



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL

ADAILTON BARBOSA DOS SANTOS JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA E PARNAÍBA NO PIAUÍ.

TERESINA, PIAUÍ - BRASIL

2011.

ADAILTON BARBOSA DOS SANTOS JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA E PARNAÍBA NO PIAUÍ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

Co-Orientador: Prof. Dr. Milcíades Gadelha de Lima

TERESINA, PIAUÍ - BRASIL

2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e

Santos Júnior, Adailton Barbosa dos

Erosividade e Padrão de Chuvas em Teresina e Parnaíba no Piauí. /
Adailton Barbosa dos Santos Junior - 2011.

59. f: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí,
Teresina, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

1. Solo- Erosão. 2. Energia Cinética 3. Intensidade de Chuvas

I. Título

CDD 631. 45

**EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA E PARNAÍBA NO
PIAÚÍ.**

ADAILTON BARBOSA DOS SANTOS JÚNIOR

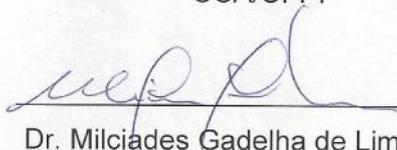
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em 30 / 09 / 2011

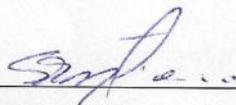
Comissão Julgadora:



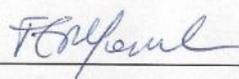
Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano - Presidente
CCA/UFPI



Dr. Milciades Gadelha de Lima – Titular
CCA/UFPI



Dr. Sammy Sidney Rocha Matias - Titular
UESPI/Corrente



Dr. Francisco Edinado Pinto Mousinho – Titular
CCA/UFPI

Aos meus pais Adailton Barbosa e Gilca Barbosa

Aos meus filhos Pedro Henrique e Ana Luiza

DEDICO

Minha Amada, Alyne Freire de Melo,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí – UFPI, pela oportunidade de ampliar meus estudos;

Ao Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano, pelas orientações, confiança e ensinamentos para convivência científica, durante a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Milciades Gadelha de Lima, Dr. Raimundo Mainar de Medeiros, Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior pela contribuição neste trabalho e a ajuda indispensável na obtenção dos dados;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial ao Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega, por seus ensinamentos;

Ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, através das pessoas do Dr. Alaor Moacyr Dallantonia Jr, Bernadete Lira dos Anjos e sua equipe, Francisco de Assis Diniz, pelo fornecimento dos dados meteorológicos necessários ao desenvolvimento deste trabalho;

A todos da minha família, fonte inesgotável de inspiração para busca de meus ideais;

Ao pesquisador da Embrapa Meio Norte Dr. Edson Alves Bastos;

Aos amigos da UFPI Prof. Dr. Max César de Araújo, Prof. Dr. Luis Alfredo Pinheiro Leal Nunes, Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pelo caráter, companheirismo, bem como pelas oportunidades.

Aos amigos do Mestrado em Agronomia, Adilberto, Ferreira, Sebastião, Almerinda, Bruna, Herbert, Josynaria, Lizio Laguna, Thiago e especialmente: Sávio, Clemilton, Fernando, Renato, Douglas, Lílian, bem como aos demais companheiros de disciplinas e trabalhos, pela união e perseverança nessa nova conquista.

SUMÁRIO

<i>Lista de Figuras</i>	viii
<i>Lista de Tabelas</i>	ix
RESUMO GERAL	x
GENERAL ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Erosão do solo.....	4
2.2 Erosão hídrica	6
2.3 Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	7
2.3.1 Fator erosividade da chuva (R).....	8
2.3.2. Índice de erosividade EI ₃₀	8
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO 1 – EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA NO PIAUÍ	17
RESUMO	17
SUMMARY.....	18
INTRODUÇÃO.....	18
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
CONCLUSÕES	28
LITERATURA CITADA.....	29
CAPÍTULO 2 – EROSIVIDADE E PADRÕES HIDROLÓGICOS DAS CHUVAS DE PARNAÍBA NO PIAUÍ	34
RESUMO	34

SUMMARY	35
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES	43
LITERATURA CITADA.....	44

LISTA DE FIGURAS**CAPÍTULO 1**

Figura 1. Média da precipitação mensal acumulada (mm) Teresina – Piauí nos anos 2005-2009.....	24
Figura 2. Índice de erosividade Mensal e Acumulado em Teresina – Piauí.....	25
Figura 3. Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI ₃₀ e coeficiente de chuva em Teresina-Piauí, no período 2005-2009.....	27

CAPÍTULO 2

Figura 1. Valores mensais médios acumulados do índice de pluviosidade em Parnaíba-Piauí, no período 2005-2009.....	40
Figura 2. Valores mensais acumulados do índice de erosividade EI ₃₀ (MJ mm ha-1 h-1 ano-1) em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009.....	41
Figura 3 - Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI ₃₀ e coeficiente de chuva em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009.....	42

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Precipitação média mensal da região de Teresina - Piauí em mm.....	22
Tabela 2 - Chuvas Erosivas mensais da região de Teresina – Piauí em mm.....	23
Tabela 3 - Índice de erosividade EI_{30} da região de Teresina - Piauí.....	24
Tabela 4 - Período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em Teresina - Piauí.....	25
Tabela 5. Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (p), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva (Rc) de Teresina-Piauí, no período de 2005 a 2009.....	26
Tabela 6. Equações de regressão linear entre o índice EI_{30} vs. precipitação e o índice EI_{30} vs. coeficiente de chuva (Rc) para Teresina-Piauí, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	27

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI_{30} ($MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$) em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão.....	38
Tabela 2. Valores mensais, anuais e médios da pluviosidade (mm) em Parnaíba-Piauí, no período 2005-2009, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão...	40
Tabela 3. Período de Retorno e probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva em Parnaíba – Piauí.....	41
Tabela 4. Equações de regressão linear entre o índice EI_{30} vs. precipitação e o índice EI_{30} vs. coeficiente de chuva (Rc) para Parnaíba-Piauí, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	43

EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA E PARNAÍBA NO PIAUÍ.

Autor: Adailton Barbosa dos Santos Junior

Orientador: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

Co-Orientador: Prof. Dr. Milcíades Gadelha de Lima

RESUMO GERAL:

A erosividade representa o potencial que as chuvas têm de provocar erosão hídrica no solo. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é um dos modelos mais empregados na predição das perdas de solo por erosão hídrica. O objetivo deste trabalho foi calcular a erosividade das chuvas nos municípios de Teresina e Parnaíba no estado do Piauí, para subsidiar aplicações práticas em conservação do solo. A partir de pluviogramas diários, adquiridos no Instituto Nacional de Meteorologia- INMET referentes aos anos de 2005 a 2009 foram separados para cada chuva individual e erosiva, os segmentos de mesma intensidade, registrados em planilha e analisados pelo programa *Chuveros*, que calculou o índice EI_{30} . O EI médio anual para o município de Teresina, Piauí, foi de $9.655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, variando de $6.717,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a $11.803,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os meses de dezembro a maio determinam o período crítico, concentrando 95,7% da precipitação e 95,43% da erosividade total estimada para o período estudado. Para o EI médio anual do município de Teresina é esperado que este retorne a cada 2 anos com uma probabilidade de 50,00%. O EI médio anual para o município de Parnaíba, Piauí, foi de $9.964,3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, variando de $6.926,5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a $11.279,5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os meses de janeiro a maio determinam o período crítico, concentrando 87,6% da precipitação e 88,8% da erosividade total estimada. Para o EI médio anual do município de Parnaíba é esperado que este retorne a cada 2 anos com uma probabilidade de 50,00%.

Palavras- chave: energia cinética, intensidade da chuva, duração da chuva, frequência da chuva, índice EI_{30} .

EROSIVITY AND STANDARD OF RAIN IN TERESINA AND PARNAÍBA PIAUI.

Author: Adailton Barbosa dos Santos Junior

Guidance: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

Co-supervisor: Prof. Dr. Milcíades Gadelha de Lima

GENERAL ABSTRACT:

The erosivity is the potential that the rains have cause soil erosion. Equation Universal Soil Loss (EUPS) is one of the models used to predict the soil loss by water erosion. The objective of this study was to calculate the rainfall erosivity in the cities of Teresina and Parnaíba in Piauí, to support practical applications in soil conservation. From pluviogramas daily, acquired at the National Institute of Meteorology-INMET for the years 2005 to 2009, were separated for each individual rain and erosive, the segments of the same intensity, recorded in a spreadsheet, typed and analyzed by Chuveros, who calculated EI_{30} index. EI annual average for the city Teresina Piaui, was $9655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$, ranging from $6717.8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ to $11803.6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$. The months from December to May determine the critical period, concentrating 95.7% of the rainfall erosivity and 95.43% of the total estimated for the period studied. For the average annual EI city of Teresina is expected that this return every two years with a probability of 50.00%. The annual average for the EI city Parnaíba - Piaui, was $9964.3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$, ranging from $6926.5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ to $11279.5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$. The months January to May determine the critical period, concentrating 87.6% of the rainfall erosivity and 88.8% of the estimated total. For the average annual EI Parnaíba city is expected that this return every two years with a probability of 50.00%.

Keywords: kinetic energy, rainfall intensity, rainfall duration, frequency of rain, EI_{30} index.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A precipitação pluvial se constitui como um dos principais elementos responsáveis pela manutenção e funcionamento do ciclo hidrológico, necessário à existência da vida no planeta Terra. Sua ocorrência possui uma grande variabilidade referente à intensidade, quantidade, frequência e, principalmente, a distribuição espacial e temporal dessa variável em uma dada região. Tal variabilidade espacial contribui para a formação de distintas paisagens e espaços, os quais serão susceptíveis a dinâmicas particulares.

Segundo Silva (2006), o planejamento das principais atividades econômicas (indústria, agricultura e turismo) depende, fortemente, do regime de precipitação. Por isso, estudar as variações do regime de chuvas é um modo de se adequar o planejamento a essas variações e também de se prevenirem prováveis impactos sobre as atividades desenvolvidas.

Os solos apresentam-se como um dos recursos mais sujeitos a degradação pela ação antrópica. São imprescindíveis para a vida animal e vegetal, possuem um processo de formação lento e gradual, porém o seu depauperamento, devido principalmente ao manejo e ocupação inadequada, podendo ser modelada com base em episódios extremos de precipitação pluvial. Os processos erosivos não são os mesmos em todos os solos e, a intensidade, frequência e distribuição das chuvas também contribuem para seu maior desempenho. Estes processos consistem “numa série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam na perda progressiva do solo” (MAFRA, 1999).

As perdas anuais de solo e água, os quais são ocasionados a partir da erosão hídrica, nas propriedades agrícolas brasileiras são da ordem de 822,7 milhões de toneladas e 171 bilhões de m³, respectivamente, estando associada a estes valores uma perda de US\$ 4,2 bilhões por ano (HERNANI et al., 2002). Assim, uma maneira de se compreender a evolução anual da erosão é de estabelecer o correto uso e manejo do solo (ROQUE et al., 2001), para áreas agrícolas é através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). A determinação da erosividade da chuva (fator R da EUPS) é função das características do regime pluvial de uma localidade, responsável por cerca de noventa por cento das variações da quantidade de solo perdido por erosão (FREIRE et al., 1991).

A erosão hídrica é a principal causa de degradação de terras agrícolas e consiste basicamente do desprendimento e arraste das partículas do solo. O arraste de partículas

da camada arável de solos agricultáveis pode reduzir sua capacidade produtiva em razão da perda da camada de solo melhor formada e com maior teor de matéria orgânica (EVANGELISTA et al., 2006). Portanto, segundo o autor, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las são essenciais para um planejamento conservacionista adequado e econômico.

A caracterização do potencial erosivo das chuvas, dentre várias aplicações, possibilita dimensionar melhor as estruturas de conservação do solo, assim como, estimar a produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica, a qual é um dado bastante relevante no gerenciamento dos recursos hídricos e na predição de impactos ambientais (HUDSON, 1981).

