricultáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão

Principal causa da degradação de solos, a erosão é o processo de desprendimento e arraste de partículas do solo sob ação de fatores externos como precipitação e correntes de ar (BERTONI e LOMBARDO NETO 2012).

Ao ocorrer naturalmente, a erosão é parte natural do processo de formação e alteração dos solos. Apenas quando causada ou afetada por fatores antrópicos ela se constitui em um agente degradante do solo, erodindo o mesmo de forma severa em curtos espaços de tempo (NOLLA, 1982).

As causas da erosão são, portanto, a perturbação progressiva do equilíbrio natural do solo, o que faz com que sua harmonia e resiliência naturais sejam mitigadas (GUERRA et al., 2007).

A erosão constitui-se por três fases distintas: desagregação, transporte e acumulação. As gotas de chuva, ao atingir o solo, atingem o mesmo de três formas: desagregando partículas do local de impacto, transportando estas mesmas partículas através de salpicamento e transmitindo energia à água presente na superfície (NOLLA, 1982).

O maior agente de transporte de partículas do solo na erosão é o escoamento de água da precipitação na superfície. A força gerada pela corrente de água na superfície é relaciona-se com sua velocidade e o número de material que ela arrasta (Bertoni e LOMBARDI NETO 2012). Dependendo da forma com que o transporte da água ocorre, a erosão recebe diferentes classificações. Quando se forma um lençol difuso e uniforme sobre a superfície, caracteriza-se a erosão laminar (GUERRA et al., 2007).

2.2 Erosão Laminar

Caracterizada pela perda progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo, a erosão laminar é a mais difícil de ser identificada e quantificada, devido a homogeneidade em que ocorre, o que dificulta estimar o volume de solo já perdido. É também a mais importante das formas de erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012). 70% da erosão total do solo é causada apenas pelo impacto das gotas de chuva em conjunto com a erosão laminar (BLANCO e LAL, 2010).

A ação da erosão laminar sobre o solo é influenciada por fatores relacionados ao próprio solo e as interpéries as quais é submetido, principalmente precipitações, relevo, cobertura vegetal e características físico-químicas do solo. Sua ocorrência depende da forma como ocorre o escoamento superficial da chuva sobre o solo, sendo caracterizada por uma corrente difusa e homogênea, gerando o padrão de perda de solo descrito (GUERRA et al., 2007). Esta é comandada por fatores relacionados às condições naturais do terreno: precipitação, relevo, tipo de solo e cobertura vegetal.

2.2.1 Chuvas

A precipitação é o principal agente na erosão laminar do solo. A frequência, duração e intensidade das chuvas são os principais determinantes de seu impacto na desagregação e arraste de solo (GUERRA et al., 2007 e BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012). Chuvas torrenciais, duradouras e concentradas em curtos espaços de tempo são, portanto, as mais severas ao atingirem solos descobertos (GUERRA et al., 2007).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), médias mensais e anuais de chuvas causam pouco impacto direto à erosão. Pois uma área sob elevado número de chuvas pouco intensas apresentará perdas de solo significativamente menos severas que outra com mesma média de precipitações, caso estas se concentrem em poucas chuvas de alta intensidade.

Wischmeier e Smith (1978) defendem que dados de chuvas leves e moderadas apresentam influência considerável na perda de solos superficiais, citando dados de acompanhamentos realizados nos Estados Unidos (WISCHMEIER E SMITH, 1968). Lal e Blanco (2010) apontam que chuvas frequentes saturam os poros do solo, elevando a corrente superficial em posteriores precipitações, mas defendem que a intensidade ainda é o fator mais relevante na ação das chuvas.

2.2.2 Cobertura Vegetal

Defesa natural do solo contra a erosão, a cobertura vegetal a cobertura vegetal interfere no processo erosivo ao (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012):

- Interceptar as gotas de chuva, reduzindo ou eliminando seu impacto sobre o solo
- Acumular e dispersar de parte da água sobre a superfície das folhas.
- Melhorar a infiltração da água sobre o solo, através do sistema radicular.
- Elevar a retenção de água do solo ao acrescentar-lhe matéria orgânica.

- Reduzir a velocidade de escoamento da enxurrada.

Os fatores “uso e manejo do solo” e “práticas conservacionistas” da equação universal de perda de solos (EUPS) definem a influência da cobertura vegetal sobre a erosão laminar (GUERRA et al., 2007).

Fatores como Altura, concentração e estrutura de copa e densidade de cobertura do solo afetam a efetividade da cobertura vegetal em deter a erosão. Vegetação baixa e de alta densidade, como gramíneas, são as mais eficientes (BLANCO e LAL, 2010).

2.2.3 Solos

O solo, por ser o alvo das demais forças atuantes e influenciar o processo erosivo ao conferir diferentes graus de resistência ao mesmo, é considerado o principal fator ambiental da erosão (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

As propriedades físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade e densidade químicas, biológicas e mineralógicas do solo comandam sua tenacidade ao processo erosivo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

A estrutura do solo influi na facilidade de infiltração e absorção das águas das chuvas. Solos com estrutura microagregada ou granular, como latossolos, apresentam alta porosidade e permeabilidade, promovendo maior infiltração de água durante precipitações e reduzindo a corrente de arraste de solo na superfície (GUERRA et al., 2007).

Solos pouco permeáveis impedem a infiltração e forçam correntes pluviais na superfície do solo, elevando a erosão laminar. Coberturas vegetais e teor de matéria orgânica também influenciam a permeabilidade do solo, afetando-a positivamente (NOLLA, 1982).

A textura do solo influi tanto em sua capacidade de retenção como na sua resistência a desprendimento e arraste. Solos arenosos tem alta porosidade e excelente infiltração, mas são mais instáveis e fáceis de desagregar, enquanto solos mais arenosos possuem baixa capacidade de retenção, mas são mais resistentes a correntes superficiais (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012 e BLANCO e LAL, 2010). Em geral, um solo se torna menos suscetível a erosão com a redução de sua fração silte, independentemente de sua substituição ser por argila ou areia (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

A matéria orgânica altera a estrutura do solo, melhorando sua porosidade e infiltração. Ela aglutina as partículas de solos arenosos, estabilizando sua estrutura e reduzindo o tamanho dos poros, melhorando sua retenção de água e tornando-os mais resistentes à erosão.

2.2.4 Topografia

A velocidade de escoamento da água em uma superfície declivosa é afetada tanto por seu comprimento quanto pela própria declividade. Consequentemente, a topografia de uma região afeta substancialmente os processos erosivos que esta sofrerá (GUERRA et al., 2007).

Segundo Wischmeier & Smith (1978) não só a velocidade da correnteza como também a quantidade de sedimentos que esta arrasta aumentam em declives mais agudos. Além disso, solos em áreas convexas, como topos de morro, estão mais sujeitos a erosão que aqueles em vales ou depressões, dado o efeito da gravidade sobre a água na superfície (BLANCO e LAL, 2010).

Bertoni e Lombardi Neto (2012) complementam que os efeitos erosivos da chuva aumentam exponencialmente em relação a declividade. Exemplificando, a quantidade de material arrastado pela corrente aumenta 32 vezes caso o declive de uma área dobre e, nesta mesma situação, o tamanho das partículas carreáveis aumenta em 64 vezes. Os exatos números apresentados, no entanto, são apenas fruto de cálculos teóricos.

O comprimento do declive também atua na erosão laminar. Apesar da correnteza por unidade de área não ser alterada em descidas mais longas (WISCHMEIER e SMITH, 1978), a perda de solo aumenta substancialmente, dado o aumento da velocidade de escoamento (WISCHMEIER e SMITH, 1978 e Bertoni e Lombardi Neto, 2012) que é justamente o motivo de terraços serem aplicados como práticas de preservação de solos (NOLLA, 1982).

2.3 Avaliação da Suscetibilidade a Erosão

Existem diferentes modelos para prever e quantificar as perdas de solo por erosão, que diferem em complexidade, dados requeridos e processos avaliados. A escolha de um modelo deve ser feita de acordo com os recursos disponíveis, área em estudo e resultados esperados. Uma das classificações destes modelos divide-os em empíricos, conceituais e de base física (MINELLA et al., 2010).

- Modelos de base física: Aplicam equações que descrevem os processos hidrológicos, como infiltração e escoamento superficial e erosivos, como desagregação, transporte e sedimentação de partículas. WEPP e EUROSEM são exemplos de modelos de base física.
- Modelos conceituais: Modelos simplificados que descrevem os processos ocorridos na bacia hidrográfica de maneira geral e permitem que os dados empregados tenham variabilidade espacial e temporal. EMSS e IQQM são modelos conceituais.
- Modelos Empíricos: Modelos obtidos a partir de relações estatísticas entre variáveis e construídos através de medições em parcelas experimentais. Necessitam de poucos dados de entrada e se adequam a acompanhamentos ao longo do tempo. A USLE – Universal Soil Loss Equation (EUPS – Equação Universal de Perda de Solos em português) é um modelo empírico de estimativa de perda de solo.

A aplicação de modelos qualitativos de erosão estimada é grandemente facilitada com o emprego de sistemas de informação geográfica (SIG), que permitem a integração destes dados em amplas escalas de espaço e tempo.

2.4 EUPS e Potencial Natural à Erosão Laminar

A equação universal de perda de solos (EUPS) permite calcular a média anual para diferentes combinações de uso do solo, padrões de precipitação, topografia e especificações do solo. Apesar de não computar sedimentação ou perdas por erosão não-laminar o modelo resume efetivamente os inúmeros fatores que determinam a erosão em seus seis parâmetros (WISCHMEIER e SMITH, 1978);

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

Em que:

A = perda de solo, em t.ha-1.ano-1;

R = erosividade da chuva, em MJ.mm. ha-1. h-1.ano-1;

K = erodibilidade do solo, em t.h.MJ-1.mm-1;

L = comprimento de rampa, em m

S = declividade, em porcentagem

C = fator uso e manejo

P = fator práticas de conservação

A EUPS é um modelo que estima a perda média anual de solo em uma região, considerando para isso aspectos intrínsecos a área de estudo, como topografia, erosividade e erodibilidade e os usos e práticas de proteção nela empregados representados pelos fatores uso e manejo e práticas de conservação. A PNE (potencial natural à erosão laminar) é uma estimativa derivada da EUPS que calcula a suscetibilidade de uma região à erosão laminar e permite manejar o solo de modo a minimizar a erosão laminar. Segundo a expressão:

$$PNE = R \cdot K \cdot L \cdot S \quad (2)$$

Em conjunto com estimativas de tolerância à perdas de solo, a aplicação de tanto PNE quanto EUPS mostra-se uma ferramenta indispensável no planejamento de uso e manejo do solo, assim como das práticas necessárias a sua conservação.

2.4.1 Erosividade (R)

O índice de erosividade refere-se à capacidade das chuvas de desagregar e transportar o solo, e representa não só o impacto das gotas de água como também a correnteza gerada durante a precipitação (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A erosividade é afetada por características como frequência e intensidade das precipitações e tamanho e velocidade terminal das gotas de chuva (BLANCO e LAL, 2010).

