

# CAPÍTULO 14

## Erosividade da Chuva no Cerrado

*David Bruno de Sousa Teixeira*

*Roberto Avelino Cecílio*

*Michel Castro Moreira*

*Gabrielle Ferreira Pires*

*Elpídio Inácio Fernandes Filho*



## 14.1. Introdução

A erosão hídrica acarreta prejuízos ambientais, econômicos e sociais em todo o mundo. Entre os principais impactos, pode-se citar a perda do potencial produtivo das terras, o que reflete em menores produtividades e em um aumento dos custos de produção, reduzindo a lucratividade dos agricultores (Adimassu et al., 2017; Panagos et al., 2018; Chalise et al., 2019). Diante das estimativas de aumento na demanda global por alimentos ao longo das próximas décadas (Bodirsky et al., 2015; Davis et al., 2016; Natalini et al., 2019), as elevadas taxas de perda de solo no Brasil (Anache et al., 2017; Gomes et al., 2019; Steinmetz et al., 2018) se constituem como um desafio no que diz respeito à promoção da segurança alimentar atual e futura.

Dentre os agentes naturais capazes de promover a perda de solo, a água, através do impacto direto das gotas de chuva, bem como do escoamento superficial, se constitui como o principal agente indutor da erosão nos solos brasileiros (Oliveira et al., 2012; Anache et al., 2017). O fator climático conhecido como erosividade da chuva (RE), inserido nos principais modelos de predição de perda de solos (Wischmeier; Smith, 1978; Renard et al., 1991), expressa a capacidade que as precipitações possuem de causar erosão. Essa é uma das características da precipitação de maior importância para o planejamento e manejo conservacionista do solo e da água, estando presente nos principais modelos para estimativa da erosão hídrica, em especial a Equação Universal de Perda de Solo (USLE/RUSLE). O conhecimento da erosividade da chuva, bem como de sua variabilidade espacial, é fundamental para identificar áreas com maior potencial em sofrer erosão hídrica (Chalise et al., 2019; Liu et al., 2020).

Para a obtenção de valores de erosividades confiáveis, são necessárias séries históricas de dados pluviográficos, em escala sub-diária, com extensão mínima de 20 anos de dados consistentes e ininterruptos (Wischmeier; Smith, 1978). Estudos recentes deste tipo (Trindade et al., 2016; Oliveira et al., 2018; Cecílio et al., 2021; Teixeira et al., 2023)

utilizaram-se de longas séries pluviográficas (medidas ou sintéticas) para determinar a erosividade da chuva em algumas áreas sob Cerrado.

Como alternativa à falta de dados pluviográficos, médias históricas de totais mensais e anuais de precipitação podem ser usadas para estimar a RE a partir de equações empíricas. O uso desses modelos tem sido a alternativa mais comumente utilizada no país para se estimar a erosividade (Trindade et al., 2016; Almeida et al., 2017; Avanzi et al., 2019; Silva). Embora o uso destas equações se caracterize como uma forma prática para a realização de estimativas, o número reduzido de modelos gerados para o Brasil (Oliveira et al., 2018; Silva, 2004) tem levado à aplicação indistinta e generalizada das equações em locais com características climáticas diferentes daquelas para as quais foram ajustadas, acarretando na obtenção de valores de erosividade com grandes desvios em sua magnitude (Falcão; Duarte; Silva Veloso, 2020; Oliveira et al., 2018; Sousa; Paula, 2019).

Nesse contexto, a definição de regiões homogêneas em relação às características das precipitações (Fazel et al., 2018; Raziei, 2018; Fels et al., 2021), sobretudo em relação ao seu caráter erosivo, assume importância no intuito de facilitar a definição e a aplicabilidade de equações regionalizadas para a estimativa da erosividade da chuva (Teixeira et al., 2022a).

Este capítulo apresenta uma compilação e análise das informações atualmente existentes na literatura para estimativa da erosividade da chuva nas áreas sob Cerrado. No decorrer do texto, são apresentados os valores de erosividade da chuva disponíveis para este bioma. Além disso, são estabelecidas equações de regressão para estimar a RE a partir de dados pluviométricos, específicas para regiões homogêneas dentro do Cerrado. Estudos como este são fundamentais para programas de conservação do solo, uma vez que no Cerrado concentra-se boa parte da produção agrícola brasileira (Spera, 2017; Gomes et al., 2019).

## 14.2. Erosividade da chuva no Cerrado

### 14.2.1. Valores de erosividade da chuva

Utilizaram-se dados diários de total precipitado medidos em 887 estações pluviométricas, obtidos a partir do portal Hidroweb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico<sup>10</sup>. Estabeleceu-se a extensão mínima das séries históricas igual a 10 anos, uma vez que a disponibilidade de dados para algumas localidades do Cerrado ainda é escassa (Silva, 2021).

