

ÍNDICE DE EROSIVIDADE DE CHUVAS PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO – BRASIL

Álvaro José Back¹

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Urussanga, Santa Catarina, Brasil



Gabriel da Silva Souza²

Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
Criciúma, Santa Catarina, Brasil



Sérgio Luciano Galatto³

Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
Criciúma, Santa Catarina, Brasil



Franciele Zanandrea⁴

Universidade Federal Fluminense (UFF)
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

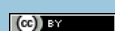


Enviado em 15 ago. 2023 | Aceito em 3 mar. 2025

Resumo: A erosão hídrica é considerada um dos maiores problemas ambientais, responsável pela perda de áreas agrícolas, redução de produtividade, assoreamento de rios e reservatórios e contaminação da água em diversos países. As alterações climáticas observadas nas últimas décadas e as mudanças nos regimes de precipitações têm aumentado a preocupação com eventos extremos que causam desde erosão hídrica superficial até movimentos de massa que desencadeiam grandes desastres. O conhecimento dos índices de erosividade da chuva e sua variação sazonal e espacial são ferramentas importantes para o planejamento das práticas de manejo e conservação do solo. Este estudo teve como objetivo determinar o índice de erosividade das chuvas para o estado do Rio de Janeiro e avaliar sua distribuição espacial e sazonal. Foram calculados os valores mensais do índice de erosividade da chuva EI30, muito utilizado no cálculo da erosão do solo a partir da Equação Universal de Perda de Solo (USLE). Para o cálculo do EI30 foram utilizadas as médias mensais de precipitação de 11 estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e 73 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O valor de EI30 foi obtido utilizando dezesseis equações de regressão estabelecidas para o Rio de Janeiro. Os valores de EI30 foram interpolados utilizando o método da *Krigagem* no software *ArcGis* 10.8 para espacialização dos dados. A partir disso, obteve-se os valores médios para cada município do estado do Rio de Janeiro. Os resultados mostram que a precipitação média anual varia de 1000 a 1800 mm e que 76,4% do estado do Rio de Janeiro apresentou índice de Fournier (IFM) maior que 160, classificado como muito alto em relação a agressividade das chuvas. O índice de erosividade variou de 1750 a 15000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo que 22,9 % do território Fluminense tem erosividade classificada como Alta (7500 a 10000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) e 51,8% tem erosividade média (5000 a 7500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹). A erosividade apresentou os maiores valores, nos meses de novembro a março, evidenciando que as práticas de controle de erosão e conservação do solo devem, preferencialmente, ser reforçadas neste período do ano.

Palavras-chave: erosão; conservação do solo; USLE

1. Eng. Agrônomo, Dr., Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0057-2186>, E-mail: ajb@epagr.sc.gov.br
2. Eng. Agrimensor, MSc, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4773-4138>, E-mail: engagrimensorgabriel@gmail.com
3. Engenheiro Ambiental, Dr., Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4325-7936>, E-mail: sga@unesc.net
4. Engenheira Ambiental, Dr^a., Universidade Federal Fluminense (UFF), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4797-1379>, E-mail: francielez@id.uff.br



RAIN EROSIVITY INDEX FOR THE STATE OF RIO DE JANEIRO - BRAZIL

Abstract: Soil erosion is considered one of the biggest environmental problems, responsible for the loss of agricultural areas, reduced productivity, association of rivers and reservoirs and water contamination in several countries. The climatic changes observed in the last decades and the changes in the precipitation regimes have caused concern, with extreme events that cause from surface water bottom to mass movements that can lead to disasters. Knowledge of rainfall erosivity indices and their seasonal and spatial variation are important tools for planning soil management and conservation practices. This study aims to determine the rainfall erosivity index for the state of Rio de Janeiro and to evaluate its spatial and seasonal distribution. The analytical values of the rainfall erosivity index (EI30) were calculated, widely used in calculating soil learning from the Universal Soil Loss Equation (USLE). For the calculation of the EI30, the average rainfall of 11 rainfall stations of the National Institute of Meteorology (Inmet) and 73 rainfall stations of the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA) were used. The EI30 value was obtained using sixteen regression equations established for Rio de Janeiro. The EI30 values were interpolated for data spatialization and from that, the average values were obtained for each municipality in the State of Rio de Janeiro. The results show that the average annual precipitation ranges from 1000 to 1800 mm and that 76.4% of the state of Rio de Janeiro had a Fournier index (IFM) greater than 160, classified as very high in relation to the aggressiveness of the rains. The erosivity index ranges from 1750 to 15000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, and 22.9% of the Fluminense territory has erosivity classified as High (7500 to 10000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹) and 51.8% as medium erosivity (5000 to 7500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹). Erosivity showed the highest values in the months of November to March, indicating that soil retention and conservation control practices should preferably be maintained in this period of the year.

Keywords: erosion; soil conservation; USLE

ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS PARA EL ESTADO DE RÍO DE JANEIRO - BRASIL

Resumen: La erosión del suelo es considerada uno de los mayores problemas ambientales, responsable de la pérdida de áreas agrícolas, reducción de la productividad, aterramiento y colmatación de ríos y embalses y contaminación del agua en varios países. Los cambios climáticos observados en las últimas décadas y los cambios en los regímenes de precipitación han causado preocupación, con eventos extremos que provocan desde movimientos superficiales del fondo del agua hasta movimientos en masa que pueden llevar a desastres. El conocimiento de los índices de erosividad de las precipitaciones y su variación estacional y espacial son herramientas importantes para planificar prácticas de gestión y conservación del suelo. Este estudio tiene como objetivo determinar el índice de erosividad de la lluvia para el estado de Río de Janeiro y evaluar su distribución espacial y estacional. Se calcularon los valores del índice de erosividad pluvial (EI30), ampliamente utilizado en el cálculo de la pérdida de suelo a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Para el cálculo del EI30 se utilizó la precipitación media de 11 estaciones pluviométricas del Instituto Nacional de Meteorología (Inmet) y 73 estaciones pluviométricas de la Agencia Nacional de Agua y Saneamiento Básico (ANA). El valor EI30 se obtuvo utilizando dieciséis ecuaciones de regresión establecidas para Río de Janeiro. Los valores EI30 fueron interpolados para la espacialización de los datos y a partir de ello se obtuvieron los valores promedio para cada municipio del Estado de Río de Janeiro. Los resultados muestran que la precipitación media anual varía de 1000 a 1800 mm y que el 76,4% del estado de Río de Janeiro presentó un índice de Fournier (IFM) superior a 160, clasificado como muy alto en relación a la agresividad de las lluvias. El índice de erosividad varía de 1750 a 15000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, y el 22,9% del territorio fluminense tiene erosividad clasificada como Alta (7500 a 10000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹) y el 51,8% como erosividad media (5000 a 7500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹). La erosividad presentó los valores más altos en los meses de noviembre a marzo, lo que indica que las prácticas de retención y control de conservación de suelos deben mantenerse preferentemente en este período del año.

