

ÍNDICES DE EROSIVIDADE PARA O BRASIL COM BASE NAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DE 1991 A 2020

Á. J. BACK*, G. S. SOUZA, S. L. GALATTO, C. W. CORSEUIL, C. POLETO
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina*
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0057-2186>*
ajb@epagri.sc.gov.br*

Submitted June 5, 2023 - Accepted December 1, 2023

DOI: 10pts.15628/holos.2023.16329

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo atualizar e espacializar os índices de erosividade no Brasil com base nas normais climatológicas mais recentes. Os índices de erosividade foram calculados com base em equações de regressão de 90 estações pluviográficas disponíveis no território brasileiro. Foram utilizados dados de precipitação média mensal de 1991 a 2020 de 1918 estações pluviométricas. Os dados foram interpolados por krigagem ordinária no software ArcGis 10.8 (ESRI, 2019). Foi determinada a erosividade média para cada

município do território brasileiro. O índice de erosividade estimado variou de valores abaixo de 1.400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ na região Nordeste até valores acima de 17.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em alguns pontos do extremo Norte da Bacia Amazônica. Foi constatada forte variação sazonal na erosividade, com predomínio da erosividade nas classes muito altas nos meses de dezembro a março, enquanto que no mês de setembro predomina valor de erosividade muito baixo.

KEYWORDS: Erosion, soils, universal soil loss equation, soil conservation, climatology.

EROSIVITY INDEX FOR BRAZIL BASED ON CLIMATOLOGICAL NORMALS FROM 1991 TO 2020

ABSTRACT

This work aimed to update and spatialize the erosivity indices in Brazil based on the most recent climatological normals. The erosivity indices were calculated based on regression equations of 90 pluviographic stations available in the Brazilian territory. Average monthly precipitation data from 1991 to 2020 from 1918 rainfall stations were used. Data were interpolated by ordinary kriging in ArcGis 10.8 (ESRI, 2019) software. The average erosivity was determined for each municipality in the Brazilian territory. The estimated erosivity index varied from values below 1,400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in the

Northeast region to values above 17,000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in some points in the extreme North of the Amazon Basin. A strong seasonal variation in erosivity was observed, with a predominance of erosivity in the very high classes in the months of December to March, while in the month of September a very low erosivity value predominates

E.

Palavras chave: Erosão, solos, equação universal de perda de solo, conservação do solo, climatologia.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, existem vários trabalhos realizados com o objetivo de ajustar as equações de estimativa da erosividade com base em dados pluviométricos a partir da análise de dados de séries pluviográficas (Gonçalves et al., 2006; Oliveira, Wendland e Nearing, 2012; Mello & Silva, 2013; Back e Poletto, 2018). Contudo, existem poucos estudos no Brasil sobre espacialização e geração de mapas de erosão, entre os quais destaca-se os de Silva (2004), Mello, Viola, Beskom e Norton (2013), Trindade, Oliveira, Anache e Wendland (2016), Hernani, Gonçalves, Ortolan e Souza (2020). Dentre os principais trabalhos, destaca-se o mapa de erosividade do Brasil elaborado por Silva (2004), no qual o autor utilizou oito equações de regressão e dados de precipitação de 1600 estações com séries históricas de precipitação de pelo menos 10 anos. Também Mello et al. (2013) apresentaram um mapa de erosividade para o Brasil onde consideraram 54 equações de regressão e aplicaram 773 estações pluviométricas com pelo menos 15 anos de dados, para estimar a erosividade das chuvas no Brasil. Trindade et al. (2016) apresentaram um mapa de erosão para o Brasil construído com base em 75 equações de regressão e 1.521 estações pluviométricas com uma série de mais de 20 anos. A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) apresentou publicação contendo mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos brasileiros à erosão hídrica (Hernani et al., 2020), com base nas equações de Oliveira et al. (2012).

A distribuição espacial dos valores de erosividade depende da equação de regressão utilizada e da série de dados pluviométricos utilizados. Nos diversos estudos realizados no Brasil não houve padronização do período de dados pluviométricos, o que pode ter afetado a espacialização dos dados. Também foram identificadas diversas equações de regressão não consideradas em trabalhos anteriores. Além disso, nas últimas décadas, a vulnerabilidade do clima tem motivado uma preocupação constante com os fatores das mudanças climáticas globais, seja por interferência de atividades naturais e/ou antrópicas (Inmet 2022). Angulo-Martínez e Beguería (2009) destacam que, no contexto das mudanças climáticas, o efeito da mudança das características das chuvas na erosão do solo tem sido cada vez mais avaliado em estudos relacionados à conservação do solo. O comportamento dos regimes de chuvas devido às mudanças climáticas pode afetar os valores de erosividade, portanto há necessidade de atualização constante dos valores do índice de erosividade das chuvas, considerando dados mais recentes que possam demonstrar mudança nos padrões temporais e espaciais de erosividade. Assim, este trabalho teve como objetivo atualizar e espacializar os índices de erosividade no Brasil com base nas normais climatológicas de 1991 a 2020.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A erosão hídrica é um dos principais problemas ambientais, responsável pela degradação de terras agrícolas e redução da produtividade em vários países, com impactos ambientais, econômicos e sociais (Sadeghi, Zabihi, Vafakhah e Hazbavi, 2017; Wang, Zheng e Guan, 2016). Segundo o relatório apresentado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO 2017), 33% dos solos mundiais estão degradados por diversos fatores, incluindo processos acelerados de erosão. Nas últimas décadas as questões associadas ao conceito de sustentabilidade assumiram maior relevância (Santos et al., 2022; Pontes e Figueiredo, 2023).



O Brasil possui aproximadamente 81 milhões de hectares de área agrícola e 179 milhões de áreas de pastagens, ocupando 10% e 21% do território nacional, respectivamente, muitos dos quais sem práticas conservacionistas, onde ocorrem processos erosivos com perdas de solo e insumos. Manzatto et al. (2002) destacaram que 65% do território brasileiro é apto para cultivo anual ou perene. Contudo, Bai, Dent, Olsson e Shaepman (2008) apontaram que cerca de 22% do território é ocupado por terras com níveis variados de degradação. Anache, Wendland, Oliveira, Flanagan e Nearing (2017) destacam que para o Brasil a erosão causada pelas águas pluviais é a forma mais significativa de degradação do solo, com estimativas do volume de solo perdido variando de 0,1 a 136,0 t ha⁻¹, dependendo do uso e da cobertura.