O fator erosividade proposto na EUPS, o EI_{30} , foi obtido através de regressões entre dados de precipitação e erosão em mais de 4000 locais/anos, e corresponde a energia cinética da chuva com máxima intensidade em 30 minutos, expressa na fórmula:

$$R = \sum_{i=1}^n (E_c I_{30}) i \quad (3)$$

Onde:

n = número de eventos de chuva no ano;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos

E_c = energia cinética em MJ/ha.mm, determinado pela equação 4.

$$E_c = 0,119 + 0,083 \log I \quad (4)$$

Sendo I = intensidade da pluviosidade em mm/h

Visando eliminar a necessidade dos pluviogramas requeridos pela equação original, Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) regrediram dados de 22 anos de pluviometria de Campinas para encontrar uma relação entre a média mensal do índice de erosão (EI) e medidas de precipitação média, expressa pela equação abaixo.

$$EI = 67,355 \left(\frac{R^2}{P} \right)^{12} \times 0,85 \quad (5)$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão

r = precipitação média mensal em mm

P = precipitação média anual em mm

A determinação de R segundo esse modelo consiste na soma dos 12 valores mensais de EI. Tal relação permite obter o índice de erosividade médio anual apenas com valores médios das chuvas, disponíveis para a maioria do território brasileiro.

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30} \quad (6)$$

2.4.2 Erodibilidade (K)

Erodibilidade do solo refere-se a propriedade que diferentes solos têm de ser mais ou menos afetados pelo processo erosivo, mantidas as condições de precipitação, relevo e cobertura vegetal. Tais diferenças devem-se à fatores inerentes ao solo, como suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas. O fator K foi determinado experimentalmente em parcelas unitárias e é expressado pela perda de solo (A) por unidade de índice de erosividade (EI) (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

Na EUPS as parcelas utilizadas para determinar o valor K possuem 25m de comprimento e 9% de declividade e são deixadas livres de cultura por dois anos. Durante o período de medições elas são preparadas para um plantio convencional e práticas de preservação são reduzidas ao mínimo, assim os valores L, S, P e C se igualam a 1, e K iguala-se a A/EI (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Diversos pesquisadores têm formulado e testado métodos indiretos que permitam relacionar o valor K real medido em campo com características físicas e morfológicas do solo determinadas em laboratório (SILVA et al., 1994; LIMA et al., 1990; OLIVEIRA e BAHIA 1984; MARQUES et al., 1997; CORRECHEL, 2013) e diversas equações para obtenção do valor K foram geradas, em diferentes condições (BAPTISTA, 1997). Diversos destes cálculos empregam nomogramas para determinar K.

Bertoni e Lombardi Neto (2012) citam a equação proposta por Bouyoucos (1935), que estima indiretamente o fator K empregando apenas dados granulométricos do solo, segundo a expressão:

$$K = \frac{\left(\frac{a + b}{c}\right)}{100} \quad (7)$$

Em que:

K = Fator erodibilidade do solo

a = Fração areia, em %

b = Fração silte, em %

c = Fração argila, em %

A escolha de um método apropriado depende de vários fatores, como as condições ambientais vigentes, abrangência da análise, condições de criação do modelo a ser empregado e precisão esperada. O índice empregado deve também ser adaptável e empregar valores de fácil equivalência a características do solo.

2.4.3 Declividade (S)

A corrente pluvial aumenta em declives mais agudos, mas sua velocidade é influenciada também por fatores como cobertura vegetal, saturação do solo e irregularidades na superfície. A perda dos horizontes superficiais do solo aumenta de forma ainda mais elevada em maiores declividades, e o fator S na EUPS é expresso a partir da equação que segue (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

$$S = 65,41 \sin^2 \theta + 4,56 \sin \theta + 0,065 \quad (8)$$

Em que:

S = Declividade

θ = Ângulo de declive em graus

A maioria dos softwares de geoprocessamento, frequentemente usados em determinações de PNE e erosão utilizam algoritmos de determinação da declividade baseados em modelos numéricos de elevação, que empregam equações de determinação da declividade como descrito na equação 9.

$$\sqrt{(GX^2 + GY^2)} \quad (9)$$

Onde:

GX = inclinação do terreno no sentido leste-oeste

GY = inclinação do terreno no sentido norte-sul

2.4.4 Comprimento de Rampa (L)

O comprimento de rampa afeta diretamente o processo erosivo, dado que declives mais longos geram escoamentos de velocidades superiores. Essa influência é muitas vezes negligível em menores áreas mas deve ser levada em consideração ao se lidar com terrenos mais extensos (BAPTISTA, 1997).

O comprimento de rampa pode ser calculado a partir da rede hidrográfica de uma região empregando o método do retângulo equivalente modificado por (VILLELA e MATOS, 1975 apud BAPTISTA, 1997), que consiste na distância média que o escoamento percorrerá até alcançar o leito de um corpo de água. A fórmula considera a bacia como um retângulo e toda sua rede hidrográfica como uma única reta (em caso de lagos ou lagoas utiliza-se o perímetro), permitindo a obtenção da distância média de escoamento através da fórmula:

$$L = \frac{A}{4l} \quad (10)$$

Em que:

L = fator comprimento de rampa

A = área da bacia hidrográfica

l = soma do comprimento de todos os cursos de água da bacia

A expressão simula relevos com declividade relativamente uniforme, sem considerar concavidade ou convexidade, cujos efeitos sobre o processo erosivo ainda não estão completamente esclarecidos. O uso de um valor médio para L pode subestimar perdas em formações convexas e superestimá-las em declives côncavos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

Os resultados obtidos são também altamente dependentes do detalhamento da drenagem empregada e, conseqüentemente, da escala em que o estudo é realizado, o que deve ser considerado na aplicação da fórmula para diferentes usos.

2.4.5 Fator Topográfico (LS)

É comum em trabalhos de modelagem de erosão a partir da EUPS que empregam geoprocessamento a união das variáveis declividade e comprimento de rampa em um único fator topográfico. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), LS é a relação esperada de perdas de solo por área entre um terreno de declividade qualquer e uma parcela com 25m de comprimento e 9% de declividade, expressa através da equação 11.

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} \times (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) \quad (11)$$

Onde:

L = comprimento do declive em metros

S = declividade em porcentagem

Bertoni e Lombardi Neto (2012) projetaram uma equação para o fator a partir de dados experimentais em solos de baixa declividade e comprimentos de rampa de até 100m no município de Campinas, em São Paulo.

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad (12)$$

Em que:

L = comprimento do declive em metros

S = declividade em porcentagem

2.4.6 Cobertura do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

Apesar de não integrarem a PNE, as variáveis relativas ao revestimento vegetal do solo são essenciais para sua compreensão e aplicação. A PNE é equivalente à erosão que um solo sofreria se mantido continuamente descoberto, fazendo com que as estimativas de perdas ao considerar o uso atual do solo possuam valores significativamente inferiores.

O fator C (cobertura do solo) refere-se à relação entre as perdas de um solo de um terreno cultivado comparadas a uma área em mesmas condições que foi mantida descoberta. O cálculo do valor c de uma determinada cultura depende de valores como tipo de preparo do solo, manejo de restos culturais, tipo de folhagem/copa da cultura, presença de serapilheira, entre outros. A obtenção de C demanda um acompanhamento completo do ciclo de cultura por um ano, que é dividido em 6 subfases e avaliações quantitativas de todas as suas variáveis (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

A variável P refere-se às práticas empregadas no controle da erosão. Definido como a razão entre a erosão entre um terreno com práticas conservacionistas e outro idêntico a este, sob mesmas condições, mas com uma cultura no sentido de declive sem nenhuma forma de proteção (Blanco e Lal, 2010).

As práticas de proteção do solo mais comuns são o plantio em contorno, cordões de vegetação permanente, terraceamento e alternância de campinas e plantio, cujos valores encontram-se no quadro 1 (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

Quadro 1 – Fator P

Prática conservacionista	Valor P
Plantio morro abaixo	1
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas e plantio	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Para culturas em terraceamento, utiliza-se 0,5 como coeficiente P e substitui-se o valor do comprimento de rampa no fator L ou LS pelo intervalo do terraço.

2.6 SIG e Erosão

Sistemas de informação geográfica são sistemas de informação capazes de realizar operações de análise espacial envolvendo dados georreferenciados. Uma de suas principais qualidades é a capacidade de integrar dados cartográficos com dados quantitativos ou qualitativos e permitir sua análise e integração de modo extremamente acessível ou apenas aplicável com o emprego dos programas SIG.

Dentro de sua ampla gama de utilizações, há pelo menos três modos principais de se aplicar um SIG (CÂMARA NETO, 1995):

- Como tecnologia de gerenciamento de bases de dados cartográficos: Bancos de dados orientados a objetos, hierárquicos, relacionais, etc
- Como suporte a análise espacial de fenômenos: aritmética lógica, funções topológicas, análise de redes, geoestatística, reclassificação entre outros
- Como ferramenta de produção cartográfica: fotogrametria, levantamento de dados MNT, topografia convencional, etc

O número de problemas e situações que empregam rotineiramente sistemas de informação geográfica cresce diariamente. Eles são largamente usados por órgãos governamentais, instituições privadas, entre outros, nas áreas de manejo de recursos naturais, silvicultura, uso da terra entre outras.

Diversas práticas de planejamento e gerenciamento florestal necessitam de análises que empreguem simultaneamente dados do solo, relevo e rendimento. O uso de geoprocessamento promove a tomada de decisões de forma ágil, e eficiente, e a chamada silvicultura de precisão tem se tornado prática cada vez mais comum em plantios florestais (BRANDELERO, ANTUNES e GIOTTO, 2007).

