



DALYA KETTY BARROS

EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE PICOS, PI

TERESINA, PI

2017

DALYA KETTY BARROS

EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE PICOS, PI

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes

Co-orientador

Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

TERESINA, PI

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial Campus Professora Cinobelina Elvas

B277e Barros, Dalya Ketty
Erosividade das chuvas no município de Picos, PI / Dalya
Ketty Barros. – 2017.
37 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, Universidade Federal do Piauí, 2017.

“Orientação: Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes”.

1. Índice EI₃₀. 2. Chuva Erosiva. 3. Erosão Hídrica. I. Salviano,
Adeodato Ari Cavalcante. II. Título.

CDD 631.42

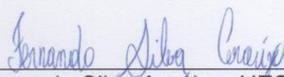
DALYA KETTY BARROS

EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE PICOS, PI

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Agronomia com área de concentração em Produção Vegetal.

APROVADA em 07 de agosto de 2017.

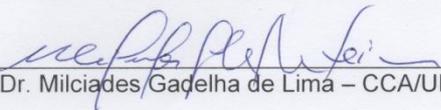
Comissão Julgadora:



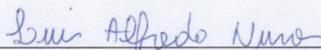
Prof. Dr. Fernando Silva Araújo – UESPI



Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano – CCA/UFPI



Prof. Dr. Milciades/Gaúcha de Lima – CCA/UFPI



Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – CCA/UFPI
(Orientador)

TERESINA-PI

2017

Aos meus pais, Arli e Rita, meu marido Dalton Henrique, minhas irmãs Dayana, Karine e Ana Lúcia, meus familiares e a todos meus amigos que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir minha Dissertação. Aos meus pais, ao meu marido que sempre me acompanham durante minhas conquistas. A minha irmã por está ao meu lado quando preciso.

Ao meu orientador, Professor Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes, pela orientação, compreensão e atenção.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano, pela colaboração, apoio e incentivo durante a construção do meu trabalho.

Ao meu eterno Professor Dr. Milciades Gadelha de Lima, pelas suas orientações prestadas na elaboração dessa Dissertação.

Ao Professor Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra pela sua compreensão e atenção.

Ao Professor Dr. Raimundo Santos Moura do Departamento de Computação da UFPI, pela orientação para a utilização do programa Chuveros.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET 3º Distrito de Meteorologia – DISMED a M.sc. Bernadete Lira dos Anjos e sua equipe, em especial a estagiária Carol, pela receptividade, disponibilidade e apoio durante a coleta dos dados para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Elemar Antonino Cassol da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, por disponibilizar o programa Chuveros para a análise dos dados.

Ao meu amigo Paulo Alexandre Cruz Carvalho e Hildomar Viana pela atenção, disponibilidade e colaboração.

A meus amigos do Mestrado pelos momentos divididos juntos, em especial à Janaina, Antônio Neto, Marcos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal (PPGA/PV), da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade concedida.

“Nunca tenha certeza de nada. A sabedoria começa com a dúvida.”

Sigmund Freud

RESUMO

O potencial erosivo das chuvas é imprescindível para predizer as perdas de solo causadas pela erosão hídrica. O conhecimento deste fator possibilitará auxiliar no planejamento do uso e manejo do solo, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. O índice de erosividade das chuvas (EI_{30}) é obtido pela multiplicação da energia cinética total da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos. Este trabalho tem como objetivo caracterizar as chuvas naturais do município de Picos, PI, durante um período de 2006 a 2016, determinar a erosividade, ou seja, o fator R da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), o padrão e o período de retorno. Foram utilizados os registros pluviográficos diários, os quais foram agrupados por ordem cronológica, meses e anos. Foram avaliadas 442 chuvas, registradas em pluviogramas diários. Os registros de chuva nos pluviogramas foram contados considerando os segmentos de intensidade uniforme. Os dados de cada segmento de chuvas individuais e erosivas foram anotados em planilha do Excel e processado pelo programa Chuveros, o qual calcula o índice EI_{30} , os totais mensais e anuais da precipitação e determina os padrões hidrológicos das chuvas. A erosividade mensal variou de zero, nos meses em que não ocorreram chuvas erosivas a $2.624,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, no mês de janeiro de 2016. Os maiores valores de erosividade média mensal obtidos foram $851,97$ e $766,64 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ nos meses de janeiro e março, respectivamente, representando $46,78\%$ da erosividade média anual. Os valores da erosividade anual variaram de $1.628,3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano de 2012 a $6.536,60 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano de 2006. A erosividade média anual (R) variou de $3.460,0 \pm 1.755,21 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o coeficiente de variação foi de 51% , caracterizada como de médio potencial erosivo. O período de retorno do EI_{30} em Picos, PI para um período de 08 (oito) anos está associado a $12,5\%$ de probabilidade enquanto que o período de retorno de um ano está associado a $87,5\%$ de probabilidade de ocorrência; o padrão avançado foi o de maior ocorrência com 58% das chuvas erosivas, seguido pelo intermediário com $24,44\%$ e o atrasado com $17,56\%$.

Palavras Chave: Índice EI_{30} . Chuva Erosiva. Erosão Hídrica.

ABSTRACT

The erosive potential of rainfall is essential to predict soil losses caused by water erosion. Knowledge of this factor will help to plan land use and management, both in urban areas and in rural areas. The rainfall erosivity index (EI_{30}) is obtained by multiplying the total kinetic energy of the rain and its maximum intensity in 30 minutes. This work aims to characterize the natural rains of the municipality of Picos, PI, during the period of 2006 to 2016, to determine erosivity, which is the R factor of the Universal Soil Loss Equation (EUPS), the standard and the period of return. Daily pluviographic records were used, which were grouped in chronological order, months and years. 442 rains were recorded in daily pluviograms. The rainfall records in the pluviograms were counted considering the segments of uniform intensity. The data from each segment of individual and erosive rains were recorded in an Excel spreadsheet and processed by the Chuveros program, which calculates the EI_{30} index, the monthly and annual precipitation totals and determines the hydrologic rainfall patterns. The erosivity varied from zero in the months in which there were no erosive rains to 2.624,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ in January 2016. The highest values of monthly average erosivity were 851,97 and 766,64 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ in the months of January and March, respectively, representing 46.78% of annual average erosivity. Annual erosivity values ranged from 1.628,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in 2012 to 6.536,60 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in the year 2006. The average annual erosivity (R) ranged from 3.460,0 ± 1.755,21 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year and the coefficient of variation was 51%, characterized as medium erosive potential. The return period of EI_{30} in Picos, PI for a period of 08 (eight) years is associated with a 12,5% probability, while the return period of one year is associated with a 87,5% probability of occurrence; The advanced pattern was the one with the highest occurrence with 58% of the erosive rains, followed by the intermediate with 24,44% and the delayed with 17,56%.

Keywords: EI_{30} Index. Erosive Rainfall. Water Erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Precipitação média mensal dividida em chuvas erosivas e não erosivas.....	24
Figura 2	Variabilidade temporal mensal do fator R.....	25
Figura 3	Distribuição relativa acumulada do índice de erosividade erosiva (EI_{30}) médio mensal de Picos, PI, durante o período 2006 a 2016.....	28
Figura 4	Correlação linear entre o índice de erosividade média mensal (EI_{30}) e a precipitação para Picos, PI.....	31
Figura 5	Correlação quadrática entre o índice de erosividade média mensal (EI_{30}) e o coeficiente de chuva (R_c) para Picos, PI.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classe de interpretação do índice de erosividade médio anual (R).....	21
Tabela 2	Valores ($\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$) mensais e médios da erosividade (EI_{30}) de Picos, PI com as respectivas estatísticas de dispersão no período de 2006 a 2016.....	23
Tabela 3	Erosividade total, ($\text{EI}_{30}/\text{ano}$) e erosividade média (R) de Picos, PI no período de 2006 a 2016.....	25
Tabela 4	Precipitações mensal e anual de Picos, PI no período de 2006 a 2016.....	26
Tabela 5	Padrões de chuvas avançada, intermediária e atrasada de Picos, PI no período de 2006 a 2016.....	29
Tabela 6	Período de retorno e probabilidade de ocorrência do Índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) em Picos, PI.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Erosão e degradação do solo.....	13
2.2	Equação universal de perda de solo – EUPS.....	14
2.3	Fator de erosividade (R).....	15
2.4	Índice de erosividade.....	17
2.5	Padrão hidrológico.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	Base de dados.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos está aumentando em várias partes do mundo, segundo dados pesquisados no período de 20 anos e divulgado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO). Esse fenômeno causa a longo prazo um declínio no solo e na produtividade dos ecossistemas, tanto em gravidade como em extensão. Dados da FAO (2015) revela que somente a erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano. A consequência desse fenômeno inclui a diminuição da produtividade agrícola, migração, segurança alimentar, perda de biodiversidade genética e de espécies, afetando a qualidade do solo e sua capacidade de reter água e nutrientes.