Os modelos de estimativa de perdas de solo e a espacialização das informações são ferramentas importantes para o planejamento ambiental e estudos de práticas alternativas de manejo e conservação do solo (Couto Júnior et al., 2019; Nachtigall et al., 2020). Os modelos empíricos incluem a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (Wischmeier e Smith, 1978) e sua versão revisada, RUSLE (Renard, Foster, Weesies, McCool e Yoder, 1997), que são usadas mundialmente para estimar a perda de solo (Panagos et al., 2015; Oliveira, Guedes, Santos e Silva, 2023). Chaves (2010) destaca que a USLE é amplamente utilizada em todo o mundo, inclusive nos trópicos, e sua razoável precisão na estimativa da perda anual de solo, bem como sua simplicidade de aplicação e disponibilidade de dados, permitem uma aplicação praticamente universal.

O USLE é composta pelos principais fatores que influenciam a erosão, que são a erosividade da chuva (fator R), a erodibilidade do solo (fator K), o comprimento da encosta (fator L), a declividade do solo (fator S), o uso e manejo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P).

A erosividade da chuva representa uma interação entre a energia cinética e o movimento do escoamento superficial, e o índice de erosividade representa a relação entre os parâmetros climáticos e o solo (Zhao et al., 2017; Li e Ye, 2018, Panagos, Borrelli e Poesen, 2019; Panagos et al., 2021).

Quando comparado aos demais fatores da USLE, é o fator que mais influencia as perdas de solo (Sadeghi et al., 2011; Shamshad, Azhari, Isa, Wan e Parida, 2008). Ao contrário de outros fatores, como o relevo e as características do solo, a erosividade não pode ser alterada pela ação humana, representando uma limitação ambiental natural ao uso e manejo da terra.

O índice de erosividade (EI30) depende das características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (Wischmeier e Smith, 1978). O índice de erosividade é o mais utilizado nas condições brasileiras, por ser considerado o mais adequado à realidade intertropical, e representa o produto da energia cinética (Ec) pela intensidade máxima da chuva em 30 minutos (I30) (Wischmeier e Smith, 1978; Hoyos, Waylen e Jaramillo, 2005).

A determinação do fator R requer uma série histórica de dados pluviométricos, sendo recomendados períodos mínimos de 20 anos (Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997). Diversos autores comentam a dificuldade de obtenção desses dados, tanto no Brasil como em outros países (Back e Poleto, 2018; Baecheler e Bravo, 2019). Uma alternativa utilizada na ausência desses dados é estimar o índice de erosividade a partir das médias mensais de precipitação, denominado método pluviométrico (Waltrick, Machado, Dieckon e Oliveira, 2015). Para este método é fundamental ajustar as equações de regressão entre os índices de erosividade e os valores de precipitação. Destacam-se as regressões dos índices de erosividade

El30 com os coeficientes de precipitação (R_c), também conhecidos como Índice de Fournier Modificado (IFM) (Renard e Freimund, 1994). Devido à boa disponibilidade de dados de precipitação e facilidade de aplicação, este método é amplamente utilizado e considerado com precisão satisfatória na estimativa do fator R (Angulo-Martínez e Beguería, 2009; Nearing, Yin, Borrelli e Polyakov, 2017).

Para locais sem dados de precipitação é possível obter estimativa do índice de erosividade a partir da interpolação de mapas ou com a utilização de ferramentas de geoprocessamento, obter estimativas pontuais através da espacialização dos dados. A espacialização da erosividade também é importante para a identificação e comparação de áreas com maior potencial erosivo, devido a fatores climáticos. A associação de mapas de erosão com mapas de relevo e tipo de solo permite identificar regiões com maiores riscos de erosão, deslizamentos ou deslizamentos (Mello e Silva, 2013).

3 METODOLOGIA

Para determinar os valores mensais e anuais do Índice de Erosividade El30 foi utilizado o método pluviométrico (Waltrick et al., 2015) baseado nas equações de regressão em função do Índice de Fournier Modificado (IFM). No estudo foram consideradas equações lineares ou potenciais, adotando-se aquela com maior coeficiente de determinação (R^2), de 90 estações pluviográficas em que o índice de erosividade é calculado pelas Equações (1 e 2):

$$EI_{30} = a.IFM + b \quad (1)$$

$$EI_{30} = a.IFM \quad (2)$$

onde: El30 é o índice de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); a e b são os coeficientes ajustados para uma determinada estação pluviométrica; IFM o índice de Fournier calculado pela Equação 3).

$$IFM = \frac{p^2}{P} \quad (3)$$

onde: p é a precipitação média mensal (mm); P é a precipitação média anual (mm).

Foram utilizadas as 73 equações de Trindade et al. (2016), sendo complementadas com pesquisas recentes incluindo as equações apresentadas por Back e Poletto (2018), Santos (2008), Martins, Cassol, Eltz e Bueno (2009), Pereira (1983), Matos et al. (2017), Barbosa, Blanco e Melo (2015).

Com as coordenadas (latitude e longitude) das estações pluviométricas e utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi possível espacializar cada uma das equações, determinando suas respectivas áreas de influência através do método do polígono de Thiessen (Figura 1).

