

POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS NOS ESTADOS DO MARANHÃO E PARÁ VIA ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA EROSIVIDADE

Wanleysson Larry Dias **Martins**¹, Claudio José Cavalcante **Blanco**², Adayana Maria Queiroz
de **Melo**²

(1 - Programa de Pós-Graduação em Processos Construtivos e Saneamento Urbano - UFPA, E-mail: larry_dyas@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8419-2203>; 2 - Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFPA, E-mail: blanco@ufpa.br; <https://orcid.org/0000-0001-8022-2647>, E-mail: adaymelo75@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9242-3320>)

Resumo – Modelos como a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) são utilizados para estimativas de perda de solo. Na análise da USLE, o fator *R* de erosividade da chuva é de importante determinação, pois é o mais afetado pela variabilidade climática. Assim, o objetivo do trabalho é determinar a distribuição espacial da erosividade e o potencial erosivo das chuvas com base em dados de 98 e 136 estações pluviométricas distribuídas, respectivamente, no Maranhão e no Pará, no período entre os anos 2000 e 2010. O Índice de Fournier Modificado foi utilizado para determinação da erosividade das chuvas. O software Quantum Gis versão 2.18.3 foi utilizado para interpolar os dados em áreas sem registros e confeccionar os mapas de isoerosividade. A classificação e a distribuição da erosividade das chuvas revelou que 76% da região possui erosividade muito forte. Fato que pode ser explicado pelo alto índice pluviométrico da região. Assim, o estudo desenvolvido pode ser um instrumento importante de informação para o desenvolvimento de tecnologias de prevenção de erosão nos estados do Pará e Maranhão. Principalmente, ao proporcionar estimativas de erosividade através de uma reta, que é função da precipitação média anual, dado de mais fácil obtenção.

Palavras-chave: Erosividade das chuvas; Equação Universal de Perda do Solo - USLE; Mapas de Isoerosividade.

RAINFALLS EROSIIVE POTENTIAL IN THE STATES OF MARANHÃO AND PARÁ VIA ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF EROSIVITY

Abstract – Models such as the Universal Soil Loss Equation (USLE) are used to estimate soil loss. In the USLE analysis, the *R* factor of rain erosivity is of important determination, since it is the one that is most affected by the climatic variability. Thus, the objective of this work is to determine the spatial distribution of erosivity and erosion potential of the rainfalls based on data from 98 and 136 rainfall gauge stations distributed, respectively, in Maranhão and Pará states between the years 2000 and 2010. The Fournier Modified Index was used to determine rainfall erosivity. Quantum Gis software version 2.18.3 was used to interpolate the data in areas without records and confect the isoerosivity maps. The classification and distribution of rainfall erosivity revealed that 76% of the region has very strong erosivity. This fact can be explained by the region's high rainfall index. Therefore, this study can be an important information tool for the development of erosion prevention technologies in the states of Pará and Maranhão. Mainly, by providing estimates of erosivity through a straight line, that is function of the annual main precipitation, the most easily obtained data.

Key-words: Rainfall erosivity; Universal Soil Loss Equation - USLE; Soil erosion maps.

POTENTIEL ÉROSIF DE PLUIES DANS LES ÉTATS DE MARANHÃO ET DE PARÁ VIA ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE L'ÉROSIVITÉ

Résumé - Des modèles tels que l'équation universelle de perte de sol (USLE) sont utilisés pour estimer la perte de sol. Dans l'analyse de cette équation, le facteur d'érosivité des précipitations *R* est un facteur déterminant, car il est le plus affecté par la variabilité climatique. L'objectif de ce travail est donc de déterminer la distribution spatiale de l'érosivité et le potentiel érosif des précipitations sur la base de données provenant de 98 et 136 stations de précipitations réparties respectivement aux États du Maranhão et Pará, entre 2000 et 2010. L'indice Fournier modifié a été utilisé pour déterminer l'érosivité des précipitations. Le logiciel *Quantum Gis* version 2.18.3 a été utilisé pour interpoler des données dans des zones non enregistrées et créer des cartes d'isoérosivité. La classification et la répartition de l'érosivité des précipitations ont révélé que 76% de la région ont une érosivité très forte. Cela peut s'expliquer par les fortes précipitations dans la région. Ainsi, l'étude développée peut

constituer un outil important d'information pour le développement de technologies de prévention de l'érosion dans les États du Pará et du Maranhão. Principalement, en fournissant des estimations de l'érosivité à l'aide de l'équation d'une droite qui est la fonction des précipitations moyennes annuelles.

Mots-clés: érosivité due à la pluie; Équation universelle de perte de sol - USLE; Cartes d'isoérosivité.

INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um grave problema ambiental da atualidade. Setores importantes da economia sofrem severos prejuízos, especialmente em função do ritmo em que as perdas de solo se processam, impactando de forma direta os processos produtivos no campo e a infraestrutura urbana nos grandes centros (Eduardo *et al.*, 2013). A análise e quantificação da perda de solos e produção de sedimentos são de extrema importância, em função da necessidade de planejamento do manejo do solo, bem como da prevenção de futuros problemas ambientais, hidráulicos e de uso e ocupação do solo. No entanto, medir e contabilizar as perdas de solo são tarefas dispendiosas, causando uma carência de dados importante.