A maioria das metodologias de obtenção e manipulação de índices de suscetibilidade à erosão, perdas de solo e tolerância á perdas de solo empregam algum sistema de informação geográfica, e sistematizações detalhadas de análise em programas específicos já foram elaboradas (Tomazoni & Guimarães, 2005), diversas plataformas em SIG também oferecem ferramentas específicas para aplicação na modelagem de erosão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

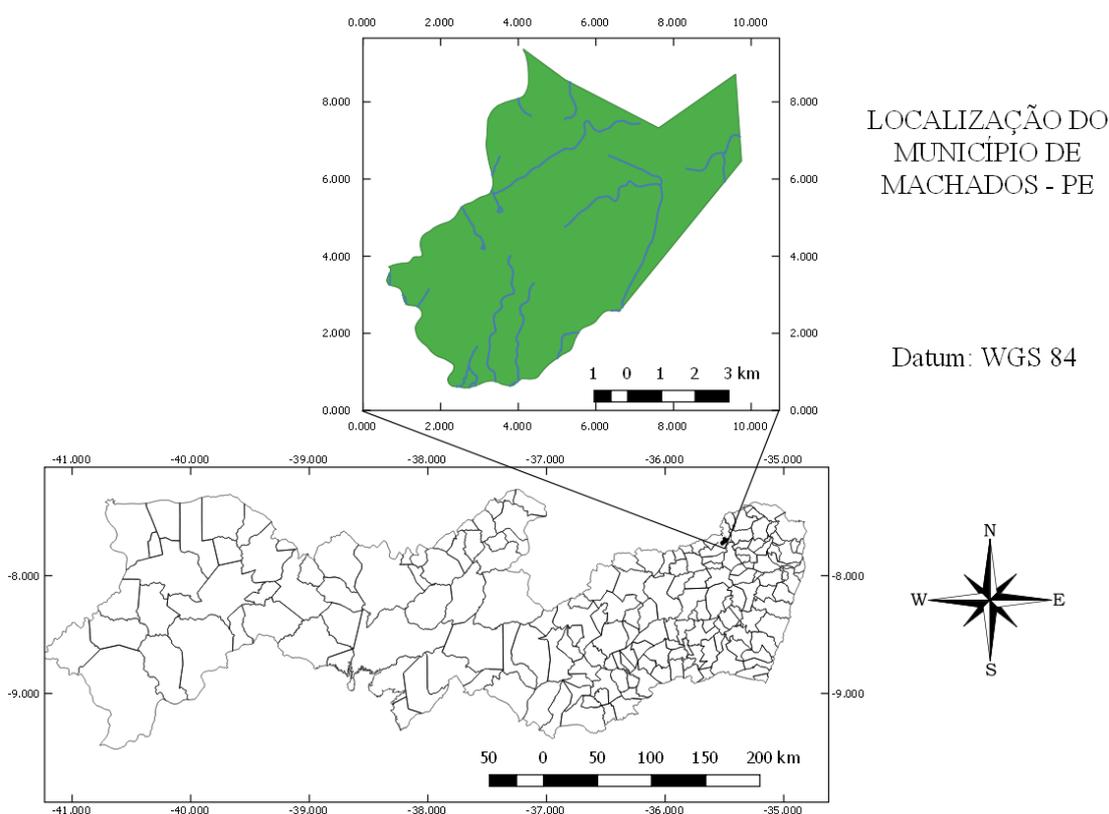
3.1 Caracterização da Área de Estudo

3.1.1 Localização

O município de Machados situa-se na mesorregião Agreste e na microrregião Média Capibaribe de Pernambuco (figura 1). Parte da Bacia do rio Goiana, ele é delimitado pelas coordenadas 7°45'00.05"/7°39'29.26" sul e 35°32'52.02"/35°27'08.74" oeste.

Machados possui uma área de 54,738 km² e localiza-se a 77km da cidade de Recife. Sua sede encontra-se a 416m de altura nas coordenadas 7°40'56" sul e 35°31'22" oeste, distando 120,1km de Recife com acesso pela PE-005; BR-408, e PE-090/089 (CPRM, 2005).

Figura 1 - Localização do município de Machados-PE



3.1.2 Aspectos Socioeconômicos

Segundo o IBGE, o município possuía uma população estimada de 15820 habitantes em 2017. O último censo, de 2010, determinou uma densidade demográfica de

226,46hab/km² e uma população de 13.596 pessoas, das quais 6551 (48,18%) são do sexo masculino e 7045 (51,81%) do sexo feminino.

Da população de Machados, 8454 ou 62,18% das pessoas residem em áreas urbanas, e os 5142 ou 37,82% restantes moram em áreas rurais. Em 2010 o município tinha apenas 6,8% da população em empregos formais, que ganhavam em média 1,5 salários mínimos, e a renda per capita dos habitantes em domicílios regulares era de R\$ 204,00, dando ao município 51,64% de incidência de pobreza.

O IDH de machados, índice que vem se elevando continuamente desde 1991, foi avaliado em 2010 como de 0,578, pondo o município em 113º lugar em Pernambuco e 4712º no Brasil inteiro. Em 2003, o índice de Gini de Machados foi avaliado em 0,39.

Machados conta com 4814ha de estabelecimentos agropecuários, dos quais 824ha destinam-se a pastagens, 207ha a conservação de ecossistemas nativos e 3545ha a lavouras 3000ha apenas para produção de banana, cultura largamente predominante e possivelmente maior fonte de renda do município. Entre as atividades rurais destacam-se também a criação de bovinos e galináceos, com 1848 e 4000 cabeças respectivamente, assim como o plantio de cana-de-açúcar. Apenas 23ha são ocupados por sistemas agroflorestais e a produção de lenha em 2016 totalizou 100m³. Parte considerável das culturas avistadas localizava-se em áreas de alta declividade como mostram as figuras 2 e 3.

Figura 2 - Plantio de Banana em declive

Coordenadas: 35°30'16.6885"W,7°43'07.7935"S



Figura 3 - Cana-de-açúcar em declive

Coordenadas: 35°28'12.8800"W,7°41'13.5087"S



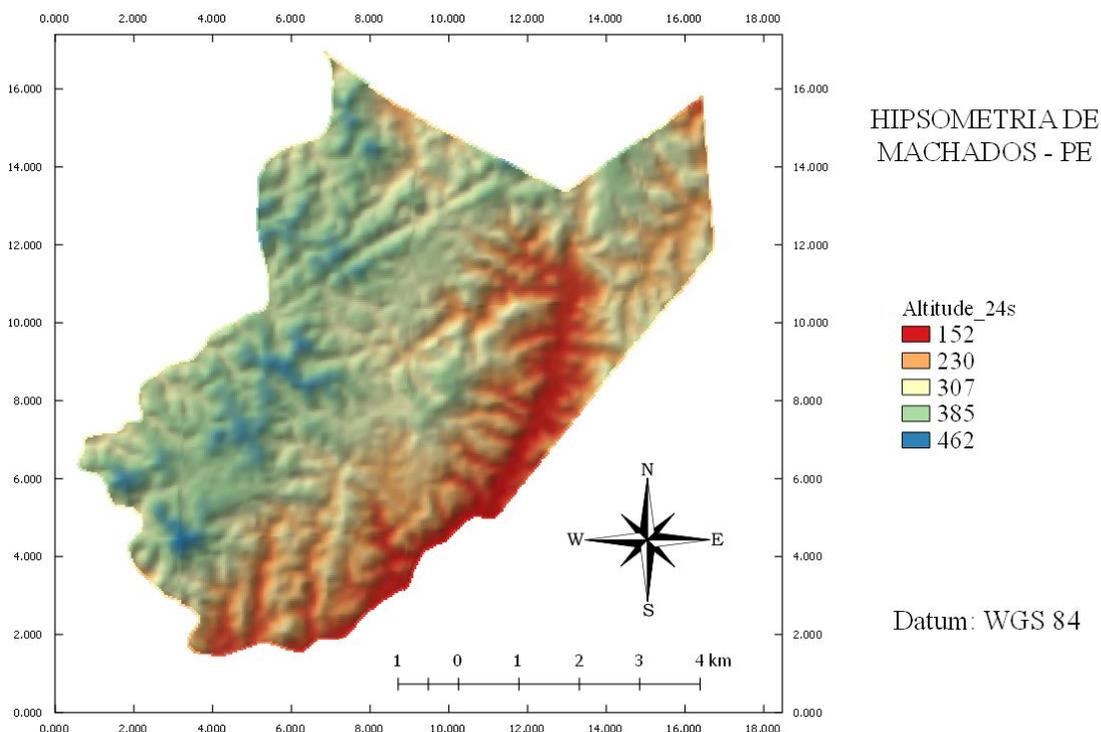
3.1.3 Caracterização Física e Geográfica

O município situa-se na depressão pré-litorânea de Pernambuco, que apresenta superfícies secas e onduladas, com predomínio de solos avermelhados. Os relevos mais comuns em tais regiões são interflúvios tabulares, colinas, morros e até serras.

Com altitudes variando entre 152 e 462 metros, machados é um município de terreno predominantemente ondulado, com mais da metade de seus 56,23km² de território acima de 20% de declividade o que, apesar dos solos profundos compromete atividades agrícolas na região.

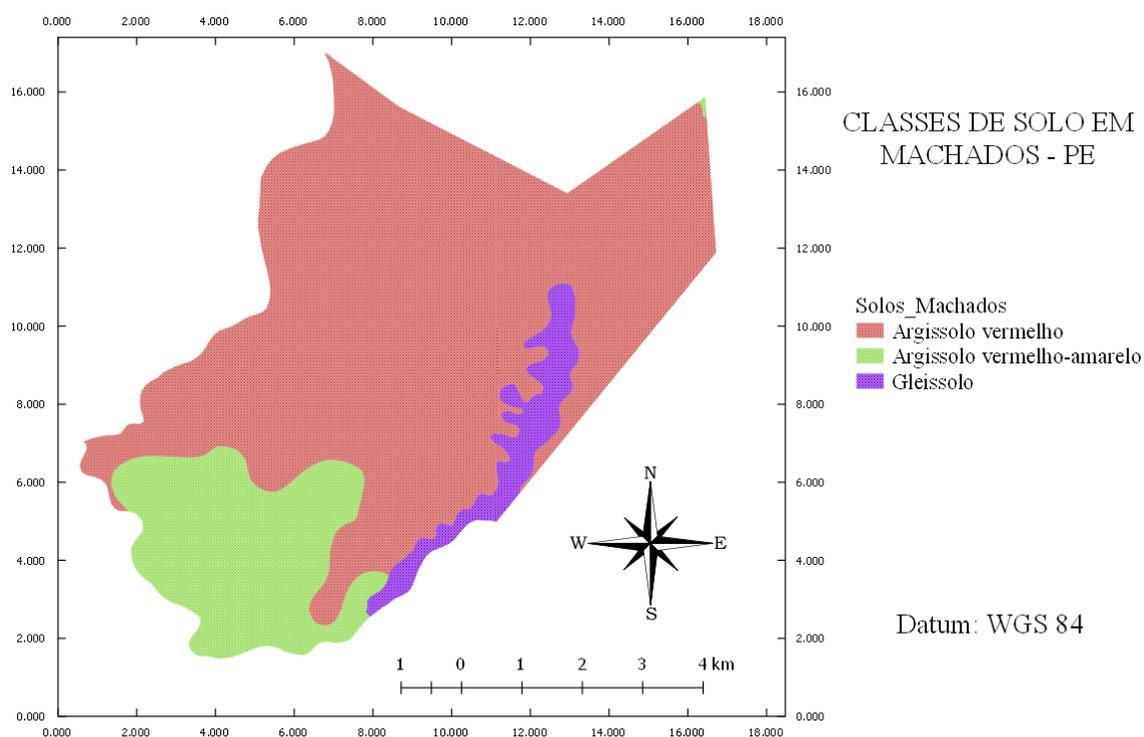
Machados localiza-se próximo às divisas entre as regiões do Agreste e da Zona da Mata apresentando, portanto, um clima intermediário entre o clima úmido e o semiárido, com estações chuvosas que se estendem de março a julho (CONFEPE/FIDEM, 2005).

Figura 4 - Hipsometria de Machados - PE



A pedologia da área de estudo foi levantada a partir das medições realizadas durante o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) (SILVA et al.2001) (figura 5) cujos resultados indicam uma predominância de argissolos vermelho-escuros, que ocupam 75,73% da área total, seguidos pelos argissolos vermelho-amarelos, com 18,67% e, em menor representação, os gleissolos representando 5.59% da extensão de Machados.

Figura 5 – Classes de Solo em Machados - PE



Argissolos são solos formados por materiais minerais, discerníveis pelas altas concentrações de argila que contém, principalmente nos horizontes B e C. Possuem colorações predominantemente vermelhas e amarelas, textura argilosa ou arenosa no horizonte superficial e argilosa ou muito argilosa nos restantes e ocorrem em variadas profundidades e maturação (EMBRAPA, 1997).

