



## EROSIVIDADES DAS CHUVAS EM IGUATU-CE: CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA E APLICAÇÃO AS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO NORDESTE

*Júlio César Neves dos Santos<sup>1</sup>; Eunice Maia de Andrade<sup>2</sup>; Helba Araújo de Queiroz Palácio<sup>3</sup>; José Ribeiro de Araújo Neto<sup>4</sup>; Jacques Carvalho Ribeiro Filho<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- A erosão hídrica acelerada é um dos problemas ambientais mais importante em todo o mundo, causada especialmente por chuvas intensas e a adoção de modelos de exploração impróprios a cobertura vegetal do solo. O potencial da chuva para gerar erosão do solo é conhecido como erosividade e sua estimativa é fundamental para a compreensão da vulnerabilidade do recurso solo de uma determinada região. Objetiva-se neste trabalho determinar a erosividade da chuva e a equação para estimativa do índice de erosividade em relação ao coeficiente de chuva para Iguatu-CE, e com a equação gerar o mapa de erosividade média anual para o Nordeste brasileiro. A área de estudo foi a Bacia Experimental de Iguatu localizada no Semiárido cearense. Foram analisados 198 eventos naturais de precipitação durante os anos de 2009 a 2013. De posse da equação de regressão entre erosividade e coeficiente de chuva foi gerado o mapa de erosividade média anual do Nordeste. A equação de regressão entre erosividade e coeficiente de chuva pode ser utilizada, com segurança, no cálculo da erosividade em locais com características climáticas semelhantes às de Iguatu, e sua aplicação, em locais onde não existem registros de pluviógrafos.

**ABSTRACT** --- Accelerated erosion is one of the most important environmental problems worldwide, especially caused by heavy rains and the adoption of operating models to improper soil cover. The potential of rain to generate soil erosion is known as erosivity and its estimation is fundamental for understanding the vulnerability of the soil of a particular region feature. This work aims is to determine the rainfall erosivity and the equation to estimate erosivity index in relation to rainfall coefficient for Iguatu-CE, and the equation to generate the map of average annual erosivity for the Brazilian Northeast. The study area was located Iguatu Experimental Basin in Semiarid Ceará. 198 natural rainfall events were analyzed during the years 2009 to 2013 in possession of the regression between erosivity and rainfall coefficient equation was generated map of average annual erosivity Northeast. The regression equation between erosivity and rainfall coefficient can be used safely in the calculation of erosivity in places similar to Iguatu climatic characteristics, and its application in places where there are no records pluviographs.

**Palavras-chave:** Índice EI30, Fator R, mapeamento, semiárido.

1 Doutorando na Universidade Federal do Ceará, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Técnico em Hidrologia da Universidade Federal de Campina Grande, AERH/UAEC/CTRN/UFCG, E-mail: juliocesarnds@yahoo.com.br;

2 Professora da Universidade Federal do Ceará, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: eandrade@ufc.br;

3 Professora do Instituto Federal do Ceara, Campus Iguatu-CE. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br;

4 Doutorando na Universidade Federal do Ceará, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: junior.bg@bol.com.br;

5 Graduando do curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, no Instituto Federal do Ceará (IFCE) campus Iguatu-CE. E-mail: jacquesfilho1@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é a consequência da interação da chuva com o solo, ou seja, é a resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir a esta. Na primeira metade do século passado foram iniciados esforços para estimar as perdas de solo sob diferentes condições de clima, solo e manejos, visando um planejamento conservacionista. Em 1954, surgiu nos Estados Unidos, a partir do aperfeiçoamento de diferentes modelos, a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), também conhecida como equação de Wischmeier & Smith (1978), na qual o fator R, índice de erosividade, expressa o potencial da chuva de provocar a erosão do solo, sendo variável de região para região (Bazzano et al., 2007).

A obtenção de dados de chuva com base em registros pluviográficos é um processo relativamente caro e a determinação da erosividade das chuvas a partir de pluviogramas diários é um procedimento moroso (Cassol et al., 2008). Esses dados são escassos e muitas vezes de difícil acesso (Mello et. al, 2007). A fim de minimizar estes problemas, diversos autores correlacionaram o índice EI30 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 EI30 (Mannaerts & Gabriels, 2000; Silva, 2004; Mello et. al, 2007).