A energia do impacto das gotas de água da chuva no solo e o transporte de matéria orgânica, nutrientes, defensivos agrícolas e partículas de solo em suspensão pelo escoamento superficial, fazem da erosão hídrica a principal responsável pela degradação e perda de solos (Schick *et al.*, 2014). Desta forma, as mudanças climáticas, especialmente, as mudanças nos regimes de chuvas, que influenciados por fenômenos como El Niño e La Niña, também tem fortes consequências nos processos erosivos (Meusbürger *et al.*, 2012). Portanto, a erosividade das chuvas é importante ao se estudar a erosão do solo. Wischmeier & Smith (1965) estimaram a energia das gotas, através do produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min (EI₃₀). Tal formulação é largamente utilizada no meio científico para o cálculo do fator *R* da Equação Universal de Perda de Solo (USLE - Universal Soil Loss Equation), em função da correlação que o índice apresenta com as perdas de solo. A USLE é largamente utilizada em escala global, como referência em estudos sobre erosão hídrica dos solos (Ferreira e Ferreira, 2015).

Para que sejam feitas análises mais detalhadas e medições mais confiáveis da erosividade das chuvas de uma determinada região, é necessário o registro de longas séries históricas de monitoramento, algo entre 20 e 30 anos. No entanto, sabe-se que em muitas

regiões do Brasil essas informações inexistem ou são escassas. Entretanto, pesquisadores afirmam que é possível estimar com boa precisão e através de outras equações (geradas com séries curtas de dados) a erosividade das chuvas, utilizando registros mensais e anuais de precipitação, como o cálculo do Índice de Fournier Modificado (Fournier, 1960). Por exemplo, na África, Vrieling *et al.*, (2010), realizaram estudos de erosividade da chuva com séries históricas de 11 anos (1998-2008), Angulo-Martínez e Beguería (2009) na Espanha, utilizaram 10 anos de dados (1997-2006); Agnese *et al.*, (2006), na Itália, também usaram 10 anos de dados (1990-1999); e no Brasil, Albuquerque *et al.*, (2005) realizaram estudos com uma série de 8 anos de dados (1983-1990). No presente trabalho foi usada uma série de 11 anos de dados (2000-2010).

O mapeamento da distribuição espacial do potencial erosivo das chuvas, bem como outras variáveis climáticas e, ou, derivadas destas, é um mecanismo crucial para o planejamento macroambiental de bacias hidrográficas. Assim, o presente trabalho visa mapear a distribuição espacial do Fator *R* e analisar o potencial de erosão, em função desse fator, nos estados do Maranhão e Pará. A associação dessas informações é uma importante ferramenta para o desenvolvimento de tecnologias de prevenção de erosão na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

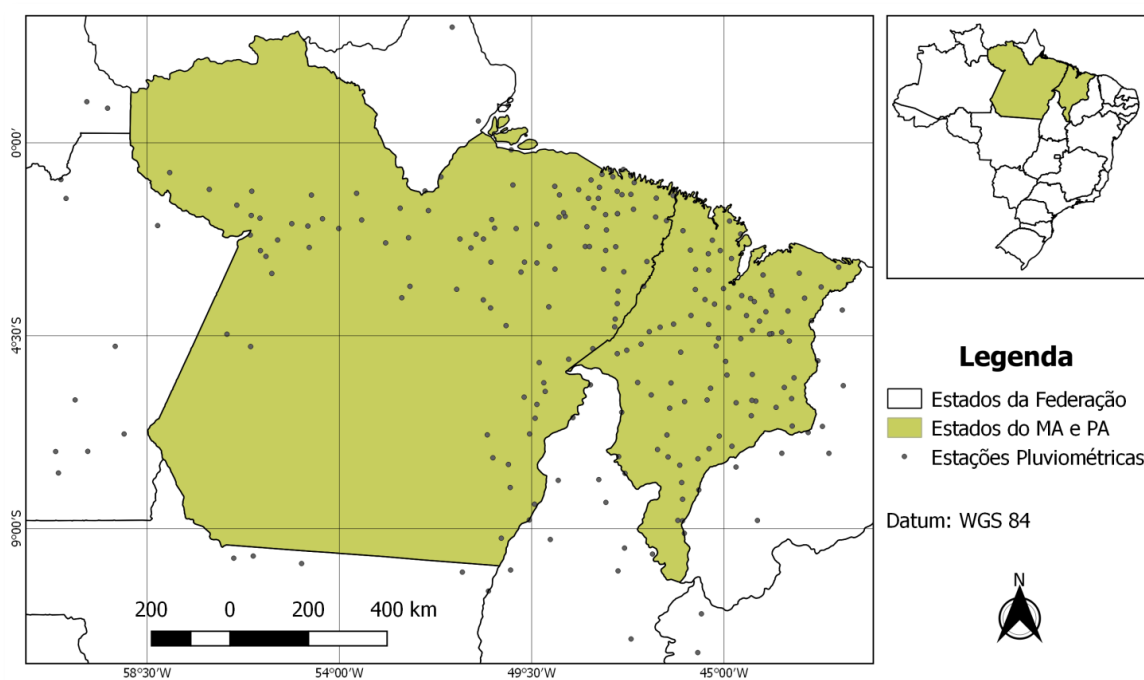
Situado na região Nordeste do Brasil, o estado do Maranhão, de acordo com dados do IBGE (2016), possui uma população estimada de 6.904.241 habitantes no ano de 2015, ocupando uma área territorial de 331.936,955 km², divididos em 217 municípios, sendo São Luís sua capital. Já o estado do Pará está situado na região Norte do Brasil, possuindo uma área territorial de 1.247.954,320 km² e 7.581.051 habitantes distribuídos em 144 municípios, sendo sua capital Belém. O Maranhão situa-se numa zona de transição dos climas semi-áridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia, o que é refletido nas formações vegetais que transicionam da Savana (Cerrado) no sul, para as Florestas Estacionais no centro e na parte leste, e para a Floresta Ombrófila no noroeste do Estado.