Argissolos vermelhos são formados a partir de rochas básicas ou ferromagnesianas, conferindo ao solo uma cor avermelhada e alto teor de cátions trocáveis e micronutrientes. Argissolos vermelho-amarelados possuem teor de hematita ou goethita inferiores aos vermelhos, e ambos possuem horizonte B textural.

De acidez forte a moderada, Argissolos possuem alta agregação e baixa porosidade, o que os torna menos vulneráveis ao desprendimento e arraste por correntezas superficiais, ao mesmo tempo em que sua baixa drenagem e fácil saturação aumenta a ocorrência destas mesmas correntes.

Gleissolos são solos formados em meio a saturação de água, que normalmente ocorrem próximos a cursos hídricos ou que estejam periódica ou permanentemente sujeitos a excessos de água. Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas devido à redução de minerais ferrosos e horizonte superficial ou subsuperficial hidromórfico.

Possuindo alta saturação de água e, em alguns casos, textura arenosa em seus horizontes superficiais, os gleissolos do município de Machados localizam-se no entorno de importantes redes de drenagem, aumentando a importância de seu correto manejo.

3.2 Metodologia

Para a determinação do potencial à erosão laminar, os fatores K e LS foram integrados nos layers erodibilidade e topografia, ambos no formato raster. A calculadora de raster do QGIS foi usada para o cálculo final da PNE, multiplicando ambos os layers erodibilidade e topografia juntamente com o fator R, constante para a área de estudo. A partir da matriz solução foi criado o mapa de suscetibilidade à erosão laminar do município de Machados – PE.

Todos os mapas produzidos encontram-se na projeção WGS 84. A seguir serão descritos os processos de obtenção de cada um dos fatores empregados.

3.2.1 Fator Topografia (LS)

Para o cálculo da variável LS, foi empregada a equação desenvolvida por Bertoni & Lombardi Neto (2012) (equação 12). Os fatores declividade e comprimento de rampa foram obtidos através da análise de modelos numéricos de terreno (MNT) na interface do SIG QGIS.

3.2.1.1 Fator Declividade (S)

O fator declividade foi obtido analisando as 9 cartas de altitude no formato de Modelos Numéricos de Terreno (MNT) fornecidos pela TOPODATA. O MNT empregado apresenta resolução de 30 metros, correspondente ao comprimento de lado de cada célula da matriz.

Para a obtenção do fator S foi primeiramente necessário recortar a porção da carta referente à área de estudo, o que foi feito a partir da função *clip* do software QGIS e um arquivo demarcando as fronteiras do município, derivado de um *shapefile* (SHP) que delimita os municípios pernambucanos, obtido através do ZAPE (SILVA et al.2011).

Empregando a função *slope*, também através do QGIS, foram então produzidos os mapas de declividade do município de Machados, em graus e porcentagem. Os valores produzidos foram então divididos em diferentes classes, segundo a classificação da EMBRAPA (1979) presentes no quadro 2.

Quadro 2 - Classes de Declividade

Declividade (%)	Classe de relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave – ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte – ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Forte – montanhoso

Para a classificação dos dados utilizou-se a ferramenta *r.reclass*, parte do software GRASS. As áreas em metros quadrados de cada classe de declividade foram obtidas através da função *r.report*, também disponível no GRASS.

3.2.1.2 Fator Comprimento de Rampa (L)

O comprimento de rampa foi obtido a partir da função *slope length*, do software SAGA, que admitiu como dados de entrada um layer em MNT previamente corrigido pela ferramenta *r.fill.dr* do programa GRASS, que corrige depressões em dados altimétricos as quais normalmente são fruto de erros de leitura e alteram as análises de escoamento em interface SIG.

Dada a ausência de uso da função *slope length* em outros estudos, foi realizada uma comparação dos resultados com aqueles obtidos a partir do cálculo elaborado por Villela & Matos (1975) (fórmula 10), que calcula o comprimento de rampa média de uma bacia hidrográfica pela divisão de sua área pelo quádruplo de seu comprimento total de drenagem. A rede de drenagem empregada foi obtida através da vetorização de cursos de água acima da 4º hierarquia de Strahler.

3.2.2 Fator Erosividade da Chuva (R)

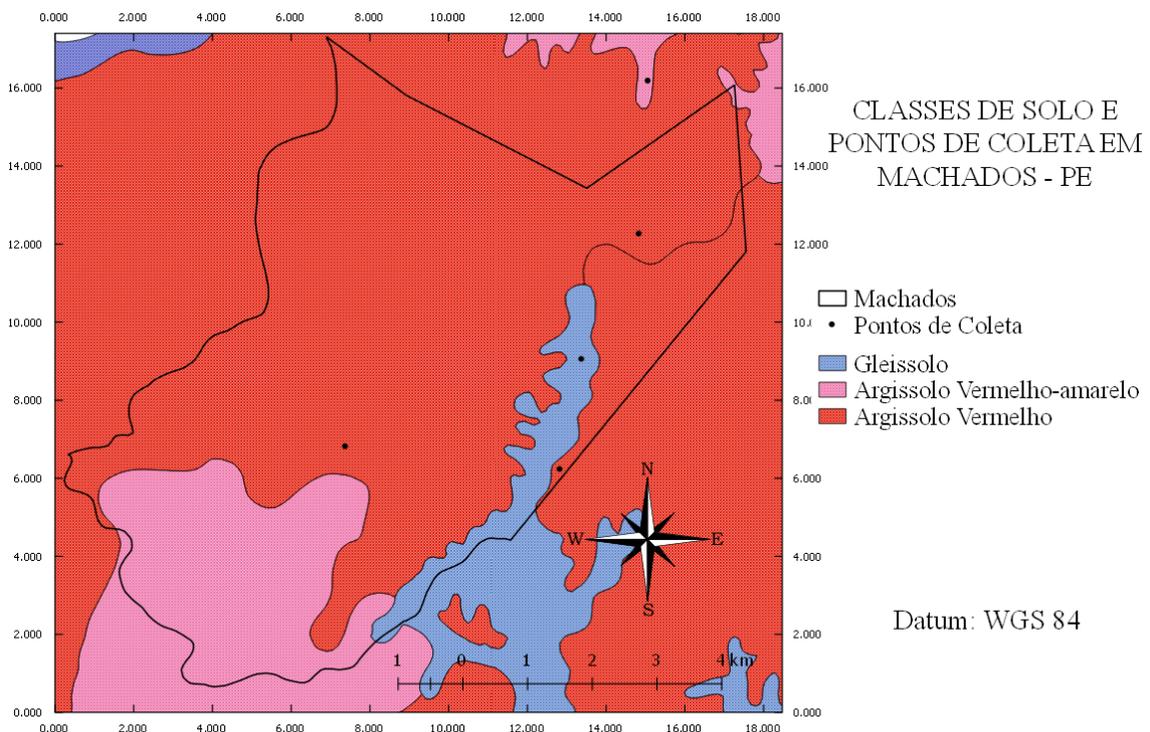
A determinação do valor R seguiu as equações 5 e 6 propostas por Bertoni & Lombardi Neto (2012), que empregam valores de precipitação mensais e anuais de um período de trinta anos na região. Dado a extensão do município de Machados, apenas uma estação meteorológica teve suas medições consideradas nesta determinação.

Os dados de precipitação mensal para o município em estudo foram disponibilizados pela APAC. Como não foram encontrados valores entre os anos de 2006 e 2013, foram adicionados seis anos ao início do período analisado como compensação, assim o intervalo de precipitações analisado passou de 1988-2018 a 1982-2006 e 2013-2018. Os valores pluviométricos obtidos encontram-se resumidos nos gráficos abaixo.

3.2.3 Fator Erodibilidade do Solo (K)

O fator erodibilidade dos solos foi obtido através da equação 7, proposta por Bouyoucos (1935), citado por Bertoni e Lombardi Neto (2012), que estima a erodibilidade de um solo a partir de sua granulicidade. A delimitação dos perfis analisados utilizou-se do *shapefile* do levantamento de solos do Nordeste (SILVA et al., 2001), com base no qual foi traçado o caminhamento de coleta (figura 6).

Figura 6 - Classes de solo e pontos de coleta do município de Machados - PE



As coletas foram feitas com um trado em T, removendo apenas a camada inicial dos solos, uma vez que a erosão laminar afeta principalmente o horizonte superficial. Foi observado que em todas as 5 amostras coletadas havia a presença de horizontes orgânicos superficiais (figura 7).

Figura 7 - Coleta de solos em plantio de banana



Devido a restrições de acesso, oriundas em sua maioria do relevo acentuadamente declivoso da área de estudo e da escassez de vias de acesso, um dos perfis de solo identificados não pode ser alcançado, sendo realizada a coleta a aproximadamente 500m do mesmo, e os outros foram restringidos a amostragens únicas em triângulo. O fator K

do perfil não coletado foi analisado e comparado a outro perfil de mesma classificação presente no município, e os restantes submetidos à análise granulométrica em duplicatas.

A análise granulométrica foi realizada no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), seguindo a metodologia proposta por Almeida (2008). Inicialmente, as amostras foram postas para secar por aproximadamente três dias ao ar livre (figura 6), a que se seguiu o destorroamento e peneiramento em peneira de 2mm.

Figura 8 - Secagem ao sol dos solos coletados



Para cada corpo de amostra, foram separadas duas porções de 50g para decantação com dispersante em duplicata e uma de 20g, para determinação do fator F. O dispersante empregado foi CaCO_3 . As porções para decantação foram transferidas a garrafas e diluídas em solução de água e 25mL de dispersante, completando 250g em todas as garrafas.

Uma vez pesados, os exemplares para obtenção de F foram levados a uma estufa para completa secagem, e as garrafas foram então submetidas a 16 horas de centrifugação em um agitador tipo Wagner (figura 8). As soluções agitadas foram postas para repouso em provetas, preenchidas com água até a marca de 940mL, por um dia.

Figura 9 - Agitador tipo Wagner



A primeira medição foi realizada após as 24 horas de decantação, e consistiu na cuidadosa inserção de um densímetro na solução para leitura da fração argila. As medidas foram corrigidas subtraindo-se delas o valor medido em provetas apenas com água e solução dispersante. As soluções com dispersante passaram por peneiramento com uma peneira de 53nm e as partículas retidas pelo mesmo foram secas por dois dias em estufa e pesadas juntamente com as inicialmente separadas para obtenção do valor F.

O fator F foi determinado pela fórmula:

$$F = \frac{TFSA}{TFSE} \quad (133)$$

Onde:

F = Fator F

TFSA = Peso do solo antes da secagem em estufa

TFSE = Peso do solo após secagem em estufa

O teor da fração argila pode ser então obtido através da fórmula abaixo.

$$R = \frac{D \times 100}{\frac{TFSA'}{F}} \quad (14)$$

Em que:

R = Fração argila, em %

D = Medida do densímetro corrigida

TFSA' = Peso do solo antes do agitação

F = Fator F

Por fim, a fração silte foi obtida ao se subtrair as duas já conhecidas, e o fator erodibilidade foi calculado através da equação 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fator Relevo (LS)

4.1.1 Fator Declividade (S)

A análise dos dados MNT da área de estudo indicam um relevo fortemente ondulado, com declividades alcançando os 82,5%. Ainda assim, a tabela 1 permite observar que as classes de relevo mais representativas, segundo a classificação da Embrapa (1979) são a ondulada e fortemente ondulada, que juntas ocupam mais de 85% do total estudado.