Mapas de erosividade médias anuais têm sido utilizados como entrada para várias análises ambientais relacionados com a distribuição espacial da erosão do solo (Mello et al., 2013). Uma abordagem comum é a da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), que foi aplicado especialmente para regiões com escassez de conjuntos de dados climatológicos, empregando técnicas computacionais disponíveis em GIS (Shamshad et al., 2008; Beskow et al., 2009; Mello et al., 2013).

Nesse sentido o presente trabalho objetiva determinar a erosividade da chuva para Iguatu-CE e a equação de regressão com o coeficiente de chuva, bem como produzir o mapa de erosividade média anual para o Nordeste brasileiro.

Nesse sentido o presente trabalho objetiva determinar a erosividade da chuva e a equação para estimativa do índice de erosividade em relação ao coeficiente de chuva para Iguatu-CE, e com a equação produzir o mapa de erosividade média anual para o Nordeste brasileiro.

## MÉTODOS E MATERIAIS

### Área experimental / Base de dados

A área de estudo está localizada no Semiárido Cearense, na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no município de Iguatu-CE. A estação pluviométrica em estudo está instalada na Bacia Experimental de Iguatu (BEI) pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu. A área experimental está localizada entre as coordenadas geográficas 6°23'36'' a 6°23'57'' S e 39°15'15'' a 39°15'30'' W, com altitude média de 217,8 m (Figura 1).

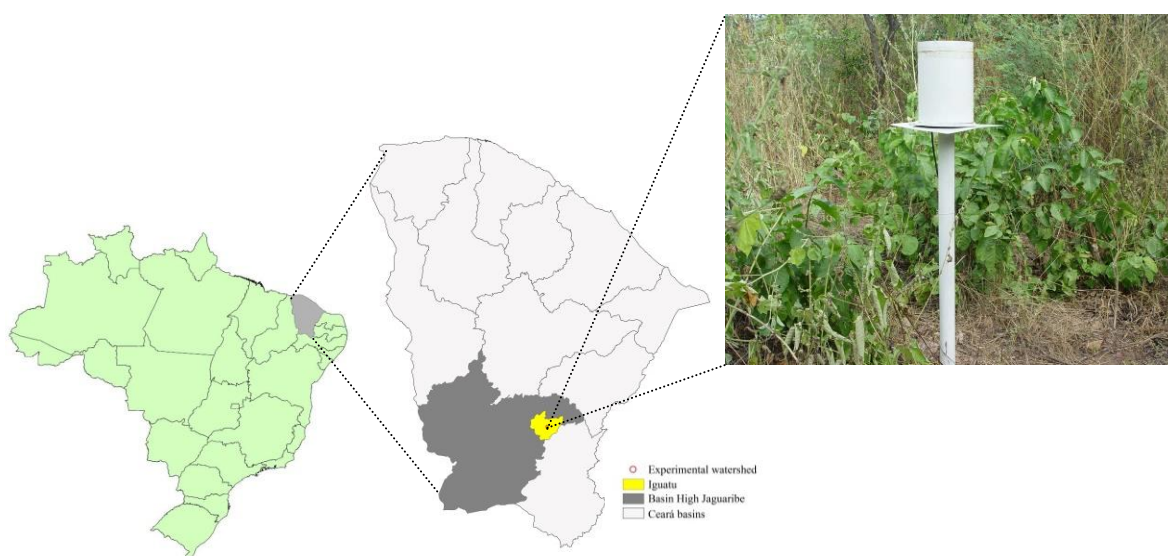


Figura 1 – Localização da área em estudo no Estado do Ceará, Brasil

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio. A precipitação média histórica no município de Iguatu é de  $867 \pm 304$  mm, com 85% concentradas no período de janeiro-maio e dos quais cerca de 30% são registrados no mês de março. A evaporação potencial média fica em torno de 1988 mm.ano-1.

O estudo ocorreu durante os anos de 2009 a 2013, com chuvas concentradas de janeiro a junho, correspondendo à estação chuvosa da região. Durante o período de monitoramento, 198 eventos naturais de precipitação foram registrados.

Os dados pluviométricos foram obtidos em uma estação automática, instalada na área de estudo, com aquisição de dados a cada 5 minutos. A estação foi também equipada com pluviômetro

Ville de Paris, servindo como referência aos dados do pluviógrafo de báscula. Os dados no pluviômetro foram coletados durante o acumulado de 24 h.