O solo é o recurso natural com um papel de destaque dentro dos ecossistemas, portanto, o intenso uso desse recurso natural de forma inadequada, tem causado grandes problemas ambientais. É necessário que os recursos naturais sejam utilizados de forma racional a fim de reduzir os efeitos causados pela degradação ambiental. Torna-se necessário o uso de práticas de conservação e técnicas de manejo, minimizando os danos causados aos corpos hídricos e ao solo.

A perda de solo por erosão é considerada a maior causa de degradação na maioria dos solos do nosso país. O processo erosivo diminui a fertilidade do solo, reduzindo à área de produção, a perda das terras cultiváveis, a degradação física da estrutura do solo, o assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a biodiversidade dessas áreas que sofreram o processo erosivo. Controlar a erosão significa, além da manutenção do potencial de produtividade e fertilidade do solo, garantir alimentos para as futuras gerações, além de manter o trabalho na agricultura. O controle eficiente da erosão é vantajoso no que se refere aos aspectos econômicos e ecológicos.

A erosividade hídrica é o potencial que a água da chuva tende desagregar e transportar o solo através do escoamento superficial. É importante conhecer a erosividade das chuvas, pois possibilitará um planejamento de práticas conservacionistas, o uso e manejo do solo, reduzindo o processo erosivo causado pelas chuvas.

Existem várias metodologias para se dimensionar as perdas de solo, a mais utilizada nesse dimensionamento é a Equação Universal da Perda de Solo – EUPS. O uso da equação para determinar a perda de solo de um determinado local servirá

para um melhor planejamento do uso da terra e definir as práticas mais apropriadas para o uso, manejo e conservação do solo.

No Brasil a região semiárida ocupa uma área de 982.563,3 Km², abrangendo 1.133 municípios, onde 89% ficam localizados na região Nordeste. A população do semiárido é de aproximadamente 21 milhões de habitantes, sendo em sua maioria residente na zona rural (IBGE, 2010). O bioma predominante no semiárido é a Caatinga, com uma enorme riqueza biológica, sendo o único bioma exclusivamente brasileiro. A precipitação varia de 200 a 800 mm por ano, a temperatura do ar varia de 15 °C a 40 °C e geralmente o balanço hídrico dessa região apresenta um déficit hídrico tendo em vista que a evapotranspiração é maior que a precipitação.

O município de Picos está localizado no Território de Desenvolvimento Vale do Rio Guaribas, semiárido piauiense, encontra-se a uma latitude 07° 04` 37” Sul e longitude 41° 28’ 01” Oeste, estando a uma altitude de 206 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo semiárido, muito quente, apresentando uma temperatura média anual do ar de 27,2 °C. Tendo como bioma predominante a Caatinga. A precipitação média anual relativa é de 684,2 mm concentrada nos meses de dezembro a abril. Sua economia é baseada na produção agrícola.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar as chuvas naturais do município de Picos, PI, durante um período de 2006 a 2016, determinar a erosividade, ou seja, o fator R da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), o padrão e o período de retorno. Esses dados irão auxiliar no planejamento do uso e manejo do solo, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão e degradação do solo

O mundo vem sofrendo com o processo de erosão do solo. A erosão é considerada um fenômeno de desgaste do solo que pode ocorrer tanto pelas águas das chuvas como pelos ventos. No Brasil a erosão hídrica é o fator que mais interfere no processo erosivo. Waltrick (2010), considera que uma das principais causas de perda de solo é a erosão hídrica. Portanto, torna-se necessário quantificar as perdas de solos ocasionadas pela erosão hídrica com vistas ao planejamento do uso e manejo do solo através de técnicas conservacionistas de uma determinada região com intuito de minimizar os impactos ambientais e econômicos.

As características das chuvas determinam seu potencial erosivo, ou seja, o seu poder em causar erosão. Este potencial erosivo é avaliado como fator de erosividade. Em países de clima temperado somente 5% das chuvas anuais são consideradas chuvas erosivas, enquanto nos países tropicais as chuvas erosivas chegam a 40%. Por isso, a erosão hídrica em países tropicais e subtropicais é considerada grave (WALTRICK, 2010).

A erosão hídrica é causada pelo escoamento superficial e ausência da infiltração da água no solo (DERPSCH et al., 1991). A perda de solo causada pela erosão hídrica é ocasionada pelo impacto direto das gotas da chuva e/ou escoamento superficial da quantidade de água das chuvas, ou seja, a enxurrada. Esta erosão é decorrente da interação de dois fatores: a chuva e o solo (BAZZANO, 2005).

Segundo Lal e Elliot (1994) erosividade hídrica é o potencial que a água da chuva tem em desagregar e transportar o solo através do escoamento superficial. Esse potencial da água da chuva é decorrente do tamanho das gotas das chuvas e da intensidade da precipitação.

O uso e o manejo inadequados dos recursos naturais principalmente solo e água, resultam no surgimento de grandes áreas intensamente degradadas, gerando impactos negativos imediatos na qualidade de vida da população, tais como: o aumento da escassez hídrica, a perda da fertilidade do solo, a redução da produção de alimentos, a diminuição drástica da reserva de madeiras, entre outros, tendo como consequência a redução da biodiversidade, culminando com o processo de desertificação (SALVIANO et al., 2010).

A desertificação constitui um conjunto de processos que promovem o desequilíbrio dos meios físicos, químicos e biológicos e socioeconômicos, via de regra, desencadeados pela ação antrópica, que atua de forma conjunta com limitações climáticas impostas a ambientes ecologicamente frágeis (FERNANDES e MEDEIROS, 2009).

Os primeiros cálculos matemáticos para prever a erosão do solo causada pela água iniciou na década de 30, com o desenvolvimento de tecnologia de predição da erosão realizada por Cook (1936, apud RENARD et al., 1996), onde eram analisadas as principais variáveis que afetavam a erosão do solo causada pela precipitação. No ano de 1940 o pesquisador Zingg (1940, apud RENARD et al., 1996) publicou a primeira equação que calculava a perda de solo no campo (RENARD et al., 1996).

Pesquisadores e cientistas que realizaram estudos na área de conservação do solo levaram vários anos para estimar a perda do solo de um local específico bem como, determinar práticas de uso do solo que pudessem garantir a longo prazo a produtividade do solo (PANDIT; ISAAC, 2015). Segundo os autores as técnicas de previsão de perda de solo que foram desenvolvidas através da realização de diversos experimentos, serviram para compreender o processo de erosão do solo. Os primeiros estudos realizados para estimar a perda de solo foram baseados apenas em fatores qualitativos e sugeriram que algumas práticas culturais diferiam de acordo com a sua capacidade de controlar a erosão do solo.

Segundo Loureiro e Coutinho (2001) o fator de erosividade (R) da equação EUPS é considerado como um dos melhores parâmetros para avaliar as perdas de solo causadas pelo potencial do impacto da gota da chuva, do escoamento superficial ocasionado pelas chuvas erosivas. No âmbito regional, os dados de erosividade podem ser utilizados como indicadores do risco de erosão (MORGAN, 1986).