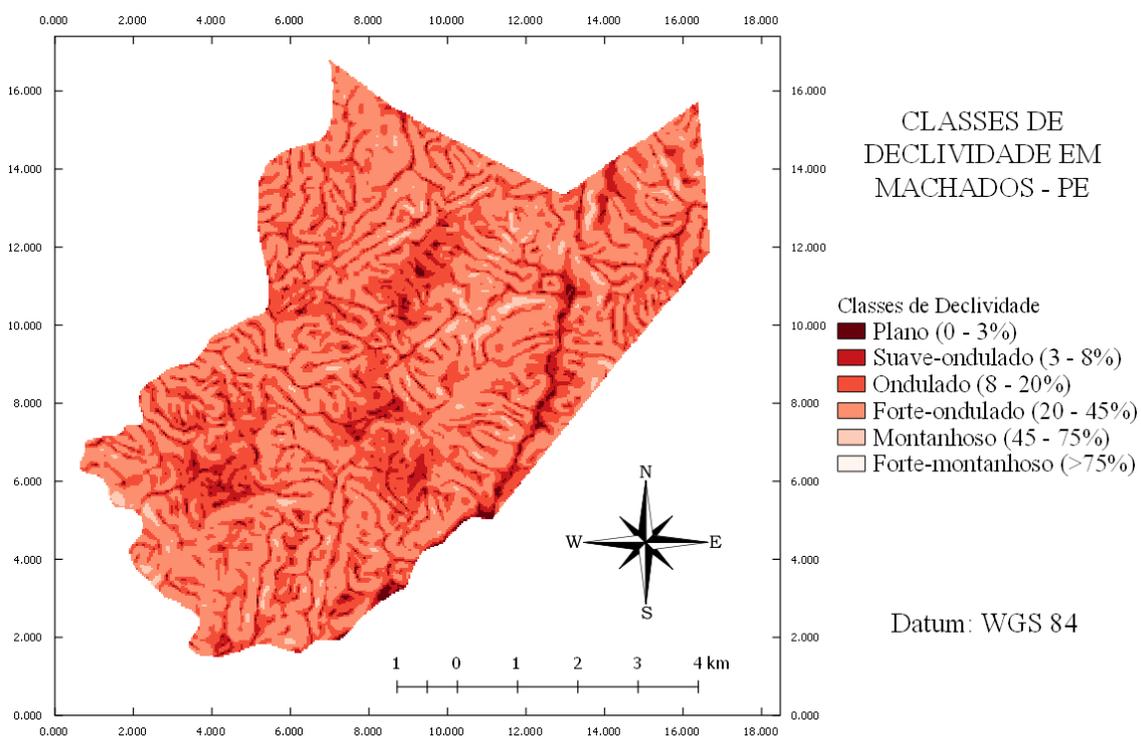
Tabela 1 - Classes de Declividade de Machados - PE

Declividade %	Classe de Declividade	Área (Km ²)	Área (%)
0 - 3%	Plano	0,7688	1,404%
3 - 8%	Suave - ondulado	4,6288	8,456%
8 - 20%	Ondulado	19,4337	35,502%
20 - 45%	Forte - ondulado	28,879	52,757%
45 - 75%	Montanhoso	1,026	1,874%
>75%	Forte - montanhoso	0,0029	0,005%

Ao se observar a tabela, é possível concluir que a classe Forte – montanhosa foi praticamente inexpressiva dentro do município e, para propósitos práticos, pode-se considerar 75% como a maior declividade da região. O relatório da matriz de declividade obtido através da ferramenta *raster information* do QGIS determinou que a declividade média de Machados é de 21,44%, confirmando a classificação descrita na tabela 3.

Declives entre 12 e 50% apresentam sérias dificuldades de mecanização de cultivo, restringindo a atividade de máquinas a percursos que acompanhem as curvas de nível e forçando a aplicação, quando possível, de tratores em esteiras. Declividades acima dos 25% impedem a mecanização exceto pelo uso de tração animal, ainda assim com grandes dificuldades de aplicação. A cultura de banana, presente mais expressamente na área de estudo, é perene e demanda apenas mão de obra humana, podendo ser considerada adequada ao relevo local. O mapa de declividade pode ser visualizado na figura 9.

Figura 10 - Classes de declividade do município de Machados - PE



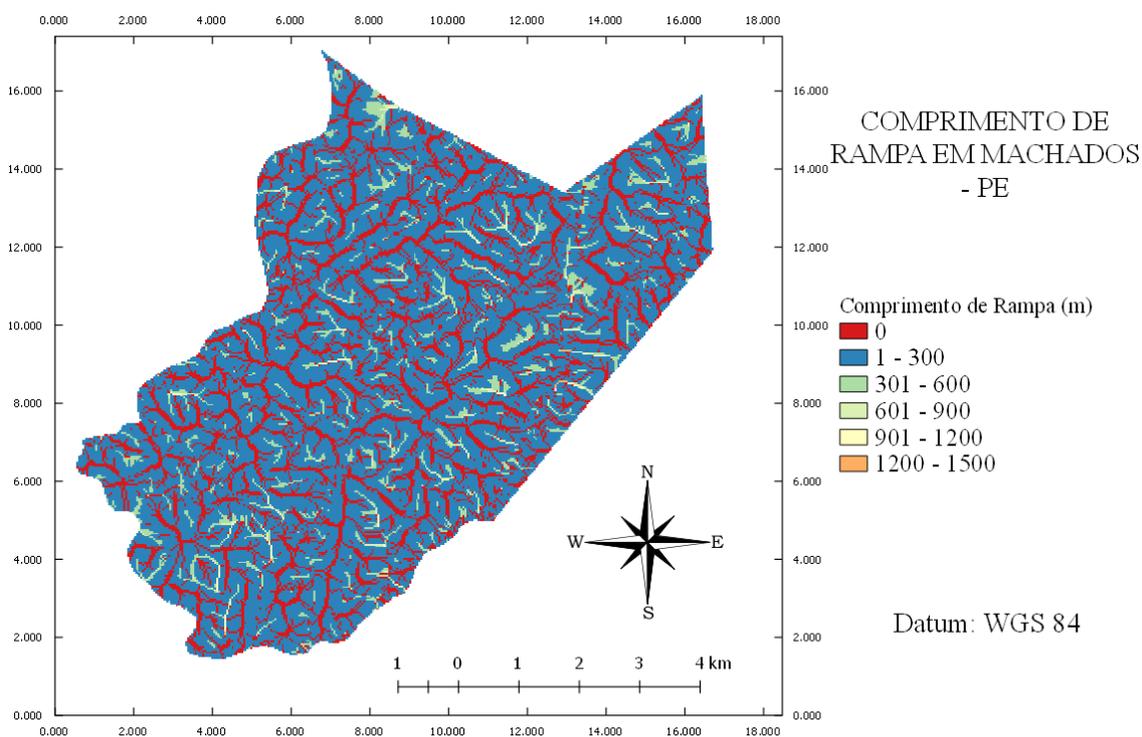
4.1.2 Fator Comprimento de Rampa (L)

Em relação ao comprimento de rampa, observa-se na figura 10 que declives mais curtos são os mais comuns, e valores mais extremos são pouco expressivos na área de estudo. Examinar a tabela 2 permite concluir que mais da metade dos declives do município de machados tem comprimentos inferiores a 100m. Uma análise da matriz do fator L constata que há uma grande amplitude de valores em relação à média: o comprimento máximo observado atinge 1543m, enquanto a média obtida é de apenas 108,95m.

Tabela 2 - Classes de Comprimento de Rampa em Machados

Comprimento de rampa (m)	Área (Km)	Área (%)
0 - 50	23,52	42,968%
50 - 100	11,13	20,333%
100 - 200	12,88	23,530%
200 - 400	6,73	12,297%
400 - 800	1,66	3,028%
800 - 1600	0,28	0,516%

Figura 11 - Comprimento de Rampa do Município de machados - PE



Os valores obtidos através do método de Villela & Matos (1975) foram de 138 e 126 metros para as duas microbacias que intercedem o território de Machados. A média ponderada dos índices obtidos e suas respectivas áreas dentro do município de Machados resultou em um fator L de 128,77m.

Dada a diferença pouco expressiva entre os resultados obtidos, que pode ser atribuída a baixa resolução da matriz MNT empregada, optou-se por aplicar os resultados descritos na figura (9) nas etapas seguintes da análise, visto que uma descrição espacial do comprimento de rampa adequa-se mais aos fins propostos que valores médios generalizados, principalmente a se considerar a reduzida área da região estudada.

Estudos que abordaram comprimento de rampa em modelagem de erosão encontrados na bibliografia apresentaram resultados significativamente variáveis. Valle Júnior et al (2010) encontrou fatores L variando entre 200 e 400m, e Baptista (1997) determinou variações entre 309 e 533 metros, empregando também a equação elaborada por Villela & Matos (1975). Ambas podem ser atribuídas a diferenças de relevo e/ou distintos detalhamentos de hidrografia.

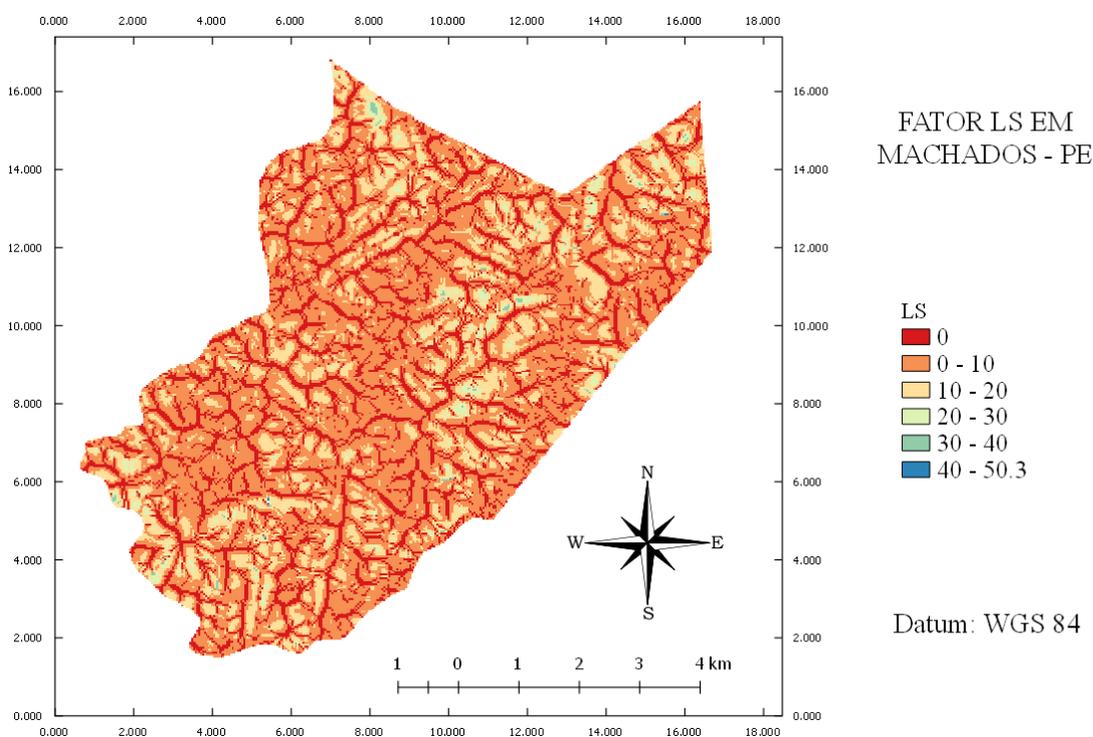
Silva & Luchiari (2014), através da função mapa de distâncias do software SPRING, obteve comprimentos de declive de até 120m, enquanto Brito et al (1998) descobriu fatores L variando de 500 à 1500m através da análise do mapa planialtimétrico com o auxílio de um ábaco. A falta de uniformização de metodologias em estudos

científicos e a grande variação de resultados entre diferentes métodos dificulta a comparação e interpretação do comprimento de rampa como fator da PNE.