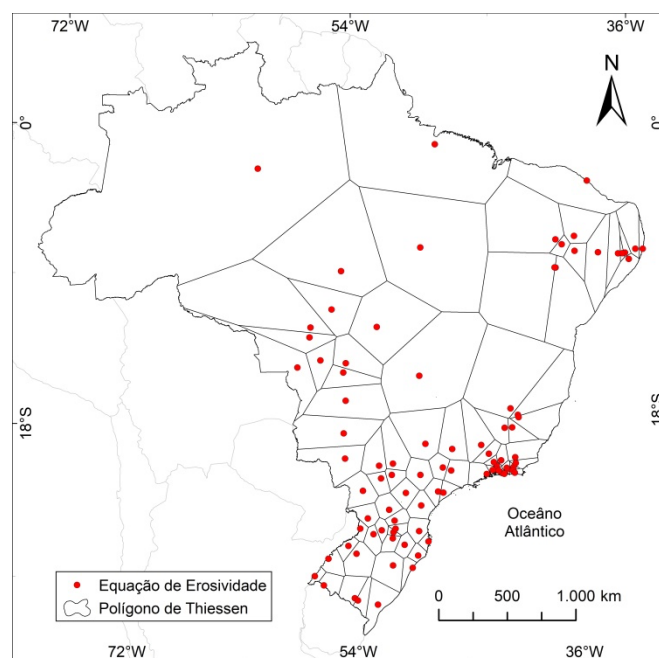


Figura 1. Polígonos de Thiessen com as áreas de influência das equações utilizadas no estudo.

Em relação às estações pluviométricas, foram utilizadas 1.918 estações pluviométricas com dados mensais de 1991 a 2020, correspondentes à Normal Climatológica mais recente (Inmet 2022). As estações utilizadas pertencem a órgãos públicos federais e estaduais, e o critério adotado foi utilizar apenas estações que apresentavam falhas inferiores a 5% dos meses avaliados. Destas estações, 221 pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet 2022) e 1.406 à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA 2023). Dos órgãos estaduais, foram utilizadas 284 estações pluviométricas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE 2023) e sete do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IDR-Paraná. A distribuição das estações no território brasileiro pode ser observada na Figura 2.

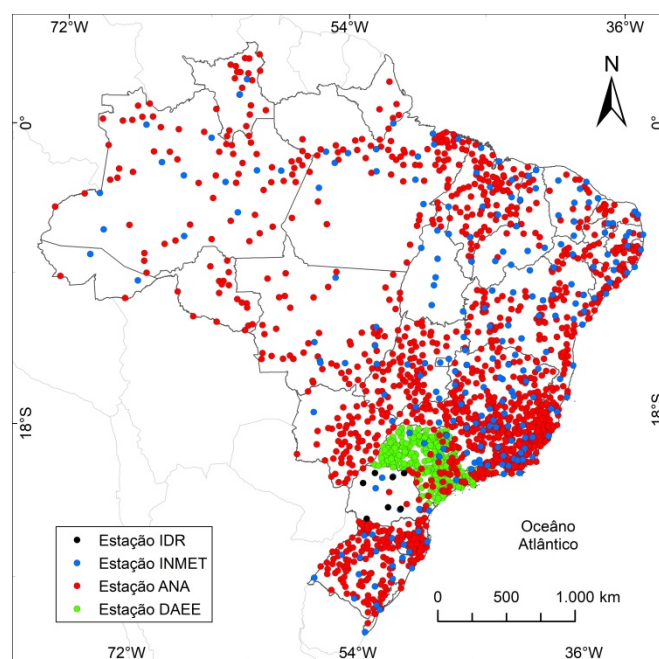


Figura 2. Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Para a espacialização e interpolação dos dados de erosividade foi utilizado o método de Krigagem Ordinária com resolução de pixels de 1 km². O cruzamento dos dados de precipitação mensal e anual por município e dos polígonos de Thiessen das equações de erosividade permitiu o cálculo da erosividade mensal e anual por município.

Para a análise foram gerados outros cálculos que possibilitaram interpretar também a erosividade trimestral, Índice de Fournier Modificado (MFI), além de representar os demais dados utilizados no estudo por meio de figuras. Os valores de EI30 foram classificados de acordo com as faixas apresentadas na Tabela 1. Também foram determinados os valores mensais de erosividade e os respectivos percentuais para cada trimestre do ano, a fim de caracterizar a variação sazonal.

Tabela 1. Classes médias anuais e mensais de erosividade das chuvas.

Classes de erosividade	EI30 (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	
	Anual	Mensal
Muito baixa	EI30 < 2.500	EI30 < 250
Baixa	2.500 < EI30 < 5.000	250 < EI30 < 500
Média	5.000 < EI30 < 7.000	500 < EI30 < 700
Alta	7.000 < EI30 < 10.000	700 < EI30 < 1.000
Muito alta	EI30 < 10.000	EI30 < 1.000

4 RESULTADOS

A precipitação anual apresenta grande variação espacial (Figura 3), com valores abaixo de 500 mm na região Nordeste, onde ocorre o clima BSh (semiárido) (Alvares, Stape, Sentelhas, Gonçalves e Sparovek, 2013), para valores acima de 2.500 mm por ano na região Norte, onde predomina o clima Af (Floresta Tropical). Na Bacia Amazônica a precipitação média é superior a 2.000 mm com clima Af e Am (clima tropical com inverno seco).