Palabras clave: erosión; conservación del suelo; USLE



Introdução

A erosão hídrica é considerada um dos maiores problemas ambientais em diversos países. Além da degradação dos solos e da redução da produtividade agrícola, a erosão tem como impacto a contaminação dos recursos hídricos pelo carreamento de partículas sólidas, juntamente com resíduos de fertilizantes e agrotóxicos. Os sedimentos transportados na bacia hidrográfica causam o assoreamento de rios e reservatórios; e dessa forma, aumentam os problemas de cheias e inundações. Dessa forma, percebe-se que os problemas da erosão, além da ordem econômica também são de natureza ambiental, de saúde e social (Sadeghi et al., 2011).

O estado do Rio de Janeiro (RJ) tem enfrentado problemas ambientais e desastres naturais deflagrados, principalmente por eventos extremos de chuva (Lima e Armond, 2022; Gomes Neto e Santos, 2022; Armond e Santanna Neto, 2019). Segundo Oliveira et al. (2021), a costa sudeste do

Brasil é uma região vulnerável ao desenvolvimento de tempestades, devido à passagem de frentes frias e a formação de ciclones extratropicais. Essas tempestades são a causa de muitos desastres relacionados a chuvas extremas no estado Rio de Janeiro.

O conhecimento da variação sazonal e o mapeamento das áreas de risco de erosão são ferramentas importantes para o planejamento ambiental e para a determinação das melhores práticas de manejo do solo (Sadeghi et al., 2011).

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (Wischmeier e Smith, 1978) e suas versões revisadas (RUSLE) (Renard et al., 1997) se destacam como os modelos empíricos mais utilizados na estimativa da perda de solo por erosão hídrica.

A USLE é composta pelos principais fatores que influenciam a erosão: a erosividade da chuva (fator R), a erodibilidade do solo (fator K), o comprimento da rampa (fator L), a declividade do solo (fator S), o uso e manejo do solo (fator C) e as práticas conservacionistas (fator P). A erosividade da chuva é considerada o fator de maior influência nas perdas de solo (Sadeghi et al., 2011) e representa uma limitação ambiental natural e, diferentemente dos demais, não pode ser alterado pela ação humana.

O conhecimento do fator de erosividade e sua variação sazonal permitem aplicar os modelos de estimativas de perdas de solo de acordo com as características da região; consequentemente, definir as práticas conservacionistas mais adequadas para cada local.

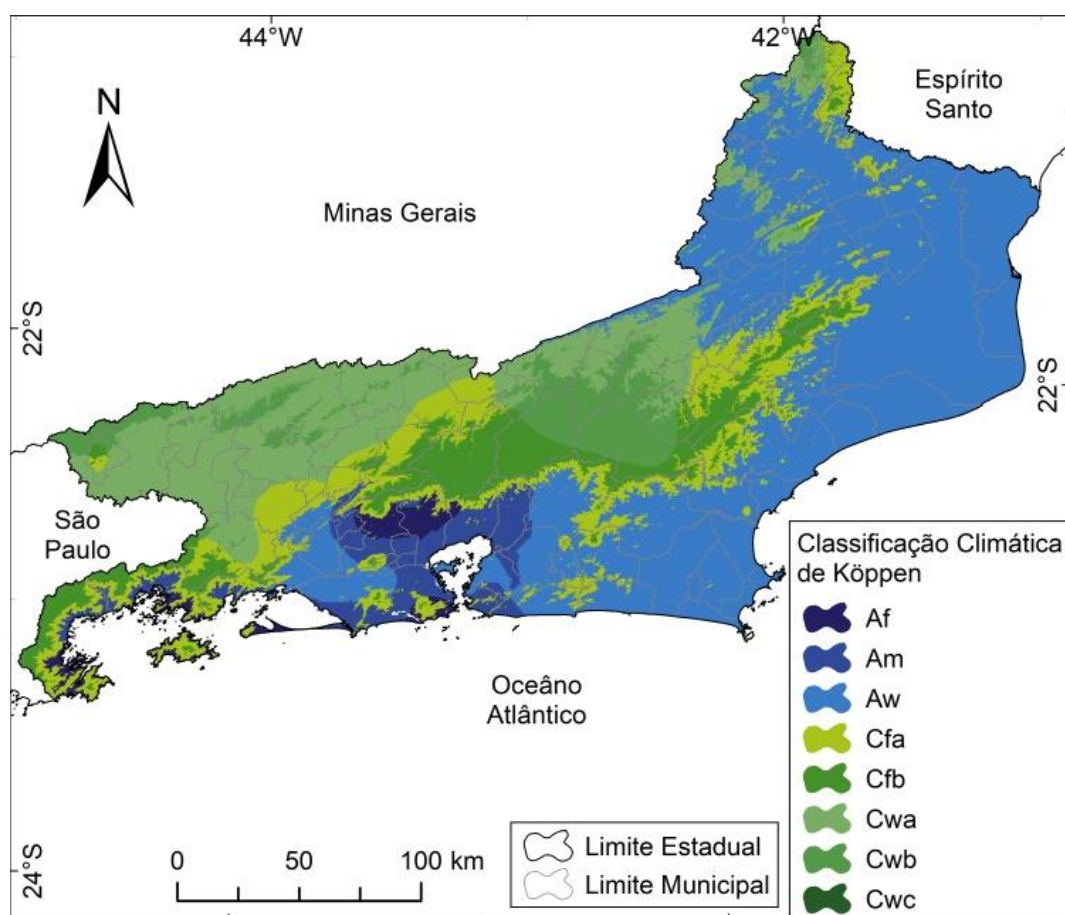
Ribeiro (2006) avaliou as perdas de solo no município de Campos dos Goytacazes (RJ) e concluiu que a perda anual de solo ficou entre 10 e 500 t.ano⁻¹, e que 55% das terras do município apresentaram risco de erosão maior que o tolerado pelo solo. Gonçalves et al. (2006) determinaram as equações de regressão para 14 estações pluviométricas do RJ e apresentaram um mapa com erosividade da chuva variando de 4.000 a 16.000 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹. Essas equações foram ajustadas por regressão entre os índices de erosividade EI_{30} , calculados com os dados de intensidade chuva dos pluviógrafos, e o índice de Fournier Modificado, calculado com as chuvas mensais das respectivas estações pluviométricas. No entanto, neste mapa não foi contemplada as regiões Norte e Nordeste do Estado, pela falta de estações pluviográficas. Carvalho (2019) apresenta um mapa de erosividade de chuvas para o estado do Rio de Janeiro baseado em seis estações pluviográficas, o que – devido à extensão territorial do estado – não seria representativo. Machado et al. (2013), com base em 30 estações pluviométricas com dados entre 1933 e 2006, identificam 12 regiões homogêneas quanto à distribuição espacial da erosividade das chuvas no estado do Rio de Janeiro.

A espacialização dos valores de erosividade depende do tamanho da série de dados utilizada e das equações de regressão. Além disso, nas últimas décadas, a vulnerabilidade do clima terrestre motivou uma preocupação constante quanto ao estado da mudança climática global, seja por interferências das atividades naturais seja por interferências antropogênicas (Inmet, 2022). As mudanças nos regimes pluviométricos em função das mudanças climáticas podem afetar os valores de erosividade; dessa forma, há necessidade da atualização constante dos valores de índices de erosividade das chuvas, contemplando dados mais recentes que possam demonstrar uma mudança nos padrões temporais e espaciais da erosividade. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo determinar o índice de erosividade e sua variação sazonal e espacial no Estado do Rio de Janeiro com base nas normais climatológicas de 1991 a 2020.