### **Índice de erosividade**

De posse dos dados de precipitação, foram calculadas as intensidades (I) de cada evento, em mm.h-1, além da máxima intensidade em trinta minutos, I30 em mm h-1. A energia cinética (EC) associada à chuva, foi obtida pela equação (eq. 1) proposta por Wischmeier e Smith (1978) modificada por Foster et al. (1981):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \text{Log } I \quad (1)$$

Em que:

EC - energia cinética da chuva, em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>,

I - intensidade da chuva, em mm h<sup>-1</sup>.

Os valores obtidos através da equação (eq. 1) foram utilizados para o cálculo do índice de erosividade EI30, a partir da equação (eq. 2) abaixo:

$$EI30 = EC \times I30 \text{ máx} \times P \quad (2)$$

Em que:

EI30 - índice de erosividade, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>,

I30 máx - intensidade máxima média da chuva em 30 minutos, em mm h<sup>-1</sup>,

P – precipitação total do evento, em mm.

Os coeficientes de chuva (eq. 3) mensal de 2009 a 2013, foram determinados conforme a equação proposto por Fournier (1960), com algumas modificações:

$$Rc = p^2 P^{-1} \quad (3)$$

em que:

Rc = coeficiente de chuva (mm);

p = precipitação média mensal (mm); e

P = precipitação média anual (mm).

A partir dos valores de EI30, medidos na estação da Bacia Experimental de Iguatu, e os valores mensais dos coeficientes de chuva (Rc) para os cinco anos de estudo, foi realizada análises de regressão para determinação da equação com melhor ajuste, tendo o coeficiente de chuva (eq. 3) como variável independente.

### **Espacialização do índice de erosividade as normais climatológicas do Nordeste**

Para geração do mapa de erosividade média anual do Nordeste brasileiro, foram utilizados valores de precipitação média mensal de 81 postos com dados das normais climatológicas (1961-1900) (INMET, 2009).

Com base nos valores de erosividade para as normais climatológicas do nordeste foram gerados mapas de erosividade para o Nordeste brasileiro através do método de interpolação por krigagem e semivariograma linear, com uso do software ArcGIS 9.3.

## **RESULTADOS E DISCUSÃO**

Para os cinco anos estudados a precipitação pluviométrica na área de estudo variou de 631 mm a 1.372 mm (Tabela 1), com desvio padrão de 280 mm e coeficiente de variação de 29%. Em relação ao índice de erosividade (EI30) a variabilidade dos dados foi ainda maior, com valores variando de 4.480 a 12.717 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Tabela 1), o desvio padrão atingiu 3.215 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e o coeficiente de variação de 44%. A chuva é o mais importante parâmetro físico que afeta a erosão do solo em regiões tropicais (THOMAZ, 2009). Portanto, as suas características são essenciais no entendimento do escoamento e das perdas de solo.

Tabela 1 – Valores de precipitação e erosividade para a estação pluviométrica da Bacia Experimental de Iguatu, período de 2009 a 2013

Ano	PPT (mm)	EI30 (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
2009	1.063	5.716
2010	941	6.054
2011	1.372	12.717
2012	804	7.352
2013	631	4.480

A equação de regressão obtida a partir do índice de erosividade (EI30) e do coeficiente de chuva (Rc) mensais, para a série de 2009 a 2013, apresentou coeficiente de correlação elevado e significativo para  $\alpha = 0,05$  (Figura 2). Diversos autores têm constatado correlação significativa entre esses índices em outras localidades do Brasil, tais como nos Estados do Rio Grande do Sul (Bazzano et al. 2007; Cassol et al., 2008), Rio de Janeiro (Carvalho et al., 2005); Mato Grosso (Almeida et al., 2011); Mato Grosso do Sul (Oliveira, 2011); e Ceará (Silva & Días, 2003). As equações de regressão geradas podem ser utilizadas como alternativa para se determinar a erosividade média mensal e anual das chuvas, em locais com características climáticas semelhantes às quais essas foram geradas (Cassol et al., 2008).