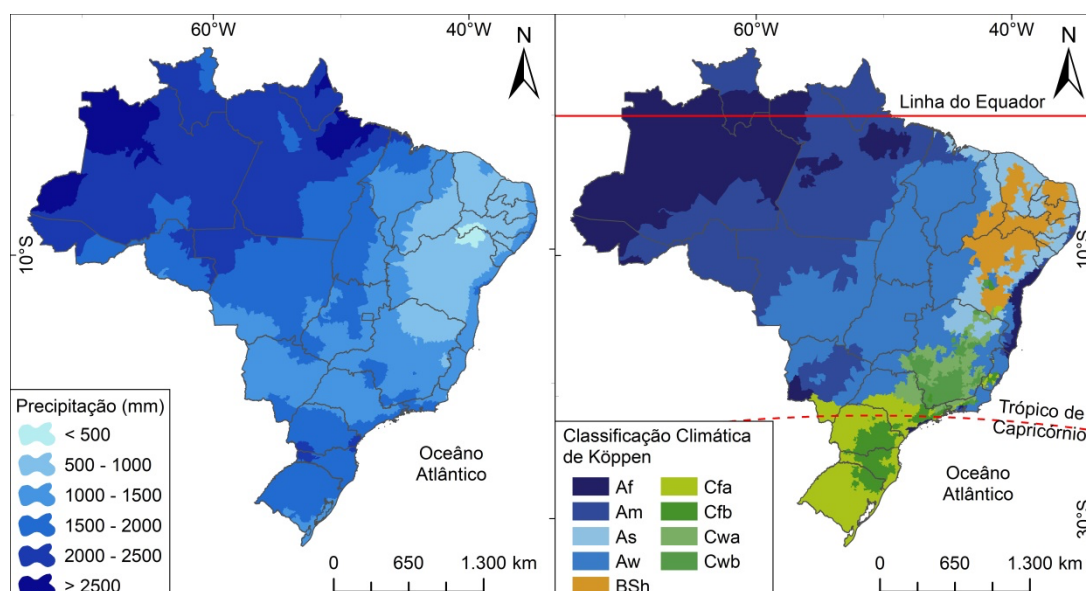


Figura 3. Distribuição da precipitação e classificação climática no Brasil.

Na região Centro-Oeste predomina o clima Aw (clima tropical de monções), com precipitações entre 1.000 e 2.000 mm. Na região Sul do Brasil, o clima é Cf (temperado úmido sem estação seca) com precipitação entre 1.000 e 2.000 mm na maior parte, embora em algumas áreas a precipitação possa ultrapassar 2.500 mm. A região Sudeste possui climas variados incluindo Cf, Cw (temperado úmido com inverno seco), Aw (tropical com inverno seco) e As (tropical com verão seco) com predomínio de precipitações na faixa de 1.000 a 1.500 mm e algumas áreas com precipitação acima de até 2.000 mm.

O IFM variou entre valores abaixo de 60 e valores acima de 160 (Figura 4). No Brasil, observa-se que há predominância de áreas com IFM acima de 160, classificadas como muito altas, incluindo toda a Bacia Amazônica e grande parte das regiões Centro-Oeste e Sul, ocorrendo também na região Nordeste. Valores classificados como baixos e muito baixos foram encontrados na região Nordeste, onde o clima é semiárido.

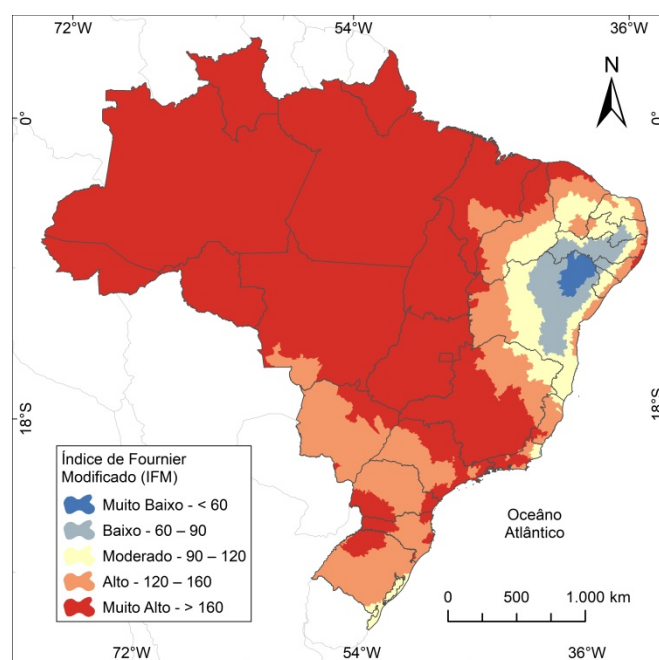


Figura 4. Índice de Fournier Modificado em território brasileiro.

A Figura 5 apresenta a distribuição da erosividade por estado no Brasil. Observa-se que o índice de erosividade variou de valores abaixo de $1.400 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na região Nordeste até valores acima de $17.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em alguns pontos do extremo Norte, onde está localizada a bacia amazônica, sendo a variação diretamente relacionada aos dados de precipitação e, consequentemente, ao IFM. A erosividade média para o Brasil foi de $10.082 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

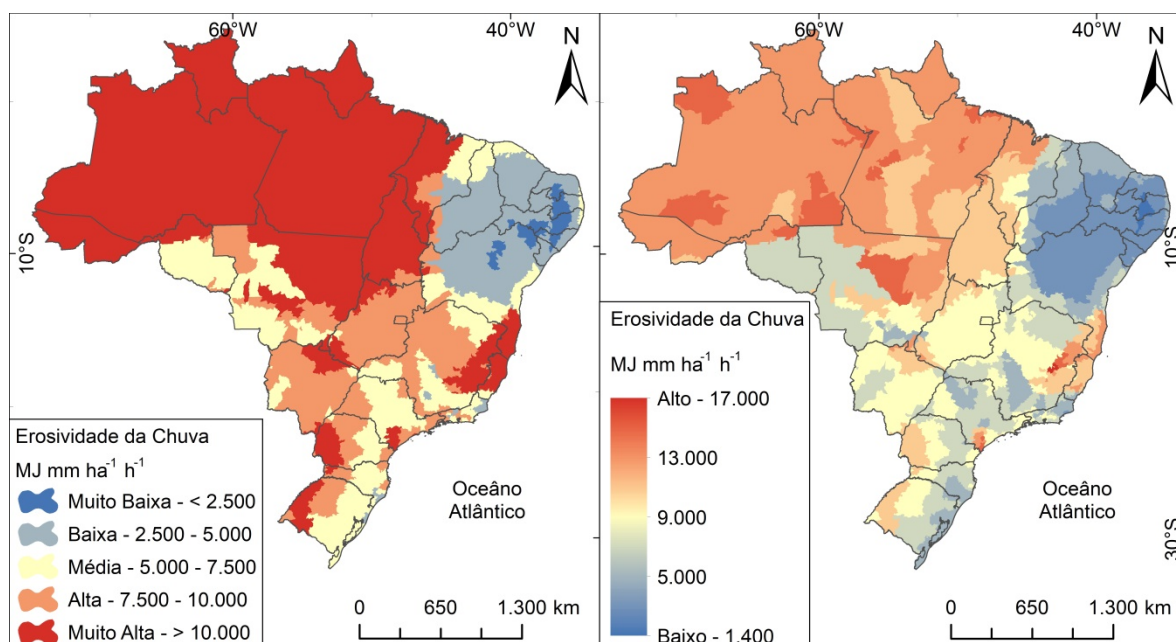


Figura 5. Distribuição espacial da erosividade por estado brasileiro.