2.2 Equação Universal de Perda de Solo - EUPS

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é um modelo de erosão utilizado para prever a perda de solo. Os pesquisadores Wischmeier e Smith (1978) conseguiram resumir os fatores que causavam a erosão através da EUPS, onde pode-se avaliar a perda média anual do solo, expressa em $t\ ha^{-1}$.

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

Em que:

A = perda de solo média espacial e temporal por unidade de área ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = erosividade das chuvas, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, resultante da quantidade, intensidade, duração da chuva e do escoamento superficial;

K = fator de erodibilidade do solo (tha^{-1})/($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), que é função de características do solo;

L = comprimento da encosta;

S = declividade da encosta;

C = práticas de uso e manejo do solo;

P = tipo de uso da terra pelo homem.

A EUPS é a mais utilizada no mundo, por fornecer informações úteis para o planejamento adequado do solo e conservação da água. Este modelo de equação caracteriza-se por estimar a perda anual média de solo causado pela erosão em uma encosta de um determinado local para um sistema de uso e manejo do solo específico (OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2012).

A Equação Universal de Perda de Solo causou um grande impacto desde sua introdução, tornando-se a maior ferramenta para o planejamento e conservação do solo nos Estados Unidos e em outros países (RENARD et al., 1996). Segundo o autor uma das principais finalidades dessa equação é orientar na tomada de decisão no planejamento para a conservação, permitindo prever a taxa média de erosão do solo para cada uma das diversas alternativas de combinações de sistema de cultivo, técnica de manejo e prática de controle de erosão em locais específicos.

2.3 Fator de Erosividade (R)

A erosividade da chuva como um dos principais parâmetros da erosão do solo, é definida como a capacidade potencial da mesma em causar erosão hídrica no solo. É um fator que impulsiona a erosão pela ação do escoamento superficial e a precipitação sobre o solo (SHOLAGBERU et al., 2016).

O fator erosividade da chuva (R) da EUPS considera a quantidade da precipitação, energia cinética das gotas de chuva que se chocam com o solo. O tamanho das gotas e a intensidade das chuvas são fatores que influenciam diretamente na energia cinética (DERPSCH et al., 1991).

Vários modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e melhorados há várias décadas com o objetivo de dimensionar as perdas de solo causadas pela erosão, tendo em vista instalar ferramentas que avaliarão essas perdas com o intuito de orientar o planejamento agrícola, (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Vários fatores causam a erosão do solo, porém, apenas o fator erosividade (R) é obtido diretamente a partir de registro pluviográfico (AMORIM et al., 2010). Um método muito utilizado é a análise dos pluviogramas diários segmentando as chuvas por período de mesma intensidade, ou seja, segmento no gráfico com uma mesma inclinação para realizar o cálculo da erosividade.

No Brasil existe uma grande variabilidade espacial do fator R, devido à variabilidade climática das cinco regiões existentes no país. Essa grande variabilidade indica o risco de erosão hídrica.

Oliveira et al. (2012) em uma extensa revisão na literatura brasileira encontraram 35 trabalhos que utilizaram dados pluviográficos para calcular a erosividade das chuvas. Segundo estes autores, a erosividade anual das chuvas no Brasil variou de 1.672 a 22.452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os menores valores foram encontrados na região Nordeste e os valores mais altos na região Norte. A erosividade das chuvas tende a aumentar de Leste para Oeste, particularmente na parte Norte do País.

Loureiro e Coutinho (2001) computaram a erosividade durante 27 anos em diversas localidades da região do Algarve, em Portugal. Das 32 estações estudadas, em apenas três a erosividade média anual (fator R) foi superior a 3.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Já Panagos et al. (2015) avaliaram a erosividade das chuvas na Europa, na forma do fator R-RUSLE. O fator R médio para a União Européia e a Suíça é de 722 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com os valores mais altos (> 1.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) na região do Mediterrâneo e Alpes e os mais baixos valores, nos países Nórdicos (< 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

Gatari et al. (2011) determinaram a erosividade anual das chuvas em 8 (oito) estações pluviométricas do Nordeste da Espanha em um período de 13 anos. O fator R anual médio foi de 1.986 ± 532 MJ mm há⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com uma grande variabilidade espacial interanual. Os coeficientes de variação variaram entre 12 e 66%, com um valor médio anual de 35%. Estes resultados podem ser vistos como uma consequência das tempestades de verão nos valores anuais da erosividade

anual. A variabilidade temporal dos valores de erosividade anual entre as estações foi diversa, com coeficientes de variação entre 33 e 52% e um valor médio de 44%.

2.4 Índice de erosividade

Para Waltrick (2010) caracterizar o fator erosividade (R) é necessário cálculos que relacionem a energia cinética, a intensidade e o total da precipitação. Wischmeier e Smith (1978) propuseram uma metodologia, onde se realiza a soma da intensidade de cada aclave da curva da chuva do pluviograma que representa a chuva. Pesquisas foram realizadas com o intuito de diminuir o tempo com esses cálculos, onde foram correlacionadas as intensidades máximas em determinados intervalos de tempo com a erosividade total da chuva.

No Brasil, as pesquisas compararam os índices de erosividade EI_5 , EI_{10} , EI_{15} , EI_{20} , EI_{25} , EI_{30} , EI_{35} , $KE>10$ e $KE>25$. O índice EI informa que a erosividade levou em consideração o intervalo de tempo em que a chuva teve maior intensidade. Esses índices representam intervalos de tempo em minutos. Já os termos $KE>10$ e $KE>25$, informam que a erosividade considerou apenas as chuvas com precipitações acima de 10 mm e 25 mm, respectivamente (WALTRICK, 2010).

Um dos métodos mais eficazes para calcular a erosividade da chuva é o índice EI_{30} . De acordo com Wischmeier (1959) o parâmetro mais utilizado para determinar a erosividade causada pela chuva é o EI_{30} , resultante da interação da energia cinética da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos. Wischmeier e Smith (1958) observaram que a chuva em áreas cultivadas causou perda de solo que apresentaram uma elevada correlação entre a energia cinética e a intensidade máxima em 30 minutos. Este índice é o que melhor expressa o potencial da chuva, pois considera as diversas fases, desde o impacto das gotas da chuva, a desagregação do solo, a turbulência do escoamento e o transporte das partículas de solo.

Foster et al. (1981) propuseram uma expressão para a energia cinética unitária de cada segmento em unidades do Sistema Internacional, dada por:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} i \quad (2)$$

Em que:

E_c = energia unitária ($MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

I = intensidade do segmento de chuva (mm h^{-1}).

O índice EI_{30} da chuva é obtido da multiplicação da energia total da chuva pela intensidade máxima da mesma chuva baseada num período contínuo de 30 minutos de chuva, em $MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1}\ ano^{-1}$.

O índice de erosão EI_{30} é expresso por:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30} \quad (3)$$

Em que:

EI_{30} = índice de erosão, $MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1}$;

E_c = energia cinética da chuva;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, $mm\ h^{-1}$.

A erosividade da chuva de um determinado mês é dada pela soma dos índices EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas desse mês. A erosividade da chuva de um ano é obtido através da soma dos índices EI_{30} das chuvas mensais do referido ano. O Fator "R" da EUPS é utilizado em um determinado local é determinado pela média da erosividade anual das chuvas por um período de vários anos (CASSOL et al., 2008).

A análise de regressão utiliza a precipitação média anual e o índice de Fournier modificado por Lombardi Neto (1977) como variáveis independentes. No Brasil vários pesquisadores mostraram que o índice de Fournier modificado apresentou melhores resultados no cálculo do fator R (CARVALHO et al., 2005; CASSOL et al., 2008; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; OLIVEIRA et al., 2011).

Os resultados das equações de regressão geralmente são usados para calcular a erosividade proveniente de dados pluviométricos em regiões que não tem dados pluviográficos. É válido também ressaltar que o uso dessas equações está limitado a regiões que apresentam magnitudes dos parâmetros de chuvas semelhantes àqueles onde foram gerados (SILVA et al., 1997).