Material e Métodos

O estado do Rio de Janeiro é caracterizado por uma grande variabilidade climática, em que a região Sudeste, devido à sua posição latitudinal, caracteriza-se por ser uma região de transição entre os climas tropicais quentes e os climas do tipo temperado das latitudes médias (França e Maia, 2003). A associação relevo-altitude é responsável pela distribuição irregular de variáveis meteorológicas como temperatura e pluviosidade no território do estado fluminense. Considerando o terceiro nível da classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013), pode-se diferenciar oito tipos climáticos no estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

Figura 1 - Classificação climática do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Alves et al. (2013).

Para determinação dos valores mensais e anuais do Índice de erosividade EI_{30} , foi utilizado o método pluviométrico (Waltrick et al., 2016) com base nas equações de regressão em função do índice de Fournier Modificado (IFM). No estudo, foram consideradas 16 equações (Tabela 1) de regressão linear dada por:

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

em que EI_{30} é o índice de erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}h^{-1}\ ano^{-1}$); a e b são os coeficientes ajustados para determinada estação pluviométrica; IFM é o índice de Fournier Modificado, que pode ser calculado por:

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

em que p é a precipitação média mensal (mm) e P é a precipitação média anual (mm).

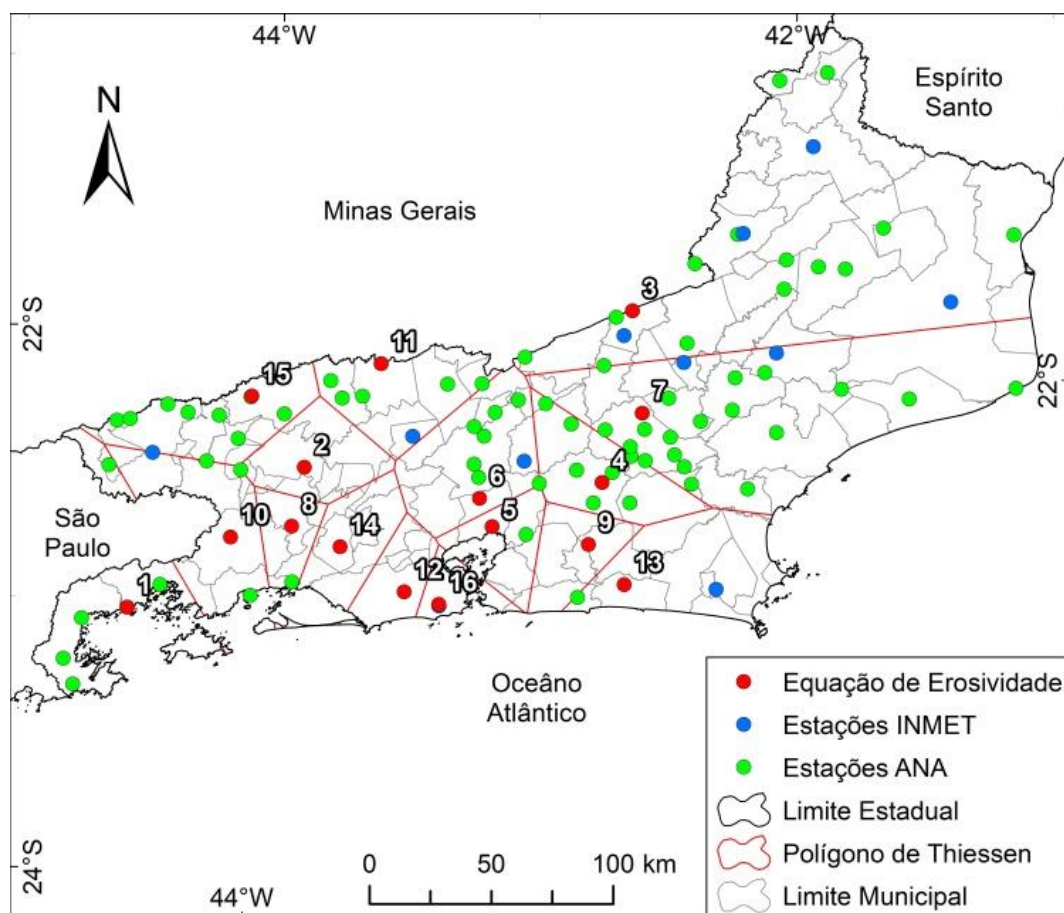
Os dados tabulares (Tabela 1) foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) com as equações de erosividade existentes para o estado do Rio de Janeiro. Desta forma, pôde-se espacializar cada uma das equações codificadas de 1 a 16 para a aplicação do método dos polígonos de Thiessen (Figura 2).

Tabela 1 - Parâmetros das equações de regressão entre EI_{30} e IFM

| Equação | Município | Parâmetro da equação | | | Fonte |
|---------|----------------------|----------------------|--------|----------------|-------------------------|
| | | a | b | R ² | |
| 1 | Angra dos Reis | 44,61 | 73,21 | 0,84 | Gonçalves et al. (2006) |
| 2 | Barra do Pirai | 24,53 | 50,36 | 0,96 | Gonçalves et al. (2006) |
| 3 | Carmo | 21,00 | 223,87 | 0,72 | Gonçalves et al. (2006) |
| 4 | Cachoeiras de Macacu | 37,90 | 39,86 | 0,91 | Gonçalves et al. (2006) |
| 5 | Magé | 47,68 | 64,59 | 0,89 | Gonçalves et al. (2006) |
| 6 | Magé | 46,37 | 146,28 | 0,70 | Gonçalves et al. (2006) |
| 7 | Nova Friburgo | 33,86 | -67,99 | 0,85 | Carvalho et al. (2005) |
| 8 | Pirai | 20,70 | 112,54 | 0,82 | Gonçalves et al. (2006) |
| 9 | Rio Bonito | 35,13 | 38,48 | 0,81 | Gonçalves et al. (2006) |
| 10 | Rio Claro | 38,48 | 118,71 | 0,98 | Gonçalves et al. (2006) |
| 11 | Rio das Flores | 20,70 | 112,54 | 0,82 | Gonçalves et al. (2006) |
| 12 | Rio de Janeiro | 37,76 | 3,89 | 0,79 | Gonçalves et al. (2006) |
| 13 | Saquarema | 50,02 | -13,36 | 0,65 | Gonçalves et al. (2006) |
| 14 | Seropédica | 38,14 | 64,87 | 0,82 | Carvalho et al. (2005) |
| 15 | Valença | 27,74 | 194,08 | 0,82 | Gonçalves et al. (2006) |
| 16 | Rio de Janeiro | 53,31 | -76,27 | 0,70 | Gonçalves et al. (2006) |

Para a precipitação média mensal, foram considerados os valores de chuva mensal, do período de 1991 a 2020, referente à Normal Climatológica mais recente (Inmet, 2022). No estudo, foram consideradas 11 estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023) e 72 estações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023) que apresentaram falhas inferiores a 5% dos meses nos dados mensais (Figura 2).