Observa-se que predomina a classe de erosividade Muito Alta ($EI_{30} > 10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), ocorrendo em 56,1% do território, seguida, respectivamente, de Alta ($7.500 < EI_{30} < 10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em 19,8%, Médio ($5.000 < EI_{30} < 7.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em 12,6%, Baixo ($2.500 < EI_{30} < 5.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em 10,3%. A classe Muito baixa ($EI_{30} < 2500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ocorre apenas em 1,2% do território brasileiro.

A Figura 6 representa a variação da erosividade ao longo dos meses do ano, onde se percebe que há uma acentuada sazonalidade. De dezembro a março predominam valores de erosividade muito elevada ($EI_{30} > 1.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Por outro lado, de maio a setembro predominam valores mensais de erosividade na classe Muito baixa ($EI_{30} < 250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), e em setembro não há valores na classe Muito alta, e em junho a Em agosto, valores acima de $1.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ocorrem apenas em pequenas áreas no extremo norte do Brasil. No mês de outubro há acentuada variação espacial no território brasileiro, com valores acima de $1.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ na parte oeste da região Sul e pequenas áreas na região centro-oeste e no oeste da Bacia Amazônica.

Na Figura 7 pode-se observar a distribuição relativa da erosividade nos diferentes trimestres do ano. Ressalta-se que a erosividade se concentra no primeiro trimestre do ano, quando ocorre mais de 40% da erosividade anual na maior parte do território brasileiro, chegando a 80% na região semiárida. No quarto trimestre observa-se que 30 a 60% da erosividade anual ocorrem nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, enquanto no 3º trimestre menos de 10% ocorre nestas regiões.

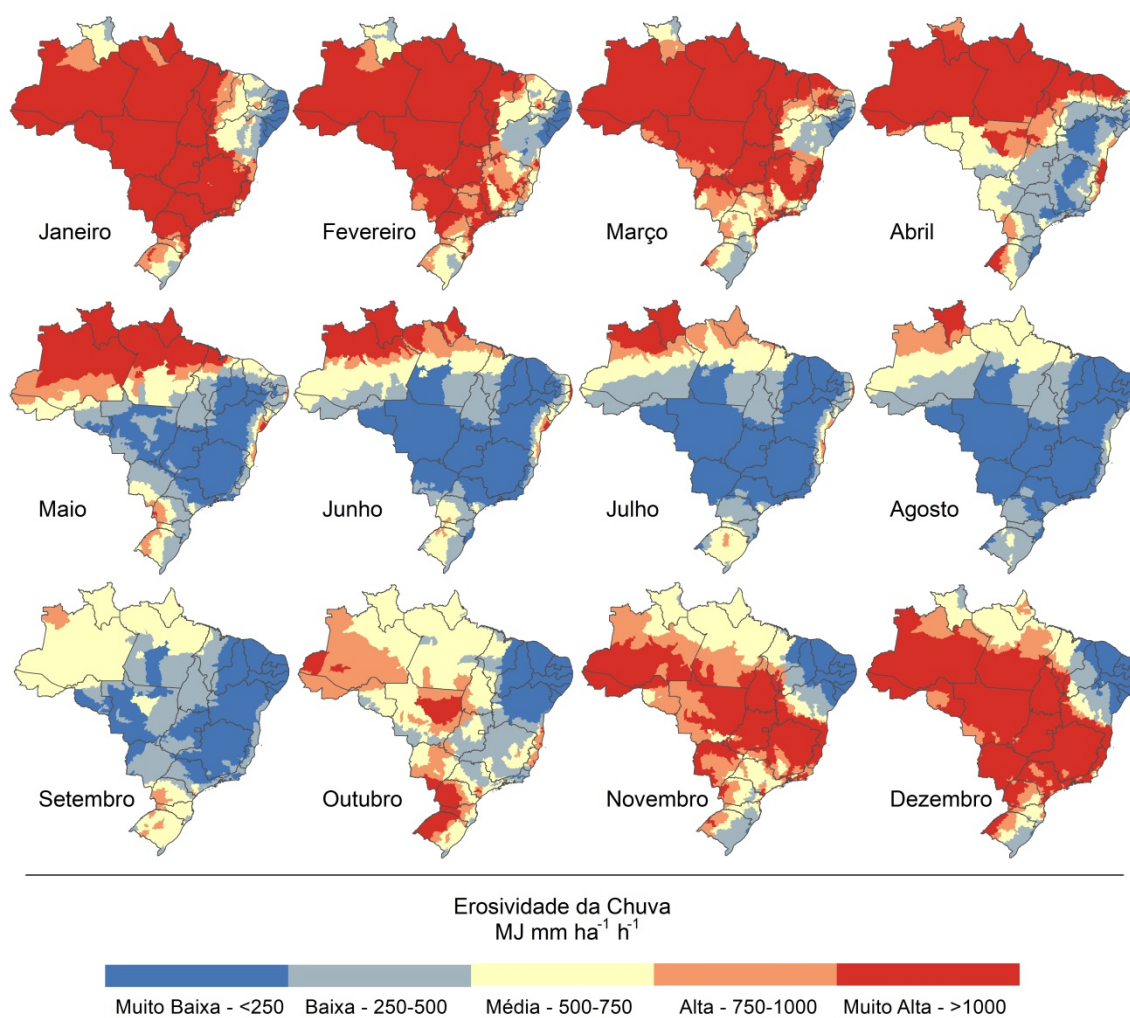


Figura 6. Distribuição espacial da erosividade mensal no Brasil.