2.5 Padrão Hidrológico

O padrão hidrológico é um parâmetro que analisa as características das precipitações que causam o processo, classificado, de acordo com a intensidade das chuvas em padrão avançado - o pico de maior intensidade ocorre no início do período de duração da precipitação (1/3); padrão intermediário o pico de maior intensidade ocorre no meio (2/3) e padrão atrasado o pico de maior intensidade ocorre no fim (3/3) do período de duração da chuva, (HORNER; JENS, 1942).

Segundo Bazzano, Eltz e Cassol (2007) quando ocorre o pico de máxima intensidade no padrão atrasado, o solo encontra-se com alta umidade quando comparado com os padrões avançado e intermediário, conseqüentemente haverá a perda de solo decorrente da desagregação, do selamento superficial e o transporte de suas partículas. A principal forma de erosão nas condições brasileiras é a causada pela energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, desencadeando o processo de erosão hídrica.

Santos e Montenegro (2012) desenvolveram um trabalho com o objetivo de avaliar o índice de erosividade (EI_{30}) e caracterizar o padrão hidrológico das chuvas do Agreste Central pernambucano, considerando uma série de 29 anos de dados, ficando patente que o primeiro semestre do ano é caracterizado pela ocorrência de chuvas de elevado potencial erosivo. Segundo os autores, o padrão de chuva de maior ocorrência é o avançado, seguido do intermediário e atrasado, com 46,57; 36,38 e 17,19% dos totais de chuvas erosivas analisadas, respectivamente. Não foram encontradas correlações significativas entre erosividade, coeficiente de chuva e precipitação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Base de dados

O estudo foi realizado utilizando dados do município de Picos, PI, com superfície de 535 km², localizado no semiárido piauiense, situado entre as coordenadas geográficas latitude 07° 04' 37" S, longitude 41° 28' 01" O e altitude de 206 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo semiárido, muito quente, apresentando uma temperatura média anual do ar de 27,2 °C. A precipitação média anual relativa ao período (1960-2016) é de 684,2 mm concentrada nos meses de dezembro a abril (PIAUÍ, 2010).

Foram utilizados os registros pluviográficos diários da Estação Meteorológica do município Picos, PI que se encontram nos arquivos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (3° DISME), em Recife, PE, os quais foram agrupados por ordem cronológica, mês e anos.

Foram avaliadas 442 chuvas, registradas em pluviogramas diários em uma série histórica do período de 2006 a 2016, excluídos os anos 2009, 2010, 2011 e 2015. Os diagramas apresentam uma amplitude de registro de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,1 mm e o tempo de registro de 24 h, com unidade de 10 minutos. Os registros de chuva nos pluviogramas foram contados considerando os segmentos de intensidade uniforme.

O índice de erosividade (EI_{30}) foi determinado para cada chuva individual classificada como erosiva. Foram consideradas chuvas individuais erosivas aquelas separadas da anterior e da posterior por um período mínimo de 6 h sem chuva ou com chuvas de até 1 mm durante esse período. Já as chuvas com lâminas igual ou superior a 10 mm foram consideradas erosivas (WISCHMEIER, 1976).

Os dados de cada segmento de chuvas individuais e erosivas foram anotados em planilha do Excel e por meio do programa Chuveros foram estimadas as erosividades mensal, média e anual das chuvas pelo índice de erosividade (EI_{30}). Esse programa foi elaborado pelo Professor Dr. Elemar Antonino Cassol da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Para cada segmento uniforme de chuva foi determinada a energia cinética unitária, de acordo com a expressão de Wischmeier e Smith (1978) e a unidades do Sistema Internacional de Foster et al. (1981), definida pela seguinte fórmula:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (4)$$

Em que: EC é a energia cinética unitária ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

I é a intensidade da chuva (mm ha^{-1}).

O valor encontrado na expressão foi multiplicado pela quantidade de chuva no segmento uniforme que irá expressar a energia cinética do segmento em (MJ ha^{-1}). Par obter a energia cinética total da chuva é necessário somar a energia cinética de todos os segmentos uniformes de chuva.

A energia cinética total da chuva erosiva individual é definida pela seguinte fórmula:

$$ECt = \sum EC_s \quad (5)$$

Em que: EC = energia cinética total das chuvas erosivas individuais (MJ ha^{-1});

$\sum EC_s$ = somatório de energia cinética de cada segmento da chuva (MJ ha^{-1}).

A erosividade da chuva é expressa pelo índice EI_{30} , através da seguinte fórmula:

$$EI_{30} = ECt \times I_{30} \quad (6)$$

Em que: EI_{30} = índice da chuva erosiva individual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$);

ECt = energia cinética total da chuva (MJ ha^{-1});

I_{30} = intensidade máxima da chuva em período contínuo de 30 minutos de chuva (mm h^{-1}).

Somando-se os índices EI_{30} de todas as chuvas individuais erosivas de cada mês, obteve-se a erosividade mensal das chuvas e a partir da soma dos valores mensais obteve-se a erosividade anual, cujo valor médio corresponde ao valor utilizado no Fator R da equação EUPS.

A classe de interpretação do índice de erosividade média anual (R) seguiu a classificação do autor Carvalho (2008) e Foster et al. (1981), conforme está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Classe de interpretação do índice de erosividade médio anual (R)

Erosividade	Classes de erosividade
$R \leq 2.452$	Baixa
$2.452 < R \leq 4.905$	Média
$4.905 < R \leq 7.357$	Moderada
$7.357 < R \leq 9.810$	Alta
$R > 9.810$	Muito alta

Fonte: (CARVALHO, 2008; FOSTER et al., 1981).

Para determinar o padrão da chuva foi utilizado o programa Chuveros, em que cada chuva foi separada de acordo com os padrões de chuvas avançada, intermediária e atrasada, seguindo a classificação de Horne e Jens (1942).

Em seguida foi calculado o período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade anual, conforme sugerido por Schwab et al. (1981).

O período de retorno é definido pela seguinte fórmula:

$$T = (N + 1)/m \quad (7)$$

Em que: T = período de retorno (anos);

N = número de anos de registro de dados;

m = número de ordem do índice erosividade da série considerada (a erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude).

A probabilidade de ocorrência do índice de erosividade é definida pela seguinte fórmula:

$$Pr = 100/T \quad (8)$$

Em que: Pr = probabilidade de ocorrência do índice de erosividade (%);

T = período de retorno (anos).

Determinou-se também o coeficiente de chuva, proposto por Fournier (1956), e modificado por Lombardi Neto (1977) como variáveis independentes a partir dos valores de EI_{30} calculados para:

$$Rc = p^2 \cdot P^{-1} \quad (9)$$

Em que: Rc é o coeficiente de chuva (mm);

p é a precipitação média mensal (mm);

P é a precipitação média anual (mm).

Foram estabelecidas correlações entre os índices de erosividade de chuva, precipitação média mensal e coeficiente de chuva em seguida apresentados os coeficientes de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2). Aplicou-se o teste t de Student ao nível de 1% de probabilidade a fim de observar a significância estatística dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação média mensal e anual do município de Picos, PI correspondente ao período 2006 - 2016 (os anos 2009, 2010, 2011 e 2015 foram excluídos) pode ser observada na Tabela 2. O índice pluviométrico variou de 311,90 mm em 2012 a 911,2 mm no ano de 2006. Esta variação interanual é bem característica do semiárido do Estado do Piauí.