Figura 2 - Localização das estações pluviométricas e polígonos de Thiessen das equações de regressão.



O processamento e a análise dos dados foram realizados com o uso das técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, usando o software ArcGis 10.8 (ESRI, 2019).

Por meio da interpolação dos dados utilizando o método de *Krigagem*, foi possível espacializar inicialmente os dados de chuva para os meses de janeiro a dezembro, bem como a média anual, com resolução de 1km². Para interpolação optou-se pela aplicação do método de *Krigagem* Ordinária, onde posteriormente pela análise do semivariograma definiu-se também o uso dos ajustes do tipo “estável” e “esférico” como os melhores.

Com o arquivo de informações *raster* e os limites municipais do Rio de Janeiro, foi aplicada a ferramenta *Zonal Statistics as Table*, de forma definir a estimativa da precipitação média para cada município do estado. Estes dados de precipitação, além de estimados para todos os municípios, também foram tabelados, possibilitando o cálculo da erosividade. Para isso, ainda se aplicou a sobreposição dos shapes de municípios com as médias de chuva por mês e anual e o shape com a regionalização das equações (polígonos de Thiessen), o que – em suma – resultou na equação que cada município deve utilizar para o cálculo da erosividade. Desta forma, aplicou-se a respectiva equação de erosividade para cada um dos municípios com precipitação espacializada estimada resultando nos valores de erosividade mensal e anual.

Os valores de EI_{30} foram classificados de acordo com as faixas apresentadas na Tabela 2. Também foram determinados os valores mensais de erosividade e os respectivos percentuais para cada trimestre do ano, a fim de caracterizar a variação sazonal.

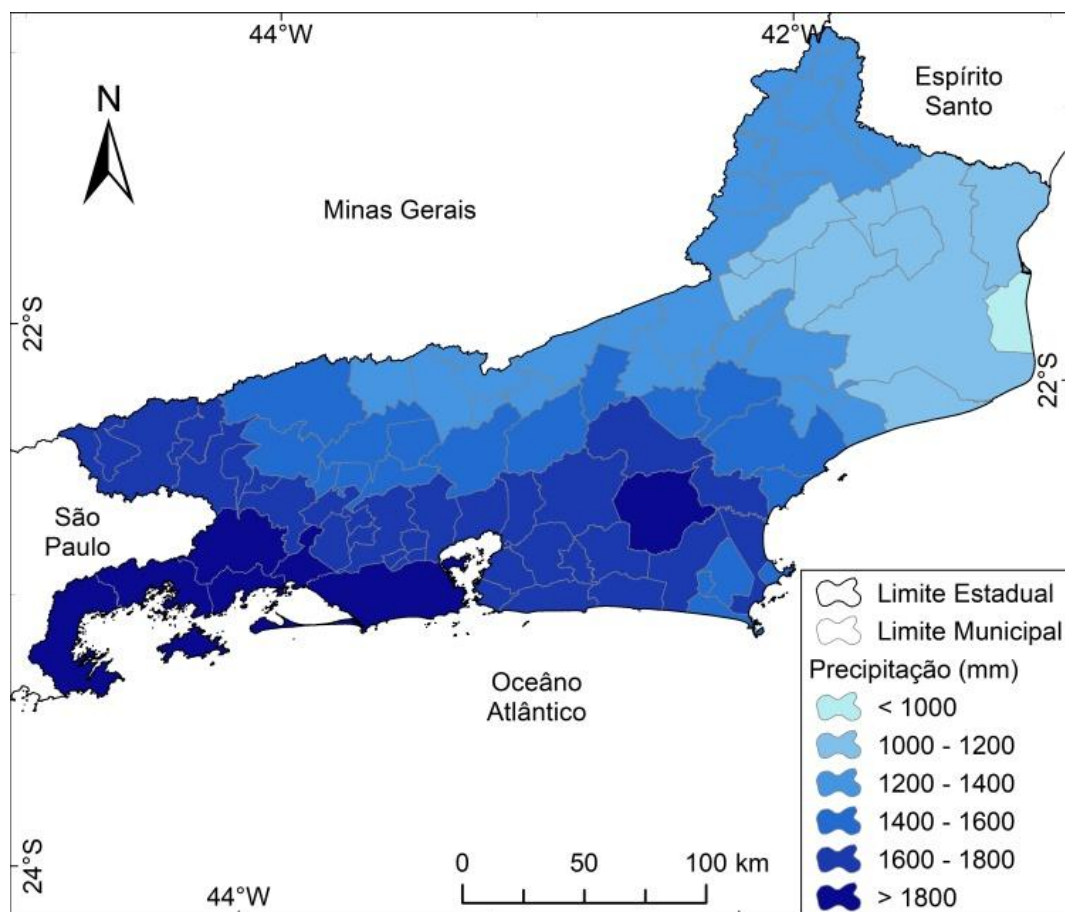
Tabela 2 - Classes de erosividade da chuva média anual e mensal

| Classe de erosividade | EI30 (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹) | |
|-----------------------|--|----------------------|
| | anual | mensal |
| Muito baixa | $R < 2.500$ | $R < 250$ |
| Baixa | $2.500 \leq R < 5.000$ | $250 \leq R < 500$ |
| Média | $5.000 \leq R < 7.000$ | $500 \leq R < 700$ |
| Alta | $7.000 \leq R < 10.000$ | $700 \leq R < 1.000$ |
| Muito alta | $R \geq 10.000$ | $R \geq 1.000$ |

Resultados e discussão

A chuva anual apresenta uma variação espacial marcante no estado do Rio de Janeiro, com valores próximos de 1.000 mm, na divisa com o estado do Espírito Santo, a valores acima de 1.800 mm, no litoral sul próximo ao estado de São Paulo (Figura 3).