A descrição físico-matemática do processo erosivo evoluiu muito a partir da década de 1950, com o surgimento da EUPS. Na época, a grande limitação de processos que permitissem a solução de equações matemáticas induzia a utilização de procedimentos fundamentados em bases empíricas, como é o caso da EUPS. O avanço da informática permitiu o desenvolvimento de procedimentos baseados em técnicas de simulação que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais existentes nos fatores condicionadores do processo erosivo (SILVA & PRUSKI, 1997).

A determinação da erosividade da chuva envolve um trabalho exaustivo de seleção e leitura de uma série de registros de chuvas. Esses dados são escassos e muitas vezes de difícil acesso. A fim de minimizar estes problemas, diversos autores correlacionaram o índice EI_{30} com o coeficiente de chuva (R_c), conhecido como índice de Fournier (RENARD & FREIMUND, 1994), o qual é facilmente obtido a partir do registro dos totais diários das precipitações. Tais dados estão disponíveis em maior número de localidades o que simplifica sua obtenção, mas mantém precisão satisfatória na estimativa de EI_{30} (MANNAERTS & GABRIELS, 2000; SILVA, 2004).

A medida desta grandeza é realizada por índices tais como o índice de erosividade padrão EI_{30} (WISCHMEIER & SMITH, 1978), relatado por diversos pesquisadores como uma medida satisfatória, devido à significativa correlação que esse índice apresenta com as perdas de solo (SILVA et al., 1997, 2005).

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi determinar a erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas erosivas das cidades de Teresina e Parnaíba – Piauí.

Esta dissertação foi estruturada em dois capítulos na forma de artigos científicos, segundo normas para submissão da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EROSÃO DO SOLO

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e/ou vento.

A erosão dos solos é um processo natural na formação da paisagem, sendo responsável pela remoção do material de superfície por meio do vento, do gelo ou da água. Sob tais condições, a erosão é considerada um processo natural. No entanto, a erosão acelerada dos solos, isto é, aquela que ocorre em intensidade superior aos padrões normais é usualmente, consequência dos resultados das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solo e relevo (VILELA FILHO, 2002).

Quando o processo erosivo é mais intenso, sendo mais veloz que a formação do solo, ocorre a erosão acelerada – chamada de erosão antrópica – caso tenha sido provocada pela ação humana. Tal situação ocorre quando são encontradas determinadas condições de solo, litologia e relevo que proporcionam o desencadeamento da substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, o qual não proporciona proteção eficiente contra a erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético que recomporia a camada erodida.

Enquanto morfogênese, a erosão é responsável pela ocorrência da esculturação da crosta terrestre, sendo condicionada por fatores como o regime climático, o relevo, a cobertura vegetal e do tipo de solo. A erosão, enquanto processo, é resultante da dinâmica de um determinado sistema ambiental, ou seja, da dinâmica de uma dada paisagem entendida como sendo a síntese dos diversos componentes que a produzem (DOLLFUS, 1973), e que está em desequilíbrio, provocado por interferências naturais ou antrópicas em um ou mais de seus fatores.

Esse desequilíbrio é resultado do balanço ecodinâmico de um determinado sistema ambiental (TRICART, 1977). O autor destaca que um sistema ambiental está em desequilíbrio, quando a morfogênese, ou erosão, predomina sobre a pedogênese, caracterizando um meio ecodinâmico instável. Por outro lado, nos meios em que ocorre o domínio da pedogênese sobre a morfogênese, estes se caracterizam pelo equilíbrio dinâmico estável.

Na concepção de Tricart (1977), o desequilíbrio de um sistema ambiental ocorre em função de condições naturais, como mudanças climáticas ou estruturais, ou pela intervenção humana, com a organização do espaço.

A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, pois, a água pluvial exerce sua ação erosiva sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis, dependendo do seu diâmetro, e pelo escoamento da enxurrada, a qual tem sua velocidade e volume variando segundo a declividade, o comprimento do declive do terreno e a capacidade que tem o solo de absorver água; e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água (determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas) e a densidade da cobertura vegetal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Ainda segundo os autores, a chuva é um dos fatores de maior importância para a erosão, sendo que sua intensidade, sua duração e a sua frequência são as propriedades mais importantes para o processo erosivo.

Lal (1988) aponta a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva como sendo dois fatores físicos significantes para a magnitude e/ou intensidade da erosão do solo.

Os prejuízos, sob o ponto de vista da perda de solo, são amplamente discutidos em termos de degradação ambiental. O solo erodido é transportado até os cursos d'água provocando outros impactos como: (1) redução da qualidade da água pela presença de sedimentos e suas associações com agrotóxicos e nutrientes; (2) assoreamento; (3) enchentes e (4) inundações provocadas por alterações no regime fluvial e que afetam a fauna, a flora e as atividades humanas (SILVA et al., 2003).

Muitos estudos foram realizados a fim de relacionar perda de solo com a erosividade a exemplo de Fournier (1956) que concluiu que chuvas com alta intensidade produzem, em geral, escoamentos superficiais suficientes para gerar erosão laminar após superarem a capacidade de infiltração do solo.

As perdas de solo que ocorrem por erosão hídrica são provocadas pelo impacto direto das gotas da chuva e ou pelo escoamento superficial do excesso de água da chuva, conhecida como enxurrada. A erosão hídrica é a consequência da interação da chuva com o solo, dito de outro modo é a resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. Ao potencial da chuva em causar erosão chama-se erosividade (PEÑALVA BAZZANO, 2005).

2.2. EROÇÃO HÍDRICA

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na caracterização da erosão do solo. A forma, tamanho e velocidade das gotas, imprimem uma relação direta com a degradação do solo. Dificilmente as gotas que entram em contato direto com o solo, apresentam um formato esférico e também, não ultrapassam os 7 mm de tamanho, pois durante a queda o atrito com o ar e as mudanças de pressão, as deformam, chegando em algumas situações a fragmentar a gota. Neste contexto é importante destacar, que uma gota ao cair de uma nuvem de altitude bastante elevada, não significa que sua velocidade ao tocar o solo seja potencializada, justamente pelo atrito, que além de modificar seu formato pode vir a dividir as gotas, como dito acima, principalmente aquelas maiores que 5 mm (BERTONI & LOMBARDI NETO,1990).

Como cada evento pluviométrico é distinto, Guerra (1999) aponta que algumas questões devem ser observadas na investigação e quantificação das potencialidades erosivas da chuva, como por exemplo, quantidade, tempo e energia cinética. Assim, ter o total precipitado e o tempo de duração do evento são dados primordiais, a associação destas duas grandezas determina a intensidade, que por sua vez, imprime uma relação direta com a energia cinética, que é o total de energia de uma chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO,1990).

Na visão de Bigarella e Mazuchowki (1985), as chuvas de alta intensidade têm mais sucesso no que se refere à ruptura da estabilidade dos agregados. As chuvas torrenciais possuem forte ligação com a erosão dos solos, pois prepara o material a ser transportado pelo escoamento superficial. Guerra (1995) acrescenta ainda, que a intensidade da chuva tem papel importante nas taxas de infiltração, podendo exceder o limite da capacidade de infiltração do solo. Freire et al (1991) classificam o potencial energético da chuva, como a responsável por 90% das variações de perda de solo em um dado local.

A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente mais tarde sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva (“run off ou enxurrada) são agentes ativos da erosão hídrica, o solo é o agente passivo. As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos, conforme Buckman e Brady (1976), são: a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade ou intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal.

Na ausência de obstáculos, as gotas de chuva golpeiam a superfície do solo com força considerável, podendo se infiltrar abaixo da superfície ou se acumular sobre ela, dependendo do teor de umidade do solo. Quando a superfície do solo está sendo golpeada pelas gotas de chuva, a velocidade de infiltração de água no solo diminui rapidamente com proporção ao tamanho das gotas; terrenos planos possuem um maior decréscimo de infiltração, e vai diminuindo à medida que aumenta o grau de declive do terreno (LOPES, 1980).

Na superfície do solo, a energia cinética de uma gota isolada de chuva é igual ao produto da sua massa pelo quadrado de sua velocidade. A velocidade de uma gota em queda, inicialmente aumenta até uma condição de equilíbrio entre o peso da gota e a resistência imposta pelo ar é estabelecida e, então, a gota adquire uma velocidade constante ou velocidade terminal. Wischmeier e Smith (1958), baseados em dados da distribuição dos tamanhos e velocidades terminais das gotas, fizeram o cálculo da energia cinética para diferentes intensidades de chuva, obtendo a equação de regressão que fornece os valores da energia em função da intensidade da chuva.

2.3. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (EUPS)

A modelação da erosão hídrica tem sido habitualmente avaliada a partir de modelos empíricos, nomeadamente a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier. A EUPS agrupa as variáveis que influenciam a erosão em seis fatores genéricos, que se relacionam da seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A: perda de solo por unidade de área, $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$;

R: fator erosividade da chuva, $MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$;

K: fator erodibilidade do solo, $(t \cdot ha^{-1}) / (MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot h^{-1})$;

L: fator que leva em conta a distância ao longo da qual ocorre o escoamento superficial, adimensional;

S: fator que considera a declividade do terreno, adimensional;

C: fator que leva em conta o uso e manejo do solo, adimensional; e

P: fator que considera as práticas conservacionistas adotadas, adimensional.

Atualmente esta equação continua sendo uma das mais utilizadas no mundo, incluído o Brasil, dependendo da existência ou obtenção de dados locais específicos (BERTONI et al., 1995).

2.3.1. FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

A erosividade expressa a capacidade da chuva em causar erosão num solo sem proteção. Esse fator considera tanto a quantidade precipitada quanto a energia cinética das gotas de chuva que incidem sobre o solo, que é influenciada pela intensidade da chuva e pelo tamanho das gotas.

A erosividade expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente. Este potencial da água da chuva é função de sua energia, que depende tanto do tamanho das gotas como da intensidade da precipitação (AQUINO et al, 2006).

Dentre os métodos existentes para determinar a erosividade da chuva destaca-se o índice EI_{30} de Wischmeier & Smith (1958), baseado na intensidade de uma chuva com 30 minutos de duração.

2.3.2. ÍNDICE DE EROSIVIDADE EI_{30}

Os autores Wischmeier & Smith (1958), pesquisando a relação entre as diferentes características físicas da chuva e as perdas de solo evidenciadas nos Estados Unidos, com o objetivo de estabelecer um índice de erosividade que melhor estimasse a capacidade da chuva em provocar erosão, verificaram que a perda de solo provocada pelas chuvas em áreas cultivadas apresentou elevada correlação com o produto entre duas características das chuvas: energia cinética total e intensidade máxima em 30 minutos. Esse produto foi denominado índice EI_{30} , que foi capaz de explicar de 72 a 97% das perdas de solo causadas pelas chuvas.

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), o produto da energia cinética da chuva, por sua intensidade máxima em 30 minutos, representa os efeitos do impacto das gotas e turbulências combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial.

Lombardi Neto (1977), tomando como base o registro de chuvas de Campinas, SP, correspondente a um período de 22 anos, calculou o índice de erosividade EI_{30} , obtendo um valor médio anual de $6.769 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Este verificou que apenas 74% da precipitação anual média foi incluída no cálculo do índice de erosividade EI_{30} , concluindo que 90,7% do índice de erosividade esteve associado ao período de outubro a março, com a ressalva de que, nesse período, a quantidade anual de chuva correspondente foi de 80,1%.

Pereira (1977), avaliando a erosividade das chuvas em diferentes localidades do Estado de Minas Gerais, concluiu que aquelas com maior duração e, ou, quantidade precipitada não são, necessariamente, as que apresentam maior índice de erosividade potencial. De modo geral, os maiores valores do índice de erosividade EI_{30} ocorreram, principalmente, em dezembro e janeiro; entretanto, houve uma concentração das unidades do índice no período de outubro a março, representando mais de 90% do potencial anual.

Dedecek (1978), utilizando dados correspondentes a oito anos de registro de chuvas em Brasília (DF), calculou o índice de erosividade EI_{30} médio anual e obteve um valor de $8.319 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Constatou também que os meses de maior potencial erosivo corresponderam ao período entre outubro e janeiro.