4.1.3 Fator Relevo (LS)

Assim como os fatores declividade e comprimento de rampa, a variável LS, obtida através da equação proposta por Bertoni (2012) (equação 12), apresentou uma grande amplitude de valores em torno da média. A análise da matriz LS (figura 11), permite observar que enquanto o valor máximo alcançado foi de 50,341 a média totalizou apenas 6,044.

Figura 12 - Fator LS do município de Machados - PE



Observando a tabela 3 pode-se constatar que mais da metade da área analisada possui valores LS abaixo de 10, e apenas 0,18% do total ultrapassa 30. Ainda assim, a variável encontra-se acima do encontrado em estudos semelhantes, provavelmente devido a declividades altamente acentuadas e diferenças de metodologia na determinação do comprimento de declive.

Tabela 3 - Fator LS em Machados

LS (Adimensional)	Área (Km)	Área (%)
0 - 1	12,82	18,09%
1 - 10	32,75	46,21%
10 - 20	11,99	16,92%
20 - 30	13,18	18,60%
30 - 40	0,12	0,17%
40 - 50	0,01	0,01%

Brito et al (1997) em uma região de relevo predominantemente plano, obtiveram índices LS superando 6, sendo que dois terços de sua área de estudo apresentaram valores abaixo de 2. Tomazoni e Guimarães (2005) encontraram medidas de LS acima de 20, com mais de 75% dos resultados abaixo de 5,5 em um terreno de declividade não detalhada. Os dois estudos empregaram a equação de Bertoni (1959) (fórmula 12) na obtenção dos resultados.

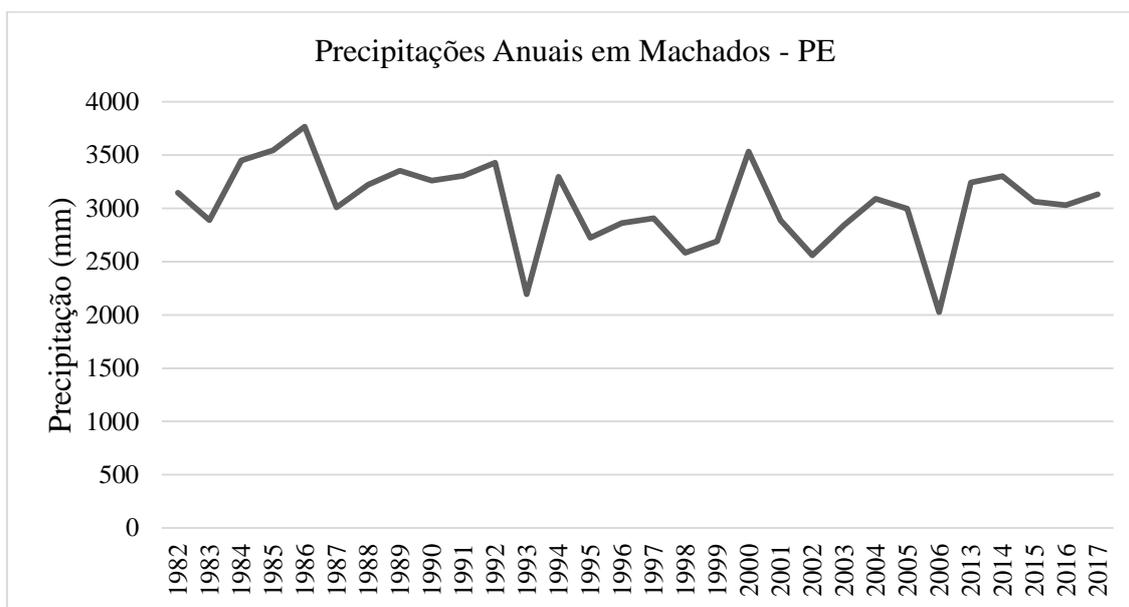
Souza e Galvani (2017) obteve fatores topográficos superando oito, sendo que mais de dois terços se mantiveram abaixo de 4, ao estudar a bacia hidrográfica do rio Jacaré Guaçu, em São Paulo e Baptista (1997), determinou valores acima de 20, a maioria dos quais abaixo de 4, para a mesma variável. Ambos os autores também aplicaram a fórmula desenvolvida por Bertoni (1959).

Apesar das grandes variações entre os comprimentos de rampa comparados, pode-se perceber que os fatores topográficos comparados não diferem muito, pois a fórmula aplicada em sua obtenção cede maior importância a declividade que ao comprimento de rampa. Supõe-se que este seja o mesmo motivo dos valores determinados neste estudo situarem-se acima daqueles encontrados na bibliografia

4.2 Fator Erosividade da Chuva (R)

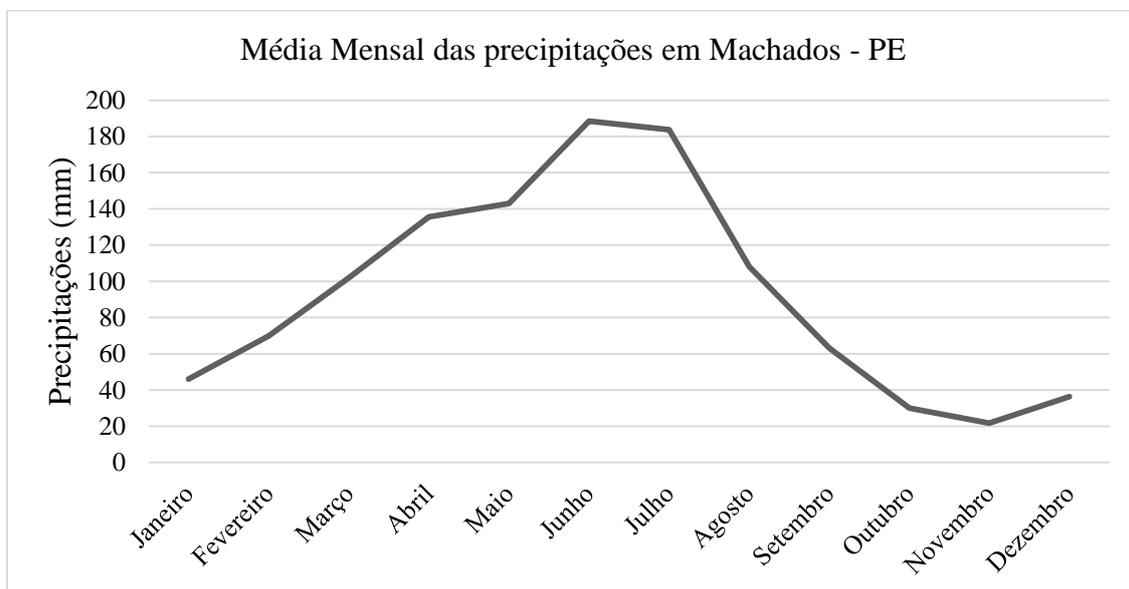
As precipitações anuais, como mostrado na figura 12, variaram entre 2025 e 3766 milímetros por ano, atingindo seus valores máximo e mínimo respectivamente em 1986 e 2006. A média das precipitações anuais durante o período foi de 3044mm/ano.

Figura 13 - Precipitações Anuais em Machados - PE



As médias mensais pluviométricas, descritas na figura 13, variaram entre 21,82mm no mês de novembro a 188,51mm no mês de junho. A média mensal de todo o período foi de 94,00mm.

Figura 14 - Médias Mensais das Precipitações em Machados - PE



A partir das médias mensais e anuais de precipitação medidas pela estação pluviométrica de Machados, foram calculados os índices mensais de erosividade para o período de 1982 a 2007 e 2013 a 2017, presentes na tabela 4.

Tabela 4 - Índices Mensais de Erosividade em Machados

Mês	Erosividade em Mj.mm/ha.h.ano
Janeiro	41,46
Fevereiro	89,32
Março	180,71
Abril	293,30
Maio	320,62
Junho	483,72
Julho	463,00
Agosto	187,76
Setembro	70,99
Outubro	16,33
Novembro	9,52
Dezembro	18,11

O índice de erosividade da chuva para a área de estudo foi obtido através da soma dos doze valores mensais, que totalizou 2174,82 Mj.mm/ha.h.ano.

O fator R resultante encontra-se dentro da normalidade para a região semiárida de Pernambuco. Oliveira, Wendland e Nearing (2012) encontrou índices de erosividade variando de 1672 a 6000 Mj.mm/ha.h.ano para a região Nordeste, e até 22.452 para o território brasileiro.

Cantalice et. al. (2009), em uma caracterização dos valores de R para o estado de Pernambuco, encontrou valores entre 1500 e 3500 Mj.mm/ha.h.ano para o Sertão e Agreste pernambucanos, classificando-os como de moderado potencial erosivo.

As precipitações de Machados durante o intervalo estudado apresentam baixa potencial de impacto erosivo, de acordo com a classificação de Carvalho (2008) apud Oliveira, Wendland e Nearing (2012), visível no quadro 3. Cantalice et. al. (2009) considerou tais resultados, juntamente com a totalidade das regiões do Sertão e Agreste pernambucano, como de moderada erosividade.