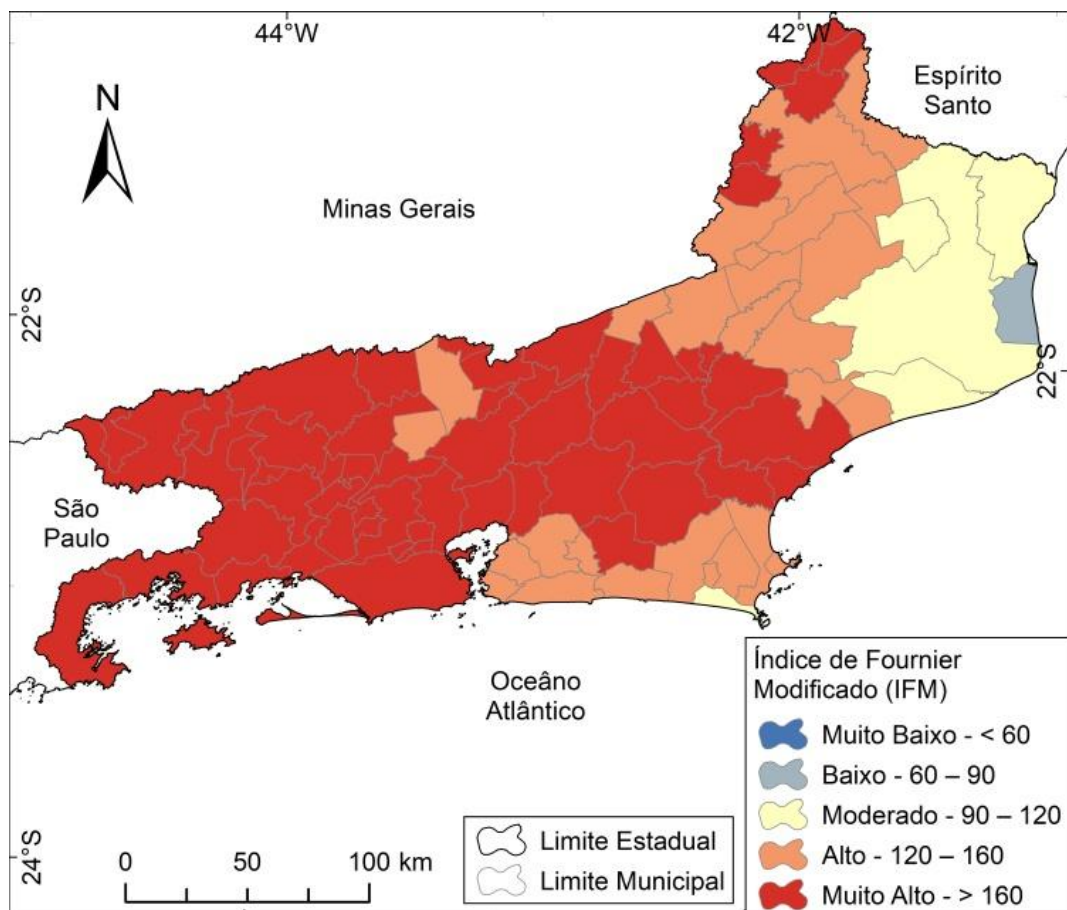
Figura 3 - Precipitação anual nos municípios do estado do Rio de Janeiro



Lima e Armond (2022) destacam que a variabilidade da precipitação na região metropolitana do Rio de Janeiro é determinada por fatores geográficos, destacando a maritimidade e o relevo, conjugados com a dinâmica atmosférica regional. Ao observar a Figura 3, fica evidenciado que a altitude, orientação das vertentes e a maritimidade são elementos essenciais na variabilidade espacial da distribuição das chuvas na região.

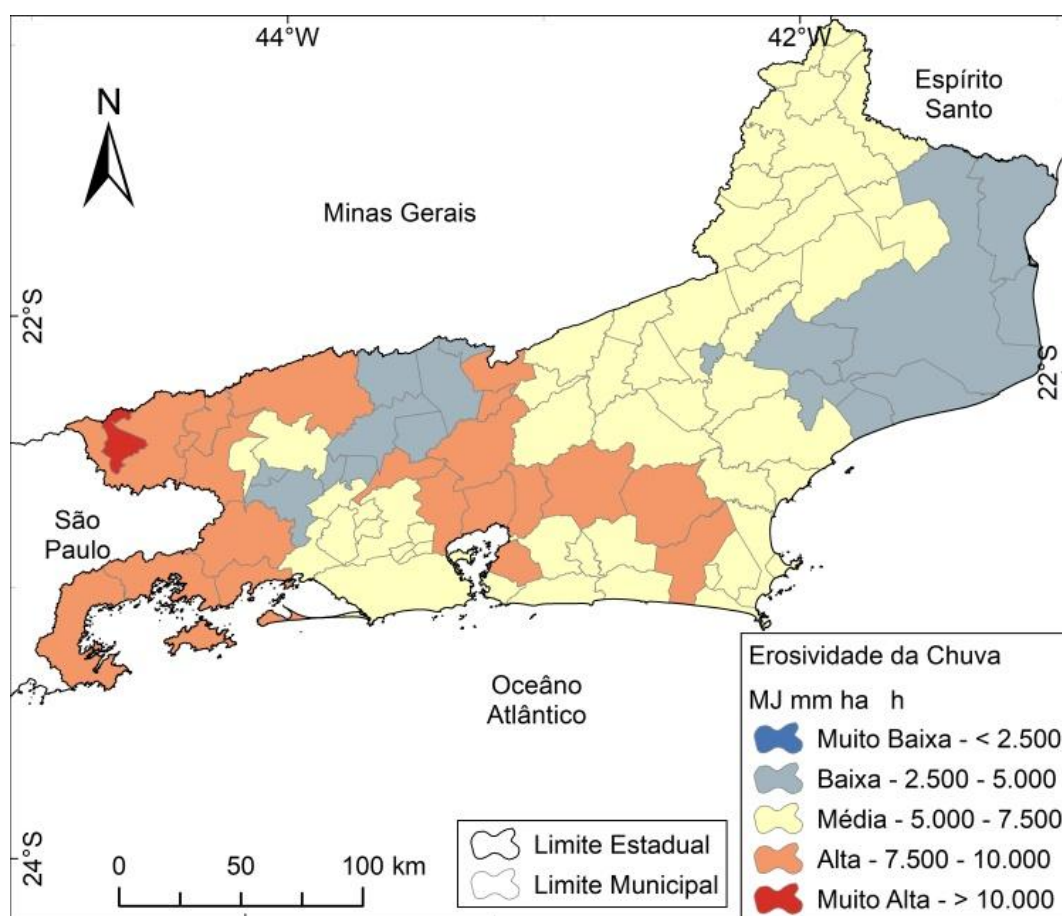
A variação espacial da precipitação reflete no índice de Fournier (Figura 4) onde se observa que predominam os valores classificados como Muito alto (IFM > 160) e Alto (IFM entre 120-160). Galatto et al. (2023) mostraram que 76,4% do território brasileiro têm IFM classificado como Muito alto. O IFM é amplamente utilizado nos estudos de erosão do solo (Essel et al., 2016; Yahaya et al., 2016; Lima et al., 2021) e também na determinação e avaliação do potencial de risco e erosão (Corine, 1992). Muitos autores (Jericek e Mikos, 2007; Cardoso et al., 2022) empregam o termo agressividade da chuva, caracterizada pelo índice IFM, como indicador da erosividade. O conhecimento da agressividade das chuvas em uma região permite realizar o zoneamento de diferentes áreas de acordo com seu potencial erosivo e planejar o uso adequado do solo, conforme o risco de erosão (Ramirez-Ortiz et al., 2007). Baecheler e Bravo (2019) destacam que a agressividade das chuvas causa impactos ambientais relacionados a diversos perigos naturais; por isso, é importante conhecer sua variabilidade espacial e temporal para adotar medidas de prevenção e mitigação.