Cogo et al. (1978) calcularam o índice de erosividade EI_{30} para alguns municípios do Rio Grande do Sul, obtendo valores médios anuais de 6.275, 8.606 e $7.695 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, respectivamente. Eles constataram que as maiores concentrações de percentagem acumulada do índice de erosividade médio anual ocorreram nos meses de dezembro, fevereiro e junho em Guaíba, dezembro e fevereiro em Ijuí e dezembro, fevereiro e março em Passo Fundo.

Biscaia et al. (1981), correlacionando o índice EI_{30} com dados de perdas de solo das regiões de Londrina (Latossolo Roxo distrófico) e Ponta Grossa (Latossolo Vermelho álico), no Estado do Paraná, obtiveram coeficientes de correlação de 0,72 e 0,77, respectivamente.

Foster et al. (1982) correlacionaram 21 características da chuva com as perdas de solo em 10 locais dos Estados Unidos e um local do Brasil. Esses autores obtiveram dados que possibilitaram as seguintes conclusões: a combinação do volume precipitado, volume de escoamento superficial e intensidade da chuva em um único índice estimou melhor as perdas de solo do que o índice EI_{30} . Entretanto, eles ressaltaram que o índice de erosividade EI_{30} é um bom estimador das perdas de solo e que os índices de erosividade que incluíram volume precipitado, intensidade e escoamento superficial, apesar de apresentarem uma melhor correlação, não exibiram uma melhora na predição de perdas de solo que pudesse ser considerada significativa.

Pereira (1983) calculou o valor médio anual para o índice EI_{30} a partir de 20 anos de registros pluviográficos em Piracicaba (SP), obtendo um valor de $5.730 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Utilizando 10 anos de dados pluviográficos, Campos Filho et al. (1984) obtiveram para Glória de Goitá (PE) o índice de erosividade EI_{30} médio anual de

3.484 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Lago (1984), tomando 25 anos de dados pluviográficos de Pelotas (RS), calculou o seu índice de erosividade médio anual, obtendo um valor de 3.924 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Oliveira Júnior e Medina (1990), ao determinarem a erosividade das chuvas de Manaus (AM), obtiveram índice de erosividade médio anual (EI₃₀) de 14.129 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo o período novembro-maio responsável por 79% do EI₃₀ total anual. Salako et al. (1995) chegaram a um valor de índice de erosividade de 18.510 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ para a região Centro-Sul da Nigéria. Os estudos indicaram que chuvas de diferentes magnitudes são capazes de causar erosão nos solos locais devido à sua intensidade e ao grande diâmetro das gotas.

Da mesma forma, Roque et al. (2001), estudando 874 chuvas individuais erosivas de uma série contínua de 23 anos de registros de dados pluviográficos de Piraju (SP), obtiveram um índice de erosividade EI₃₀ médio anual de 7.074 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Os referidos autores observaram uma concentração de 78,5% do total da erosividade anual média durante o semestre de outubro a março, indicando que, nesse período, era esperada a maior parte das perdas por erosão.

Carvalho e Hernani (2001) estudaram as correlações entre os parâmetros de erosividade e as perdas de solo ocorridas de 24/06/1989 a 12 22/10/1994, num Latossolo Roxo da Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual (UEPAE) de Dourados (MS). Parâmetros de erosividade da chuva, do escoamento superficial e da chuva-escoamento superficial foram analisados por meio de regressões linear simples, linear múltipla e não-linear, sendo um dos objetivos definir um parâmetro de erosividade para chuvas individuais, visando aprimorar o uso da EUPS. Esses autores concluíram que o modelo com a altura do escoamento superficial na forma não-linear foi o que melhor correlacionou com a capacidade erosiva das chuvas individuais, superando todos os demais modelos, simples ou compostos, da chuva ou da chuva-escoamento superficial. De acordo com esses autores, surpreendentemente, neste trabalho o parâmetro EI₃₀ apresentou baixa correlação com as perdas de solo.

Trabalhando com parcelas experimentais sem cobertura vegetal em três localidades do Estado do Rio Grande do Sul, Morais et al. (1988), correlacionaram os dados de perdas de solo com algumas características físicas das chuvas. Verificaram que a energia cinética foi o parâmetro que obteve o melhor resultado correlacionado com as perdas de solo em todos os locais, seguida da quantidade de chuva e de parâmetros que consideraram combinações como energia-quantidade e energia-intensidade média. A

duração e a intensidade média apresentaram sempre a menor associação com o potencial erosivo.

Albuquerque et al. (1994), visando estabelecer um índice que melhor expressasse a capacidade potencial das chuvas de Caruaru (PE) em causar erosão, estudaram correlações lineares simples entre 19 características das chuvas e as perdas de solo provocadas por chuvas erosivas num Regossolo Eutrófico. Entre as características estudadas, o produto da precipitação total pela intensidade máxima em 60 minutos (PI_{60}) foi a que melhor se correlacionou com as perdas de solo; entretanto, como salientaram esses autores, foi constatado que não houve diferença estatística significativa entre as características PI_{60} e EI_{30} , tendo sido concluído que o índice de erosividade EI_{30} , comumente utilizado no Brasil, pode ser indicado para estimar as perdas de solo de Caruaru.

Os índices de erosividade da chuva, as perdas de solo e o fator erodibilidade do solo foram estudados por Marques et al. (1997) em dois solos de Cerrado brasileiro. Os objetivos deste trabalho foram testar a adequação de diferentes índices de erosividade das chuvas, comparar duas equações propostas para cálculo da energia cinética das chuvas (FOSTER et al., 1981; WAGNER & MASSAMBANI, 1988) e estimar o fator K (erodibilidade) da Equação Universal de Perdas de Solo para um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) álico muito argiloso e um Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) álico muito argiloso da região de Sete Lagoas (MG). Os referidos autores constataram que não houve diferença significativa entre as duas equações testadas para o cálculo da energia cinética das chuvas e que o índice EI_{30} se mostrou um bom estimador da erosividade da chuva, podendo continuar sendo utilizado como o fator de erosividade da chuva da USLE para a região estudada.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I. B.; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.18, p.279-83, 1994.

AQUINO, C.M.S.; Oliveira, J.G.B.; Sales, M.C.L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica.**, v.37, n.3, p.287-291, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4.ed São Paulo: Ícone, 1990. 335p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. Equação de perdas de solo. **Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo**. Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. Instituto Agrônômico. Boletim técnico N°21.1995.25p.

BIGARELLA, J. J; MAZZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. **Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão**. Maringá, 1985. p. 01-19; 93-121.

BISCAIA, R. C. M.; RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C. Cálculo da erodibilidade de dois solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.5, p.183-6, 1981.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 595p.

CARVALHO, M. P.; HERNANI, L. C. Parâmetros de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 137-46, 2001.

CAMPOS FILHO, O. R.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P.; LEPRUN, J. C. Avaliação da erosividade e erodibilidade do agreste pernambucano. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO**, 5., 1984, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SBCS, 1984. p54.

COGO, N. P.; DREWS, C. R.; GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, no Estado do Rio Grande do Sul. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO**, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo, RS: CNTRIGO; EMBRAPA; SNLCS, 1978. p.145-52

DEDECEK, R.A. Capacidade erosiva das chuvas de Brasília-DF. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO**, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** [S.l.]: Embrapa-SNLCS, 1978. p.157- 161.

DOLLFUS, O. **O espaço geográfico**. São Paulo: DIFEL, 1973.

EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; DANTAS, A.A.A.; BERNARDINO, D. T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2006.

FREIRE, O.; TOMMASELLI; J. T. G.; MIZUZAKI, M. Y; BARRIOS, N. A. Z; SUDO, H.; PEREIRA, V. P. Erosividade da chuva na região de Presidente Prudente-SP. **Anais**: 3º Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente. Londrina-PR, 1991. p. 407-414.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Baltimore, v. 36, p. 355-9, 1981.

FOSTER, G. R.; LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.25, p.124-9, 1982.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion: estimates of solids transported in suspension in runoff. **Assoc. Int. Hydrol. Publ.** 38:6. 1956.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, S. A. da; BOTELHO, M. G. R. (org). **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 1999. p.17-55

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149-209.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E. e PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. p. 47-60.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. 2. ed. Ithaca, Cornell University Press, 1981. 320 p.

LAGO, J. C. Erosividade das chuvas de Pelotas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 5., 1984, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, SBCS, 1984. p. 72.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: **Soil and Water Conservation Society**, 1988. p. 141-160.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53 p. (**M.Sc. Thesis**).

LOPES, V. L. Um estudo da erosão e produção de sedimentos pelas chuvas. **Universidade Federal da Paraíba**, 1980.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação do uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

MANNAERTS, C.M.; GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. **Soil and Tillage Research**, v.55, p.207-212, 2000.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 427-34, 1997.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, 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 Ciência do Solo**, 27:395-403, 2003.

MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n.12, p.285-8, 1988.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.235-9, maio/ago. 1990.

PEÑALVA BAZZANO, M. G. Coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí e Rio Grande, RS. Santa Maria: UFSM, 2005. 64p. **Dissertação Mestrado**.

PEREIRA, W. Avaliação da erosividade das chuvas em diferentes locais do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitaria, 1977. 73 f. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v.157, p.287-306, 1994.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.147-56, 2001.

SALAKO, F. K.; GHUMAN, B. S.; LAL, R. Rainfall erosivity in south-central Nigeria. **Soil Technology**, v.7, p.279-90, 1995.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília, MMA/SRH/ABEAS, 1997. 252p.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUAX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.131- 137, 1997.

SILVA, J. R. C. e DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II – Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 27, pp. 347-354.2003.

SILVA, A.M. da Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.

SILVA, A.M. da; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M. de; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1223-1230, 2005.

SILVA, E. S. Variabilidade da precipitação pluviométrica nas regiões sudeste e sul do Brasil. 2006. 187f. **Tese (Doutorado em Agronomia)** – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977.

VILELA FILHO, L. R. Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP). 2002. 153 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia)** – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

WAGNER, C. S.; MASSAMBINI, O. Análise da relação intensidade de chuva: energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.12, p.197-203, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, v.39, p.285- 91, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

CAPITULO 1

EROSIVIDADE E PADRÃO DE CHUVAS EM TERESINA NO PIAUÍ.

Adailton Barbosa dos Santos Junior¹, Adeodato Ari Cavalcante Salviano¹, Milcíades Gadelha de Lima¹.

RESUMO

A capacidade potencial das chuvas em causar erosão do solo é denominada de erosividade das chuvas. O processo de erosão hídrica utiliza a energia proveniente da água das chuvas e do escoamento superficial, especialmente a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Perdas de solo por erosão hídrica podem ser determinadas pela aplicação de modelos de predição de perdas. Objetivou-se com este trabalho determinar a erosividade das chuvas e a relação com a precipitação e o coeficiente de chuva, os padrões hidrológicos e o período de retorno das chuvas. Utilizaram-se dados pluviográficos diários do período 2005-2009. Para cada chuva erosiva, foram separados os segmentos do pluviograma com a mesma intensidade e registrados os dados em planilha. Com o programa Chuveros, foram calculadas as erosividades mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI_{30} , no Sistema Internacional de Unidades, e os padrões hidrológicos de chuva, bem como o coeficiente de chuva. O EI médio anual para a região de Teresina-PI, foi de $9.655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, variando de $6.717,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a $11.803,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os meses de dezembro a maio determinam o período crítico, concentrando 95,7% da precipitação e 95,4% da erosividade total estimada. Para este EI médio anual é esperado um período de retorno de 2 anos com uma probabilidade de 50,0%.

Termos de indexação: Erosão do solo, EI_{30} , Precipitação.

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Petrônio Portela, Bairro Ininga, 64049-550, Teresina, Piauí - Brasil. E-mail: adailtonbarbosa@hotmail.com;

SUMMARY: EROSIVITY AND STANDARD OF RAIN IN TERESINA PIAUÍ.