Os dados pluviométricos diários de cada uma das estações foram inseridos no gerador climático estocástico ClimaBR 2.0, gerando séries sintéticas de dados pluviográficos em escala sub-diária, com extensão de 100 anos. Estas séries apresentam informações que caracterizam o perfil diário das chuvas, como o total precipitado diário e sua duração, a intensidade máxima instantânea de precipitação e seu tempo de ocorrência. O uso de séries sintéticas de chuva originárias do ClimaBR para a determinação da erosividade da chuva no Brasil foi anteriormente proposto e validado.

A partir das séries sintéticas de cada estação, a erosividade da chuva foi estimada com base nos critérios propostos por Wischmeier e Smith (1958) e Wischmeier (1959), modificados por Cabeda (1976). Para cada série pluviográfica, serão identificadas, dia por dia, as chuvas consideradas erosivas, ou seja, aquelas que apresentarem 10 mm ou mais de total precipitado. Também serão consideradas chuvas erosivas aquelas com total precipitado inferior a 10 mm quando a quantidade precipitada em 15 minutos for igual ou superior a 6 mm.

Identificadas as chuvas erosivas, será calculada a energia cinética (EC) da chuva, de minuto a minuto, utilizando a Equação 1 de Wischmeier e Smith (1958) reajustada ao Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981).

---

<sup>10</sup> Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>

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

em que

$EC$  = energia cinética ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).

$I$  = intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Quando a intensidade das chuvas da série for superior a  $76 \text{ mm h}^{-1}$ , a energia cinética adotada corresponde a  $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Foster et al., 1981). A energia cinética associada à chuva de cada dia é calculada pelo somatório das energias cinéticas de cada minuto até totalizar a duração da chuva.

Para representar a erosividade da chuva, foi calculado o índice de erosividade  $EI_{30}$ , obtido a partir da Equação 2 de Wischmeier e Smith (1958). O  $EI_{30}$  é calculado pelo produto da energia cinética de cada chuva pela intensidade máxima de precipitação ocorrida em 30 minutos ( $I_{30}$ ).

$$EI_{30} = EC \cdot I_{30} \quad (2)$$

em que

$I_{30}$  = intensidade máxima média da chuva em 30 minutos consecutivos ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

O índice  $EI_{30}$  na escala mensal é determinado pelo somatório dos valores diários de erosividade, a partir das chuvas erosivas ocorridas em cada mês, divididos pelo número de anos da série (100 anos). Da somatória dos índices de erosividade  $EI_{30}$  médios de cada mês, são obtidos os valores da erosividade média anual ( $RE_{\text{Anual}}$ ) para cada estação pluviométrica, como apresenta a Equação 3.

$$RE_{\text{Anual}} = \sum_{i=1}^{12} (EI_{30})_i \quad (3)$$

A RE anual média para o Cerrado foi aproximadamente igual a  $6.859 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 14.1). Os valores de RE variaram de 685 a  $18.622 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com coeficiente de variação (CV) de 44,2%, expressando considerável variabilidade da RE no Cerrado (Figuras 14.1 e 14.2). Os valores de RE observados no Cerrado foram semelhantes aos encontrados no estudo de Castagna et al. (2022).

Conforme ilustrado na Figura 14.1A, os maiores valores anuais de RE predominam nas áreas de Cerrado localizadas nas regiões Norte e Centro-Oeste. Por outro lado, os menores valores ficam na região Nordeste e seu entorno. De acordo com a classificação proposta por Carvalho (2008), a maior parte das estações (36,3%) possui RE anual classificada como "Moderada-Forte" (Figura 14.1B).

A erosividade média mensal variou de 68 a  $1.128 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  para agosto e janeiro, respectivamente (Tabela 14.1). Os meses com maiores RE em cada estação foram abril, março e dezembro, com magnitudes superiores a  $3.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . De maio a agosto observam-se as maiores variabilidades na RE mensal para as estações do Cerrado (coeficiente de variação maior que 100%). Conforme ilustrado na Figura 14.3, este fato deve-se aos baixos valores de erosividade na maior parte da região, contrastados com os valores mais altos na porção norte do Cerrado, em especial no litoral maranhense.