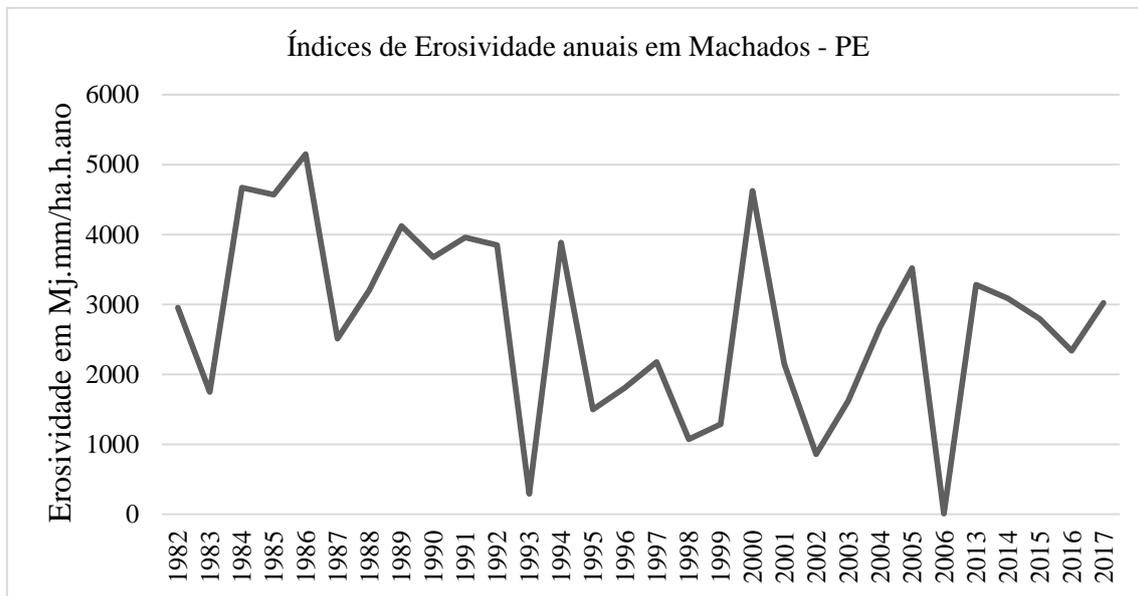
Quadro 3- Classes de Erosividade

Erosividade em Mj.mm/ha.h.ano	Classe de erosividade
0 – 2452	Baixa
2452 – 4905	Média
4905 – 7357	Média-alta
7357 – 9810	Alta
Acime de 9810	Muito alta

A maioria dos estudos envolvendo o potencial erosivo das chuvas foi realizada nas regiões sul e sudeste do Brasil. Costa & Silva (2012) determinaram um valor médio anual de 7739 Mj.mm/ha.h.ano para a microbacia do riacho Guaraíba, no litoral sul paraibano. Diversos estudos nas regiões sul e Sudeste brasileiras determinaram valores entre 6392 e 10236 Mj.mm/ha.h.ano, corroborando o mapeamento feito por Oliveira et al (2012) (COGO, LEVTEN e SCHWARZ, 2013; VALLE JÚNIOR et al 2010; SILVA et al, 1997 e SILVA e GALVANI, 2017).

Vale ressaltar que a erosividade calculada é apenas uma média de todos os valores do intervalo escolhido. Como todos os processos climáticos, a precipitação e seu potencial erosivo variam significativamente. No caso da área escolhida, valores anuais variam entre 7,92 e 4670,17 Mj.mm/ha.h.ano, como mostrado na figura 14. Ao manejar o uso da terra de modo a evitar erosão antrópica, é importante sincronizar práticas protecionistas e rotações de cultura com os picos pluviométricos da região, de modo a evitar perdas elevadas de solo em um curto período de tempo.

Figura 15 - Índices de Erosividade anuais em machados - PE



4.3 Fator Erodibilidade do Solo (K)

Os teores das frações areia argila e silte obtidos após a análise granulométrica dos cinco perfis de solo presentes no município encontram-se descritos na tabela 5.

Tabela 5 - Perfis e Classes de Solo em Machados

Perfil	Classe de solo	Areia	Silte	Argila
1	Argissolo Vermelho	62,765	14,026	23,209
2	Gleissolo	62,810	9,497	27,692
3	Argissolo Vermelho - Amarelo	66,949	16,939	16,113
4	Argissolo Vermelho	55,374	12,303	32,323
5	Argissolo Vermelho - Amarelo	48,700	33,091	18,209

Os valores encontrados são considerados dentro do esperado para a camada superficial de solos argilosos. Vale ressaltar que argissolos são caracterizados por altos teores de argila em horizontes subsuperficiais e, ainda assim, 30% de argila é suficiente para se considerar um solo como predominantemente argiloso.

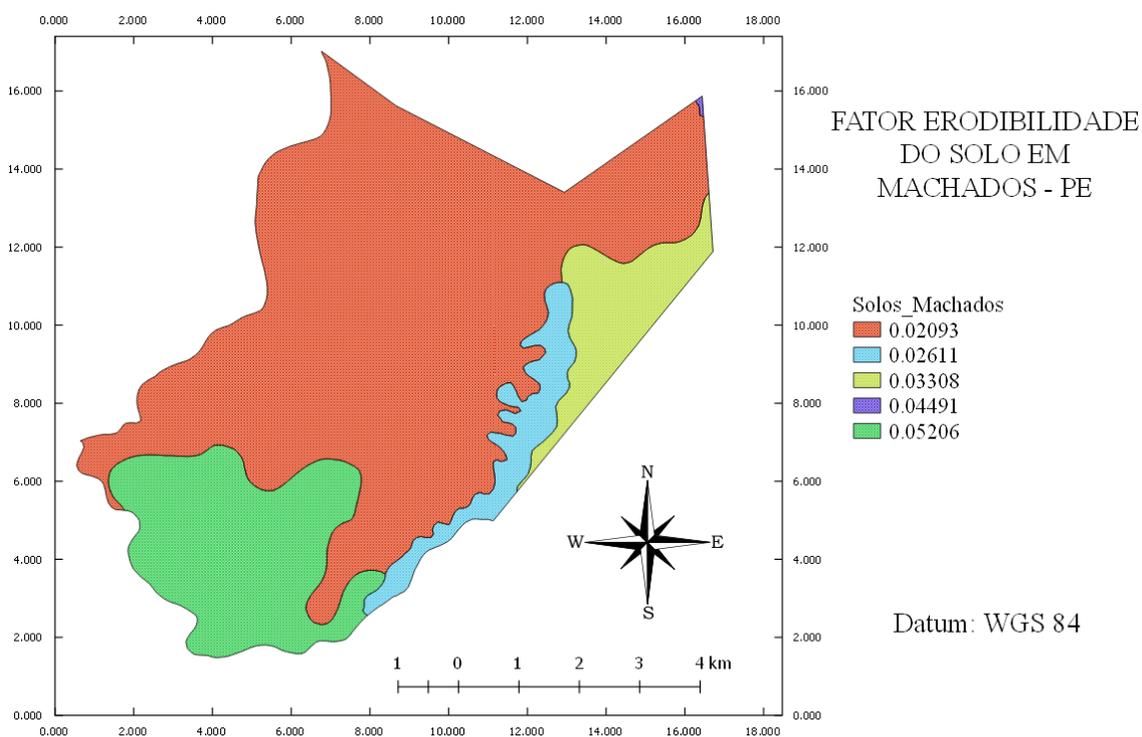
Como a fórmula usada para a obtenção da erodibilidade soma os teores de argila e silte, os perfis podem ser comparados apenas pela quantidade de argila. Dada a pequena diferença em porcentagem de argila entre os perfis 3, coletado a aproximadamente 500m do perfil e o 5, pertencente a mesma classe de solo, optou-se por considerar a coleta do primeiro como válida ao invés de recorrer a dados da literatura.

Os valores encontrados variam entre 0,0209375 e 0,0520625. Após conversão dos resultados a dados matriciais no programa QGIS, uma análise dos mesmos indicou um valor médio aproximado de 0,028 para a área de estudo.

Mannigel (2002) e Castro et al (2011) também empregaram a fórmula de Bouyoucos para a determinação da erodibilidade de solos em São Paulo e Goiás. Mannigel obteve fatores K variando entre 0,0178 e 4278t.ha.h/ha.Mj.mm apenas entre os argissolos avaliados enquanto Castro et al encontrou valores entre 0,0027 e 0,0567t.ha.h/ha.Mj.mm, tendo determinado 0,0031t.ha.h/ha.Mj.mm em argissolos.

No estado de Pernambuco, Moreira et al (2017) estimou erodibilidades entre 0,02 e 0,31t.ha.h/ha.Mj para solos da bacia do Rio Pajeú, empregando também a mesma equação de base granulométrica. O mapa contendo as erodibilidades de cada perfil examinado pode ser visualizado na figura 15.

Figura 16 - Fator Erodibilidade do solo no município de Machados - PE



Os solos do município de Machados podem ser considerados significativamente suscetíveis à erosão, variando entre média e alta erodibilidade segundo o quadro 4 (MANNIGEL, 2002).

Quadro 4 - Classes de Erodibilidade do Solo

Fator K, em t.ha.h/ha.Mj	Classe de erodibilidade
Abaixo de 0,0090	Muito baixo
0,0090 a 0,0150	Baixo
0,0150 a 0,0300	Médio
0,0300 a 0,0450	Alto
0,0450 a 0,0600	Muito alto
Acima de 0,0600	Extremamente alto

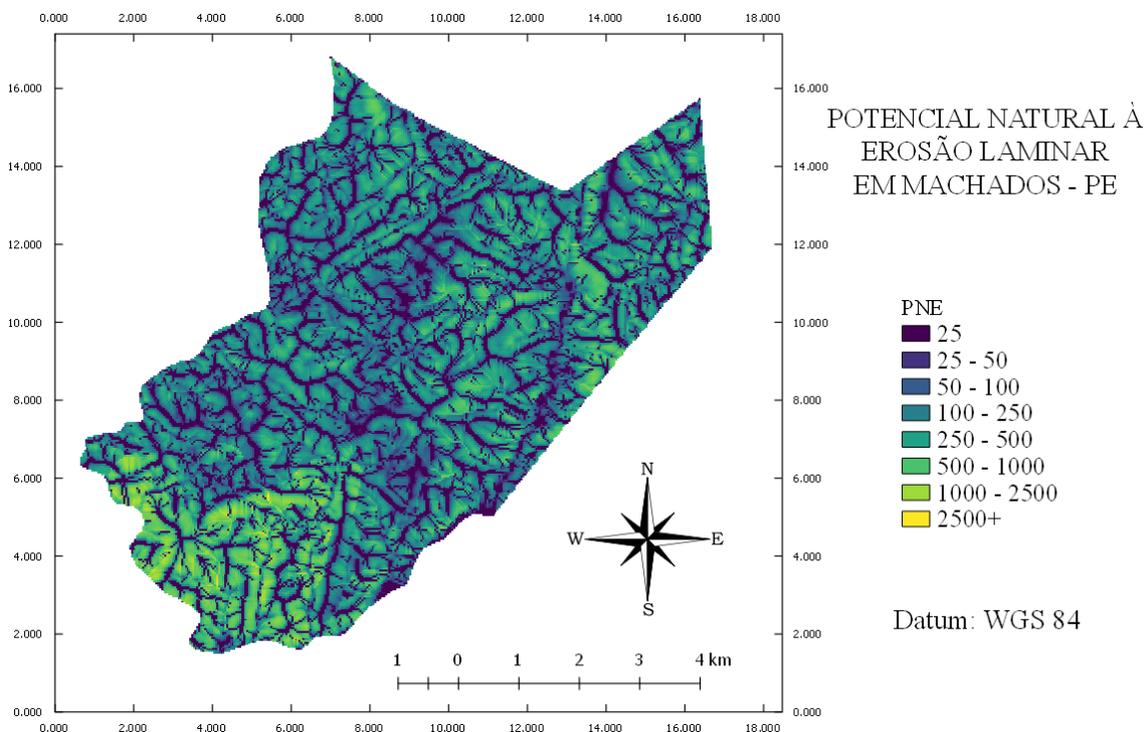
4.4 Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE)

Uma vez obtidos todos os fatores, estes foram integrados usando a equação 2. A matriz resposta, contendo a suscetibilidade a erosão laminar de cada ponto do município de Machados, foi então gerada pela calculadora de raster.