The potential ability of rain to cause erosion of soil is called the rainfall erosivity. The erosion process uses energy from rainwater and runoff, especially the kinetic energy of the impact of raindrops on the soil surface. Soil losses by water erosion can be determined by applying models to predict losses. The objective of this work to determine the rainfall erosivity and the relationship with precipitation and rainfall coefficient, the hydrological pattern and the return period rainfall. We used daily rain gauge data for the period 2005-2009. For each erosive rain were separated segments of rainfall chart with the same intensity and recorded the data in a spreadsheet. With the program Chuveros, erosivity were calculated monthly and annual average rainfall for the index EI_{30} , in the International System of Units, and hydrological patterns of rainfall and the rainfall coefficient. EI annual average for the city Teresina, Piauí, was $9655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ranging from $6717.8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ to $11803.6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. The months from December to May determine the critical period, concentrating 95.7% of the rainfall erosivity and 95.43% of the estimated total. For this EI is expected average annual return period of 2 years with a probability of 50.0%.

Keywords: Soil erosion, EI_{30} , rainfall.

INTRODUÇÃO

A busca cada vez mais intensa por novas áreas para produção de alimentos decorrentes das pressões demográficas e a erosão excessiva tem conduzido índices preocupantes de redução dos solos mais produtivos podendo atingir em torno de 7% por década (Paiva, 2001). Com o solo exposto ou mal manejado a chuva se torna um fator importante para formação do processo erosivo, sendo esta abrangente em quase toda superfície terrestre, em especial nas áreas cujo clima é tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados.

No processo erosivo, um fator muito atuante e considerado de grande importância é o fator R , denominado erosividade da chuva, que compõe a equação universal de perdas de solo e é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão hídrica em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). Ele pode ser expresso por meio de índices que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região (Cabral et al., 2005), sendo o EI_{30} o mais utilizado em condições brasileiras.

A erosão do solo pela água (A) é um processo complexo que depende, de acordo com a Equação Universal da Perda de Solo – EUPS (Renard et al., 1997, de um conjunto de fatores básicos, tais como: 1) Erosividade das Chuvas (R), resultante de quantidade, intensidade e duração da chuva; 2) Erodibilidade do Solo (K), que é função de características do solo; 3) Características da Vertente (LS), representada por seu comprimento (L) e declividade (S); 4) Tipo de uso da terra pelo homem (P); e 5) Presença e natureza da cobertura vegetal (C) (Vieira et al., 1996; Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

Albuquerque et al. (2002) verificaram que, à medida em que o manejo do solo, nas diversas atividades humanas, elimina a cobertura vegetal, sua superfície fica exposta à ação do impacto das gotas de chuva e da enxurrada. Desta forma, tanto o impacto das gotas de chuva quanto a enxurrada contribuem para modificar as condições físicas da superfície do solo, alterando a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração. Portanto, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las são de fundamental importância para um planejamento conservacionista adequado e econômico (Evangelista et al., 2006).

Morais et al. (1988), Lago (2000), Cassol et al. (2004) e Roncato et al. (2004) determinaram o índice EI_{30} de várias localidades do Rio Grande do Sul a partir de dados pluviográficos. A determinação desse índice é um processo trabalhoso, que implica ter pluviogramas de vários anos para determinar a energia cinética e intensidade máxima das chuvas (Bazzano et al., 2007).

Em muitas ocasiões não se contam com registros de pluviógrafo e sim com dados de pluviômetro. A fim de facilitar a determinação do índice de erosividade, Oliveira Júnior & Medina (1990), Moraes et al. (1991), Silva & Dias (2003), entre outros, relacionaram o índice EI_{30} com a precipitação média anual (P) e o coeficiente da chuva expresso como R_c (igual ao quadrado da precipitação média mensal, p^2 , dividido pela precipitação média anual, P), proposto por Fournier (1956) e modificado por Lombardi Neto (1977). Em várias localidades, as correlações entre esses parâmetros não foram significativas (Albuquerque, 1992; Bertol, 1993, 1994).

A análise de distribuição de frequência permite estimar o período de retorno de um evento máximo anual de chuva, que pode ser definido como o período, em anos, em que o referido evento pode ser igualado ou excedido, pelo menos uma vez, em média (Eltz et al., 1992). Além disso, os padrões hidrológicos de chuva, classificados em padrão avançado, intermediário e atrasado, quando a localização dos picos de maior intensidade está no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente (Horner & Jens, 1941), podem mudar de uma região para outra, causando diferentes perdas de solo (Mehl et al., 2001), e ter diferentes períodos de retorno (Mehl et al., 2001; Moreti et al., 2003 citado por Bazzano et al. 2007).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a erosividade das chuvas e a relação com a precipitação e o coeficiente de chuva, os padrões hidrológicos e o período de retorno das chuvas para Teresina - Piauí.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) constituindo-se de séries históricas pluviográficas de 5 anos. A erosividade mensal foi calculada, na forma do índice EI_{30} , para o período de 2005 a 2009, abrangendo o ano todo.

A energia cinética de cada segmento uniforme de uma chuva erosiva individual determina-se por: $ECs = EC.h$,

Onde: ECs é a energia cinética no segmento de chuva, em $MJ.ha^{-1}$, EC é a fórmula de energia cinética, h é a quantidade de chuva no segmento uniforme, em mm.

A fórmula de cálculo da energia cinética é a seguinte: $EC = 0,119 + 0,0873 \log I$

Onde: EC é a energia cinética por mm de chuva, em $MJ.ha^{-1}.mm^{-1}$, I é a intensidade da chuva no segmento uniforme (intensidade constante), em $mm h^{-1}$,

A energia cinética total da chuva erosiva individual calcula-se pela expressão: $ECt = ECs$

Onde: ECt é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em $MJ.ha^{-1}$, ECs é o somatório da energia cinética de cada segmento da chuva, em $MJ.ha^{-1}$.

O índice de erosividade de cada chuva calcula-se por: $EI_{30} = ECt.I_{30}$

Onde: EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$, ECt é a energia cinética total da chuva, em $MJ.ha^{-1}$, I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos, em $mm.h^{-1}$, ou seja, a quantidade de chuva no período de 30 minutos multiplicada por 2 (Bazzano et al., 2007), determinada a partir dos dados levantados do pluviograma.

Os valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} foram a média dos meses para o município estudado. O valor médio anual do índice de erosividade EI_{30} é a média dos anos dos períodos estudados em Teresina.

Os valores médios mensais da precipitação e do índice de erosividade foram expressos como percentagens do valor médio anual da precipitação e do índice de erosividade respectivamente, para obter a curva de distribuição acumulada da precipitação e do índice de erosividade em função do tempo, conforme Wischmeier & Smith (1958).

Foram utilizadas equações que associam este índice e o índice de Fournier (Rc), e que, segundo Renard & Freimund (1994), pode ser assim representado: $Rc = p^2.P^{-1}$; em que Rc é o

coeficiente de chuva (mm); p é a precipitação média mensal (mm); e P é a precipitação média anual (mm).

Cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de no mínimo 6 h, com precipitação pluvial inferior a 1 mm, e foi considerada erosiva quando o total desta foi superior a 10 mm ou quando igual ou superior a 6 mm em 15 min de chuva, segundo Cabeda (1976).

A erosividade foi determinada para todas as chuvas individuais erosivas selecionadas, sendo obtidas do pluviograma a duração e a precipitação pluvial de cada segmento uniforme. O intervalo de tempo foi de 5 min e a unidade foi de 0,1 mm. Os dados foram registrados em planilhas e, posteriormente, digitados para análise em computador, utilizando o programa CHUVEROS, elaborado por Elemar Antonino Cassol da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Este programa calcula a erosividade da chuva pelo índice EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978) no Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981).

As chuvas foram separadas pelo programa por padrões hídricos de acordo com a classificação proposta por Horner & Jens (1941): chuva de padrão avançado, quando o pico de maior intensidade ocorre em um período de tempo menor que 33 % a partir do momento inicial da chuva em relação ao tempo de sua duração total; chuva de padrão intermediário quando o pico de maior intensidade ocorre em um período de 33 a 66 % do tempo total a partir do início da chuva; e chuva de padrão atrasado quando o pico de maior intensidade ocorre passados mais de 66 % do tempo total de duração da chuva.

Foram determinados o período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade anual conforme Schwab et al. (1981), usando as expressões:

$$T = (N + 1)/m \quad (1)$$

$$Pr = 100/T \quad (2)$$

em que T é o período de retorno, em anos, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N é o número de anos de registro de dados; m é o número de ordem do índice de erosividade da série considerada, quando a erosividade observada é colocada em ordem decrescente de magnitude; e Pr é a probabilidade de ocorrência do índice de erosividade, em %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2005 a 2009, a precipitação pluvial média anual, em Teresina - Piauí, foi de 1.559,0 mm (Tabela 1), diferente do encontrado por Silva et al (2010), onde este encontrou médias de chuvas variando de 1.037,6 mm no município de Caratinga - MG a 1.411,0 no município de Santo Antonio do Itambé – MG. Desse total, a quantidade média anual das chuvas erosivas em Teresina foi de 1.157,5 mm.ano⁻¹ (Tabela 2) e das chuvas não erosivas foi de 401,6 mm.ano⁻¹.

O ano de 2009 foi o de maior pluviosidade, com o total de chuvas de 2.028,0 mm, enquanto que o ano de menor pluviosidade foi 2005 com 1.251,5 mm de chuva. Em relação às médias mensais de pluviosidade, os meses de fevereiro, março e abril apresentaram a maior pluviosidade média, respectivamente com 291,4; 300,3; 367,0 mm de chuva. Estes resultados são semelhantes ao encontrado por Dias & Silva (2003) em Fortaleza-CE, onde estes apresentaram para os meses de fevereiro, março e abril respectivamente valores de médias de 203, 332, 343 mm. Por outro lado, observa-se também que os meses de junho a novembro foram os de menor pluviosidade média mensal. Alto coeficiente de variação também foi encontrado nos meses informados. Esta variação de pluviosidade média mensal entre 2,1 e 367,0 mm, caracteriza a distribuição da pluviometria ao longo do ano como irregular.

Tabela 1. Precipitação média mensal da região de Teresina - Piauí em mm.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	284,5	236,0	300,4	161,9	112,6	0,2	4,9	2,1	1,4	5,2	8,0	134,3	1.251,5
2006	107,1	272,8	203,3	384,6	253,3	11,1	7,9	2,3	2,4	43,4	44,2	46,5	1.378,9
2007	68,8	530,2	345,7	235,4	62,4	0,9	2,2	1,6	0,0	33,2	31,0	101,6	1.413,0
2008	295,2	220,5	297,2	506,8	166,4	6,5	0,0	1,6	14,4	8,5	14,6	192,0	1.723,7
2009	210,6	197,6	355,1	546,5	401,4	20,7	46,9	2,8	0,0	13,0	6,7	226,7	2.028,0
Média	193,2	291,4	300,3	367,0	199,2	7,9	12,4	2,1	3,6	20,7	20,9	140,2	1.559,0
DP	102,4	136,3	60,2	166,9	133,3	8,4	19,5	0,5	6,1	16,7	16,2	71,5	
CV (%)	53,0	46,8	20,0	45,5	66,9	107,0	157,7	24,4	167,6	81,0	77,6	51,0	

D.P.: desvio-padrão. CV: coeficiente de variação.

A média anual de chuvas erosivas para a localidade de Teresina-PI é de 1.157,5 mm, correspondente a 74,24% do total da média de chuvas anuais. O maior volume de chuvas erosivas concentra-se no mês de abril (Tabela 2).