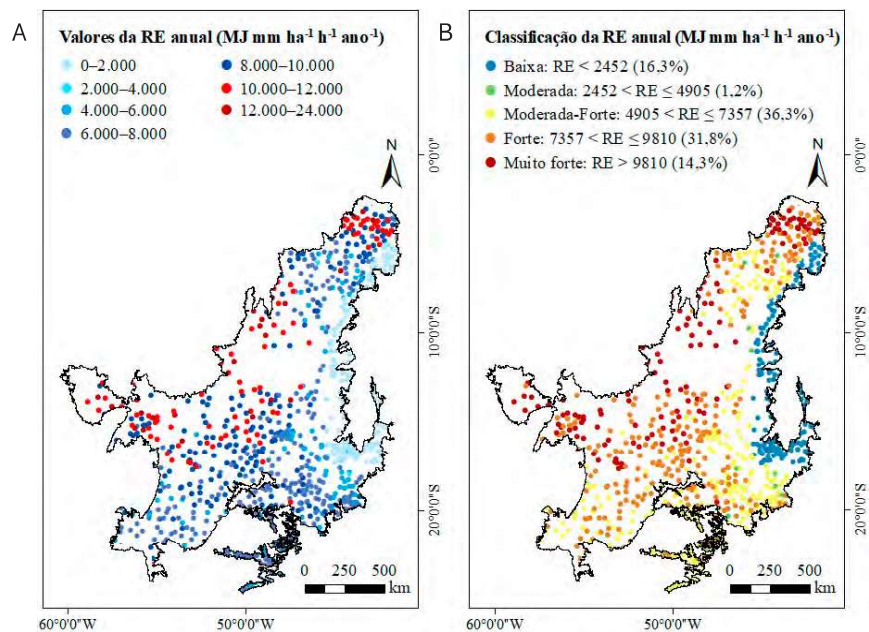
Valores nulos de erosividade foram determinados entre os meses de junho e setembro (Tabela 14.1), em especial no sul do Piauí, oeste da Bahia e norte de Minas Gerais, nas quais há influência do clima semiárido.

Com respeito à dinâmica dos máximos RE mensais, a porção norte do Maranhão e Piauí apresentam altos valores de janeiro a maio. Nessas áreas, a chuva é fortemente influenciada pela Zona de Convergência Intertropical, a qual é responsável por maiores totais precipitados, especialmente em março e abril (Silva et al., 2017; Oliva, 2019). Outro sistema atmosférico de relevância é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual é responsável pelos maiores valores de RE mensal nos estados do Sudeste e Centro-Oeste nos meses de verão (Alvarenga, 2012; Nielsen et al., 2016).

**Tabela 14.1.** Estatística descritiva da erosividade mensal e anual para o Cerrado, expressas em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (mês ou ano)<sup>-1</sup>.

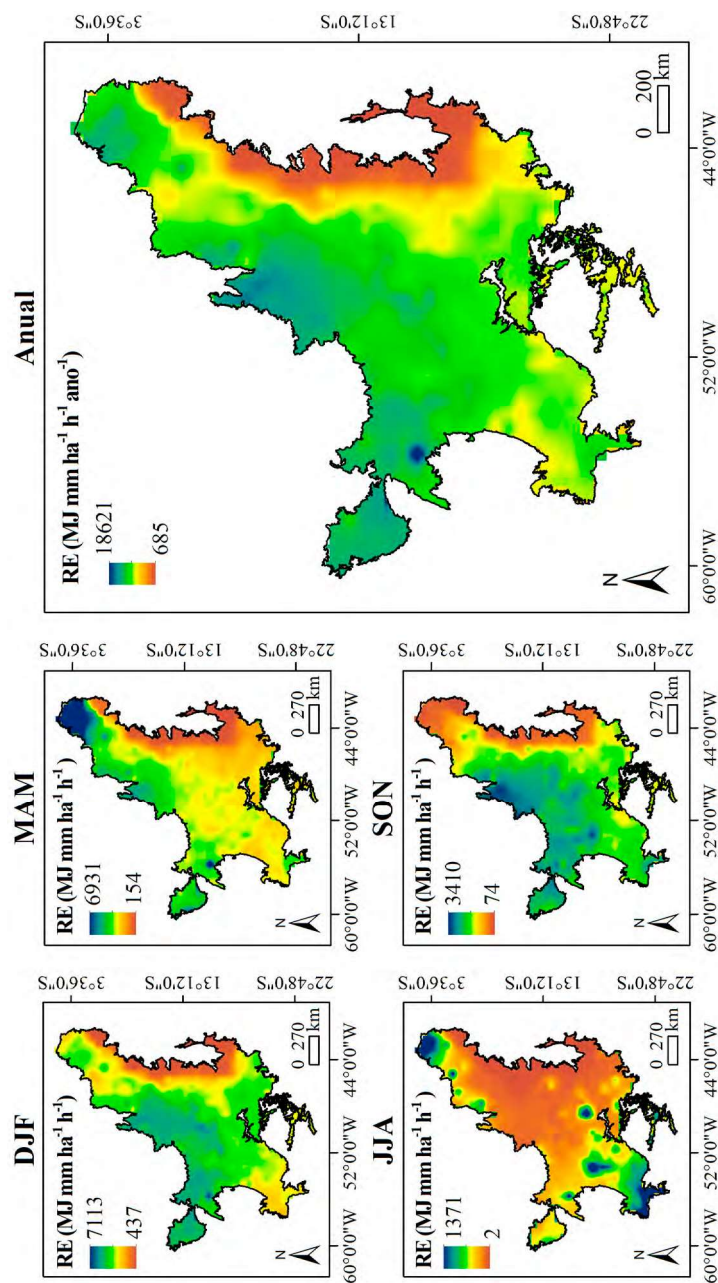
| Estatística | Jan.  | Fev.  | Mar.  | Abr.  | Maio  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez.  | Anual  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Média       | 1.128 | 1.002 | 1.028 | 603   | 296   | 108   | 70    | 68    | 182   | 497   | 834   | 1.042 | 6.859  |
| DP          | 538   | 494   | 584   | 518   | 329   | 148   | 127   | 126   | 164   | 306   | 467   | 532   | 3.034  |
| Mínimo      | 99    | 48    | 24    | 21    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 5     | 26    | 685    |
| Máximo      | 2.984 | 2.656 | 3.126 | 3.802 | 2.361 | 1.339 | 1.484 | 1.541 | 1.793 | 1.830 | 2.464 | 3.008 | 18.622 |
| Amplitude   | 2.885 | 2.608 | 3.102 | 3.780 | 2.360 | 1.339 | 1.484 | 1.541 | 1.793 | 1.828 | 2.459 | 2.982 | 17.936 |
| Mediana     | 1.199 | 1.028 | 981   | 470   | 200   | 52    | 30    | 39    | 156   | 502   | 875   | 1.085 | 7.176  |
| CV (%)      | 48    | 49    | 57    | 86    | 111   | 138   | 182   | 185   | 90    | 62    | 56    | 51    | 44     |