Tabela 2 Precipitações mensal e anual de Picos, PI no período de 2006 a 2016.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm													
2006	65,10	221,80	193,60	190,80	41,20	0,00	0,00	0,00	10,80	19,80	14,50	153,70	911,30
2007	95,10	202,40	94,90	63,80	46,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	32,90	30,10	568,60
2008	88,90	75,00	287,80	138,40	14,20	0,00	0,00	1,10	2,40	0,90	2,90	141,80	753,40
2012	49,50	75,10	47,40	12,70	7,10	1,80	0,00	0,00	0,00	0,60	103,90	13,80	311,90
2013	73,90	8,80	69,90	68,50	67,00	8,60	1,00	0,00	0,00	1,30	16,20	0,00	315,20
2014	28,40	109,60	99,70	64,10	11,20	0,20	23,80	0,00	0,00	43,80	35,60	0,00	416,40
2016	319,30	86,30	97,00	5,90	32,60	0,00	0,00	0,00	7,70	8,80	10,30	0,00	567,90
MEDIA	102,89	111,29	127,19	77,74	31,36	1,51	3,54	0,16	2,99	11,20	30,90	48,49	549,24
DP	98,11	75,58	84,23	66,23	21,90	3,19	8,94	0,42	4,46	15,93	34,27	68,76	224,44
CV	0,95	0,68	0,66	0,85	0,70	2,11	2,52	2,65	1,49	1,42	1,11	1,42	0,41

DP = Desvio padrão

CV = Coeficiente de variação

A precipitação média anual foi de 549 mm, concentrada nos meses de dezembro a abril, valor abaixo da média climatológica que é de 684,2 mm. Em relação às médias mensais verifica-se que o mês de março apresentou maior média, com 127,19 mm, enquanto o mês de agosto indicou a menor média, com valor de 0,16 mm. A pluviosidade média mensal varia de 0,16 a 127,19 mm, resulta da heterogeneidade temporal da distribuição da precipitação na região semiárida de Picos, PI, como constatado também no Agreste Central pernambucano por Santos e Montenegro (2012). Isso caracteriza-se pela má distribuição das chuvas no tempo e no espaço apresentando um período prolongado de estiagem e um período chuvoso com chuva de alta intensidade e de curta duração, resultando em elevado risco de erosividade.

O coeficiente de variação (CV) mensal variou de 0,66 (março) a 2,65 (agosto), enquanto o CV anual encontrado foi 0,41. Valor semelhante foi encontrado por Santos e Montenegro (2012) para o Agreste Central pernambucano, CV anual de 0,44. O CV anual é considerado alto, isso explica a grande variabilidade da precipitação, ou seja, a irregularidade das chuvas no Nordeste. A grande variação do CV mensal ocorre devido à ausência de precipitação em alguns meses.

O coeficiente de variação anual encontrado mostrou-se acima dos valores obtidos por Moreti et al. (2003) em Pedrinha Paulista, SP (0,20); por Mazurana et al. (2009) em Santa Rosa, RS (0,27) e Cassol et al. (2008) em São Borja, RS (0,30) são considerado resultados normais por se tratar de regiões com elevados índices de precipitação e uma maior regularidade.

Com a análise das 442 chuvas, apenas 131 foram consideradas chuvas erosivas, representando 29,64%, concentradas no período de dezembro a março, visualizada na Figura 1. Tornando-se necessários maiores cuidados em relação ao manejo do solo, visando minimizar os impactos causados pela erosão hídrica, principalmente no período em que ocorre o preparo do solo e a semeadura. Eltz et al. (2013) encontraram 42,6% de chuvas erosivas e 57,4% de chuvas não erosivas para o município de São Gabriel, RS. Schick et al. (2014) em estudos realizados no município de Lages, SC constataram 44% de chuvas erosivas e 56% de chuvas não erosivas, valores que divergem dos encontrados no município de Picos, PI.

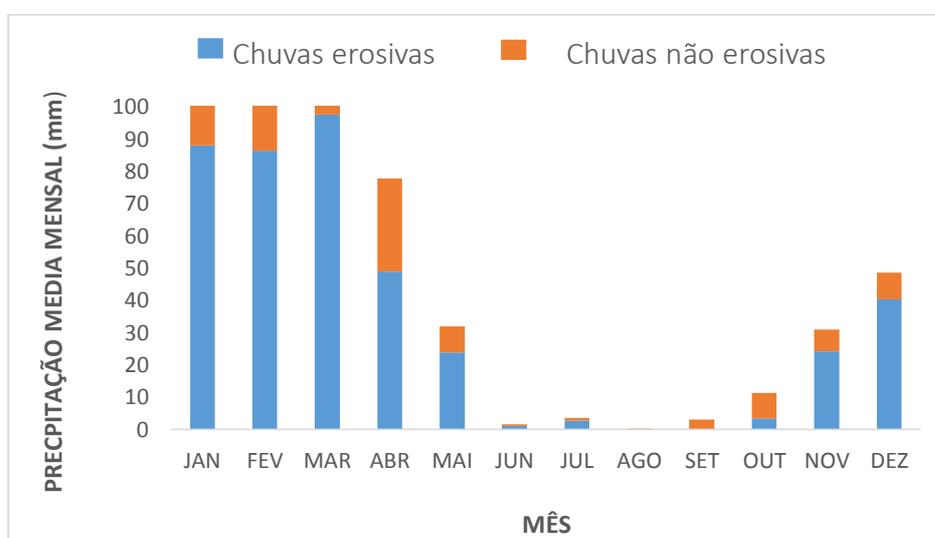


Figura 1 Precipitação média mensal dividida em chuvas erosivas e não erosivas

No período em estudo, a erosividade mensal variou de zero, nos meses em que não ocorreram chuvas erosivas a 2.624,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, no mês de janeiro de 2016. Os valores mensais e médios da erosividade encontram-se na Tabela 3 e Figura 2. Os maiores valores de erosividade médios mensais obtidos foram 851,97, 766,64, 608,19 e 409,01 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ nos meses de janeiro, março, fevereiro e dezembro, respectivamente, enquanto o menor valor médio obtido foi zero nos meses de agosto e setembro.

Tabela 3 Valores mensais e médios da erosividade (EI₃₀) de Picos, PI com as respectivas estatísticas de dispersão no período de 2006 a 2016.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹												
2006	1066,50	1779,20	1280,10	669,60	192,90	0,00	0,00	0,00	0,00	35,10	29,00	1484,20
2007	1464,90	770,60	1108,30	410,20	426,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,70	105,80
2008	264,60	193,50	1878,40	453,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1273,10
2012	67,70	252,70	65,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1242,2	0,00
2013	431,40	0,00	250,10	0,00	1290,4	20,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	44,30	776,30	398,40	558,30	0,00	0,00	88,10	0,00	0,00	21,80	76,20	0,00
2016	2624,40	485,00	385,40	0,00	107,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,00	0,00
Média	851,97	608,19	766,64	298,84	288,17	2,99	12,59	0,00	0,00	8,13	213,44	409,01
DP	944,50	592,92	665,25	291,29	468,03	7,90	33,30	0,00	0,00	14,40	455,38	666,31
CV	1,11	0,97	0,87	0,97	1,62	2,65	2,65	0,00	0,00	1,77	2,13	1,63

DP = Desvio padrão

CV = Coeficiente de variação

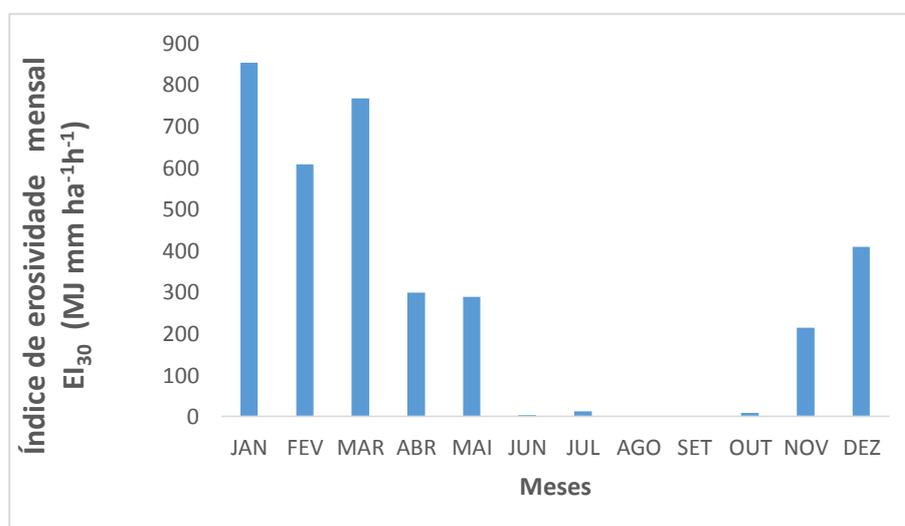


Figura 2 Variabilidade temporal mensal do fator R

Observa-se que o período de dezembro a março representa 76,2% da erosividade média anual. Esse período aumenta o risco de perda de solo, tornando-se necessário o uso e manejo do solo de forma adequada.