Tabela 2. Chuvas Erosivas mensais da região de Teresina – Piauí em mm.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	2.961,6	1.200,8	1.485,1	573,4	329,2							1.104,1	7654,2
2006	445,0	977,3	1.514,0	2.674,7	922,4		18,5				165,9		6717,8
2007	370,3	3.956,9	2.884,7	658,2	260,3					128,1	239,5	415,0	8913,0
2008	601,7	1.151,3	1.912,3	4.738,1	713,4							1.460,6	10577,3
2009	2.163,1	950,4	2.050,7	3.392,2	1.593,4	40,6	120,4					1.492,5	11803,3
Média	1.308,3	1.647,3	1.969,4	2.407,3	763,7	40,6	69,5			128,1	202,7	1.118,1	9.655,0
DP	1.182,0	1.295,6	567,8	1.795,6	538,1		72,1				52,0	500,7	
CV (%)	90,3	78,6	28,8	74,6	70,5	-	103,7	-	-	-	25,7	44,8	

D.P.: desvio-padrão. CV: coeficiente de variação.

A Figura 1 apresenta a curva formada pela distribuição da precipitação média mensal da precipitação de Teresina-PI, para série histórica de 5 anos (2005 a 2009), onde se observa uma irregularidade da distribuição pluviométrica ao longo do ano.

O período chuvoso se estende de dezembro a maio, quando ocorrem 95,7% da precipitação pluviométrica anual, e a época de grande escassez de chuvas vai de junho a novembro, diferente do encontrado por Silva et al. (2009), em Lavras-MG, onde a precipitação pluvial ocorrida entre os meses de novembro e março correspondeu a 82,75 % do total anual, e a erosividade para o mesmo período correspondeu a 90,36 % do total.

A erosividade média anual das chuvas de Teresina-PI, avaliada pelo índice EI_{30} ficou em 9.655,0 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 3). A erosividade do período em estudo variou de 6.717,8 a 11.803,3 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹. A grande variação dos valores anuais da erosividade é coerente com observações de Wischmeier (1976) que detectou, em determinados anos, valores iguais a menos da metade ou até mais do dobro do EI_{30} médio anual. Essa variação, segundo esse autor, está relacionada com a grande variabilidade temporal das chuvas.

Alguns pesquisadores da região Nordeste encontraram valores inferiores, tais como Dias & Silva (2003), em Fortaleza, CE, com 6.774 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹; Margolis et al (1985), em Caruaru, PE com 2.060 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹; Lopes & Brito (1993), na região do Médio São Francisco no pólo

Petrolina, PE – Juazeiro, BA com $3.772 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ Chaves et al (1997), em Patos-PB com $5.200 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e Albuquerque et al. (2001), em Sumé-PB com $4.298 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

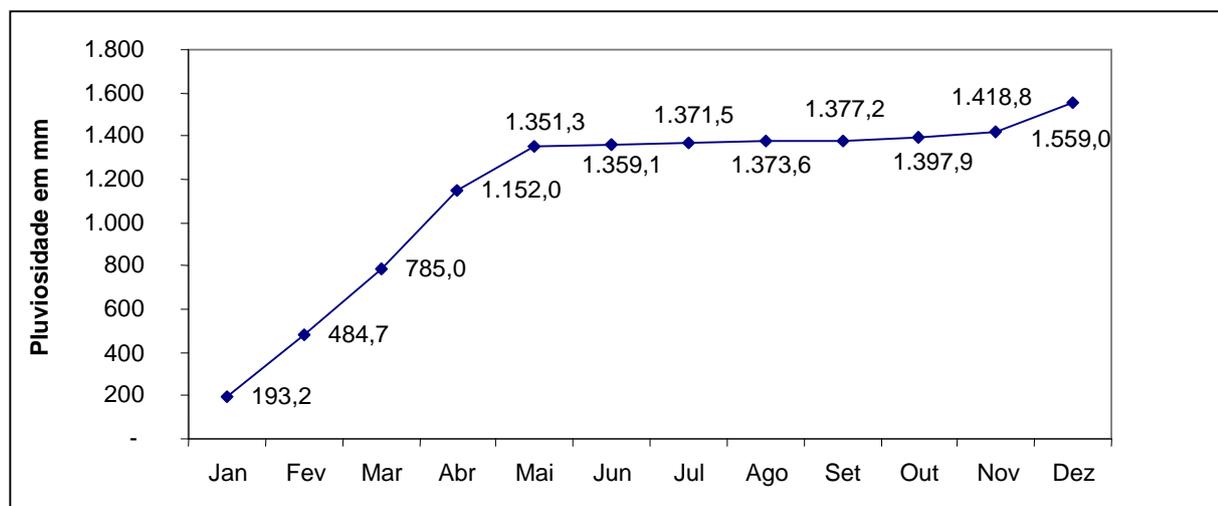


Figura 1 – Média da precipitação mensal acumulada (mm) Teresina – Piauí nos anos 2005-2009

As médias mensais da erosividade, avaliada pelo índice EI_{30} , foram bastante variáveis, com o valor mínimo de $40,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no mês de junho e o valor máximo de $2.407,3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no mês de abril (Tabela 3). A tendência é que os maiores valores do índice EI_{30} se concentrem entre os meses de dezembro a maio e os menores valores nos meses de junho a novembro. Observa-se que os meses de fevereiro a abril concentram cerca de 66 % de toda erosividade prevista para o ano.

Tabela 3. Índice de erosividade EI_{30} da região de Teresina - Piauí.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	2.961,6	1.200,8	1.485,1	573,4	329,2							1.104,1	7654,2
2006	445,0	977,3	1.514,0	2.674,7	922,4		18,5				165,9		6717,8
2007	370,3	3.956,9	2.884,7	658,2	260,3					128,1	239,5	415,0	8913,0
2008	601,7	1.151,3	1.912,3	4.738,1	713,4							1.460,6	10577,3
2009	2.163,1	950,4	2.050,7	3.392,2	1.593,4	40,6	120,4					1.492,5	11803,3
Média	1.308,3	1.647,3	1.969,4	2.407,3	763,7	40,6	69,5			128,1	202,7	1.118,1	9.655,0
DP	1.182,0	1.295,6	567,8	1.795,6	538,1		72,1				52,0	500,7	
CV (%)	90,3	78,6	28,8	74,6	70,5	-	103,7	-	-	-	25,7	44,8	

D.P.: desvio-padrão. CV: coeficiente de variação.

O erro-padrão da erosividade foi elevado, indicando alta variação da erosividade entre os anos estudados, semelhante ao encontrado por Silva et al. (2009) em Lavras-MG.

Os valores da erosividade, de modo geral, aumentam com a precipitação, fato que está de acordo com as observações de Campos Filho et al. (1992) e Bertol (1993 e 1994).

A curva formada pela distribuição relativa do índice de erosividade acumulada mensalmente, indica a época do ano com maior potencial das chuvas causarem erosão. Esta época corresponde aos meses de abril a maio, período de maior inclinação da curva (Figura 2). O alto potencial erosivo das chuvas nessa época do ano, aliado ao fato do solo encontrar-se sem cobertura e desagregado pode contribuir significativamente para grandes perdas de solo e água. Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de práticas conservacionistas que permitam reduzir o risco de erosão.

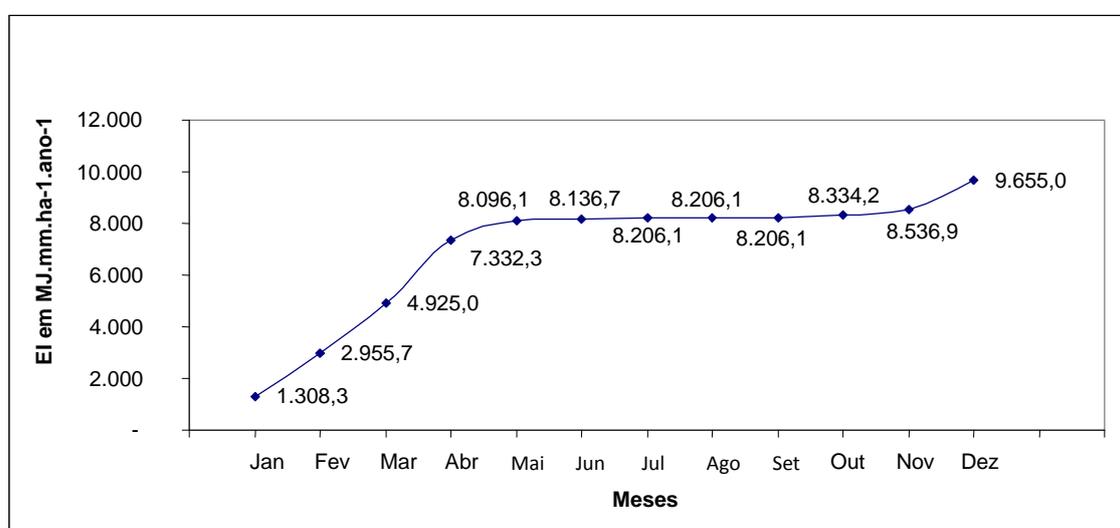


Figura 2. Índice de erosividade Mensal e Acumulado em Teresina - Piauí

O período de retorno da erosividade do período estudado pode ser observado na Tabela 4.

A probabilidade de ocorrência da menor média de erosividade é de 83,3%, com período de retorno médio de 1,2 anos. Em relação a maior média, a probabilidade de ocorrência diminui para 16,7 %, com período estimado de retorno de 6 anos. Períodos de retorno semelhantes foram encontrados por Dias & Silva (2003) em Fortaleza-CE.

Tabela 4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em Teresina - Piauí

Ano	Médias EI ₃₀	Período de Retorno (anos)	Probabilidade de Ocorrência (%)
2005	7.654,2	1,5	66,7
2006	6.717,8	1,2	83,3
2007	8.913,0	2,0	50,0
2008	10.577,3	3,0	33,3
2009	11.803,3	6,0	16,7

A Tabela 5 mostra a precipitação, o índice de erosividade e o coeficiente de chuva médio mensal e anual. Observa-se que os maiores valores de precipitação e coeficiente de chuva ocorreram entre fevereiro e abril, e os menores, entre junho a novembro. Como o coeficiente de chuva leva em consideração a precipitação mensal e anual, o comportamento deste é semelhante ao observado com a precipitação.

Tabela 5. Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial (p), índice de erosividade EI_{30} e coeficiente de chuva (Rc) de Teresina-Piauí, no período de 2005 a 2009.

Mês	P (mm)	EI_{30} (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .mês ⁻¹)	Rc (mm)
Jan	193,2	1.308,3	24,0
Fev	291,4	1.647,3	54,5
Mar	300,3	1.969,4	57,9
Abr	367,0	2.407,3	86,4
Mai	199,2	763,7	25,5
Jun	7,9	40,6	0,0
Jul	12,4	69,5	0,1
Ago	2,1	0,0	0,0
Set	3,6	0,0	0,0
Out	20,7	128,1	0,3
Nov	20,9	202,7	0,3
Dez	140,2	1.118,1	12,6
Total Anual	1.559,0	9.655,0	261,5

Dados semelhantes sobre a pluviosidade foram relatados por Dias & Silva (2003), onde estes informam que os riscos de erosão aumentam particularmente nos meses de fevereiro a maio, visto que, somente nesses quatro meses, as chuvas erosivas (695 mm) correspondem a 72,5 % do total médio anual, sendo responsáveis por um valor do índice de erosividade EI_{30} igual a 4.709 mm.(ha h ano)⁻¹, ou seja, 70 % do total médio anual.

A Figura 3 que representa a distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva, apresenta curvas desses três índices com a mesma inclinação, indicando comportamentos semelhantes na variação e sua interdependência. Resultados semelhantes foram encontrados em Quaraí-RS por Bazzano et al (2007).