O Maranhão com mais de 90% da superfície inferior a 300 metros de altitude em relação ao nível do mar, possui o ponto mais elevado na Chapada das Mangabeiras com 804 metros, mas uma topografia predominantemente plana. No estado do Maranhão ocorre predominância de clima tropical, com temperaturas médias anuais distribuídas em todo o território superiores a 24°C, e índices pluviométricos anuais variando entre 1500 e 2500 mm.

É também relevante destacar, a divisão geográfica observada no estado do Maranhão, com o leste situado na região semiárida do Nordeste brasileiro e o noroeste envolvido nas características do clima equatorial amazônico.

A topografia do estado do Pará é pouco variável e baixa, predominantemente plana. O clima é quente e úmido, a temperatura média é de 25°C em fevereiro e 26°C em novembro. O estado encontra-se na zona climática Af (classificação de Köppen), que representa um clima equatorial chuvoso ou de floresta equatorial, caracterizado por sua grande precipitação anual acumulada, em média acima de 2000 mm. A Figura 1 apresenta as localizações dos estados do Maranhão e Pará; e das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Figura 1 - Localização dos estados do Maranhão e Pará e distribuição espacial das estações pluviométricas analisadas.



Fonte - Autor (2019).

Dados

Através do banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas - ANA, que pode ser acessado em “http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf”. Foram utilizadas as séries históricas de precipitação de 98 estações e 136 estações pluviométricas distribuídas, respectivamente, nos estados do Maranhão e Pará, referentes aos anos de 2000 a 2010. O uso dessas estações e outras situadas em estados vizinhos (Figura 1) tem o objetivo de permitir a

interpolação dos dados e melhor estimar a erosividade em regiões em que não há estações pluviométricas com dados suficientes para que seja feita a interpolação.

Equações para o Cálculo do Fator R

Para a determinação do fator R , um dos focos do presente trabalho, calcula-se a energia cinética unitária para cada intervalo de chuva através da Equação 1 (Wischmeier & Smith, 1965), a qual em unidade do SI, é dada por:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log i \quad (1)$$

Em que, EC é a energia cinética unitária ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); e i é a intensidade (mm h^{-1}) do intervalo de chuva. O valor obtido na equação é multiplicado pela quantidade de chuva, ou lâmina d'água, h (mm), no respectivo intervalo uniforme para expressar a energia cinética total nesse intervalo. Somando-se a energia cinética de todos os intervalos uniformes de chuva, obtêm-se a energia cinética total da chuva, ECt (MJ ha^{-1}), expressa pela Equação 2.

$$ECt = EC h \quad (2)$$

A Erosividade da chuva é dada pelo índice $EI30$ (Equação 3).

$$EI30 = ECt I30 \quad (3)$$

Em que $EI30$ é o índice de erosividade da chuva individual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); $I30$ é a intensidade máxima da chuva em um período contínuo de 30 min (mm h^{-1}). Somando-se os índices $EI30$ de todas as chuvas erosivas de cada mês, obtêm-se a erosividade mensal das chuvas em todos os meses da série. Somando-se os índices $EI30$ mensais de cada ano, chega-se ao valor de erosividade anual das chuvas de todos os anos. Assim, fazendo-se a média da erosividade anual das chuvas no período obtém-se o valor do fator R .

Índice de Fournier Modificado

O cálculo do fator R requer longas séries de dados diários de chuva, de pelo menos 20 a 30 anos (Wischmeier & Smith, 1965). Esses dados são de difícil obtenção devido às constantes falhas nos pluviômetros ou pluviógrafos, ou falha na operação e manutenção

destes. Logo, muitos estudos assumiram o uso de dados médios mensais e anuais de precipitação, com o objetivo de se obter equações que resultassem em boas correlações (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Renard e Freimund, 1994). O Índice de Fournier Modificado (Arnoldus, 1977) (Equação 4) é um exemplo dessas equações, sendo um dos mais utilizados para determinação do fator R .

$$MFI = Pm^2x / Pa \quad (4)$$

Em que MFI é o índice de Fournier Modificado; Pm é o valor de precipitação média mensal (mm), para o mês x ; e Pa é o valor da precipitação média anual (mm).

Arnoldus (1977) modificou o Índice de Fournier (Fournier, 1960) e conseguiu uma correlação muito boa ($r^2 = 0,83$) entre o Índice de Fournier Modificado (MFI) e valores do fator R em 178 estações (164 estações dos EUA e 14 estações do Oeste da África). Renard e Freimund (1994) obtiveram resultados similares usando dados de 132 estações dos EUA. No Brasil, diversos autores vêm desenvolvendo e aplicando correlações entre o índice $EI30$ e o índice de Fournier Modificado (Cassol *et al.*, 2008; Almeida *et al.*, 2011). As equações de regressão desenvolvidas e testadas podem ser utilizadas em locais com características climáticas semelhantes, como alternativas para determinação da erosividade mensal e anual. O Índice de Fournier Modificado (MFI) também tem sido utilizado em muitos estudos ao redor do mundo como na Europa (Gabriels, 2006), Uruguai (Munka *et al.*, 2007), Venezuela (Andrade *et al.*, 2010), África (Vrieling *et al.*, 2010) entre outros.