Estudos realizados por Nascimento e Chaves (1996) em Alagoinha, PB e Santos e Montenegro (2012) no Agreste Central de Pernambuco em condições climáticas semelhantes mostraram que as maiores médias mensais de erosividade foram $782 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $666,44 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente.

Entretanto, foram encontrados valores médios mensais maiores para os municípios de Pedrinhas Paulista, SP ($1.301 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por Moreti, Mannigel e Carvalho (2003); São Borjas, RS ($1.269 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por Cassol et al. (2008); Dourados, MS ($2.560 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por Oliveira et al. (2011) e Goiânia, GO ($1.893 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por Silva et al. (1997), esse municípios apresentam índices pluviométricos elevados bem característicos de sua respectivas regiões.

Os valores da erosividade anual variaram de $1.628,3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano de 2012 a $6.536,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no ano de 2006, Tabela 4. A erosividade média anual (R) é de $3.460,0 \pm 1.755,21 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o coeficiente de variação foi de 51%. O valor de R foi classificado conforme Foster et al. (1081) e Carvalho (2008), verifica-se que o município de Picos, PI é classificada como de erosividade média, tornando-se necessário uma maior atenção com as práticas agrícolas que promovem a movimentação do solo alterando as condições superficiais do solo.

Tabela 4 Erosividade total, (EI_{30}/ano) e erosividade média (R) de Picos, PI no período de 2006 a 2016.

Ano	$EI_{30} \text{ (MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}\text{)}$
2006	6.536,6
2007	4.395,8
2008	4.063,5
2012	1.628,3
2013	1.992,8
2014	1.963,3
2016	3.639,5
Total	24.219,8
Erosividade (R)	3.460,0
DP	1.755,21
CV	51

DP = Desvio padrão

CV = Coeficiente de variação (%)

Quando comparado ao valor obtido por Santos e Montenegro (2012), 2.779,79 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e por Silva et al. (1985), 2.775,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ ambos no Agreste Pernambucano e por Albuquerque, Chaves e Vasque Filho (1994), 2.100 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e Margolis, Silva e Jacques (1985), 2.060 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, ambos em Caruaru, PE, constata-se que estão dentro do intervalo de variação.

Valores semelhantes foram encontrados em regiões do Sertão por Silva et al. (1985), 3.699,28 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e para a região do Médio São Francisco no polo de Petrolina, PE/Juazeiro, BA, Lopes e Brito (1993) encontraram um valor de 3.772 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Os resultados da análise da erosividade das chuvas nas terras secas do Piauí (incluindo o subúmido seco e o semiárido) mostram que o valor médio anual encontrado para a área de estudo foi de 5.153 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, variando de 3.316 a 6.877 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (AQUINO et al., 2006).

Ao comparar os valores neste estudo com os dados obtidos por Cabral et al. (2014), verificam-se que são consistentes, posto que os autores encontraram para o Sertão Central do Ceará valores médios anuais de erosividade da ordem de 5.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Estudos realizados mostraram que em parte do Nordeste do Brasil o valor médio anual de erosividade é bem menor quando comparado com alguns municípios do Estado do Piauí. Diversos trabalhos determinaram a erosão causada pelas chuvas no Piauí, classificando o índice de erosividade como alto a muito alto. Como exemplo, Santos Júnior (2011) calculou o índice de erosividade EI_{30} para os municípios de Teresina e Parnaíba no Estado do Piauí, obtendo valores médios de 9.655 e 9.964,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, enquanto Carvalho (2013) utilizando dados correspondentes a 8 (oito) anos de registro de chuvas de Piri-piri, PI, obteve o valor de EI_{30} igual a 9.018,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

A erosividade média anual diverge da média encontrada em Sumé, PB (4.298 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Albuquerque et al. (2001); em Fortaleza, CE (6.774 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Dias e Silva (2003); em Patos, PB (5.200 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Chaves et al. (1997); em Pedrinhas Paulista, SP (7.670 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Moreti et al. (2003) e em Santa Rosa, RS (11.217 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) por Mazurana et al. (2009).

Observa-se na Figura 3 a curva de distribuição dos valores médios mensais acumulados para os índices EI_{30} . O período de maior inclinação da curva foi de novembro a abril, concentrando-se 91,2% da erosividade anual, indicando ainda a época do ano mais crítica em relação à erosão, conhecer a distribuição da erosividade durante o ano facilita o planejamento adequado das práticas conservacionistas do solo que possibilitará minimizar os riscos de erosão. Resultados equivalentes foram constatados por Santos Júnior (2011), que encontraram índices com 82% para o município de Teresina, PI e por Bazzano, Eltz e Cassol (2007), 85,4% para o município de Quaraí, RS.

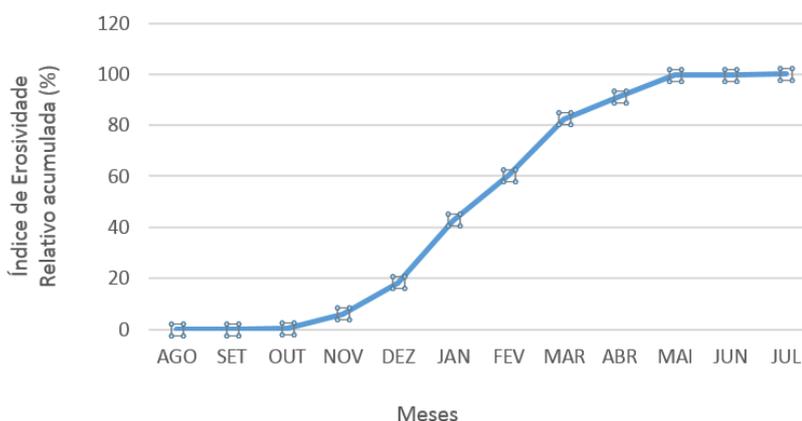


Figura 3 Distribuição relativa acumulada do índice de erosividade erosiva (EI_{30}) médio mensal de Picos, PI, durante o período 2006 a 2016.

O padrão avançado foi o de maior ocorrência com 58% das chuvas erosivas, seguido pelo intermediário com 24,44% e o atrasado com 17,56% observa-se na Tabela 5. No município de Picos, PI, observou-se que na maioria dos eventos de precipitação o pico de maior intensidade ocorreu no início das chuvas. Isto ocasionará menores perdas de solo devido à ausência de umidade comparado com os demais padrões de chuvas. Assim, a desagregação, o selamento superficial e o transporte de sedimentos serão menores do que os demais padrões (MEHL et al., 2001).

Diante dos resultados, Eltz et al. (2001) consideram benéfico, quando a maior frequência de chuvas ocorre no padrão avançado, pois ao iniciar a chuva o solo encontra-se mais seco possibilitando absorver mais água.

Tabela 5 Padrões de chuvas avançada, intermediária e atrasada de Picos, PI no período de 2006 a 2016.

Padrão Hidrológico	N° de chuvas erosivas		Média Anual			
	Absoluto	%	Chuva erosiva		Erosividade	
			Total (mm)	%	MJ mm ha ⁻¹ ano ⁻¹	%
Avançado	76	58,00	267,1	64,19	2.350,5	67,94
Intermediário	32	24,44	92,9	22,33	733,0	21,18
Atrasado	23	17,56	56,1	13,48	376,5	10,88
Total	131	100	416,1	100	3.460,0	100

Bazzano et al. (2007) encontraram para o município de Quaraí, RS identificaram para os padrões avançados, intermediário e atrasados, respectivamente, 57%, 25% e 18%, valores semelhantes aos obtidos no município de Picos, PI.

Durante pesquisa no município de Piri-piri, PI, Carvalho (2013) identificou que o padrão de precipitação avançado concentrou as chuvas erosivas em relação aos padrões intermediários e atrasados, onde o valor encontrado foi de 48,5%, dados próximos aos encontrados em Picos, PI, para as chuvas do padrão avançados.