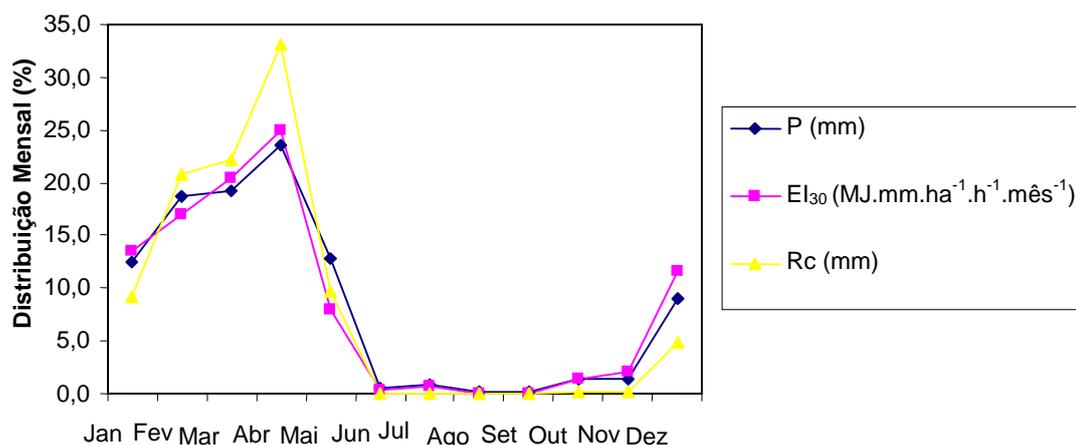


Figura 3. Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Teresina-Piauí, no período 2005-2009.

As análises de correlação de Pearson mostraram alta correlação do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação média mensal ($R^2 = 0,9567$; significativo a 0,01 %) e com o coeficiente de chuva ($R^2 = 0,9106$; significativo a 0,01 %) (Tabela 6). Correlações significativas entre o índice EI_{30} e o coeficiente de chuva Rc foram observadas também em outras localidades, como em Fortaleza-CE (Silva & Días, 2003), Campinas-SP (Lombardi Neto, 1977), e Piraju-SP (Roque et al., 2001). Correlações não-significativas foram encontradas para a localidade de Campos Novos-SC (Bertol, 1994).

Tabela 6. Equações de regressão linear entre o índice EI_{30} vs. precipitação e o índice EI_{30} vs. coeficiente de chuva (Rc) para Teresina-Piauí, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Equação	R^2
$EI_{30} = 6,1952p^{(1)} - 0,2836$	0,9567**
$EI_{30} = 28,133Rc^{(2)} + 191,58$	0,9106**

p: precipitação média mensal (mm); Rc: coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, em que p = precipitação média mensal (mm) e P: precipitação média anual (mm). R^2 : coeficiente de determinação; **: Significativo a 0,01 %.

As regressões lineares obtidas foram altamente significativas, sendo as equações $EI_{30} = 6,1952p - 0,2836$; $R^2 = 0,9567$ (significativo a 0,01 %), em que p = precipitação média mensal (mm), e $EI_{30} = 28,133Rc + 191,58$; $R^2 = 0,9106$ (significativo a 0,01 %), em que Rc = coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, sendo p = precipitação média mensal (mm) e P = precipitação média anual (mm) (Tabela 6). Assim, é possível utilizar as equações para determinar o índice EI_{30} por meio do uso de dados pluviométricos mensais e anuais.

Essa é uma possibilidade de se utilizarem os dados pluviométricos e as expressões ajustadas na Tabela 6 para estimar a erosividade das chuvas em locais da mesma região agroclimática, no entorno de Teresina - Piauí.

Aproximadamente metade das chuvas erosivas (50 %) foi classificada dentro do padrão avançado. O restante das chuvas esteve, por partes iguais, classificado no padrão intermediário (25 %) e no padrão atrasado (25 %). A distribuição das chuvas concentrada no padrão avançado permite esperar menores perdas de solo devido ao fato de que no momento do pico da chuva este estaria menos úmido que no caso dos outros padrões; dessa forma, a desagregação, o selamento e o transporte de solo seriam menores (Mehl et al., 2001).

Eltz et al. (2001), trabalhando com simulador de chuva em um Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram maior perda de solo em chuvas de padrão atrasado em relação às perdas de solo das chuvas de padrão intermediário e avançado, entre as quais não houve diferenças significativas, o que foi explicado pelas condições de alteração da superfície e pela umidade do solo no decorrer da chuva. No padrão atrasado, quando ocorre o pico de máxima intensidade, o solo está com maior umidade (em relação aos outros padrões), favorecendo a desagregação, o selamento superficial e o transporte de suas partículas, ocorrendo assim maior perda de solo. (BAZZANO et al. 2007).

CONCLUSÕES

1. Durante o período de 5 anos (2005 a 2009), o EI médio anual para a região de Teresina, Piauí, foi de $9.655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, indicando um elevado potencial erosivo das chuvas.
2. O índice de erosividade variou de $6.717,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a $11.803,6 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, considerados alto e muito alto, respectivamente. Para o fator R médio de $9.655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ a erosividade foi considerada alta.

3. Os meses de dezembro a maio determinam o período crítico, concentrando 95,7% da precipitação e 95,43% da erosividade total estimada.
4. É esperado que, com uma probabilidade de 50,0%, a erosividade de $9.655 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, se repita a cada 2 anos.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, A.W. Determinação da erosividade de Caruaru-PE: 1. Correlação com perdas de solo, 2. Distribuição de probabilidade de ocorrência. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992. 100p. (Tese de Mestrado).

ALBUQUERQUE, A. W LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. . Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.6, n.1, p.136-141,2002.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1205-1217, 2007.

BERTOL, I. & MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 28:1205-1213, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29:1453-1458, 1994.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1993, 355p.

CABRAL, J.B.P.; BECEGATO, V.A.; SCOPEL, I. & LOPES, R.M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. GeoFocus, 5:1-18, 2005.

CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. Não Publicado.

CAMPOS FILHO, O.R.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. & LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 27:1363-1370, 1992.

CASSOL, E.A.; MARTINS, D.; ELTZ, F.L.F. & FALLEIRO, R.M. Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI₃₀, no período de 1963 a 1999. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água; Manejo: integrando a ciência do solo na produção de alimentos, 15., Santa Maria, 2004. Resumos expandidos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004b. CD-ROM

CHAVES, I.B.; LEITE JÚNIOR, G.P. & MAIA NETO, F.F. Análise da pluviometria e da erosividade das chuvas de Patos (PB). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

DIAS, A.S. & SILVA, J.C.R. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – 1ª Aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:335-345, 2003.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 16:265-269, 1992.

ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U. & REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho- Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:485-493, 2001.

EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; DANTAS, A.A.A.; BERNARDINO, D. T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. Irriga, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2006.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion: Estimates of solids transported in suspension in runoff. [S.L.] Association Hydrologic. Int. Public., 1956. v.38. 6p.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. *J. Soil Water Conserv.*, 36:355-359, 1981.

HORNER, W.W. & JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Trans.ASAE*, 107:1039-1117, 1941.

LAGO, J.C. Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2000. 123p. (Tese de Doutorado).

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado).

LOPES, P.C.R. & BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17:129-133, 1993.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização dos padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.475-483, 2001.

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:165-169, 1985.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 12:281-284, 1988.

MORETI, D.; CARVALHO, M.P.; MANNIGEL, A.R. & MEDEIROS, L.R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:713-725, 2003.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. & MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:235-239, 1990.

PAIVA, E. M. C. D.; Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. In: Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre RS: ABRH, 2001. p. 365-394.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, v.157, p.287-306, 1994.

RENARD, K. G.; MEYER, L. D.; FORSTER, G. R. Introduction and history. In: RENARD, K. G.; FORSTER, G. R.; WEESIES, G. A; McCOOL, D. K.; YODER, D.C. (Coord.) – Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), Washington: USDA/ARS, 1997. (Agriculture Handbook n. 703), 1997. p.2 –18.

RONCATO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; GRAMINHO, D.H.; STEFANELO, C.; FIGUEIREDO, J.V. & PEDROSO, R.F. Erosividade mensal das chuvas de Santa Maria de abril 1996 a março de 2004. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água; Manejo: integrando a ciência do solo na produção de alimentos, 15., Santa Maria, 2004. Resumos expandidos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD-ROM.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. & PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:147-156, 2001.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1981. 525p.

SILVA, J.R.C. & DIAS, A.S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:347-354, 2003.

SILVA, A.M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.

VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; CHAVES, R. S. Levantamento e conservação do solo. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1996.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C. & FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1811-1820, 2009.

SILVA, M. A; (2), SILVA, M. L. N.; CURI, N.; et al. Avaliação e Espacialização da Erosividade da Chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1029-1039, 2010.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39:285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.31, p.5-9, 1976.

CAPITULO II

**EROSIVIDADE E PADRÕES HIDROLÓGICOS DAS CHUVAS DE PARNAÍBA NO
PIAUÍ.**

Adailton Barbosa dos Santos Junior², Adeodato Ari Cavalcante Salviano², Milcíades Gadelha de Lima².

RESUMO

A erosividade da chuva (R) é uma variável da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) que expressa a potencialidade das chuvas em causar erosão, produzida pelo impacto das gotas ao caírem sobre superfícies desprotegidas. O processo de erosão hídrica utiliza a energia proveniente da água das chuvas e do escoamento superficial, especialmente a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Objetivou com esse trabalho determinar a erosividade da chuva e os padrões hidrológicos. Em pluviogramas diários da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia do período 2005-2009, foram separadas as chuvas individuais e, destas, as erosivas. Para cada chuva erosiva, foram separados os segmentos do pluviograma com a mesma intensidade e registrados os dados em planilha. Com o programa Chuveros, foram calculadas as erosividades mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI₃₀, no Sistema Internacional de Unidades, e os padrões hidrológicos de chuva. O EI médio anual para a cidade de Parnaíba-Piauí, foi de 9.964,3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, variando de 6.926,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ a 11.279,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Os meses de janeiro a maio determinam o período crítico, concentrando 87,6% da precipitação e 88,8% da erosividade total estimada. Para o EI médio anual espera-se uma probabilidade de retorno de 50% a cada 2 anos.

Palavras-chave: índice EI₃₀, Erosão hídrica, Energia Cinética.

² Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Petrônio Portela, Bairro Ininga, 64049-550, Teresina, Piauí - Brasil. E-mail: adailtonbarbosa@hotmail.com;

SUMMARY: EROSIVITY HYDROLOGICAL AND STANDARDS OF RAIN IN THE PARNAÍBA PIAUÍ.

The rainfall erosivity (R) is a variable in Equation Universal Soil Loss (USLE) that expresses the potential of rainfall erosion produced by the impact of drops to fall on unprotected surfaces. The erosion process uses energy from rainwater and runoff, especially the kinetic energy of the impact of raindrops on the soil surface. The objective with this work was to determine the rainfall erosivity and hydrological patterns. In pluviograms daily meteorological station of the National Institute of Meteorology for the period 2005-2009, the rains were separated individual and of these, the erosive. For each erosive rainfall were separated segments of the rainfall chart with the same intensity and recorded the data in a spreadsheet. With the program Choveros were calculated erosivity monthly, and annual average rainfall by EI_{30} in the International System of Units, and the hydrological pattern of rain. The average annual EI for the city of Parnaíba-Piauí, was $9964.3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$, ranging from $6926.5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ to $11279.5 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$. The months from January to May determine the critical period, concentrating 87.6% and 88.8% of the rainfall erosivity estimated total. EI for the average annual expected to return a probability of 50% every 2 years.

Keywords: Water erosion, Kinetic Energy, EI_{30}

INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados na produção de alimentos e, por isso, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, através do uso e manejo inadequados. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista (Roque et al., 2001).

A erosividade expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente. Este potencial da água da chuva é função de sua energia, que depende tanto do tamanho das gotas como da intensidade da precipitação (Lal & Elliot, 1994).

A Equação Universal da Perda de Solos (EUPS) começou a ser implantada no final da década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos. É um modelo empírico, baseado em grandes bases de dados de campos, que estimam a erosão distribuída e concentrada com

base em valores a quatro grandes fatores intervenientes no processo erosivo: I) erosividade climática, II) erodibilidade dos solos, III) topografia, e IV) uso e manejo da terra (Ward e Elliot, 1995).

A determinação da erosividade da chuva envolve um trabalho exaustivo de seleção e leitura de uma série de registros de chuvas. Esses dados são escassos e muitas vezes de difícil acesso. A fim de minimizar estes problemas, diversos autores correlacionaram o índice EI_{30} com o coeficiente de chuva (R_c), conhecido como índice de Fournier (Renard & Freimund, 1994), o qual é facilmente obtido a partir do registro dos totais diários das precipitações. Tais dados estão disponíveis em maior número de localidades, o que simplifica sua obtenção, mas mantém precisão satisfatória na estimativa de EI_{30} (Mannaerts & Gabriels, 2000; Silva, 2004).