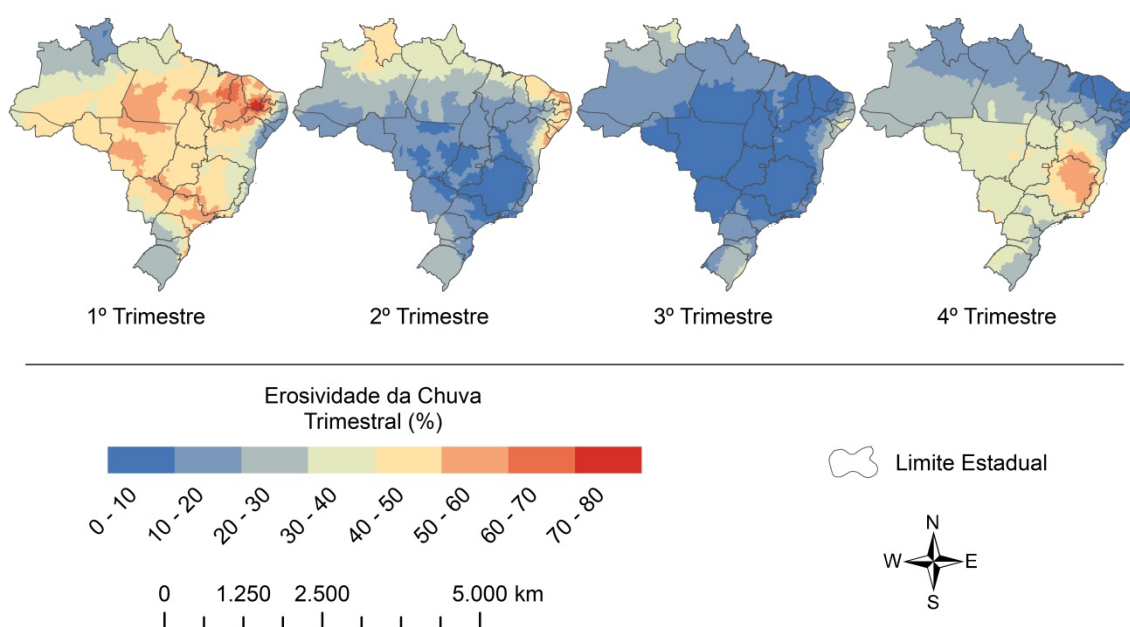


Figura 7. Distribuição relativa da erosividade no Brasil nos diferentes trimestres do ano.

5 DISCUSSÕES

Os resultados da distribuição da precipitação estão de acordo com vários estudos semelhantes no Brasil. Por exemplo, Reboita, Gan, Rocha e Ambrizzi (2010), em estudo sobre o clima da América do Sul, também constataram que uma das regiões mais chuvosas está no noroeste do Brasil, que inclui grande parte da bacia amazônica, onde a precipitação média foi maior superior a 2.450 mm ano⁻¹, sendo o maior valor observado na região do Amapá e Pará (2.620 mm). O Nordeste do Brasil é caracterizado por baixos níveis de precipitação e alta evaporação. Nesta região Silva, Pereira e Almeida (2012) encontraram uma precipitação média anual entre 400 mm ano⁻¹ (no centro da região semiárida) a 1800 mm na costa leste.

Melo et al. (2013) destacam que o mapa do IFM permite ao leitor avaliar o potencial das chuvas para gerar erosão hídrica no Brasil. De acordo com as informações apresentadas na Figura 4, pode-se inferir que uma grande área do Sudeste ao Centro-Oeste do Brasil possui potencial Muito Elevado de erosividade das chuvas (IFM > 160).

O IFM é amplamente utilizado em estudos de erosão do solo (Essel, Glover e Yeboah, 2016; Yahaya, Ahmad, Mohtar e Suri, 2023; Lima, Oliveira e Moura-Fé, 2021) e também na determinação e avaliação de risco e potencial de erosão (Jericek e Mikoš, 2007). Baecheler e Bravo (2019) e Cardoso, Avanzi e Ferreira (2022), utilizam o termo agressividade das chuvas, caracterizada pelo índice IFM, como indicador de erosividade. O conhecimento da agressividade das chuvas permite o zoneamento das áreas, de acordo com o potencial erosivo e o planejamento do uso adequado do solo, de acordo com o risco de erosão. Baecheler e Bravo (2019) destacam que a agressividade das chuvas provoca impactos ambientais relacionados a diversos desastres naturais (por exemplo, deslizamentos de terra e inundações), por isso é importante conhecer sua variabilidade espacial e temporal, para adotar medidas de prevenção e mitigação.

No sudeste da Venezuela (na fronteira com o norte do Brasil), Rodriguez et al. (2011) encontraram o mesmo comportamento da IFM, conforme observado no presente trabalho. Porém, se os dois mapas fossem comparados, poderíamos verificar que a origem desse elevado potencial de erosividade das chuvas é parcialmente explicada pela concentração de precipitação, como nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Panagos et al. (2017) apresentaram uma análise de erosividade para toda a superfície do planeta, baseada na interpolação de dados de estudos existentes em todo o mundo. Nesta análise, os autores verificaram que a América do Sul possui o maior valor do Fator R entre os continentes do planeta.

A distribuição da erosividade apresenta semelhanças com estudos de Oliveira et al. (2012) e Trindade et al. (2016). Oliveira e cols. (2012) constataram que os menores valores ocorrem na região Nordeste, e os maiores na região Norte. A erosividade das chuvas tende a aumentar de leste para oeste, principalmente na região norte do país.

Os valores de EI30 obtidos neste estudo podem ser utilizados como fator de erosividade na estimativa de perdas de solo utilizando o modelo USLE e seus derivados. A erosividade média verificada para o Brasil foi de 10.082 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, valor superior ao encontrado por Oliveira et al. (2012), que obtiveram valores variando de 1.672 a 22.452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com valor médio de 8.403 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Além disso, Trindade et al.