Quanto ao período de retorno e probabilidade de ocorrência do Índice de erosividade (EI_{30}) em Picos, PI o maior valor para 8 (oito) anos está associado a 12,5% enquanto que o período de retorno de um ano está associado a 87,5% (Tabela 6).

Tabela 6 Período de retorno e probabilidade de ocorrência do Índice de erosividade EI_{30} (MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹) em Picos, PI.

Ano	EI_{30}	Período de Retorno (ano)	Probabilidade de Ocorrência (%)
2006	6.536,6	8,00	12,50
2007	4395,8	4,00	25,00
2008	4063,5	2,67	37,50
2012	1628,3	1,14	87,50
2013	1992,8	1,60	62,50
2014	1963,3	1,33	75,00
2016	3639,5	2,00	50,00

Os valores para o período de um ano foram semelhantes àqueles encontrados por (CARVALHO et al., 2010) no município de Seropédica RJ. No entanto, para períodos de retornos maiores os valores são totalmente diferentes.

Os dados obtidos concordam parcialmente com os dados de Piripiri, registram uma probabilidade de ocorrência de 88,9% para um período de retorno de um ano (CARVALHO, 2013). Santos Júnior (2011) ao analisar dados dos municípios de Teresina e Parnaíba, PI o período de retorno médio de 1,2 anos tem a probabilidade de ocorrência de 83,3% valores próximo aos encontrados para o município de Picos, PI.

A melhor relação entre a erosividade das chuvas (EI_{30}) e a precipitação média mensal (p) foi a linear. Isto indica que a erosividade mensal do município de Picos, PI pode ser estimada utilizando-se dados oriundos de pluviômetros, representada pela seguinte expressão:

$$EI_{30} = 6,045x + 6,6316, R^2 = 0,8903 \quad (10)$$

A equação que apresentou o melhor coeficiente de determinação entre a erosividade das chuvas (EI_{30}) e o coeficiente de chuva (Rc) foi à quadrática, representada pela expressão abaixo:

$$EI_{30} = - 0,8024x^2 + 47,905x + 53,538, R^2 = 0,8621 \quad (11)$$

Quando se utilizou a precipitação (P) ao invés do coeficiente de chuva (Rc) para estimar a erosividade, obteve-se um coeficiente de determinação maior, possibilitando maior segurança na estimativa quando se utiliza a precipitação. Dados semelhantes foram encontrados por Gonçalves et al. (2006), para o Rio de Janeiro, a estimativa da erosividade das chuvas a partir da precipitação média mensal (p) proporcionou melhores resultados quando comparados com o coeficiente de chuva.

Em estudos realizados no município de Fortaleza, CE, por Dias e Silva (2003), ao correlacionarem a erosividade das chuvas (EI_{30}) e o coeficiente de chuva (Rc) obtiveram o melhor coeficiente de correlação através da equação quadrática. Hickmann et al. (2008) também encontraram a relação quadrática como a melhor correlação entre a erosividade das chuvas (EI_{30}) e coeficiente de chuva (Rc) para o município de Uruguaiana, RS.

Observa-se na Figura 4 a ilustração da equação de regressão entre o EI_{30} e a precipitação média mensal, além do respectivo coeficiente para a estimativa da erosividade. O coeficiente da equação linear foi significativo pelo teste de Student a

1% de probabilidade, indicando que existe uma boa correlação entre a precipitação anual e a erosividade ($P > 0,01$).

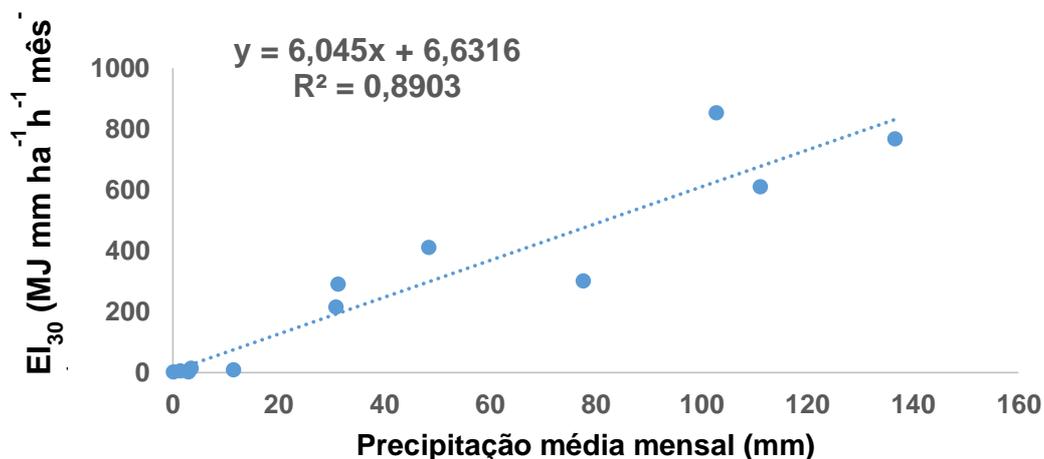


Figura 4 Correlação linear entre o índice de erosividade média mensal (EI₃₀) e a precipitação para Picos, PI.

A equação de regressão entre o EI₃₀ e o coeficiente de chuva (Rc) e o respectivo coeficiente para a estimativa da erosividade é mostrada na Figura 5. O coeficiente da equação quadrática foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Student. A erosividade máxima foi obtida com coeficiente de chuva de 29,85 mm.

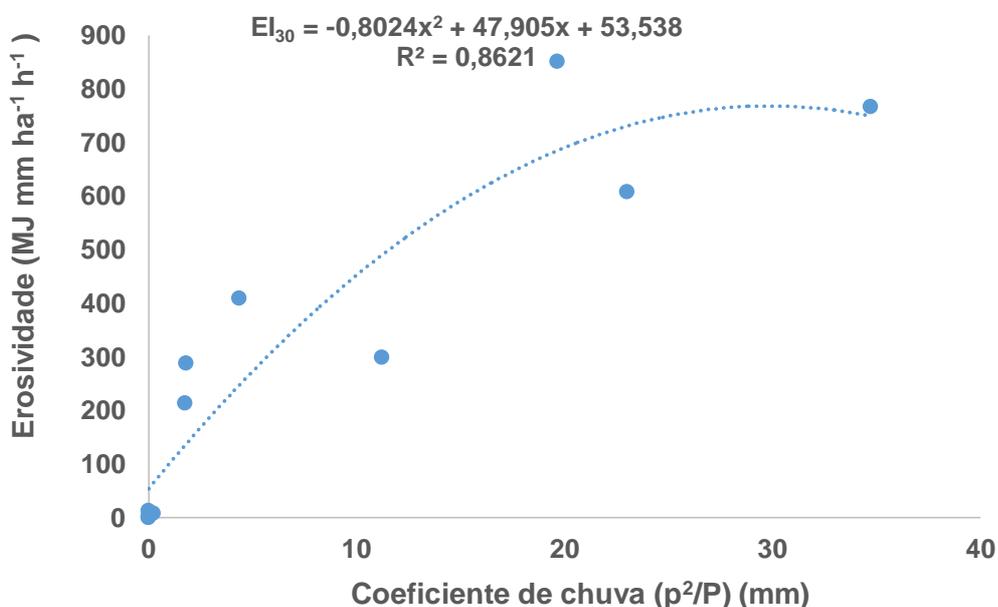


Figura 5 Correlação quadrática entre o índice de erosividade média mensal (EI₃₀) e o coeficiente de chuva (Rc) para Picos, PI.