A resistência dos solos a erosão hídrica apresenta grande amplitude devido à variabilidade climática que influi na erosividade das chuvas (CARVALHO et al., 2007). De acordo com Wischmeier & Smith (1958), para regiões de clima temperado, a melhor variável para avaliar a erosividade é o produto da energia cinética (E) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), expressa como índice EI_{30} .

A pesquisa objetivou determinar a erosividade da chuva e os padrões hidrológicos para o município de Parnaíba no Piauí.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) constituindo-se de séries históricas pluviográficas de 5 anos. A erosividade mensal foi calculada, na forma do índice EI_{30} , para o período de 2005 a 2009, abrangendo o ano todo.

A energia cinética de cada segmento uniforme de uma chuva erosiva individual determina-se por: $EC_s = EC \cdot h$,

Onde: EC_s é a energia cinética no segmento de chuva, em $MJ \cdot ha^{-1}$, EC é a fórmula de energia cinética, h é a quantidade de chuva no segmento uniforme, em mm.

A fórmula de cálculo da energia cinética é a seguinte: $EC = 0,119 + 0,0873 \log I$

Onde: EC é a energia cinética por mm de chuva, em $MJ \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$, I é a intensidade da chuva no segmento uniforme (intensidade constante), em $mm \cdot h^{-1}$,

A energia cinética total da chuva erosiva individual calcula-se pela expressão: $EC_t = \sum EC_s$

Onde: EC_t é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em $MJ \cdot ha^{-1}$, $\sum EC_s$ é o somatório da energia cinética de cada segmento da chuva, em $MJ \cdot ha^{-1}$.

O índice de erosividade de cada chuva calcula-se por: $EI_{30} = EC_t \cdot I_{30}$

Onde: EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$, ECt é a energia cinética total da chuva, em $MJ.ha^{-1}$, I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos, em $mm.h^{-1}$, ou seja, a quantidade de chuva no período de 30 minutos multiplicada por 2 (Bazzano et al., 2007), determinada a partir dos dados levantados do pluviograma.

Os valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} foram a média dos meses para o município estudado. O valor médio anual do índice de erosividade EI_{30} é a média dos anos dos períodos estudados em Parnaíba.

Os valores médios mensais da precipitação e do índice de erosividade foram expressos como percentagens do valor médio anual da precipitação e do índice de erosividade respectivamente, para obter a curva de distribuição acumulada da precipitação e do índice de erosividade em função do tempo, conforme Wischmeier & Smith (1958).

Foram utilizadas equações que associam este índice e o índice de Fournier (R_c), e que, segundo Renard & Freimund (1994), pode ser assim representado: $R_c = p^2.P^{-1}$; em que R_c é o coeficiente de chuva (mm); p é a precipitação média mensal (mm); e P é a precipitação média anual (mm).

Cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de no mínimo 6 h, com precipitação pluvial inferior a 1 mm, e foi considerada erosiva quando o total desta foi superior a 10 mm ou quando igual ou superior a 6 mm em 15 min de chuva, segundo Cabeda (1976).

A erosividade foi determinada para todas as chuvas individuais erosivas selecionadas, sendo obtidas do pluviograma a duração e a precipitação pluvial de cada segmento uniforme. O intervalo de tempo foi de 5 min e a unidade foi de 0,1 mm. Os dados foram registrados em planilhas e, posteriormente, digitados para análise em computador, utilizando o programa CHUVEROS, elaborado por Elemar Antonino Cassol da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Este programa calcula a erosividade da chuva pelo índice EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978) no Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981).

As chuvas foram separadas pelo programa por padrões hídricos de acordo com a classificação proposta por Horner & Jens (1941): chuva de padrão avançado, quando o pico de maior intensidade ocorre em um período de tempo menor que 33 % a partir do momento inicial da chuva em relação ao tempo de sua duração total; chuva de padrão intermediário quando o pico de maior intensidade ocorre em um período de 33 a 66 % do tempo total a partir do início da chuva; e chuva de padrão atrasado quando o pico de maior intensidade ocorre passados mais de 66 % do tempo total de duração da chuva.

Foram determinados o período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade anual conforme Schwab et al. (1981), usando as expressões:

$$T = (N + 1)/m \quad (1)$$

$$Pr = 100/T \quad (2)$$

em que T é o período de retorno, em anos, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N é o número de anos de registro de dados; m é o número de ordem do índice de erosividade da série considerada, quando a erosividade observada é colocada em ordem decrescente de magnitude; e Pr é a probabilidade de ocorrência do índice de erosividade, em %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade média anual das chuvas de Parnaíba - Piauí, avaliada pelo índice EI₃₀ ficou em 9.964,3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 1). A erosividade do período em estudo variou de 6.926,5 a 11.279,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Para Silva & Dias (2003), em Fortaleza, CE, os anos que apresentaram os maiores índices de erosividade das chuvas foram 1985 e 1994, com valores de 10.283 e 9.617 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, respectivamente. Os menores índices ocorreram em 1993 e 1990, com valores, respectivamente, de 4.584 e 4.735 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹. Segundo o autor a distribuição percentual do índice EI₃₀ de Fortaleza, ao longo do ano, evidencia a concentração do potencial erosivo das chuvas no primeiro semestre do ano, quando 92,9 % do valor anual ocorreu nos meses de janeiro a abril.

Tabela 1. Valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI₃₀ (MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹) em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	1.484,3	3.270,2	1.646,0	538,9	528,1		522,7					1.148,0	9.138,2
2006	2.057,2	2.401,6	743,2	754,3	3.038,0	550,2	279,4						9.823,9
2007		3.844,4	1.667,1	594,9	585,9	144,6	89,6						6.926,5
2008	332,4	782,4	3.665,2	3.294,5	735,6	230,0	117,4	91,9				102,3	9.351,7
2009	1.083,0	695,3	2.779,9	3.604,3	2.853,6	190,4	72,9						11.279,5
Média	1.239,2	2.198,8	2.100,3	1.757,4	1.548,2	278,8	216,4					625,1	9.964,3
DP	724,8	1.428,6	1.134,3	1.550,5	1.279,7	184,3	189,9					739,4	
CV (%)	58,5	65,0	54,0	88,2	82,7	66,1	87,8					118,3	

D.P.: desvio-padrão. CV: coeficiente de variação.

As médias mensais da erosividade para Parnaíba, avaliada pelo índice EI_{30} , foi bastante variável, com o valor mínimo de $216,4 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no mês de julho e o valor máximo de $2.198,8 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no mês de fevereiro (Tabela 1). A tendência é que os maiores valores do índice EI_{30} se concentrem entre os meses de janeiro a maio e os menores valores nos meses de junho a dezembro. Observa-se que os meses de fevereiro a abril concentram cerca de 60,8 % de toda erosividade prevista para o ano. Albuquerque et al (2005) relata que os maiores valores médios mensais, tanto da erosividade da chuva quanto da precipitação pluvial em Sumé, PB, ocorreram nos meses de fevereiro, março e abril como, também, 53 e 79% da precipitação e da erosividade em Sumé, PB.

O erro-padrão da erosividade foi elevado, indicando alta variação do índice entre os anos estudados (Silva et al. 2009). Os valores da erosividade, de modo geral, aumentam com a precipitação. Observações semelhantes foram encontradas por Campos Filho et al. (1992) e Bertol (1994).

No período de 2005 a 2009, a precipitação pluvial média anual, em Parnaíba-Piauí, foi de 1.268,3 mm (Tabela 2). O ano de 2009 foi o de maior pluviosidade, com o total de chuvas de 1.638,6 mm, enquanto que o ano de menor pluviosidade foi 2007 com 773,9 mm de chuva.

Em relação às médias mensais, os meses de março, abril e maio apresentaram a maior pluviosidade média, respectivamente com 302,2; 282,7; 235,0 mm de chuva. Por outro lado, observa-se também que os meses de julho a dezembro foram os de menor pluviosidade média mensal. Alto coeficiente de variação também foi encontrado nos meses informados.

Os meses de julho a dezembro tiveram precipitações baixas, variando de 41,6 mm a nenhuma precipitação. Segundo Silva & Dias (2003), nos meses mais chuvosos do primeiro semestre do ano ocorrem os maiores valores da erosividade, a qual, por sua vez, diminui no segundo semestre quando são baixos os volumes das precipitações mensais. Esse comportamento, também observado por outros pesquisadores, tanto em climas úmidos (Lombardi Neto, 1977; Cogo et al., 1978; Carvalho et al., 1989; Oliveira Júnior & Medina, 1990; Bertol, 1994; Morais et al., 1991; Marques, 1996; Carvalho et al., 1997; Pissarra et al., 2000; Roque et al., 2001), quanto no semi-árido do Brasil (Silva et al., 1981; Margolis et al., 1985; Lopes & Brito, 1993; Chaves et al., 1997), é característico do padrão uni-modal de distribuição da chuva e de seu alto potencial de erosividade em países de clima tropical (Hudson, 1995).

Tabela 2. Valores mensais, anuais e médios da pluviosidade (mm) em Parnaíba-Piauí, no período 2005-2009, com as respectivas medidas estatísticas de dispersão

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2005	123,8	195,2	205,4	87,8	131,9	9,9	76,5					1,9	832,4
2006	120,8	122,1	274,1	243,5	322,5	113,7	39,4	8,5		0,3		11,0	1.255,9
2007	1,3	300,3	183,7	100,2	99,3	43,6	32,9			5,6		7,0	773,9
2008	95,0	157,2	389,9	366,2	151,6	76,5	51,5	44,6				47,5	1.380,0
2009	207,4	159,8	361,1	420,7	366,7	74,6	42,4	3,1				2,8	1.638,6
Média	106,1	184,9	302,2	282,7	235,0	77,1	41,6	18,7		3,0		17,1	1.268,3
DP	84,8	78,9	93,1	142,4	129,6	28,7	7,7	22,6		3,7		20,6	
CV (%)	79,9	42,7	30,8	50,4	55,1	37,2	18,6	120,4		127,0		120,4	

D.P.: desvio-padrão. CV: coeficiente de variação.

A Figura 1 apresenta a curva formada pela distribuição da precipitação média mensal de Parnaíba-Piauí, para série histórica de 5 anos (2005 a 2009), onde observa-se uma irregularidade da distribuição pluviométrica ao longo do ano.

O período chuvoso se estende de dezembro a maio, quando ocorrem 95,7% da precipitação pluviométrica anual, e a época de grande escassez de chuvas vai de junho a novembro, diferente dos valores relatados por Silva et al. (2009) onde a precipitação pluvial ocorrida entre os meses de novembro e março correspondeu a 82,75 % do total anual, e a erosividade para o mesmo período correspondeu a 90,36 % do total.

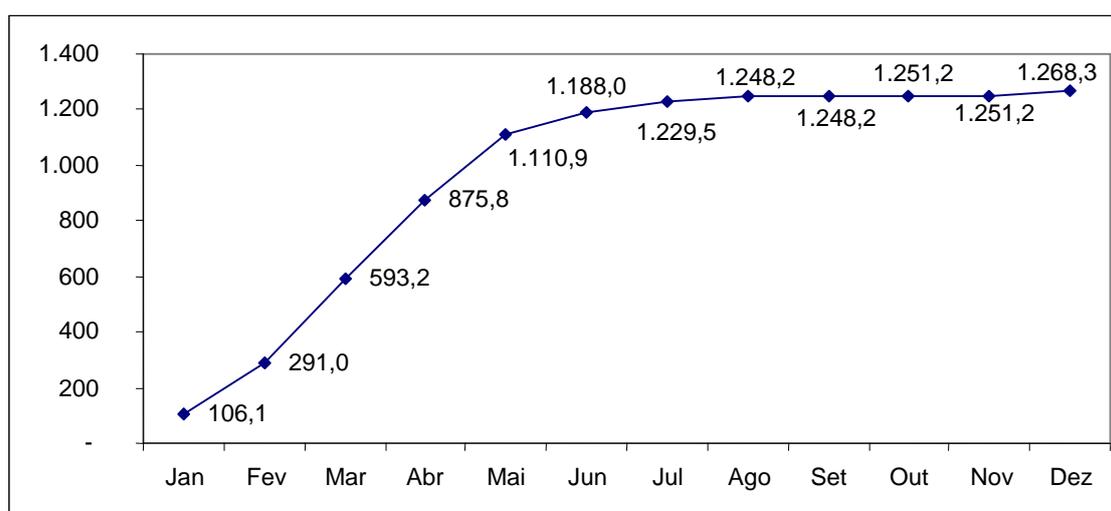


Figura 1. Valores mensais médios acumulados do índice de pluviosidade em Parnaíba-Piauí, no período 2005-2009.