(2016) encontraram um fator R para o Brasil, obtido por interpolação, entre 1.782 e 16.583 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. As diferenças obtidas nestes estudos devem-se principalmente à maior uniformidade e representatividade das séries pluviométricas, e também ao maior número de equações utilizadas, resultados que corroboram parcialmente com trabalhos anteriores. Assim, com a utilização de uma rede mais densa de estações pluviométricas, com período padronizado de 30 anos de dados e ampliação das equações de regressão, acredita-se que esses resultados atualizados representem uma importante contribuição deste trabalho.

Trindade et al. (2016) apontam que a distribuição das chuvas ao longo do ano é o principal fator que influencia os valores dos coeficientes de precipitação. Essa influência também foi observada por Mello et al. (2013) e Panagos et al. (2015). Neste sentido, o conhecimento da distribuição sazonal da erosividade é importante para o planejamento das atividades agrícolas e das práticas de conservação, que dependem do tipo de clima e solo da região e das características das culturas. A análise espaço-temporal do potencial erosivo e das intensidades dos eventos extremos de chuva, segundo Méndez et al. (2020) são importantes para a concepção de medidas preventivas, mitigadoras e de controle dos seus impactos no ambiente físico e socioeconômico, bem como para a adaptação de usos e práticas agrícolas. No estudo do potencial erosivo das chuvas, o desenvolvimento de equações e índices que avaliam tais características das chuvas tem sido muito útil em todo o mundo para quantificar e qualificar o seu impacto na perda de solo.

6 CONCLUSÕES

Com base nas médias mensais do período de 1991 a 2020 de 1.918 estações pluviométricas distribuídas no território brasileiro e nas estimativas do índice de erosividade EI30 por meio de 90 equações de regressão, podem-se obter as seguintes conclusões:

- A precipitação anual apresenta grande variação espacial com valores abaixo de 500 mm na região Nordeste, onde ocorre o clima semiárido, até valores acima de 2.500 mm por ano na região Norte, onde predomina o clima de Floresta Tropical.
- No Brasil predominam áreas com IFM acima de 160, classificado como muito alto.
- O índice de erosividade EI30 varia de valores abaixo de 1.400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (na região Nordeste) até valores acima de 17.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em alguns pontos do extremo Norte da Bacia Amazônica.
- Em 56% do território brasileiro a erosividade foi classificada como muito alta (EI30 > 10.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), sendo o restante classificado como alto (19%), baixo (12%) e muito baixo (1,2%).
- Houve forte variação sazonal na erosividade, com predomínio da classe muito alta de dezembro a março e muito baixa em setembro.
- A erosividade concentra-se no primeiro trimestre do ano, onde, na maior parte do território brasileiro, ocorre mais de 40% da erosividade anual, chegando a 80% na região semiárida. No quarto trimestre observa-se que ocorre de 30 a 60% da erosividade anual na região Centro-Oeste e Sudeste, enquanto no terceiro ocorre menos de 10% da erosividade anual.

7 REFERENCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 22, p. 711-728, 2013.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Hidroweb: Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 05/2023.
- ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. C.; OLIVEIRA, P. T. S.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. **Catena**, v. 152, p. 29-39, 2017.
- 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.
- BACK, Á. J.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 381-403, 2018.
- BAECHELER, J. V.; BRAVO, B. S. (2019). Analysis of aggressiveness rainfall in the Far North of Chile. E-proceedings of the 38th IAHR World Congress September 1-6, Panama City, Panama. p. 3717-3725, 2019.
- BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SHAEPMAN, E. Proxy global assessment of land degradation. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 3, p. 223-234. 2008.
- BARBOSA, A. J. S.; BLANCO, C. J. C.; MELO, A. M. Q. Determinação do Fator Energético da chuva (R) para Belém-PA. In: Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 1., Porto Alegre; Anais...Porto Alegre: UFRGS, 2015.
- CARDOSO, D. P.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, D. F.; SALVADOR, F. A. G.; SILVA, M. L. N.; PIRES, F. R.; CURI, N. Rainfall erosivity estimation: Comparison and statistical assessment among methods using data from Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46. e0210122, 2022. ,
- CHAVES, H. M; L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: Impactos e mitigação. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 34, p. 2021-2029, 2010.
- COUTO JÚNIOR, A. A.; CONCEIÇÃO, F. T.; FERNANDES, A. M.; SPATTI JUNIOR, E.P.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**, v. 172, p. 313-323, 2019.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. Banco de Dados Hidrológicos. Disponível em: <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>>. Acesso em: 04/2023.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute - ArcGIS ARCGIS. Desktop Software. Versão 10.8: ESRI Inc., 2019. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>>. Acesso em: 06/04/2023.



- ESSEL, P.; GLOVER, E. T.; YEBOAH, S.; ADJEI-KYEREME, Y.; YAWO, I. N. D.; NYARKU, M.; ASUMADU-SAKYI, G. S.; B=GBEDDY, G. K.; AGYIRI, Y. A.; AMEHO, E. M.; ABERIKAE, E. A. Rainfall erosivity index for the Ghana Atomic Energy Commission site. **Springerplus**, v. 5, n. 465, p. 2-6, 2016.
- FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. (2017). Soil Organic Carbon: the hidden potential. Roma: Organization of the United Nations.
- GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D .F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.269-276, 2006
- HERNANI, L. C.; GONÇALVES, A. O.; ORTOLAN, B.; SOUZA, E. F. Procedimentos para determinação do Índice de Dissipação de Erosividade (IDE). Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2020. (Documentos, 214).
- HOYOS, N.; WAYLEN, P. R.; JARAMILLO, A. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. **Journal of Hydrology**, v. 314, p. 177-191, 2005.
- INMET - Instituto Nacional e Meteorologia. (2022). Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020. Brasília, 2022. 27p.
- JERICEK, S. L.; MIKOŠ, M. Analysis of Rainfall Aggressiveness and Rainfall Erosivity in Slovenia. **Geophysical Research Abstracts**, v. 9, 02021, 2007.
- LI, X.; YE, X. Variability of rainfall erosivity and erosivity density in Ganjiang River Catchment, China: Characteristics and influences of climate change. **Atmofphere**, v.9, 48, 2018.
- LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3156-3172, 2021.
- MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Brasil: Embrapa Solos, 2002. 174 p. Cap.2. pp. 13-21.
- MARTINS, D.; CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L.F.; BUENO, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Hulha Negra, Rio Grande do Sul, Brasil, com base no período de 1956 a 1984. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 15, p. 29-38, 2009.
- MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T.G. Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 641-649, 2017.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202-203, p. 88-102, 2013.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Editora UFLA, 2013. 455p.