5 CONCLUSÃO

A precipitação pluvial média anual das 442 chuvas estudadas entre 2006 a 2016, em Picos, PI, foi de 549,24 mm, com 29,64% de chuvas erosivas;

A erosividade variou de zero, nos meses em que não ocorreram chuvas erosivas a 2.624,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, no mês de janeiro de 2016. Os maiores valores de erosividade mensal obtidos foram 851,97 e 766,64 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ nos meses de janeiro e março, respectivamente, representando 46,78% da erosividade média anual;

Os valores da erosividade anual variaram de 1.628,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no ano de 2012 a 6.536,60 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no ano de 2006. A erosividade média anual (R) foi de 3.460,0 ± 1.755,21 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e o coeficiente de variação foi de 51%, caracterizada como de médio potencial erosivo;

O período de retorno do Índice de erosividade (EI₃₀) em Picos, PI para um período de 08 (oito) anos está associado a 12,5% de probabilidade enquanto que o período de retorno de um ano está associado a 87,5% de probabilidade de ocorrência;

O padrão avançado foi o de maior ocorrência com 58% das chuvas erosivas, seguido pelo intermediário com 24,44% e o atrasado com 17,56%. No município de Picos, PI, observou-se que na maioria dos eventos de precipitação o pico de maior intensidade ocorreu no início das chuvas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I. B.; VASQUE FILHO, J. Distribuição e relações com a precipitação pluviométrica de Caruaru, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 14, p. 83-90, 1994.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 121-128, 2001.
- AMORIM, R. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, 2010.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa de erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 287-291. 2006.
- 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**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.1205-1217, 2007.
- BAZZANO, M. G. P. **Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí e Rio Grande, RS**. 2005. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.
- CABRAL, L. J. R. S., VALLADARES, G. S., AQUINO, C. M. S. Erosividade das chuvas em parte do Alto Curso do Rio Banabuiú – Sertão Central do Ceará. **Revista Equador**, Teresina, v. 3, n. 2, p. 51-61, 2014.
- CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R. L.; EVANGELISTA, A. W. P.; KHOURY JÚNIOR, J. K.; SILVA, L. D. B. da. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI_{30} e $KE>25$ em Seropédica – RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 244-252, 2010.
- CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCE, R.; BERTO, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
- CARVALHO, P. A. C. **Erosividade das chuvas em Piripiri - PI**. 2013. 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M. de.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n.32, p.1239-1251, 2008.

CHAVES, I. B.; LEITE JUNIOR, G. P.; MAIA NETO, F. F. Análise de pluviometria e a erosividade das chuvas de Patos, PB, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIAS DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1997.1 CD-ROM.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil:** sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 268 p. (Sonderpublikation der GTZ, 245).

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza, CE: I distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 335-345, 2003.

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 - 1ª aproximada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 347-354, 2003.

ELTZ, F.L.F. CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B.; AMORIM, AR. S. S. Potencial erosivo e característica das chuvas de São Gabriel, RS, 1963 a 1993. **Revista Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 647-54, 2013.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perda de solo e água entre sulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n. 2, p. 485-493, 2001.

FERNANDES, J. D.; MEDEIROS, A. J. D. de. Desertificação no Nordeste: uma aproximação sobre o fenômeno do Rio Grande do Norte, **Holos**, ano 25, v. 3, 2009.

FOSTER, G. R.; McCool, D. K.; Renard, K. G.; Moldenhauer, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 355-59, 1981.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Aumenta a degradação do solo**. 2015. Disponível em: <https://fao.org.br/vernoticias.asp?id_noticia=467>. Acesso em: 30 out. 2016.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. **Association Hydrologic Int. public**, v. 38, 1956.

GATARI, G. J.; LATRON, J.; GALLART, F. Assessing the sources of uncertainty associated with the calculation of rainfall kinetic energy and erosivity – application to

the Upper Llobregat Basin, NE Spain. **Hydrology and Earth System Science**, Barcelona, v. 15, p. 679–688, 2011.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.C; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 269-276, 2006.

HICKMANN, C. ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI_{30} , com base no período de 1963 a 1991. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 32, n. 2, p. 825-831, 2008.

HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transation American Society Civil Engieenering**, local v.107 p.1039-1117, 1942.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

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

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil**. West Lafayette: Purdue University, 1977. 55 f. MSc. Dissertation.

LOMBARDI NETO, F. E MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: Sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantina**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOUREIRO, de S. N., COUTINHO M. de A. A new procedure to estimate the RUSLE EI_{30} index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. **Jornal of Hydrology**, Amesterdã, v. 250, p.12-18, 2001.

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

MARGOLIS, E.; SILVA, A. B.; JACQUES, F. O. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru, PE. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 165-169, 1985.

MAZURANA, J. CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p. 975-983, 2009.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L.F.; REICHERT, J. M.; DIDONE, I. A. Caracterização dos padrões de chuva ocorrente em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 485-493, 2001.

MORETI, D.; MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. E; Fator e erosividade da chuva para o município de Pedrinha Paulista, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 137-45, 2003.

MORGAN, R. P. C. **Erosão de Solo e Conservação**. Longman: Essex, 1986. 298p.

NASCIMENTO, C. W. A. do; CHAVES, I. de B. Erosividade e características da chuva correlacionada com a perda de solo em Alagoinha, PB. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 26, n. 3, p. 407-412. 1996.

OLIVEIRA, P. T. S. de YOULTON, C.; OLIVEIRA, D. B. B.; SOBRINHO, T. A.; WENDLAND, E. MENDIONDO, E. M. Estimativa do índice de erosividade e obtenção de padrões de precipitação usando series curtas de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió, AL. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brasil: a review. **Catena**, v. 100, p. 139 -147, 2012.

PANAGOS, P. BALLABIO, C.; BORRLLI, P.; MEUSBURGER K.; KLIK, A.; ROUSSEVA, S.; TADIĆ, M. P.; MICHAELIDES, S.; HRABALÍKOVÁ, M.; OLSEN, P.; AALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICZ, A.; DUMITRESCU, A.; BEGUERÍA, S.; ALEWELL, C. Rainfall erosivity in Europe. **Science of The Total Environment**, Amsterdã, v. 511, p. 801-814, 2015.

PANDIT, D. V.; ISAAC, R. K. A Scenario of Rainfall Erosivity Index Research. **International Journal of Engineering Research**, Índia, v. 4, n. 12, p. 668-672, 2015.

PIAUI. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Diagnóstico e Prognóstico das Disponibilidades Hídricas das Bacias Hidrográficas - RTP-6. Diagnóstico referencial consolidado sobre os Recursos Hídricos no Estado do Piauí. Teresina: SEMAR, 333 p. 2010.

RENARD, K. G. FOSTER, G. A.; WEESIES, D. K.; MCCOOL, YODER, D. C., El distribution used in calculation of K factor and C factor. In: _____. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. United States: Department of Agriculture, 1996. p. 30-40. (Agriculture Handbook Number, 703)

SALVIANO, A. A. C. LIMA, M. G.; NUNES, L. A. P. L; MELO, L. F. L. Avaliação dos trabalhos sobre desertificação em Gilbués, PI. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS, 2., 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Banco do Nordeste, 2010.

SANTOS JÚNIOR, A. B. **Erosividade e padrão de chuva em Teresina e Parnaíba no Piauí**. 2011. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, v. 16, n. 8, p. 871-880, 2012.

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.

SCHICK, J. BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P.; Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1890-1905, 2014.

SHOLAGBERU, A. T. MUSTAFA, M. R. U.; YUSOF, K. W.; AHMAD, M. H. Evaluationc of Rainfall-Runoff erosivity factor for Cameron Highlands, Pahang, Malaysia. **Journal of Ecological Enginneering**, Amesterdã, v. 17, n. 3, p. 1-8, 2016.

SILVA, I. F. ANDRADE, A. P. DE; CAMPOS FILHO, O. R.; SOUZA, V. F. de Erosividade das chuvas das zonas fisiográficas agreste e sertão de Pernambuco. **Agropecuária Técnica**, v. 6, p. 26-37, 1985.

SILVA, M. L. N. FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas na região da Goiana, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.10, p .977-985, 1997.

WALTRICK, P. C. **Erosividade de chuva no Paraná**: atualização, influência do “el niño” e “la nina” e estimativa para cenários climáticos futuros. 2010. 107f. Dissertação (Mestrado em Pedologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, v.39, p.285-291, 1958.

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

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society of America Proceedings, Madisson, v. 23, p. 446-449, 1959.

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