Metodologias para o cálculo de erosividade, utilizando equações baseadas no Índice de Fournier Modificado (MFI), vêm sendo bastante empregadas no desenvolvimento de mapas de erosividade, devido à carência de estações pluviográficas no território brasileiro (Silva, 2004; Salako, 2010; Mello *et al.*, 2012). Assim, por não haver na região de aplicação do estudo, uma quantidade razoável de estações pluviométricas com dados suficientes para os cálculos do índice $EI30$, foi realizado um levantamento de dados para os cálculos do índice de Fournier modificado e verificada a proposição de Silva (2004) que, de acordo com a Figura 2, propõe o uso de 8 equações para o cálculo de R , conforme a localização geográfica dentro do território brasileiro. Georreferenciando a imagem do mapa do Brasil com as 8 áreas (Figura 2) e sobrepondo os limites dos estados do Maranhão e Pará, pôde-se verificar a distribuição das estações nas áreas 1, 2, 3, onde são utilizadas as Equações 1, 2, 3 de Oliveira Jr. & Medina (1990), Morais *et al.* (1991), Oliveira Jr. (1988), respectivamente (Figura 3). Com a aplicação

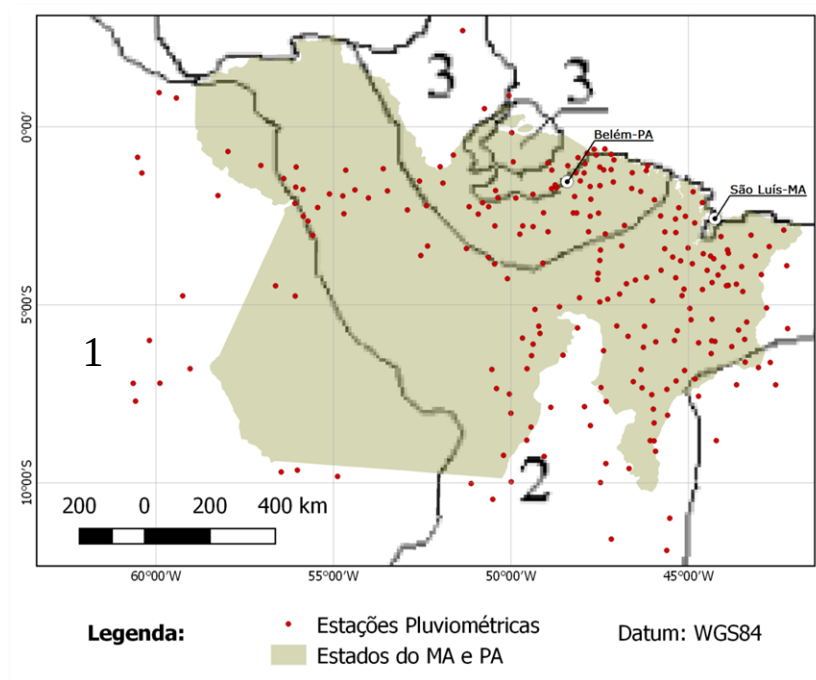
das equações de acordo com a localização geográfica das estações pluviométricas, foram gerados os valores mensais de erosividade da chuva para cada área, além dos valores de erosividade e precipitação anual da série estudada. Após isso, foram gerados os mapas de linhas erosivas, ou mapas isoerosivos, com auxílio de Software do tipo SIG.

Figura 2 - Equações usadas no Brasil para determinação do Fator R de acordo com a região.

		
Number	Equation	Author(s)
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 42.77$	Oliveira Jr. and Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{1.0852}$	Morais et al. (1991)
3	$R_x = (0.66 * M_x) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 69.763$	Silva (2001)
5	$R_x = 0.13 * (M_x^{1.24})$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.841}$	Lombardi Neto and Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

Fonte - Silva (2004).

Figura 3 - Estações distribuídas entre as áreas 1, 2 e 3 da Figura 2.