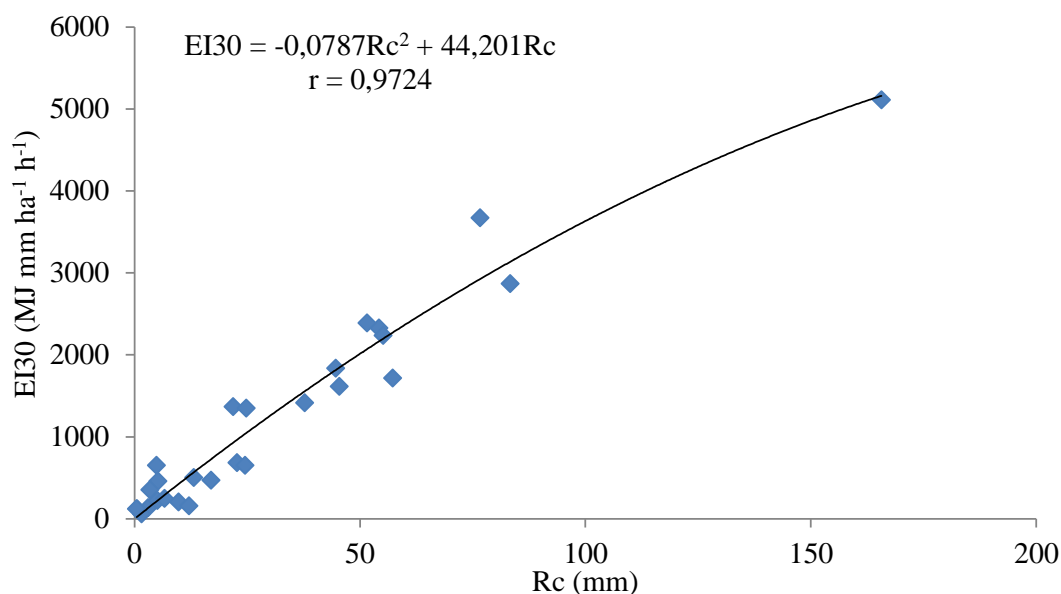


Figura 2 – Correlação entre o índice de erosividade mensal (EI30) e o coeficiente de chuva (Rc)

A equação gerada para estimativa do EI30 mensal a partir do coeficiente de chuva (Rc) apresentou melhor ajuste do tipo polinomial do segundo grau (Figura 2),  $EI30 = -0,0787Rc^2 + 44,201Rc$ , exibindo elevado r (0,9724), concordando com resultados obtidos por Lombardi Neto (1977), em Campinas (SP) (r = 0,99); Morais et al. (1991), no sudoeste de Mato Grosso do Sul (r = 0,92), e Roque et al. (2001), em Piraju (SP) (r = 0,96), Silva & Días (2003), em Fortaleza (CE) (r = 0,99).

A relação em EI30 e precipitação por eventos individuais apresentou um elevado coeficiente de correlação (r = 0,912), para um ajuste com equação polinomial de terceiro grau (Figura 3). Equação dessa natureza é fundamental para auxiliar na parametrização de modelos hidrossedimentológicos, para a região ou áreas similares. Resultados similares foram encontrados por Bazzano et al., (2007), estudando em Quaraí-RS, em que obteve-se alta correlação do índice de erosividade EI30 com a precipitação ( $r^2 = 0,85$ ) e com o coeficiente de chuva ( $r^2 = 0,84$ ), podendo-se utilizar as equações obtidas para estimar o fator R da USLE.