**Figura 14.1.** Erosividade de chuva (RE) no Cerrado: valores pontuais (A) e classificação de acordo com faixas de magnitude (B).





**Figura 14.2.** Erosividade da chuva (RE) média sazonal e anual para a região do Cerrado. DJF corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro; MAM corresponde aos meses de março, abril e maio; JJA corresponde aos meses de junho, julho e agosto; e SON corresponde aos meses de setembro, outubro, novembro.

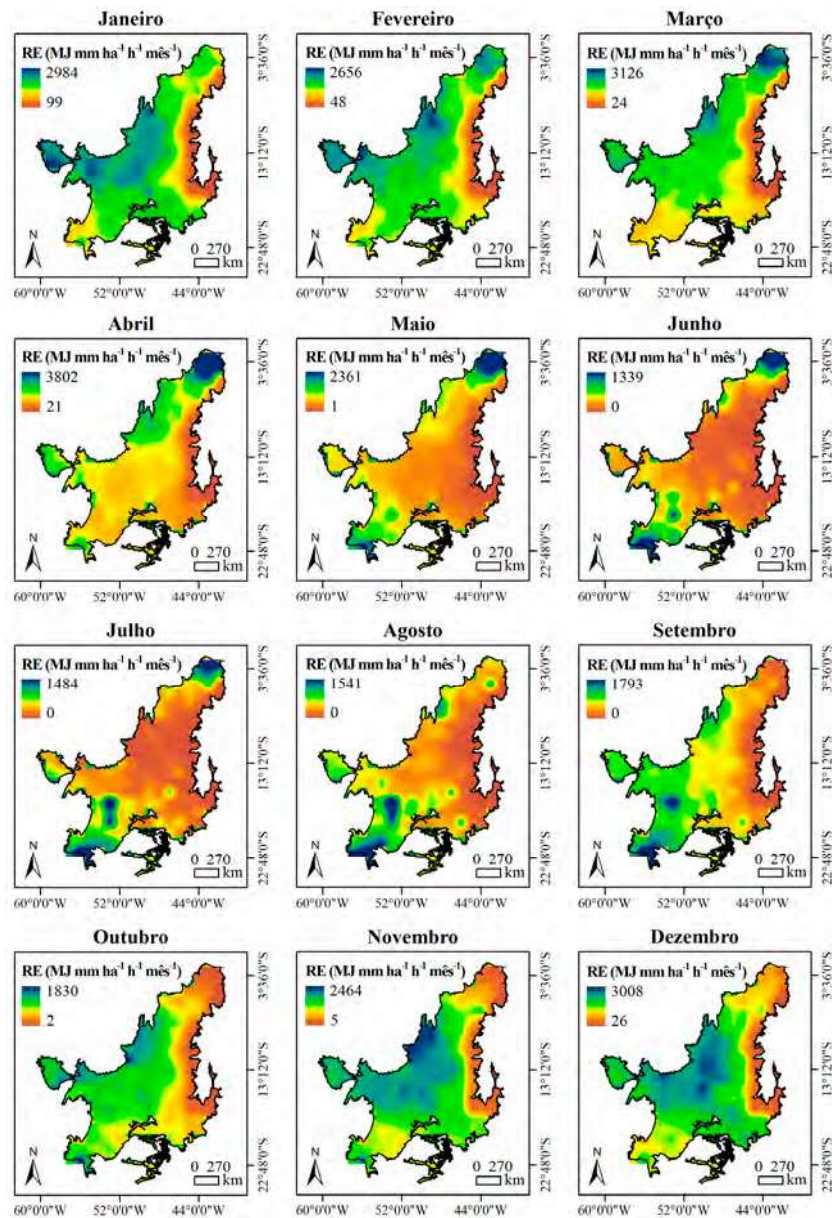
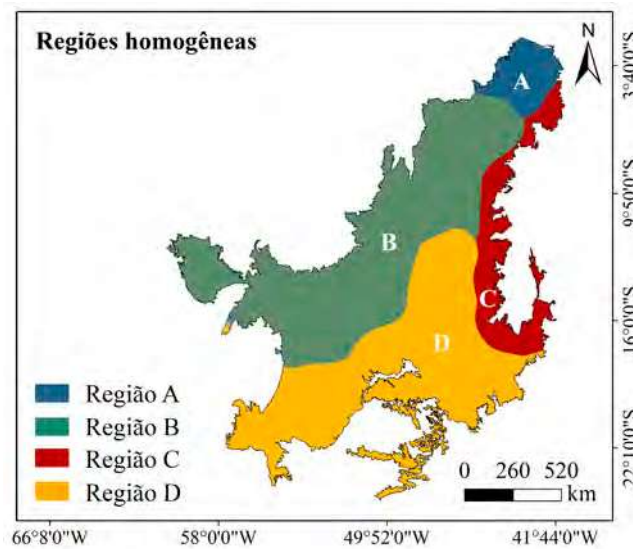