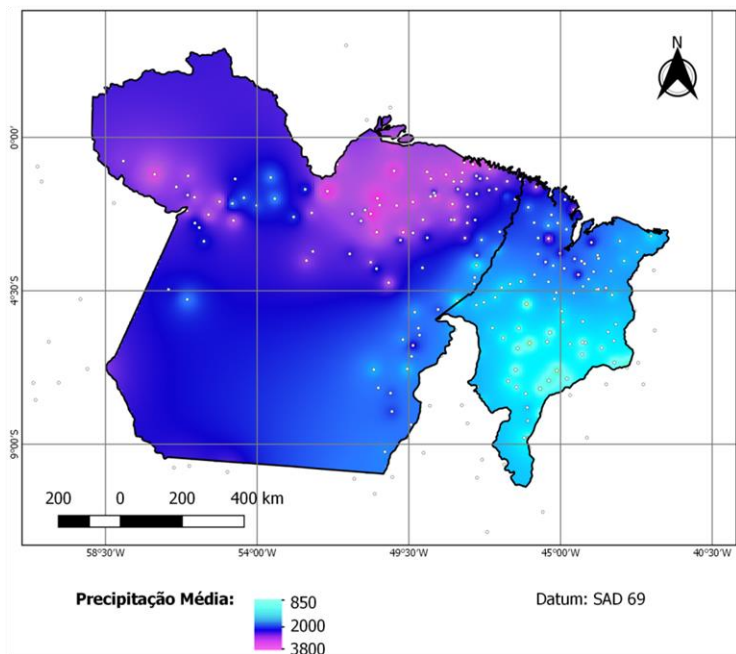


Fonte - Autor (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

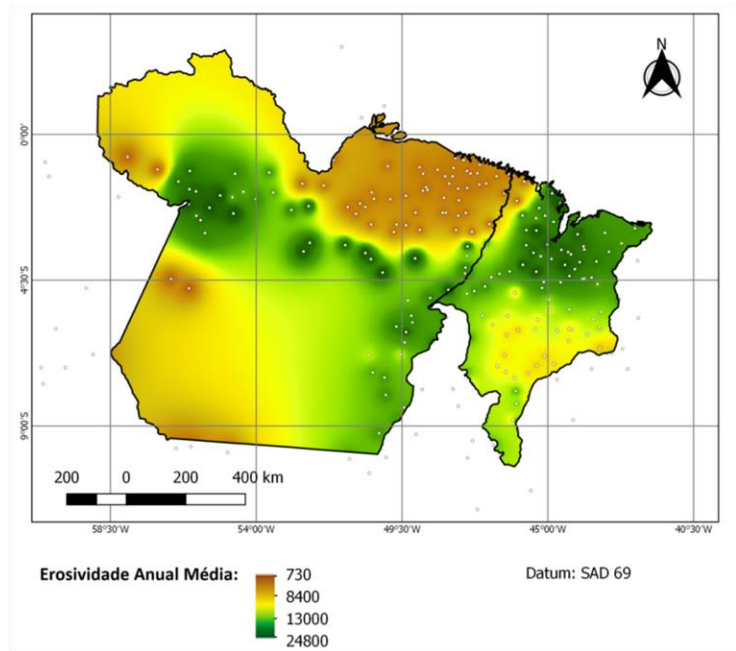
Os valores médios anuais de pluviometria para as 234 estações variaram entre 858,4 e 3.768,4 mm. Com os valores obtidos, pôde-se elaborar o mapa de precipitação média anual para os dois estados (Figura 4). A superioridade dos valores de pluviometria média de estações instaladas na região do estado do Pará em relação ao estado do Maranhão era esperada, em função das características climáticas amazônicas mais latentes. Compreendendo todos os valores das estações estudadas no trabalho, a variação de erosividade ocorreu entre 739,4 e 24.791,3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. A Figura 5 apresenta o mapa de erosividade das chuvas dos estados do Maranhão e do Pará com base em série histórica compreendida entre os anos de 2000 e 2010.

Figura 4 - Mapa de Precipitação Média Anual (mm.ano^{-1}) das chuvas no Maranhão e Pará.



Fonte - Autor (2019).

Figura 5 - Mapa de Erosividade Anual ($\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) das chuvas no Maranhão e Pará com base nas Equações 1, 2 e 3.

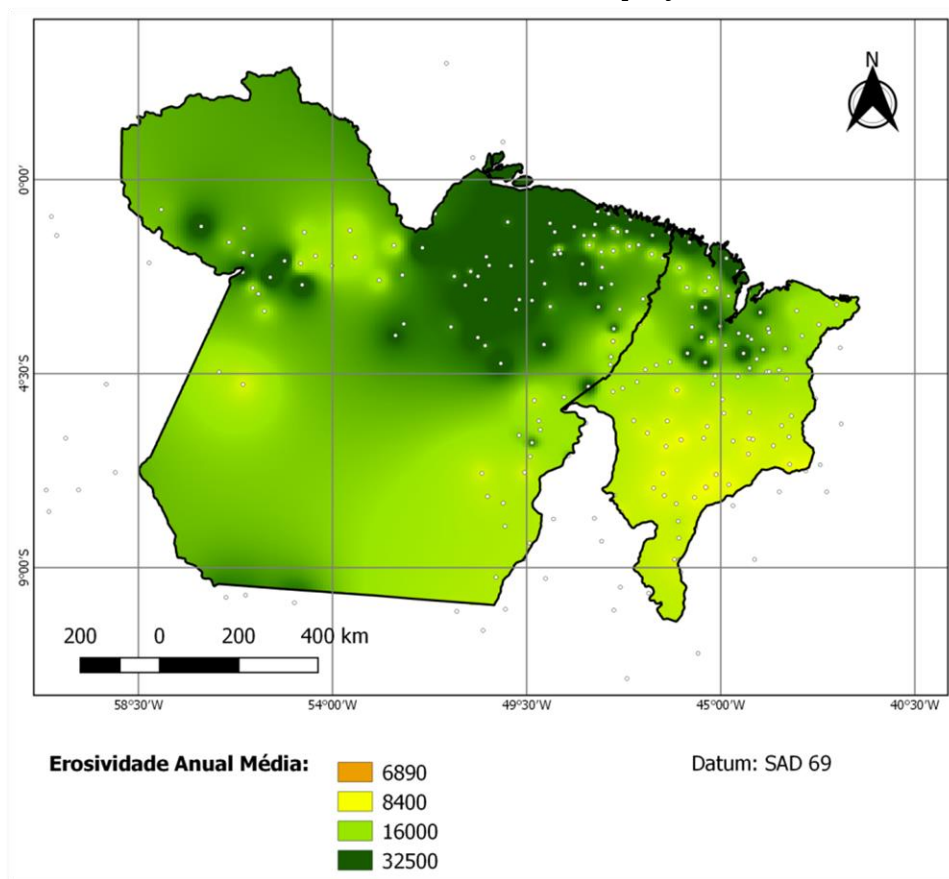


Fonte - Autor (2019).