Figura 4 - IFM anual para o estado de Rio de Janeiro



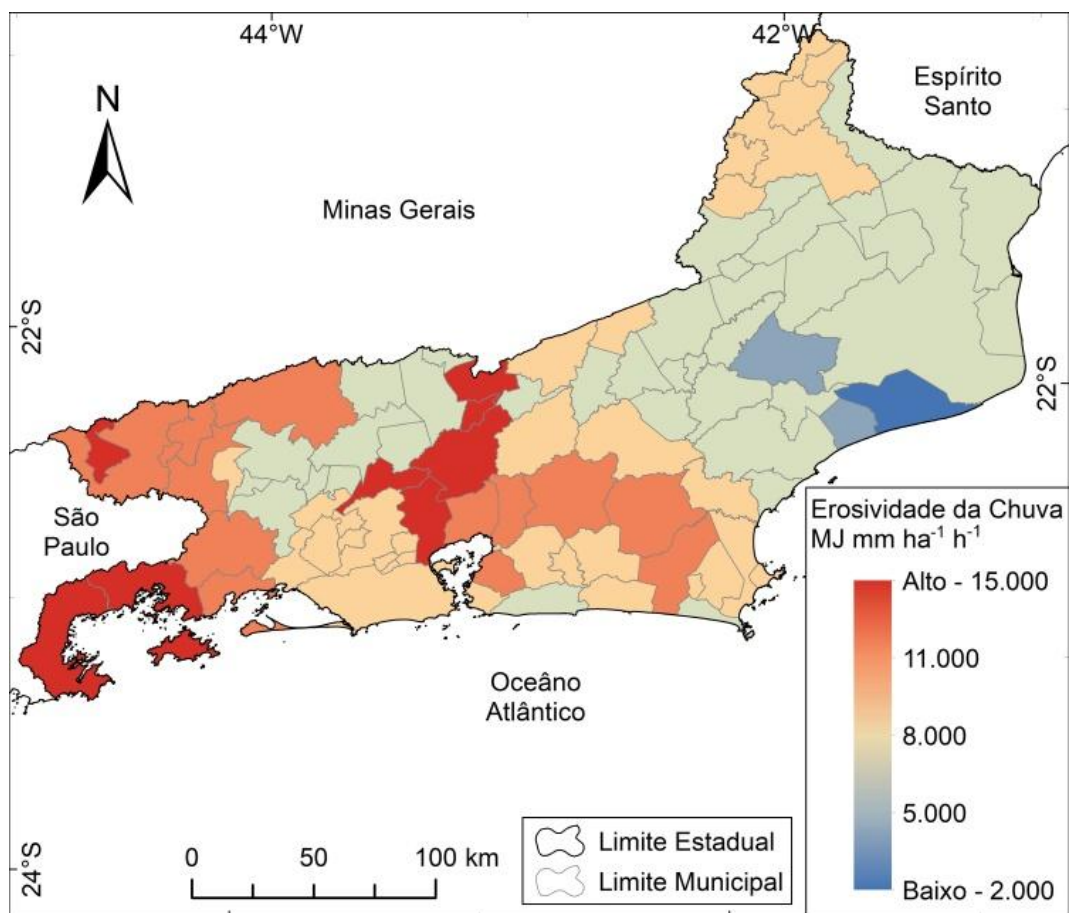
Na Figura 5 estão representados os valores de EI_{30} nas diferentes classes de erosividade, onde se constata que 6,1% do estado possui erosividade classificada como Muito alta ($EI_{30} > 10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), 22,9% possui erosividade Alta ($7.500 \text{ a } 10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), 51,8% tem erosividade Média ($5.000 \text{ a } 7.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), 15,5% apresentou erosividade Baixa ($2.500 \text{ a } 5.000$) e somente 1,7% tem erosividade Muito baixa (< 2.500). A variação espacial está diretamente relacionada com a distribuição das chuvas; dessa forma, com o IFM, mas também depende das equações de regressão usadas. Os valores obtidos diferem de estudos anteriores, principalmente devido à atualização das médias de precipitação. Para Nova Friburgo e Seropédica, foram obtidos – respectivamente – os valores de 7303 e 6334 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto Carvalho (2005) havia encontrado – respectivamente – os valores de 5472 e 5431 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Figura 5 - Classes de erosividade anual para o estado de Rio de Janeiro



Na Figura 5 é possível observar a variação espacial da erosividade por município Fluminense, onde se observa variações de 1.750 a 15.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Esses valores estão de acordo com Gonçalves et al. (2006), que observaram variações entre 4.000 e 16.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os valores médios de cada município Fluminense podem ser utilizados como o fator R da USLE para os estudos de perdas de solo e no estabelecimento de práticas de conservação do solo. A região noroeste do estado apresentou índices de erosividade próximos de 8.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Figura 6), considerada média. Essa região requer atenção quanto ao manejo da terra; segundo o CIDE (2009), possui forte degradação ambiental e uma estrutura fundiária baseada no binômio minifúndio – latifúndio, com má utilização das terras, sendo assim mais susceptível a processos erosivos. Hernani et al. (2020) apresentaram um mapa de erosividade para o Brasil em que mostra a erosividade no estado do Rio de Janeiro variando de 2.452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ a algumas pequenas áreas com erosividade acima de 9810 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com distribuição espacial semelhante à observada nesse estudo.

Figura 6 - Erosividade EI_{30} anual por município estado de Rio de Janeiro



Na Figura 7, está apresentada a variação espacial dos valores mensais de erosividade. Observa-se que a erosividade mensal classificada como Muito alta ($> 1000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ocorre nos meses de novembro a março, com predomínio nos meses de dezembro e janeiro, quando acontecem na maior parte do estado. Nos meses de junho a agosto ocorrem valores médios mensais de erosividade classificados como Muito baixa ($< 250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Essa variação sazonal da erosividade é devido à forte variação sazonal na precipitação observada no estado do Rio de Janeiro. Lima e Armond (2022) mostram que a dinâmica sazonal da precipitação da Região Metropolitana do Rio de Janeiro é definida pela estação chuvosa ocorrendo de novembro a abril, com 71% da precipitação, e a estação menos chuvas de maio a outubro. As autoras destacam que os sistemas frontais acrescidos das condições convectivas e características geomorfológicas provocam intensas chuvas na primavera e verão, com maior concentração de chuvas de janeiro a março. Estes são também os meses em que ocorreram os maiores desastres relacionados a chuvas extremas no estado do Rio de Janeiro, como o desastre da região Serrana em março de 2011.

Na Figura 8, estão representados os percentuais de erosividade de cada trimestre, onde se destaca que o primeiro trimestre representa até 60 % da erosividade anual, com maiores valores na região sudeste do estado e menores na região nordeste, que representa de 20 a 30%. Observa-se ainda que – na região sudeste, onde ocorrem maiores valores de erosividade – as diferenças sazonais são mais acentuadas enquanto, na região nordeste, a erosividade é menor e existe menor variação sazonal.

No estado do Rio de Janeiro, os períodos que exigem maior controle da erosão nas áreas agrícolas ocorrem em dezembro e janeiro, principalmente na região serrana central e sul do estado. Segundo Marafon (2011), a região serrana, em função da substituição da atividade cafeeira pela pecuária extensiva, possui solos empobrecidos com baixos índices de produtividade, o que os torna mais susceptíveis à erosão.

Já a região sul do estado tem sua economia baseada no turismo, com uma atividade agrícola marginal, limitada por estar inserida em uma região de Mata Atlântica com diversas unidades de conservação, onde ocorre uma agricultura extrativista de palmito, coco e banana (Teixeira, 2009; Souza, 2019). A alta erosividade deste local reforça a necessidade de preservação dessa região a partir da manutenção das florestas que possuem a função natural de proteção do solo.