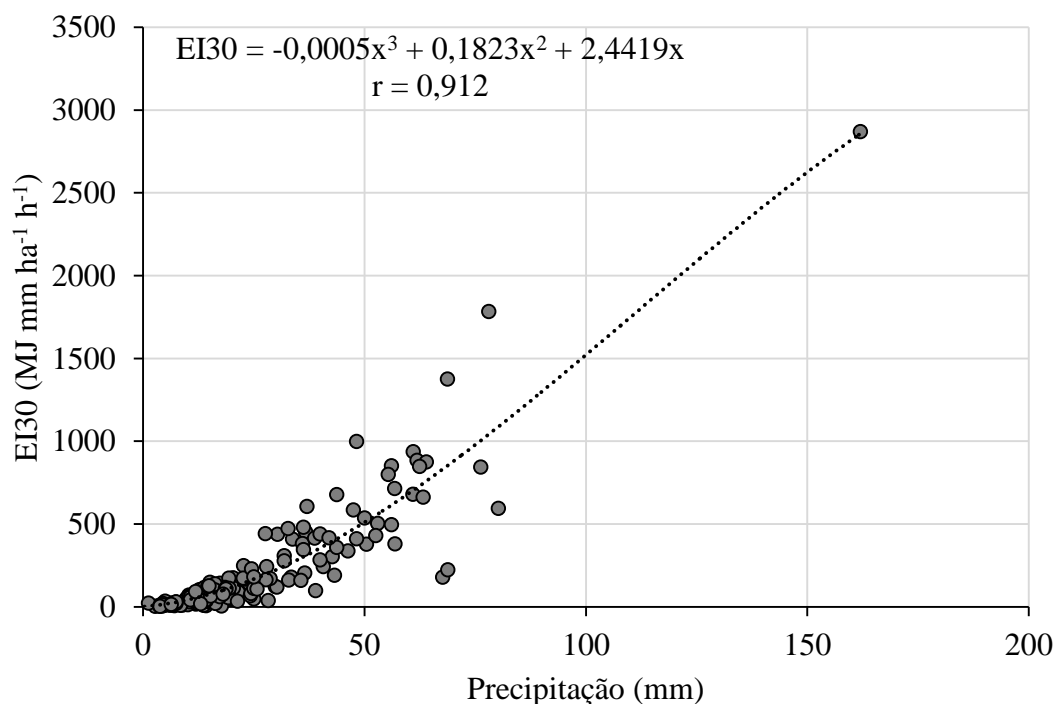


Figura 1 – Correlação entre o índice de erosividade por evento individual (EI30) e precipitação

Na Figura 4 observa-se o mapa de precipitação média normal dos estados do nordeste brasileiro, e na Figura 5 contata-se o mapa de erosividade com uso da equação polinomial ajustada

nesse estudo. Contata-se nas Figuras 4 e 5 que as maiores alturas pluviométricas e erosividades, respectivamente, estão mais presentes ao norte do estado do Maranhão a ao longo da região litorânea. Na região mais central do nordeste observa-se os menores índices pluviométricos e de erosividades. Silva (2004), estudando a erosividade anual do Brasil, constatou que a região Noroeste do país apresentou os maiores valores de erosividade anual, enquanto a região Nordeste apresentaram os menores valores anuais. Mello et al. (2013) geraram para o Brasil modelos multivariados para o cálculo EI30, com Latitude (LA), Longitude (LO) e Altitude (A) como variáveis independentes. A metodologia de Mello et al. (2013) mostra claramente os menores valores de erosividade para a região central do nordeste.