Observa-se na Figura 5 uma relação parcial entre os índices de erosividade e pluviometria, como se pode verificar, comparando-se com a Figura 4. Somente a região

sudeste do estado do Pará e boa parte do estado do Maranhão, com exceção do extremo noroeste, apresentam uma boa relação entre os índices pluviométricos apresentados e a erosividade calculada. Comparando-se a Figura 5 com a Figura 3, nota-se que os menores valores de erosividade ocorrem nos locais onde estão as estações que tiveram o Fator *R* calculado através das Equações 1 e 3. A diferença observada, utilizando-se a combinação de equações proposta por Silva (2004), fomenta a revisão dos cálculos realizados. Em função disso e observando, para o norte do Maranhão, a melhor relação entre os índices de erosividade e pluviometria, decidiu-se pela utilização da Equação 2, substituindo as equações 1 e 3 para o norte e oeste do Pará. Na Figura 6 podem-se observar os novos resultados.

Figura 6 - Mapa de Erosividade Anual ($\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) das chuvas no Maranhão e Pará com base somente na Equação 2.



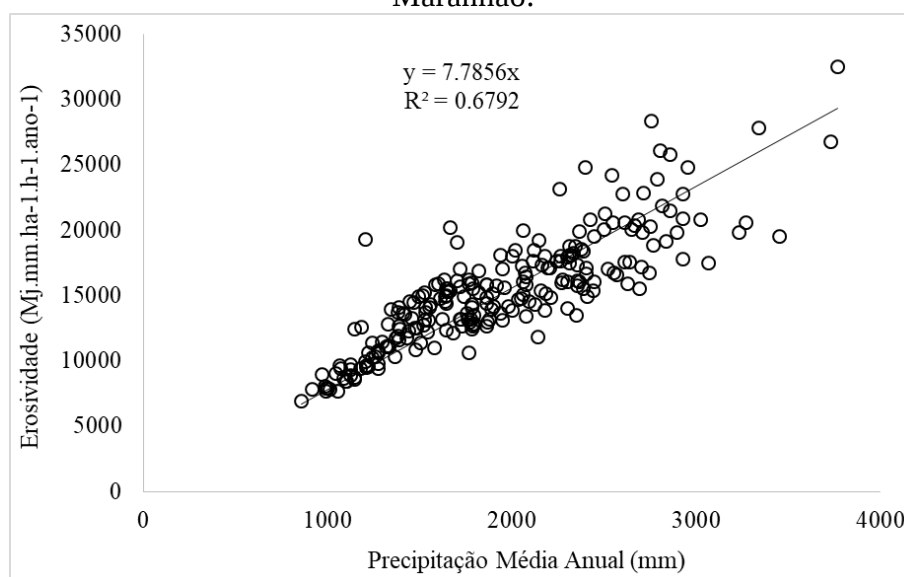
Fonte - Autor (2019).

Agora com a utilização somente da equação 2, compreendendo todas as estações estudadas no trabalho, a variação de erosividade ocorreu entre 6.892,1 e 32.476,6 $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Por meio da Figura 6, nota-se uma melhor relação entre os índices de erosividade e

pluviometria, como se pode verificar, comparando-se com a Figura 4, pois se observa que nas regiões onde há maior média anual de pluviometria, ocorrem também maiores valores de erosividade. Fato que está de acordo com o trabalho de Oliveira et al., 2013.

Na Figura 7 observa-se a regressão linear entre os dados de precipitação média anual e erosividade. A reta determinada pode ser utilizada para estimativas de erosividade (y) em função da precipitação média anual (x), mas com cautela, pois, sendo $R^2 = 0,6792$, 68% da erosividade podem ser explicados pela precipitação média anual. Regressões desse tipo também foram noticiadas por Arnoldus (1977), Renard e Freimund (1994), Gabriels (2006), Munka *et al.* (2007), Cassol *et al.* (2008), Vrieling *et al.* (2010) e Almeida *et al.* (2011).

Figura 7 - Dispersão e reta estabelecida entre os valores de Precipitação Média Anual e Erosividade das 234 estações pluviométricas analisadas para os estados do Pará e Maranhão.



Fonte - Autor (2019).

No que tange à distribuição da intensidade da erosividade nos estados do Pará e Maranhão, foi utilizada a Tabela 1 elaborada por Carvalho (1994), a partir de uma modificação feita sobre uma tabela elaborada por Foster *et al.* (1981).