A compreensão da variação espacial e sazonal da erosividade é importante para a adoção de práticas de cultivo e técnicas de conservação do solo que busquem manter o solo protegido nas épocas de maior risco. Méndez et al. (2020) destacam que a análise espaço-temporal do potencial erosivo e das intensidades dos eventos extremos de chuva é importante para o desenho de medidas preventivas, mitigadoras e de controle de seus impactos no meio físico e socioeconômico, bem como para a adequação dos usos e práticas agrícolas. No estudo do potencial erosivo das chuvas, o desenvolvimento de equações e índices que avaliam tais características pluviométricas tem sido muito útil em todo o mundo para quantificar e qualificar seu impacto na perda de solo.

Figura 7 - Erosividade mensal no estado de Rio de Janeiro

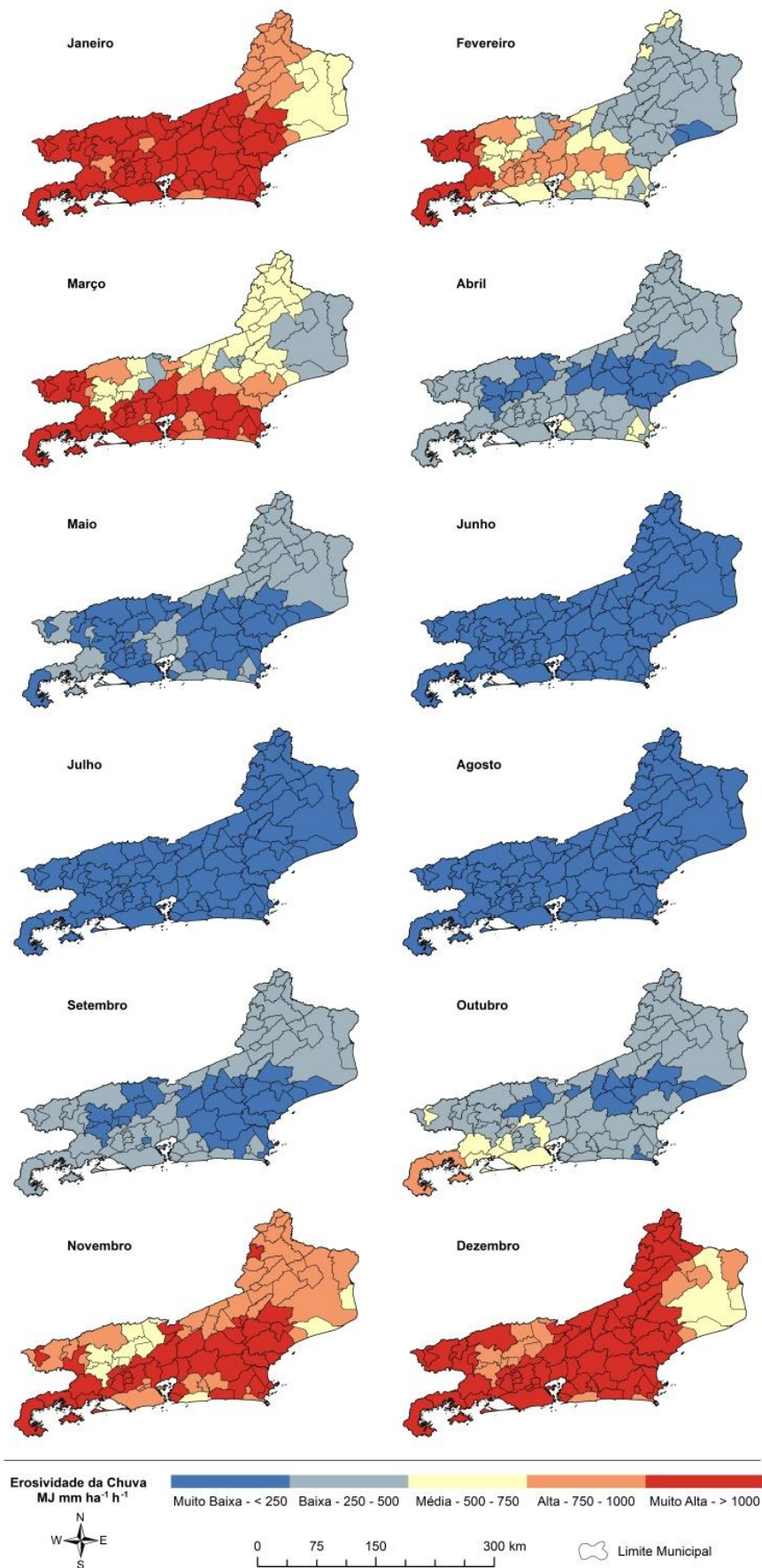
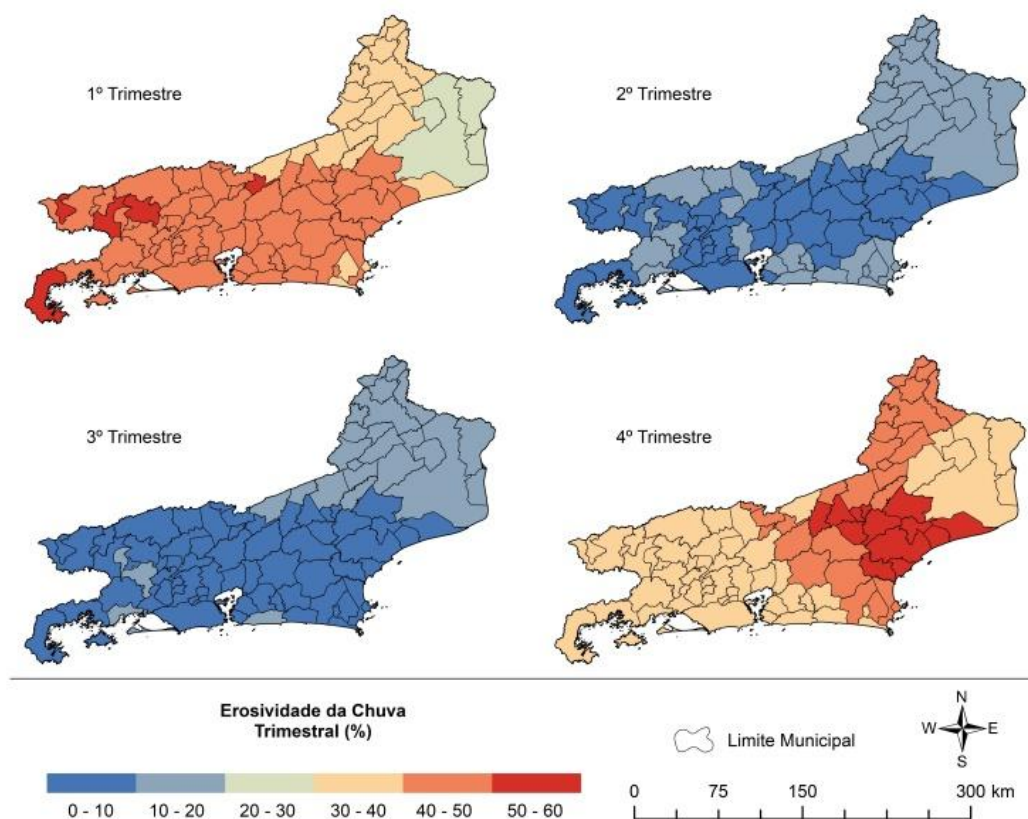