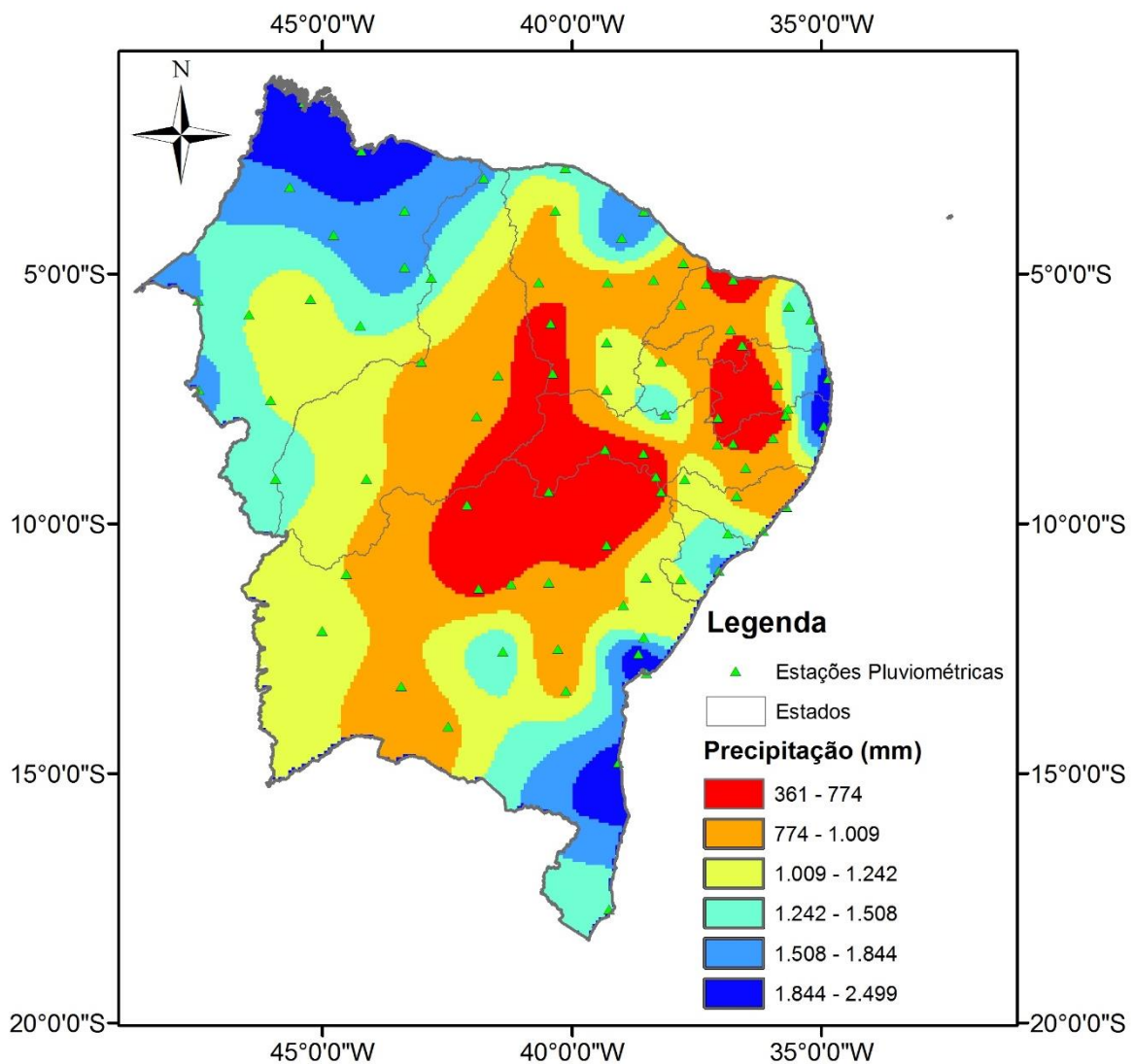


Figura 2 – Mapa da precipitação média normal para os estados do nordeste brasileiro