Figura 14.3. Erosividade da chuva (RE) média mensal para a região do Cerrado.

### 14.2.2. Regiões homogêneas e equações para estimativa da erosividade da chuva a partir de totais pluviométricos

Com o objetivo de estabelecer equações empíricas destinadas à estimativa da erosividade da chuva na região do Cerrado, foram utilizadas as regiões homogêneas (RH) com relação à erosividade estabelecidas por Teixeira et al. (2023) para o Brasil (Figura 14.4). Os autores empregaram estatísticas multivariadas, incluindo análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento hierárquico (AAH), para definir essas regiões.

O Cerrado abrange parte das 11 regiões homogêneas definidas por Teixeira et al. (2023). Das 887 estações deste estudo, 70 (7,9%) estão na região A, 226 (25,5%) na região B, 140 (15,8%) na região C, e 451 (50,8%) na região D.



**Figura 14.4.** Regiões homogêneas com relação à erosividade da chuva.

Fonte: Teixeira et al. (2023).

Para cada região homogênea definida, foram estabelecidas equações de regressão para representar a relação entre os valores médios mensais de RE e o total precipitado médio mensal ( $R_i$ ), bem como entre o RE e o índice de Fournier modificado (MFI). O MFI, obtido a partir da Equação 4, relaciona o total precipitado médio mensal com o médio anual.

$$MFI_i = \frac{(R_i)^2}{R_a} \quad (4)$$

em que

$MFI_i$  = índice de Fournier modificado do mês  $i$ .

$R_i$  = precipitação pluviométrica média mensal no mês  $i$  (mm).

$R_a$  = precipitação pluviométrica média anual (mm).

Dois modelos gerais de equações de regressão foram ajustados: linear e potencial, conforme equações 5 e 6.

$$RE_m = \alpha + \beta (R_m) \text{ ou } RE_m = \alpha + \beta (MFI_m) \quad (5)$$

$$RE_m = \alpha (R_m)^\beta \text{ ou } RE_m = \alpha (MFI_m)^\beta \quad (6)$$

em que

$RE_m$  = erosividade mensal da chuva para o mês  $m$  ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ).

$R_m$  = total precipitado no mês  $m$  (mm).

$MFI_m$  = índice de Fournier modificado para o mês ( $m$ ).

$\alpha$  e  $\beta$  = coeficientes de regressão que descrevem a relação entre  $RE_m$  e  $R_m$  ou  $MFI_m$ .

As equações para estimativa do RE de melhor desempenho para cada região homogênea estão apresentadas na Tabela 14.2. O de-

sempenho das equações foi calculado a partir das estatísticas das Equações 7 a 11, separando-se 20% das estações de cada RH para teste.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (|O_i - E_i|)}{n} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{|O_i - E_i|}{O_i} \right)}{n} 100 \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (10)$$

$$PE = \left( \frac{O_i - E_i}{O_i} \right) 100 \quad (11)$$

em que

$MAE$  = erro médio absoluto ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

$MAPE$  = erro médio percentual (%).

$RMSE$  = raiz do erro quadrático médio ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

$d$  = índice de concordância de Willmott (adimensional).

$PE$  = erro percentual (%).

$O_i$  = valor de RE observado ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

$\bar{O}$  = média dos valores observados de RE ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

$E_i$  = valor de RE estimado usando a equação estabelecida ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

$n$  = número de observações.

É observado que os melhores ajustes para as equações de regressão ocorreram nas situações em que o total precipitado médio mensal ( $R_m$ ) é a variável independente. Considerando tanto as amostras de treinamento quanto de validação, os valores de  $R^2$  das equações estabelecidas foram superiores a 0,90. Isso significa que, para a maior parte do Cerrado, os totais precipitados mensais explicam mais de 90% da variância da erosividade. Além disso, os valores do índice  $d$  foram superiores a 0,80, indicando ótima concordância entre os valores de RE observados e estimados.