A curva formada pela distribuição relativa do índice de erosividade acumulada mensalmente, indica a época do ano com maior potencial das chuvas causarem erosão, esta época corresponde aos meses de abril a maio, período de maior inclinação da curva (Figura 2). O alto potencial erosivo das chuvas nessa época do ano, aliado ao fato do solo encontrar-se sem cobertura e desagregado pode contribuir significativamente para grandes perdas de solo e água. Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de práticas conservacionistas que permitam reduzir o risco de erosão.

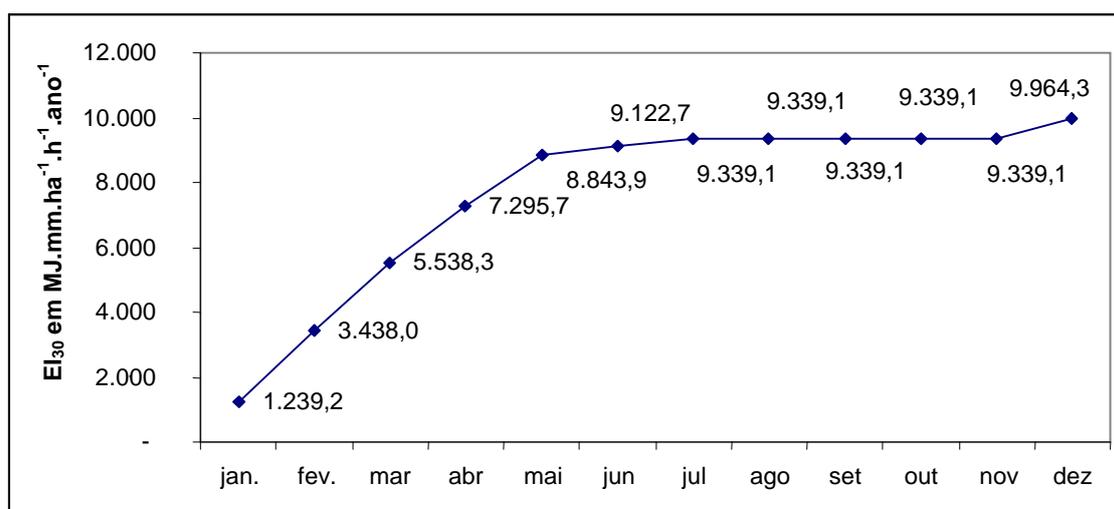


Figura 2. Valores mensais acumulados do índice de erosividade EI₃₀ (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009.

A menor média de erosividade a probabilidade de ocorrência é de 83,3%, com período de retorno médio de 1,2 anos. Em relação a maior média, a probabilidade de ocorrência diminui para 16,7 %, com período estimado de retorno de 6 anos.

Tabela 3. Período de Retorno e probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva em Parnaíba - Piauí

Ano	Médias EI ₃₀	Período de Retorno (anos)	Probabilidade de Ocorrência (%)
2005	9.138,2	1,5	66,7
2006	9.823,9	3,0	33,3
2007	6.926,5	1,2	83,3
2008	9.351,7	2,0	50,0
2009	11.279,5	6,0	16,7

Os valores relativos à média da precipitação relacionada com a média mensal da EI_{30} e o coeficiente de chuva podem ser observados na figura 3. As curvas apresentadas pela figura se apresentam com a mesma inclinação, indicando comportamentos semelhantes na variação e sua interdependência. Resultados semelhantes foram encontrados por (Bazzano et al. 2007).

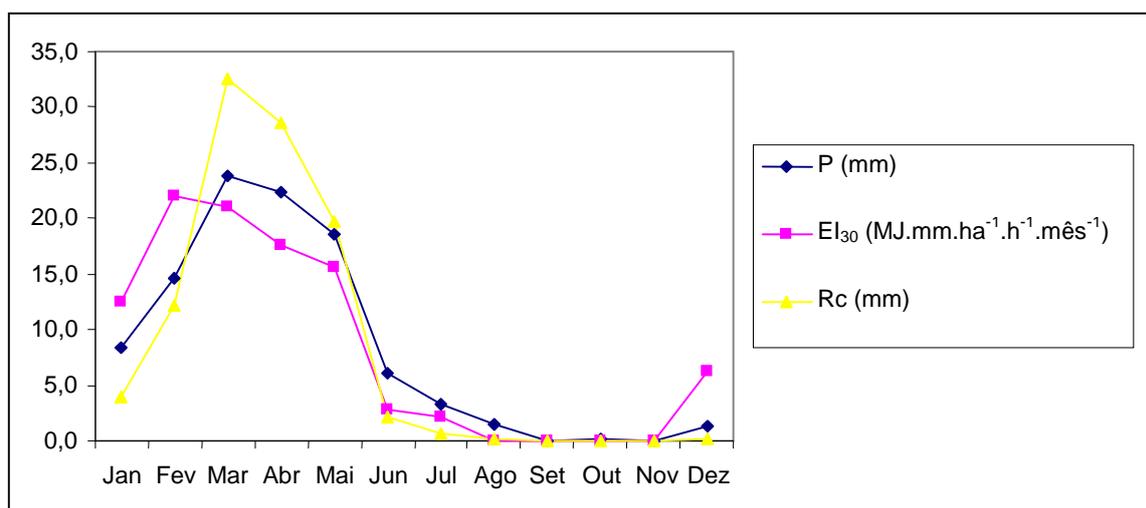


Figura 3 - Distribuição percentual mensal da precipitação pluvial, índice EI_{30} e coeficiente de chuva em Parnaíba - Piauí, no período 2005-2009.

As análises de correlação de Pearson mostraram correlação do índice de erosividade EI_{30} com a precipitação média mensal ($R^2 = 0,8387$; significativo a 0,01 %) e com o coeficiente de chuva ($R^2 = 0,7144$; significativo a 0,01 %) (Tabela 4). Correlações significativas entre o índice EI_{30} e o coeficiente de chuva Rc foram observadas também em outras localidades, como em Fortaleza-CE (Silva & Días, 2003), Campinas-SP (Lombardi Neto, 1977), e Piraju-SP (Roque et al., 2001). Correlações não-significativas foram encontradas para a localidade de Campos Novos-SC (Bertol, 1994).

As regressões lineares obtidas foram altamente significativas, sendo as equações $EI_{30} = 6,9874p + 91,871$; $R^2 = 0,8387$ (significativo a 0,01 %), em que p = precipitação média mensal (mm), e $EI_{30} = 27,897Rc + 316,73$; $R^2 = 0,7144$ (significativo a 0,01 %), em que Rc = coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, sendo p = precipitação média mensal (mm) e P = precipitação média anual (mm) (Tabela 4). Assim, é possível utilizar as equações para determinar o índice EI_{30} por meio do uso de dados pluviométricos mensais e anuais.

Tabela 4. Equações de regressão linear entre o índice EI₃₀ vs. precipitação e o índice EI₃₀ vs. coeficiente de chuva (Rc) para Parnaíba-Piauí, com os respectivo coeficiente de determinação (R²).

Equação	R ²
$EI_{30} = 6,9874p + 91,871$	0,8387 ^{**}
$EI_{30} = 27,897Rc + 316,73$	0,7144 ^{**}

p: precipitação média mensal (mm); Rc: coeficiente de chuva = $p^2 P^{-1}$, em que p = precipitação média mensal (mm) e P: precipitação média anual (mm). R²: coeficiente de determinação; **: Significativo a 0,01 %.

Cerca de 42,50 % das chuvas erosivas foi classificada dentro do padrão avançado, 10% classificadas como de padrão intermediário e 47,50% de padrão atrasado. A distribuição das chuvas concentrada no padrão atrasado permite esperar maiores perdas de solo devido ao fato de que no momento do pico da chuva este estaria mais úmido que no caso dos outros padrões.

Eltz et al. (2001), trabalhando com simulador de chuva em um Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram maior perda de solo em chuvas de padrão atrasado em relação às perdas de solo das chuvas de padrão intermediário e avançado, entre as quais não houve diferenças significativas, o que foi explicado pelas condições de alteração da superfície e pela umidade do solo no decorrer da chuva. No padrão atrasado, quando ocorre o pico de máxima intensidade, o solo está com maior umidade (em relação aos outros padrões), favorecendo a desagregação, o selamento superficial e o transporte de suas partículas, ocorrendo assim maior perda de solo (Bazzano et al. 2007).

CONCLUSÕES

1. Durante o período de 5 anos (2005 a 2009), o EI médio anual para a região de Parnaíba, PI, foi de 9.964,3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, indicando um elevado potencial erosivo das chuvas.
2. O índice de erosividade encontrado variou de 6.926,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ a 11.279,5 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo considerados alto e muito alto, respectivamente. Para o fator R médio de 9.964,3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ a erosividade foi considerada alta.
3. Os meses de janeiro a maio determinam o período crítico, concentrando 87,6% da precipitação e 88,8% da erosividade total estimada.

4. É esperado que, com uma probabilidade de 50,00%, a erosividade de $9.964,3 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, se repita a cada 2 anos.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, A. W.; M. FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n. 2, jun. 2005.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1205-1217, 2007.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29:1453-1458, 1994.

CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. Não Publicado.

CAMPOS FILHO, O.R.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. & LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 27:1363-1370, 1992.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13:243-249, 1989.

CARVALHO, M.P.; PISSARA, T.C. & PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Selvíria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N. ; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. de. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.31, n.6, p.1679-1687, nov./dez., 2007.

CHAVES, I.B.; LEITE JÚNIOR, G.P. & MAIA NETO, F.F. Análise da pluviometria e da erosividade das chuvas de Patos (PB). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

COGO, N.P.; DREWS, C.R. & GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, no estado do Rio Grande do Sul. In: Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação Do Solo, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, CNPT/SNLCS-EMBRAPA. 1978. p.145-152.

ELTZ, F.L.F.; MEHL, H.U. & REICHERT, J.M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho- Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:485-493, 2001.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, 36:355-359, 1981.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 107, p. 1039-1117, 1941.

HUDSON, N. *Soil conservation*. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 1995. 391p.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. *Soil erosion: research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.180–208, 1994.

LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil*. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado).

LOPES, P.C.R. & BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17:129-133, 1993.

MANNAERTS, C.M.; GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil and Tillage Research*, v.55, p.207-212, 2000.

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:165-169, 1985.

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, Universidade Federal de Lavras, 1996. 119p. (Tese de Mestrado)

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15:339-344, 1991.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. & MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:235-239, 1990.

PISSARRA, T.C.T; CARVALHO, M.P. & CHUEIRE, F.B. Erosividade da chuva de Pereira Barreto (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 13., Ilhéus, 2000. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, v.157, p.287-306, 1994.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. & PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:147-156, 2001.

SILVA, A.M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.

SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). I - Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. 1ª Aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:335-345, 2003.

SILVA, J.R.C.; SAUNDERS, L.C.U.; PAIVA, J.B. & RODRIGUES, A.R. Erosividade das chuvas de Quixadá – Ceará: resultados do ano de 1980. Ciência Agronômica, 12:97-101, 1981.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:1811-1820, 2009.

WARD, A. D. e ELLIOT, W. J. Environmental Hidrology. New York: Lewis Publishers, 1995.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, DC, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union, 39:285-291, 1958.