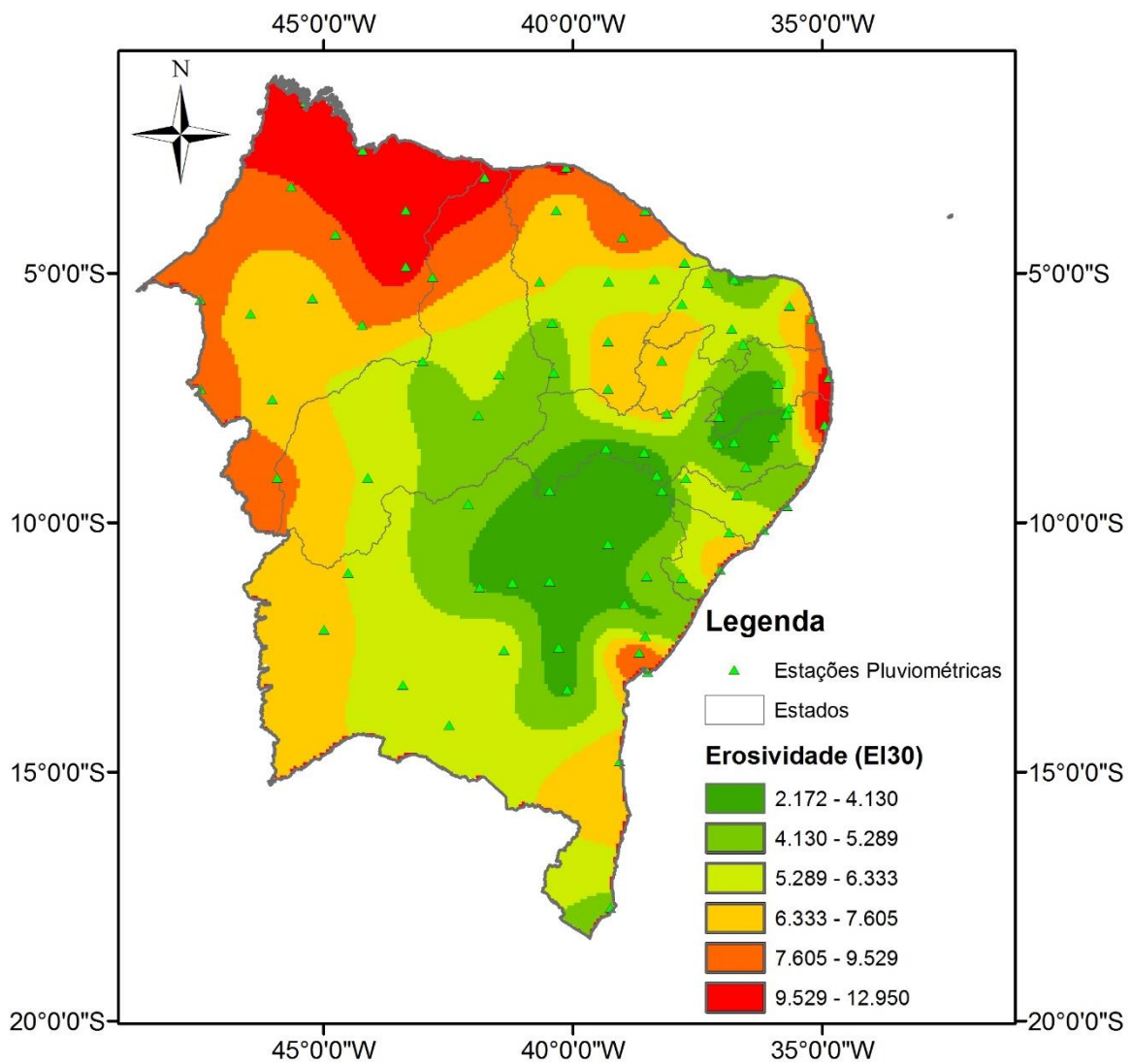


Figura 3 – Mapa da erosividade média normal para os estados do nordeste brasileiro

## CONCLUSÕES

A equação  $EI_{30} = -0,0787 Rc^2 + 44,201 Rc$  pode ser utilizada, com segurança, no cálculo da erosividade em locais com características climáticas semelhantes às de Iguatu (CE), e sua aplicação, em locais onde não existem registros de pluviógrafos.

A equação de regressão entre precipitação e erosividade por eventos individuais apresentou um elevado coeficiente de correlação ( $r = 0,912$ ), podendo ser utilizada em locais similares com deficiência de registros de pluviógrafos.

Os mapas apresentados de precipitação e erosividade são úteis para ilustrar como a erosividade das chuvas influencia a erosão do solo e para compor uma importante fonte de informações para a previsão de erosão no Nordeste do Brasil. Observa-se nos mapas comportamento similar da erosividade ao da altura pluviométrica, com exceção ao sul da Bahia onde as chuvas são melhores distribuídas ao longo do ano.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto PELD- sítio 16.

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, O.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G.; ELTZ, F.L.F.; BORGES, L.E.C. (2011). *Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 15(2), pp. 178-184.

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

BESKOW, S., MELLO, C.R., NORTON, D.L., CURI, N., VIOLA, M.R., AVANZI, J.C. (2009). *Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling*. Catena 79, 49–59.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTIN, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.S.; BUENO, A.C. (2008). *Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(3), pp. 1239-1251.

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. (2005). *Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 9(1), pp. 7-14.

MELLO, C. R.; CAROLINO DE SÁ, M. A.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. (2007). *Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais*. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v .42, n.4, p.537-545.

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2009). *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília, DF: INMET, 465 p.
- MANNAERTS, C.M.; GABRIELS, D. (2000). *Rainfall erosivity in Cape Verde*. Soil and Tillage Research 55, p.207-212.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. (2013). *Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil*. Geoderma, v.202-203, p.88–102.
- OLIVEIRA, P.T.S. (2011). *Zoneamento ambiental no planejamento e gestão de bacias hidrográficas*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais, UFMS, Campo Grande, 78 p.
- RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. (1994). *Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE*. Journal of Hydrology 157, p.287-306.
- SHAMSHAD, A., AZHARI, M.N., ISA, M.H., WAN HUSSIN, W.M.A., PARIDA, B.P. (2008). *Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia*. Catena 72, 423–432.
- SILVA, A.M. da. (2004). *Rainfall erosivity map for Brazil*. Catena 57, p.251-259.
- SILVA, J.R.C.; DIAS, A.S. (2003). *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(2), pp. 347-354.
- FOURNIER, F. (1960). *Climateterosion*. Paris, Press Universitaires de France, 201p.
- THOMAZ, E. L. (2009). *The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss*. Agriculture, Ecosystems and Environment 130, p. 23–30.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Washington: USDA, 1978. 58p. Agriculture Handbook, 537.