Conforme ilustrado na Figura 14.5, os valores de  $RE$  estimados pelas equações da Tabela 14.2 apresentam erros percentuais inferiores a 10% para a maior parte do Cerrado. Maiores superestimativas ocorrem no extremo norte do Cerrado, na Região A, bem como na faixa central e no sudoeste da região D.

As equações estabelecidas para estimativa da RE a partir dos totais mensais precipitados representam um avanço significativo em termos de disponibilidade de modelos para essa estimativa. A histórica desigualdade na quantidade de estudos relacionados à erosividade da chuva nos estados brasileiros resultou em áreas com poucas informações e na ausência de equações para a estimativa da RE nessas regiões. Consequentemente, de acordo com (Teixeira et al., 2022b), a falta de equações para o cálculo da RE tem levado ao uso inadequado de equações empíricas em localidades diferentes daquelas para as quais essas equações foram estabelecidas. Por outro lado, em áreas com grande disponibilidade de equações empíricas, pode haver dificuldades na escolha das equações mais adequadas a serem utilizadas. Portanto, as equações regionalizadas apresentadas neste estudo podem contribuir para resolver esses problemas na área de abrangência do Cerrado.

**Tabela 14.2.** Equações para estimativa da erosividade da chuva estabelecidas para cada região homogênea (RH), e suas respectivas métricas estatísticas de desempenho. Os valores de  $MAE$  e  $RMSE$  são apresentados em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.  $RE_i$  e  $R_{ij}$  e  $MFI_i$  são erosividade mensal e total precipitado mensal para o mês  $i$ , em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e mm, respectivamente.

| Região homogênea | Equação de regressão           | Treina-<br>mento                | Teste          |                     | Todos os dados          |                      |                  |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|----------------------|------------------|
|                  |                                | R <sup>2</sup> ( <sup>1</sup> ) | R <sup>2</sup> | MAE( <sup>2</sup> ) | MAPE (%) <sup>(3)</sup> | RMSE( <sup>4</sup> ) | d <sup>(5)</sup> |
| Região A         | $RE_i = 4,1374 (R_i)^{1,0755}$ | 0,973                           | 0,977          | 1,546,38            | 13,39                   | 1,955,4              | 0,884            |
| Região B         | $RE_i = 4,4688 (R_i)^{1,0778}$ | 0,981                           | 0,986          | 524,41              | 5,43                    | 708,84               | 0,981            |
| Região C         | $RE_i = 1,4015 (R_i) - 5,2407$ | 0,980                           | 0,983          | 51,34               | 5,30                    | 71,62                | 0,980            |
| Região D         | $RE_i = 5,7928 (R_i) - 89,449$ | 0,927                           | 0,923          | 597,41              | 13,46                   | 933,29               | 0,930            |

(<sup>1</sup>) R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação.

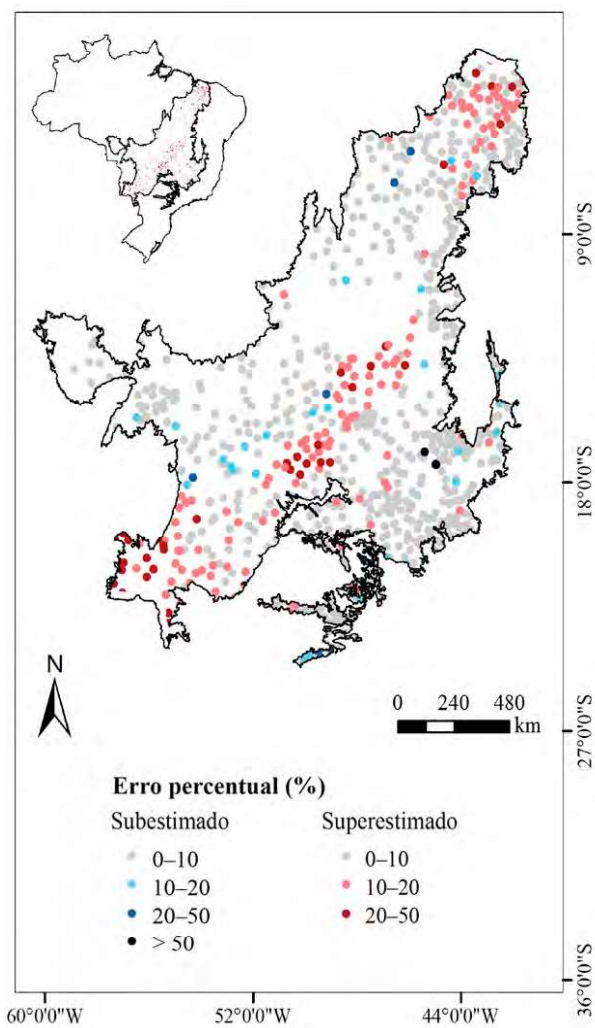
(<sup>2</sup>) MAE é o erro médio absoluto.