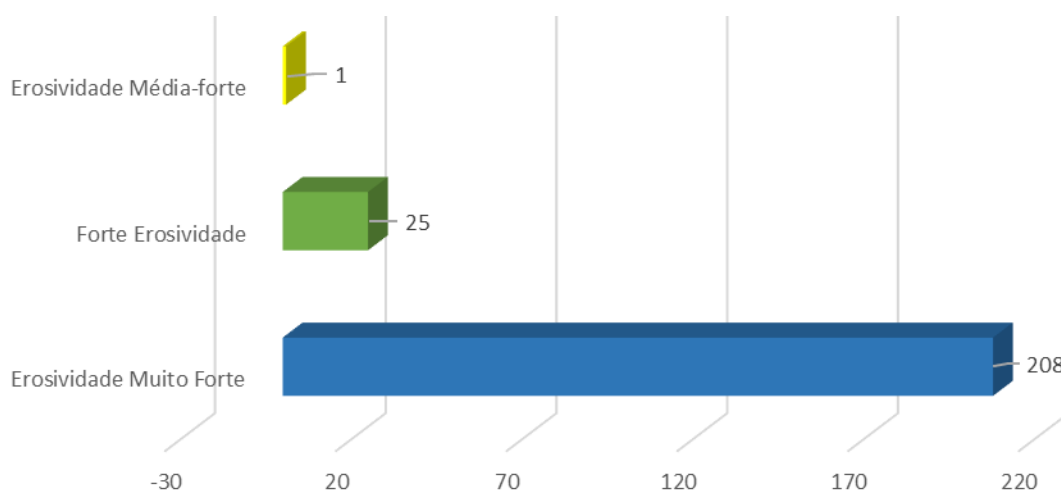
Tabela 1 - Classificação da erosividade anual da chuva (EI30).

Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	Classificação de erosividade
$EI30 \leq 2452$	Baixa Erosividade
$2452 < EI30 \leq 4905$	Média Erosividade
$4905 < EI30 \leq 7357$	Erosividade Média-forte
$7357 < EI30 \leq 9810$	Forte Erosividade
$EI30 > 9810$	Erosividade Muito Forte

Fonte: Carvalho (1994).

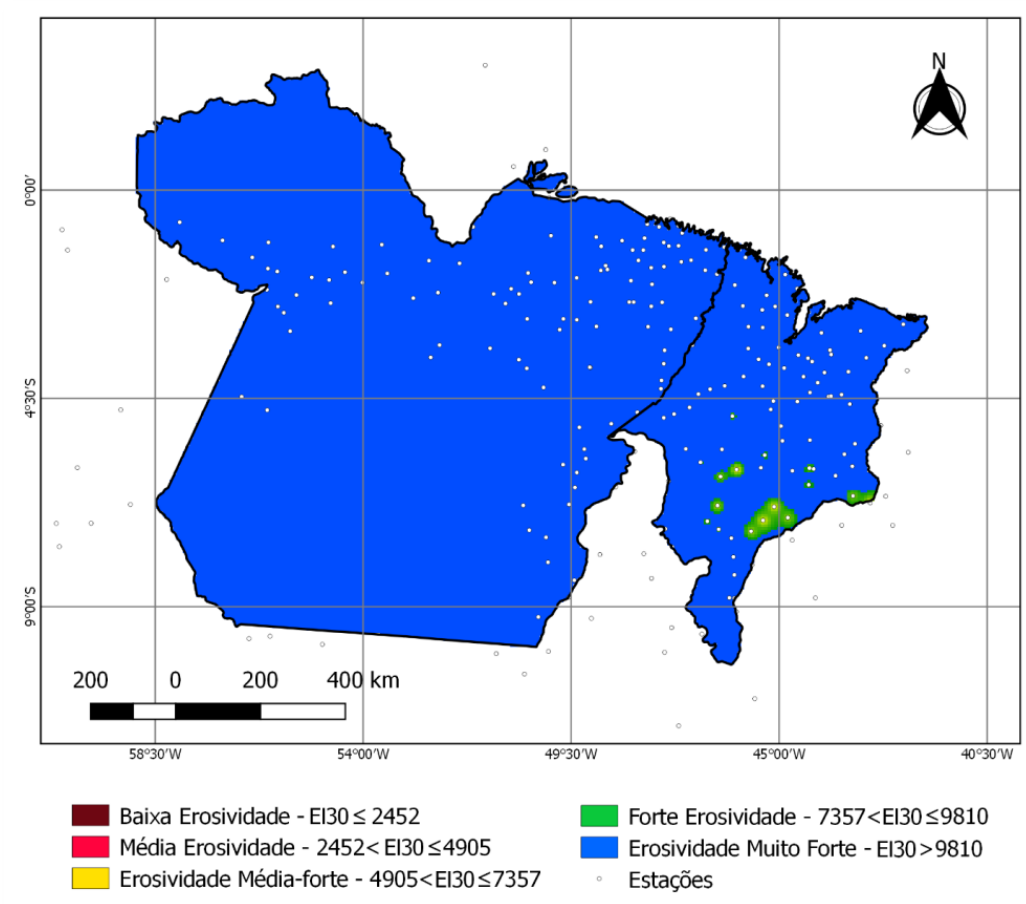
Assim, de um total de 234 estações pluviométricas estudadas, somente uma estação apresentou chuvas com erosividade média-forte, 25 estações apresentaram chuvas com forte erosividade e as 208 estações restantes apresentaram chuvas com erosividade muito forte. Não houve resultados indicando baixa erosividade ou média erosividade. Nota-se na Figura 8 a distribuição numérica para essa classificação, enquanto que na Figura 9 a distribuição geográfica.

Figura 8 – Potencial erosivo das chuvas nos estados do Maranhão e Pará em função da quantidade de estações.



Fonte: Autor (2019).

Figura 9 - Distribuição geográfica de acordo com a classificação da erosividade das chuvas nos estados do Pará e Maranhão.



Fonte: Autor (2019).