Figura 8 - Percentual da erosividade por trimestre no estado do Rio de Janeiro



Conclusões

Com base nos resultados obtidos deste estudo, observam-se as seguintes conclusões:

- A precipitação apresenta uma forte variação espacial e sazonal no estado do Rio de Janeiro, que se reflete na variação espacial e na concentração sazonal da agressividade e da erosividade das chuvas.
- O estado do Rio de Janeiro apresenta aproximadamente 20% de seu território classificados com erosividade Muito alta a Alta.
- No período de novembro a março concentra-se a maior parte das chuvas erosivas e, dessa forma, nesses períodos, devem ser priorizadas as práticas de conservação do solo e controle de erosão.
- Com os valores determinados para cada município fluminense é possível realizar estudos específicos sobre a erosão e perda de solo, a partir do cruzamento com as características dos solos da região, e assim possibilitar o adequado manejo do solo no estado.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, p. 711-728.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. 2023. *Hidroweb*: Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: maio, 2023.
- ARCGIS. 2019. Desktop Software. Versão 10.8: ESRI Inc., Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>
- ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. (2019). The Urban Climate System and the Impacts of Flooding on Rio de Janeiro, Brazil. In: *Urban Climates in Latin America*. Springer, Cham, p. 259-280.
- 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.
- CARDOSO, D. P.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, D.F.; ACUÑA-GUZMAN, S. F.; SILVA, M. L. N.; PIRES, F. R.; CURI, N. (2022). Rainfall erosivity estimation: Comparison and statistical assessment among methods using data from Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46:e0210122.
- CARVALHO, D. F. D.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. (2005). Rainfall patterns and erosion indices at Seropédica and Nova Friburgo, Rio de Janeiro-Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14.
- CARVALHO, D. F. (2019). *Processos erosivos no Estado do Rio de Janeiro*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Leste, 2019, 79p.
- CEC. (1992). *CORINE soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities (Report EUR 13233).
- CIDE. Estado do Rio de Janeiro Regiões de Governo (2009). Disponível em: <Disponível em: http://www.cide.rj.gov.br/download/Regioes_de_Governo_2009.pdf>. Acesso em: junho de 2023.
- ESSEL, P.; GLOVER, E. T.; YEBOAH, S.; ADJEI-KYEREME, Y.; YAWO, I. N. D.; NYARKU, M.; ASUMADU-SAKYIM, G.S.; GBEDDY, G.K.; AGYRI, Y.A.; AMEHO, E.M.; ATULE, E. (2016). Rainfall erosivity index for the Ghana Atomic Energy Commission site. *Springerplus* 5:465. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2100-1>
- FRANÇA, G. B.; MAIA, L. F. P. G. (2003). Caracterização das descargas atmosféricas na área de concessão da Light no Estado do Rio de Janeiro. *Anais do II CITENEL*, 1131-1138.
- GALATTO, S. L.; SOUZA, G. S.; BACK, Á. J. (2023). Index of rain aggressiveness and erosivity in different climate types in Brazil. *Concilium*, v. 23, n. 6, p. 169-183. <https://doi.org/10.53660/CLM-1119-23D28>
- GOMES NETO, N. C.; SANTOS, E. B. (2022). Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 37, n. 1, p.89-97. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710081>
- HERNANI, L. C.; GONÇALVES, A. O.; ORTOLAN, B.; SOUZA, E. F. de. (2020). *Procedimentos para determinação do Índice de Dissipação de Erosividade (IDE)*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020. (Documentos, 214).
- GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. (2006). 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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200004>
- Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). (2023). Banco de Dados Meteorológicos BDMEP. Acesso em: 06 de Abril de 2023.
- Instituto Nacional e Meteorologia – INMET. (2022). *Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020*. Brasília, 2022. 27p.
- JERICEK, S. L.; MIKOŠ, M. (2007). Analysis of Rainfall Aggressiveness and Rainfall Erosivity in Slovenia. *Geophysical Research Abstracts*, v.9, 2021.
- LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. (2021). Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 14, n. 5, p. 3156-3172.

- LIMA, S. S.; ARMOND, N. B. (2022). Chuvas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: caracterização, eventos extremos e tendências. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, v. 34, e6477, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-64770>
- MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; ROUWS, J. R. C.; GOMES, D. P.; EDUARDO, E. N. (2013). Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 2, p. 529-547. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200024>
- MARAFON, J. G.; RIBEIRO, M. A.; CORRÊA, R. da S; VASCONCELOS, V. N. (2011). *Geografia do estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Gramma, 161p.
- MÉNDEZ, W.; PACHECO, H.; LANDAETA, L.; MENÉNDEZ, E.; PÉREZ, M.; PARRA, G.; FUENTES, J. (2020). Indicadores de erosividade de la lluvia en una cuenca de la Serranía del Litoral Central de Venezuela. *Revista de Geografía Norte Grande*, Santiago, 76, p. 279-301. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000200279>
- OLIVEIRA, M. M. F. de; OLIVEIRA, J. L. F. de; FERNANDES, P. J. F.; GILLELAND, E.; EBECKEN, N. F. F. (2021). Extreme climatic characteristics near the coastline of the southeast region of Brazil in the last 40 years. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 146, n.1-2, p. 657–674. DOI: 10.1007/s00704-021-03711-z
- RAMIREZ-ORTIZ, F. A.; HINCAPIÉ-GÓMEZ, E.; SADEGHIAN-KHALAJABADI, S.; PÉREZ-GÓMEZ, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la Zona Cafetera Central y Occidental del Departamento de Caldas. *Cenicafé*, Manizales, v. 58, n. 1, p. 40- 52.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agriculture Handbook, 251p.
- RIBEIRO, L. S. (2006). *Análise qualitativa e quantitativa de erosão laminar no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento*. 2006. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil-Geotecnia). Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, Campos dos Goytacazes.
- SADEGHI, S. H. R.; MOATAMEDNIA, M.; BEHZADFAR, M. (2011). Spatial and Temporal Variations in the Rainfall Erosivity Factor in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 13, p. 451-464.
- SOUZA, R. P. (2019). Desenvolvimento Rural no Estado do Rio de Janeiro a partir de Uma Análise Multidimensional. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Piracicaba, v. 57, n. 1. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790570107>
- TEIXEIRA, V. L. (2009). Novos contornos ocupacionais no meio rural fluminense: estudo sobre a pluriatividade entre agricultores familiares. 2009. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) - UNICAMP 2009).
- YAHAYA, A. S.; AHMAD, F.; MOHTAR, Z. A.; SURI, S. (2016). Determination of rainfall erosivity in Penang. Japanese Geotechnical Society Special Publication. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, v.2, n.31, p.1132-1136. <http://doi.org/10.3208/jgssp.ATC1-3-05>.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. D. M.; DIECKOW, J. ; OLIVEIRA, D. (2016). 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*, Viçosa, v. 39, p. 256-267.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. U.S Department of Agriculture, Agr. Handbook, 537:1-58.