(<sup>3</sup>) MAPE é erro médio percentual.

(<sup>4</sup>) RMSE é a raiz do erro quadrático médio.

(<sup>5</sup>) d é o índice de concordância de Willmott (adimensional).





**Figura 14.5.** Erro percentual para estimativa da erosividade anual da chuva nas regiões homogêneas de abrangência no Cerrado.

### 14.3. Considerações finais

A RE anual no Cerrado varia de 685 a 18.622 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com expressiva variabilidade espacial. As maiores magnitudes de RE são observadas na região oeste deste bioma, enquanto os menores valores se expressam na região leste, na faixa inserida no semiárido brasileiro. Em termos médios, a RE anual apresenta magnitude de 6.859 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em relação à dinâmica mensal da RE no Cerrado, os meses de março e abril concentram os valores mais altos, enquanto os menores valores de RE são observados nos meses de junho e julho. Diante disso, os valores e mapas de RE apresentados neste estudo são relevantes para melhorar a precisão das estimativas de perda de solo no Cerrado brasileiro, uma vez que mostram um panorama do fenômeno da RE neste bioma.

A aplicação de técnicas estatísticas multivariadas resultou na divisão do Cerrado em quatro regiões homogêneas quanto aos padrões de RE. Para cada região definida, foi estabelecido um modelo de regressão regionalizado, e seu desempenho é considerado satisfatório para todas as regiões. Assim, os modelos aqui apresentados constituem um avanço quanto à possibilidade de estimar magnitudes de RE para todo o Cerrado, uma vez que podem ser utilizados para prever valores para um local ou período específico. Além disso, os modelos ajustados podem ser considerados de fácil utilização, uma vez que para a estimativa são necessários apenas valores mensais de precipitação.

Dessa forma, os resultados apresentados neste estudo constituem-se como ferramentas importantes para melhorar a disponibilidade dos valores de RE e para a melhoria dos programas de conservação do solo no Brasil, sobretudo em áreas com grandes produções agrícolas, como o bioma Cerrado.

## 14.4 Referências

- ADMASSU, Z.; LANGAN, S.; JOHNSTON, R.; MEKURIA, W.; AMEDE, T. Impacts of soil and water conservation practices on crop yield, run-off, soil loss and nutrient loss in Ethiopia: review and synthesis. **Environmental management**, v. 59, n. 1, p. 87-101, jan. 2017.
- ALMEIDA, A. Q. de; SOUZA, R. M. S.; LOUREIRO, D. C.; PEREIRA, D. DOS R.; CRUZ, M. A. S.; VIEIRA, J. S. Modelling the spatial dependence of the rainfall erosivity index in the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 371-379, jun. 2017.
- ALVARENGA, L. A. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, p. 1-7, 2012.
- 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, maio 2017.
- AVANZI, J. C.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de.; GLONGO, M. V. Modeling of the rainfall and R-factor for Tocantins State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.
- BODIRSKY, B. L.; ROLINSKI, S.; BIEWALD, A.; WEINDL, A.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H. Global food demand scenarios for the 21st century. **Plos One**, v. 10, n. 11, p. e0139201, nov. 2015.
- CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI value**. West Lafayette: Purdue University, 1976.
- CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2008.
- CASTAGNA, D.; SOUZA, A. P. de; VENDRUSCULO, L. G.; ZOLIN, C. A. Rainfall erosivity in municipalities of the Brazilian Cerrado biome. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 373-386, 2022. DOI: 10.31413/nativa.v10i3.13913.
- CECÍLIO, R. A.; OLIVEIRA, J. P. B.; TEIXEIRA, D. B. de S.; PRUSKI, F. F.; ZANETTI, S. S. Database of rainfall erosivity factor for 141 locations in Brazil. **Latin American Data in Science**, v. 1, n. 3, p. 95-101, 2021.
- CHALISE, D.; KUMAR, L.; KRISTIANSEN, P. Land degradation by soil erosion in Nepal: a review. **Soil Systems**, v. 3, n. 1, p. 12, fev. 2019.