CONCLUSÃO

- Nas regiões Norte e Oeste do Pará, as equações propostas na literatura subestimaram os valores de erosividade, pois, apesar de elevados índices pluviométricos médios anuais, característicos dessas regiões, as erosividades calculadas estavam abaixo ou iguais a valores com índices pluviométricos menores. Assim, para as regiões Norte e Oeste do Pará foi usada a mesma equação utilizada para o restante dos estados do Maranhão e Pará. Nesse caso, foi possível observar uma boa correlação entre as precipitações médias anuais e os valores de erosividade anual para a região, podendo-se estimar a erosividade através das precipitações médias anuais com uma reta que explica até 68% da erosividade local.
- De acordo com o Mapa Isoerosivo gerado, a erosividade da chuva na região estudada variou de 6.892,1 a 32.476,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. As áreas com os menores valores

estão situadas a Sudeste do Maranhão, enquanto que os maiores valores de erosividade encontram-se na região Nordeste do Pará. A maior parte das estações pluviométricas estudadas está instalada em regiões em que a erosividade das chuvas é muito forte (88,8% que apresentam valor superior a $9.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Cabe mencionar ainda que, mesmo com a utilização de mecanismos para interpolação e com a equação linear encontrada para estimar erosividades em função de precipitação média anual, é muito importante que estações novas e modernas venham a ser instaladas nessas regiões. Essas estações devem ser instaladas em regiões com ausência de dados históricos, como o centro-sul e noroeste do Pará, proporcionando estimativas ainda melhores de erosividade nessas regiões.

- Em síntese, a metodologia desenvolvida pode ser um instrumento importante de informação para o desenvolvimento de tecnologias de prevenção de erosão nos estados do Pará e Maranhão. Principalmente, podendo-se estimar a erosividade nos dois estados através de equações de regressão em função da precipitação média anual, dado de mais abundante registro. Regionalmente, seria importante que o trabalho fosse estendido para toda a Amazônia Legal, incluindo os outros fatores da USLE para avaliação do potencial de perda de solo da região, gerando-se um mapa que seria uma fotografia, podendo ser atualizado com o passar dos anos, dependendo de monitoramento das variáveis envolvidas e processamento numérico das mesmas e, em consequência, da própria USLE.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. O segundo autor também agradece ao CNPq por uma bolsa de produtividade em pesquisa, processo n. 304936/2015-4.

REFERÊNCIAS

AGNESE, C.; BAGARELLO, V.; CORRAO, C.; D'AGOSTINO, L.; D'ASARO, F. Influence of the rainfall measurement interval on the erosivity determinations in the Mediterranean area. *Journal of Hydrology*, v. 329, p. 39-48, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.002>.

- ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA 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*, v.9, p. 153-160, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000200001>.
- ALMEIDA, O.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G.; ELTZ, F.L.F.; BORGES, L.E.C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n. 2, p. 178-184, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200011>.
- ANDRADE, O., KAPPAS, M., ERASMI, S. Assessment of erosion hazard in Torres Municipality of Lara State (Venezuela) based on GIS. *Interciencia*, v.35, n.5, p. 348–356, 2010.
- ANGULO-MARTÍNEZ, M.; BEGUERÍA, S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, v. 379, p. 111-121, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.051>.
- ARNOLDUS, H.M.J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bull.*, v. 34, p. 39-51, 1977.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. Ícone Editora, São Paulo, Brasil, 1990. 355 p.
- CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTIN, D.; LEMOS, A.M.; 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 Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300032>.
- EDUARDO, E.N.; CARVALHO, D.F.; MACHADO, R.L.; SOARES, P.F.C.; ALMEIDA, W.S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 796-803, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>.
- FERREIRA, L.M.; FERREIRA, A.G. Aplicação de um modelo de erosão hídrica do solo à escala da unidade de intervenção florestal com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 38, n.4, p. 587-597, 2015. <https://doi.org/10.19084/RCA15141>.
- FOURNIER, F. *Climat et erosion*. Universitaires de France, Paris, 1960.

GABRIELS, D. Assessing the modified Fournier index and the precipitation concentration index for some European countries. In: Soil Erosion in Europe. J Boardman, J Poesen (Ed.), John Wiley & Sons, pp. 675–684, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em Agosto de 2016.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; CURI, N.; SILVA, A.M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n.6, p.1878-1891, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600022>.

MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 16, p. 167-177, 2012. <https://doi.org/10.5194/hessd-8-8291-2011>.

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 de chuva e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, n.3, p. 339– 344, 1991.

MUNKA, C., CRUZ, G., CAFFERA, R.M. Long term variation in rainfall erosivity in Uruguay: a preliminary Fournier approach. *GeoJournal*, v. 70, p. 257–262, 2007. <https://doi.org/10.1007/S10708-008-9139-7>.

OLIVEIRA JR., R.C. *A erosividade das chuvas na parte leste do Pará*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, Pará, Brasil, 1988.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v.100, p. 139-147, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>.

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. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4).

SALAKO, F.K. Development of isoerodent maps for Nigeria from daily rainfall amount. *Geoderma*, v. 156, p. 372-378, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.006>.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; GONZÁLEZ, A.P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1890-1905, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v. 57, n.3, p. 251-259, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>.

VRIELING, A.; STERK, G.; JONG. S.M. Satellite-based estimation of rainfall erosivity for Africa. *Journal of Hydrology*, v. 395, p. 235-241, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.035>.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*. USDA Agriculture Handbook, 282, U.S Government Printing Office, Washington, D.C., 1965.