- MÉNDEZ, W.; PACHECO, H.; LANDAETA, L.; MENÉNDEZ, E.; PÉREZ, M.; PARRA, G.; FUENTES, J. Indicadores de erosividade de la lluvia en una cuenca de la Serranía del Litoral Central de Venezuela. **Revista de Geografía Norte Grande**, v. 76, p. 279-301, 2020.
- NACHTIGALL, S. D.; NUNES, M. C. M.; MOURA-BUENO, J. M.; LIMA, C. L. R.; MIGUEL, P.; BESKOW, S.; SILVA, T. P. Spatial modeling of soil water erosion associated with agroclimatic seasonality in the southern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 933-946, 2020.
- NEARING, M. A.; YIN, S. Q.; BORRELLI, P.; POLYAKOV, V. O. Rainfall erosivity: An historical review. **Catena**, v. 157, p. 357-362, 2017.
- OLIVEIRA, P. T.; WENDLAND, E.; NEARING, M. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2012.
- OLIVEIRA, P. J. L.; GUEDES, J. C.; SANTOS, J. Y. G.; SILVA, D. F. Aplicação da USLE nos serviços ecossistemas de controle de erosão em área suscetível de desertificação, NE-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 1088-1103, 2023.
- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, C. et al. Rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 801-814, 2015.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; POESEN, J. Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. **Sci. Total Environ**, v. 664, p. 487-498, 2019.
- PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; HIMICS, M.; SCARPA, S.; MATTHEWS, F.; BOGONOS, M.; POESEN, J.; BORRELLI, P. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. **Environ. J. Sci. Policy**, v. 124, p. 380-392, 2021.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. et al. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports**, v. 7, n. 4175, p. 1-12, 2017.
- PEREIRA, H. H. G. **Índices de erosividade da chuva; distribuição e relações com a precipitação em Piracicaba-SP**. 1983. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.
- PONTES, O. M.; FIGUEIREDO, F. F. Conferências Internacionais sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: Outro mundo é possível?. **Holos**, v.1, n.39, e12036, 2023.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the Rfactor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v. 157, n. 1-4, p. 287-306, 1994.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation



- (RUSLE), Agriculture Handbook, n. 703, US Department of Agriculture Research Service, Washington, DC, USA, 348p., 1997.
- RODRIGUEZ, M. F.; CORTEZ, A.; REY, J. C.; LOBO, D.; PARRA, R. M.; GONZÁLEZ, W.; OVALLES, F.; GABRIELS, D. Analysis of precipitation aggressiveness and concentration in Venezuela. III. Southeastern Region (Guayana and Delta). *Ioagro*, v. 23, n. 2, p. 99-104, 2011.
- SADEGHI, S. H. R.; MOATAMEDNIA, M.; BEHZADFAR, M. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 13, p. 451-464, 2011.
- SADEGHI, S. H.; ZABIHI, M.; VAFAKHAH, M.; HAZBAVI, Z. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Natural Hazards**, v. 87, p. 35-56, 2017.
- SANTOS, C. M. B.; DE SOUZA, A. C. M.; XAVIER, L. S.; FERREIRA, M. L. A.; RODRIGUES, A. R. P. Desenvolvimento sustentável e indicadores sociais: Estudo de caso Mulheres Rurais. **Holos**, v.8, n. 38, e10319, 2022.
- SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 138p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-graduação em Agronomia. 2008.
- SHAMSHAD, A.; AZHARI, M. N.; ISA, M. H.; WAN HUSSIN, W. M. A.; PARIDA, B. P. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. **Catena**, v. 72, n. 3, p. 423-432, 2008.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 163-172, 2012.
- TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.
- YAHAYA, A. S.; AHMAD, F.; MOHTAR, Z. A.; SURİ, S. Determination of rainfall erosivity in Penang. Japanese Geotechnical Society Special Publication. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, p. 1132-1136, 2023.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. D. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 256-267, 2015.
- WANG, B.; ZHENG, F.; GUAN, Y. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 168-176, 2016.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S Department of Agriculture, Agr. **Handbook**, v. 537, p. 1-58, 1978.



ZHAO, Q.; LIU, Q.; MA, L.; DING, S.; XU, S.; WU, C.; LIU, P. Spatiotemporal variations in rainfall erosivity during the period of 1960-2011 in Guangdong Province, southern China. **Theoretical Applied Climatology**, v.128, p.113-128, 2017.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Back, Álvaro J., Souza, G. da S., Galatto, S. L., Corseuil, C. W., & Poletto, C. (2023). EROSIVITY INDEX FOR BRASIL BASED ON CLIMATOLOGICAL NORMALS FROM 1991 TO 2020. HOLOS, 3(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/16329>

SOBRE OS AUTORES

Á. J. BACK

Graduado em Engenharia Agrônoma. Mestre em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

E-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0057-2186>

G. S. SOUZA

Engenheiro Agrimensor pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense.

E-mail: eng.agrimensorgabriel@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4773-4138>

S. L. GALATTO

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense.

E-mail: sga@unesc.net

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4325-7936>

C. W. CORESUIL

Graduação em Engenharia Florestal. Mestrado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/Santa Maria/Rio Grande do Sul). Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/Botucatu/São Paulo). Professora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

E-mail: claudia.weber@ufsc.br

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1458-2454>

C. POLETO

Graduação em Engenharia Civil. Mestrado e Doutorado em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS).

E-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-1634>

Editor In Charge: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas *ad hoc*: Morgana Vaz da Silva e Julio Cesar de S. Inácio Gonçalves





Received June 5, 2023

Accepted: December 1, 2023

Published: December 14, 2023