- DAVIS, K. F.; GEPHART, J. A.; EMERY, K. A.; LEACH, A. M.; GALLOWAY, J. N.; D'ODORICO, P. Meeting future food demand with current agricultural resources. **Global Environmental Change**, v. 39, p. 125-132, jul. 2016.
- FELS, A. el A.; SAID, M el. M.; BOUIJI, A.; BENNHANEM, M. Rainfall regionalization and variability of extreme precipitation using artificial neural networks: a case study from western central Morocco. **Journal of Water and Climate Change**, v. 12, n. 4, p. 1107-1122, jun. 2021.
- FALCÃO, C. J. L. M.; DUARTE, S. M. de A.; SILVA VELOSO, A. da. Estimating potential soil sheet erosion in a Brazilian semiarid county using USLE, GIS, and remote sensing data. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 47, jan. 2020.
- FAZEL, N.; BERNDTSSON, R.; UVO, C. B.; MADANI, K.; K. B. Regionalization of precipitation characteristics in Iran's Lake Urmia basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, n. 1-2, p. 363-373, abr. 2018.
- FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.
- GOMES, L.; SIMOES, S. J. C.; NORA, F. L. D.; SOUSA-NETO, E. R. de; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. B. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, v. 8, n. 1, p. 12, jan. 2019.
- LIU, B.; XIE, Y.; LI, Z.; LIANG, Y.; ZHANG, W.; FU, S.; YIN, S.; WEI, X.; ZHANG, K.; WANG, Z.; LIU, Y.; ZHAO, Y.; GUO, Q. The assessment of soil loss by water erosion in China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 8, n. 4, p. 430-439, dez. 2020.
- NATALINI, D.; BRAVO, G.; JONES, A. W. Global food security and food riots – an agent-based modelling approach. **Food Security**, v. 11, n. 5, p. 1153-1173, out. 2019.
- NIELSEN, D. M.; CATALDI, M.; BELÉL, A. L.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Local indices for the South American monsoon system and its impacts on Southeast Brazilian precipitation patterns. **Natural Hazards**, v. 83, n. 2, p. 909-928, set. 2016.
- OLIVA, F. G. Climatologia e variabilidade dos principais sistemas meteorológicos atuantes no Brasil, relação com chuvas intensas e impactos associados. **Revista da Pós-Graduação em Geografia da PUC-Rio**, v. 12, n. 23, p. 74-99, 2019.

OLIVEIRA, J. P. B. DE; CECILIO, B. A.; PRUSKI, F. F.; ZANETE, S. S.; MOREIRA, M. C. Assessing the use of rainfall synthetic series to estimate rainfall erosivity in Brazil. **Catena**, v. 171, p. 327-336, 2018.

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

PANAGOS, P.; STANDARLI, G.; BORRELI, P. LUGATO, E.; MONTANARELLA, L.; BOSELLO, F. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: from direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 3, p. 471-484, mar. 2018.

RAZIEI, T. A precipitation regionalization and regime for Iran based on multivariate analysis. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 131, n. 3-4, p. 1429-1448, fev. 2018.

RENARD, K. G.; FORSTER, J. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 46, n. 1, p. 30-33, 1991.

SILVA NETO, V. L.; BATISTA, E. D.; LEAL JUNIOR, W. B.; FABRIS, V. B.; RODRIGUES, P. J. A. W. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 141-160, 2020.

SILVA, A. M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, ago. 2004.

SILVA, D. S. dos S.; BLANCO, C. J. C.; SANTOS JUNIOR, C. S.; MARTINS, W. L. D. Modeling of the spatial and temporal dynamics of erosivity in the Amazon. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, n. 1, p. 513-523, mar. 2020.

SILVA, L. Monitoramento hidrometeorológico no Brasil: uma análise sob a ótica da coordenação de políticas públicas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 1, p. 3- 0, mar. 2021.

SILVA, M. J.; GALVÍNIO, J. D.; COSTA, V. S. O. Abordagem interdisciplinar sobre a influência da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT no nordeste brasileiro. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 6, n. 1, p. 107-117, 2017.

SOUSA, F. R. C. de; PAULA, D. P. de. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, jul. 2019.

SPERA, S. Agricultural intensification can preserve the Brazilian Cerrado: applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil's last agricultural frontier. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 194008291772066, jan. 2017.

STEINMETZ, A. A.; ASSALHO, F.; CALDEIRA, T. L.; LIVEIRA, L. A. DE; BESKOW, S.; TIMM, L. C. Assessment of soil loss vulnerability in data-scarce watersheds in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 575-587, dez. 2018.

TEIXEIRA, D. B. de S.; CECÍLIO, R. A.; OLIVEIRA, J. P. B. de; ALMEIDA, L. T. de; PIRES, G. F. Rainfall erosivity and erosivity density through rainfall synthetic series for São Paulo State, Brazil: assessment, regionalization and modeling. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p. 355-370, 2022a.

TEIXEIRA, D. B. de S.; CECÍLIO, R. A.; MOREIRA, M. C.; PIRES, G. F.; FERNANDES FILHO, E. I. Recent advancements in rainfall erosivity assessment in Brazil: A review. **Catena**, v. 219, p. 106572, 2022b.

TEIXEIRA, D. B. de S.; CECÍLIO, R. A.; MOREIRA, M. C.; PIRES, G. F.; FERNANDES FILHO, E. I. Assessment, regionalization, and modeling rainfall erosivity over Brazil: findings from a large national database. **Science of The Total Environment**, v. 891, p. 164-557, set. 2023.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P.T. S. de; 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.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equations. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 23, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning**. Washington, D.C. : USDA, 1978.