Assim como os fatores topográficos, a PNE apresentou uma expressiva amplitude de resultados em relação à média. O valor máximo alcançado foi de 5700t/ha.ano, que pode ser considerada extremamente alta, enquanto a média para o município foi de

368t/ha.ano, representando uma baixa suscetibilidade a erosão em geral. O mapa construído a partir do resultado obtido encontra-se na figura 16.

Figura 17 - Potencial Natural à Erosão Laminar de Machados - PE



Segundo a classificação sugerida por Morais e Sales (2017), quase dois terços da área de estudo possuem PNE baixo ou muito baixo (tabela 6), enquanto pouco mais de 1% atinge valores muito altos. Ao se observar a figura 15 percebe-se uma concentração de maior potencial à erosão na região sul da área de estudo. Esta se deve ao fator K do perfil de solo ali representado, que foi o maior obtido, sendo praticamente o dobro da erodibilidade dos outros perfis.

Tabela 6 - Classes da PNE em Machados

Classe de PNE	PNE (t/ha.ano)	Área (Km)	Área (%)
Muito baixo	0 - 200	23,48	41,92%
Baixo	200 - 400	13,06	23,31%
Moderado	400 - 800	13,06	23,32%
Alto	800 - 1600	5,20	9,28%
Muito alto	Acima de 1600	1,21	2,16%

Como a erosividade constitui um valor único a toda a região, pode-se assumir que as variações restantes são predominantemente advindas do fator topográfico. Vale lembrar que os valores obtidos representam uma média de um período de 30 anos. O

potencial atual à erosão laminar apresenta uma variação tão significativa ao longo do tempo quanto a da própria precipitação que, como ilustrado na figura 13, varia de algumas centenas a mais de 5000 Mj.mm/ha.h.ano, tornando necessária a adoção de cuidados adicionais em anos de maiores chuvas.

Lanza (2011), ao diagnosticar a erosão laminar na bacia do Rio Paraopeba em Minas Gerais, deparou-se com perdas de solo potenciais ultrapassando 2400t/ha.ano em mais de 40% da bacia hidrográfica. Bolina et al (2017) encontrou resultados drasticamente menores ao estudar a bacia do ribeirão João Leite, em Goiás, com quase dois terços da área analisada abaixo de 100t/ha.ano de perda potencial de solo,

Morais e Sales (2017), ao estimar a PNE na bacia hidrográfica do Alto Gurguéia – PI, obteve um valor médio semelhante ao do presente estudo, totalizando 373,4t/ha.ano. O valor máximo encontrado, no entanto, ultrapassou 18000 toneladas por hectare/ano. Pode-se pressupor que parte das elevadas discrepâncias encontradas na literatura a respeito da modelagem de erosão no Brasil se devem a falta de metodologias consolidadas para a área, seja na coleta ou análise de dados.

Dado o baixo potencial à erosão laminar no município de Machados, oriundo principalmente do regime modesto de chuvas, é possível presumir que a cultura de banana, maior representante da cultura local, por ser perene preferível ao uso de culturas anuais. É necessário, ainda, avaliar práticas de conservação específicas da espécie que visem a prevenção de perdas de solo.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo solidifica o emprego de Sistemas de Informação Geográfica na modelagem de processos erosivos, o que permite a aplicação de metodologias diversas a pequenas e grandes áreas, fornecendo resultados geolocalizados e facilmente comparáveis.

Os resultados obtidos, apresentando valor médio de 368t/ha.ano, encontraram-se dentro do esperado para a região estudada, mas foi observada uma variação significativa em resultados e métodos de coleta e análise de dados na literatura, e a falta de procedimentos consolidados para a estimativa de erosão no Brasil pode dificultar a comparação e avaliação de resultados.

O município de machados pode ser descrito como pouco suscetível à erosão laminar, apesar do relevo altamente acidentado, o regime reduzido de chuvas impede que ocorram perdas elevadas de solo. A concentração temporal das chuvas, entretanto, é pouco considerada pela EUPS, e práticas adicionais podem ser necessárias durante os períodos de maior pluviosidade.

A EUPS mostra-se uma ferramenta de grande valia, apesar de suas limitações, na quantificação da erosão pluvial. A existência de fórmulas desenvolvidas no Brasil para a maioria de seus fatores a torna uma ferramenta ainda mais recomendável para análises realizadas no país.

Suscetibilidade a perdas de solo é, em geral, um fator pouco considerado na gestão territorial brasileira. A preservação dos solos é essencial para qualquer meta de desenvolvimento sustentável, e a erosão hídrica é uma das maiores ameaças à mesma, tornando importante o estímulo e subsídio de pesquisas para sua quantificação, em pequena e larga escala.

São necessárias posteriores avaliações do uso e ocupação dos solos e de sua tolerância à erosão no município de Machados, para se obter um quadro completo da dinâmica dos processos de erosão hídrica no local. Assim como o levantamento de práticas conservacionistas que adequem pastagens, bananicultura e cana-de-açúcar a regiões de relevos acentuados

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM. **Bacia hidrográfica do rio Goiana e sexto grupo de pequenos rios litorâneos**: Série bacias hidrográficas de Pernambuco n. 2, Pernambuco, 2005.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008; Tese (Doutorado em Agronomia (solos e nutrição de plantas)Esalq).

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico Ambiental Da Perda Laminar De Solos, No Distrito Federal, Por Meio Do Geoprocessamento**. 1997. 111 pág. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília. 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8a Ed. Ícone Editora, São Paulo. 2012.

BLANCO, H. & LAL, R. Soil resilience and conservation. Em: BLANCO, H. & LAL, R., (Ed). **Principles of soil conservation and management**. Columbus, Springer Science Business Media B.V., 2010. p.15-33.

BOLINA, C. CASTRO de, SILVA, E. E. R., LOPES, E. S., DE SOUSA, L. R. P., MACEDO, M. A., e GOMES, M. I. L. Estimativa da erosão laminar na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite – GO a partir de análise espacial de dados. **Revista Estudo & Debate**, v. 24, n. 3, 2017. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/1333/1241> Acesso em: 24 Jul 2018.

BRANDELERO, C.; ANTUNES, M. U. F.; GIOTTO, E. Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal. **Ambiência**, v. 3, n. 2, p. 269-281, 2007. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/320/448> Acesso em: 24 Jul, 2018.

BRITO, J. L. S.; LIMA, S. C.; SHIKI, S.; MOREIRA, R. . Uso do geoprocessamento na estimativa de perda de solos por erosão laminar em Irai de Minas-MG. Em: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** Santos, 1998. p.501-512.

CÂMARA, G. Modelos, **Linguagens e Arquiteturas para Banco de Dados Geográficos**. 1995. 227p. (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 1995.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, E. dos S.B.; SILVA, M.D.R. de O. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco - 1ª aproximação. **Revista Caatinga**, v.22, p.75-80, 2009.

CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C C de. Erodibilidade de Solos do Cerrado Goiano.. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011. Disponível em: <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/1656/1247> Acesso em: 24 Jul, 2018.

COGO, N. P.; LEVTEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400019 acesso em: 24 Jul 2018.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "fallout" do 137Cs**. 2003. 199p. (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 2003.

COSTA, S.G.F. & Silva, R.M. 2012. Potencial natural e antrópico de erosão na bacia experimental do riacho Guaraíra. **Cadernos dos Logepa**, v. 7 n. 1 p. 72-91, 2012. Disponível em: file:///C:/Users/kassi_000/Downloads/13034-20671-2-PB.pdf Acesso em: 24 Jul 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

GUERRA, A. J. T. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

LANZA, D.S. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba**. (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 01, p. 85-90, 1990. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66794/1/Dispersao-material.pdf> Acesso em: 24 Jul 2018

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051992000200009 Acesso em: 24 Jul 2018.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P. e; MORETTI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. Disponível em: <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/2374/1787> Acesso em: 24 Jul 2018.

MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; SÁ, M.A.C. de. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de

solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.447-456, 1997a. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006831997000300014&script=sci_abstract&tlng=pt Acesso em: 24 Jul 2018.

MARTINS, S. G., SILVA, M. L. N., CURTI, N., FERREIRA, M. M., FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 03, p. 395-403. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832003000300001&script=sci_abstract&tlng=pt Acesso em: 24 Jul 2018.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. **Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. 1ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos (2010).

MORAIS, S. DE; REURYSSON CHAGAS; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí – Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.23182962.2017v27nesp1p84/12474> Acesso em: 24 Jul 2018.

MOREIRA, E. B. G.; SOARES, D. B.; RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S. Suscetibilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. Em: Congresso Nacional de Geografia Física., 2017, Campinas. **Anais...** Campinas, 2017. p 4069 – 4080.

NOLLA, D. **Erosão do solo: o grande desafio**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura / Estado do Rio Grande do Sul, 1982.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100 p. 139-147, 2012. Disponível em: <http://heros.sites.ufms.br/files/2015/08/Rainfall-erosivity-in-Brazil.pdf> Acesso em: 24 Jul 2018.

OLIVEIRA, V.H.; BAHIA, V.G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras - MG, usando o nomograma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.9, p.1157-1162, 1984.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento de Água Subterrânea**: Diagnóstico do município de Machados, Recife, 2005.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Programa Geologia do Brasil – Levantamento da Biodiversidade**: Geodiversidade do Estado de Pernambuco. Pernambuco, 2014.

SILVA, F. B. R.; SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUZA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; COSTA, L. G. M.; SILVA, C. P. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, M.S. de; FERREIRA, M.M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.11, p.1751-1761, 1994.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da Região de Goiânia (GO). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 977-985, 1997. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4231/1522> Acesso em: 24 Jul 2018.

SILVA, N.C.L.; LUCHIARI, A. Cálculo do fator topográfico da equação universal de perda de solos na bacia do córrego baguaçu, Araçatuba - SP utilizando SIG Em: Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales, 6., 2014 São Paulo, **Anais...** Logroño Espanha, Estudios Territoriales, 2014, p. 4917 – 4932.

SOUZA, V.; GALVANI, E. Determinação do potencial natural à erosão laminar na Bacia do Rio Jacaré Guaçú (SP). **RA'E GA – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 08-23, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/40661/32062>
Acesso em: 24 Jul 2018.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, n.3, 2005. Disponível em: <http://www.rbc.lsie.unb.br/index.php/rbc/article/viewFile/129/112> Acesso em: 24 Jul 2018.

VALLE JUNIOR, RENATO F. do; GALBIATTI, JOÃO A.; MARTINS FILHO, MARCÍLIO V.; PISSARRA, TERESA C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 30, n. 5, p. 897 – 908, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n5/v30n5a12.pdf> Acesso em: 24 Jul 2018.

Villela, S. M. & Mattos, A. 1975, **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo. 245p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D Storm and Soil Erosion. **Journal of Soil Water and Conservation**. v. 17, n. 2, p 55 – 59, 1962.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537)