

## MAPEAMENTO DO POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS NA BACIA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE

**Virgílio Lourenço da Silva Neto<sup>1</sup>, Elismar Dias Batista<sup>2</sup>, Wilmar Borges Leal Junior<sup>3</sup>, Zanine Vargas Fabris<sup>4</sup>, Pedro James Almeida Wolney Rodrigues<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>MSc em Ciências Florestais e Ambientais, bolsista do Programa de Apoio ao Pesquisador/Arranjos Produtivos Locais PAP/APL. Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins. e-mail: <[virgilio.neto@ifto.edu.br](mailto:virgilio.neto@ifto.edu.br)>

<sup>2</sup>MSc em Matemática, Professor do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins. e-mail: <[elismar.batista@ifto.edu.br](mailto:elismar.batista@ifto.edu.br)>

<sup>3</sup>Professor do curso de Licenciatura em Computação do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins. e-mail: <[wilmar.junior@ifto.edu.br](mailto:wilmar.junior@ifto.edu.br)>

<sup>4</sup>Dr. em Física, Professor do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins. e-mail: <[zanine.fabris@ifto.edu.br](mailto:zanine.fabris@ifto.edu.br)>

<sup>5</sup>Discente do curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio. Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Tocantins. e-mail: <[pjdn@hotmail.com](mailto:pjdn@hotmail.com)>

**Resumo:** O índice de erosividade (EI) expressa o potencial erosivo das chuvas, que é a capacidade potencial das chuvas em provocar erosão. Objetivou-se calcular os valores de erosividade (fator R - EI<sub>30</sub>) mensal e anual e realizar o mapeamento da erosividade anual das chuvas na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. Para a determinação da erosividade foram utilizadas equações ajustadas aos padrões homogêneos de precipitação segundo a literatura e para o mapeamento foi utilizado o interpolador Inverso da Potência da Distância com expoente 3, que obteve o melhor desempenho. Os meses que apresentaram maiores valores de erosividade, foram dezembro e janeiro, 3.014 e 2.789 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os meses com menores valores de erosividade na bacia foram junho e julho, com erosividade equivalente a 0,29 e 1,34 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. A porção centro-oeste da bacia apresentou maior erosividade, variando entre 13.727 e 16.072 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma segunda classe de erosividade entre 12.668 e 13.727 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que se estende pela maior parte da área da bacia, iniciando-se na sua porção central, norte e nordeste. Os menores valores de erosividade, variando entre 9.522 e 11.655 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 3A) e entre 7.005 e 9.183, respectivamente. A bacia do rio Manuel Alves da Natividade apresenta severo risco natural à erosão hídrica, principalmente nas regiões centro-oeste, norte e nordeste.

**Palavras-chave:** hidrologia, interpolação, precipitação, perda de solo

### 1 INTRODUÇÃO

O índice de erosividade (EI) expressa o potencial erosivo das chuvas (WISCHMEIER, 1959). Segundo [Hickmann et al. \(2008\)](#), a capacidade potencial das chuvas em provocar erosão pode ser definida como erosividade expressa por meio deste índice. Ainda segundo estes autores, danos irreversíveis ao solo e redução nos rendimentos das culturas ocorrem por causa da erosão, sendo por isso, necessários programas de controle da erosão hídrica para que a agricultura estável possa ser praticada.

Segundo [Viola et al. \(2014\)](#), o conhecimento da erosividade, tanto no espaço quanto no tempo, é fundamental para o planejamento de práticas de manejo e de conservação do solo e da água que visam minimizar os efeitos adversos da erosão hídrica. Neste sentido, a determinação dos

valores da erosividade, ao longo do ano, permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo e água são mais elevados, razão por que exerce papel relevante no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas. (WISCHMEIER & SMITH, 1978; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Considerando os fatores que podem influenciar na estimativa de perda de solo, segundo a EUPS, estimada por Wischmeier & Smith, (1978) os fatores são 1 - Erosividade das Chuvas (R), resultante da quantidade, intensidade e duração da chuva e é o potencial da chuva causar erosão; 2 - Erodibilidade do Solo (K), que é função de características do solo, e reflete a capacidade que o solo tem em tolerar agentes erosivos; 3 - Características da Vertente (LS), representada por seu comprimento (L) e declividade (S); 4 - Manejo da terra (P); e 5 - Presença e natureza da cobertura vegetal (C) sendo estes interligados.

Estudos sobre a erosividade das chuvas foram desenvolvidos por Viola et al., (2014) para o estado do Tocantins, Silva Neto (2015) para a cidade de Taguatinga na região sudeste deste estado. Considerando o âmbito nacional, [Oliveira et al. \(2015\)](#) realizou estudos com o objetivo de espacializar a erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação, cujo trabalho foi realizado para o território nacional usando dados de 142 estações pluviográficas. Para diversas regiões do país, o potencial erosivo das chuvas foi amplamente estudado, [Morais et al. \(1991\)](#), para o sudoeste de Mago Grosso, [Neto e Moldenhauer \(1992\)](#) para a cidade de Campinas-SP, [Silva et al. \(1997\)](#), para a região de Goiânia, [Mello et al. \(2007\)](#) e [Silva et al. \(2010\)](#), para o estado de Minas Gerais, [Cassol et al. \(2008\)](#), para São Borja-RS.

Considerando a importância da erosividade das chuvas na perda de solos, particularmente em regiões muito degradadas e com chuvas erosivas concentradas, objetivou-se com este trabalho calcular os valores de erosividade (fator R - EI<sub>30</sub>) mensal e anual e realizar o mapeamento da erosividade anual das chuvas na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, região sudeste do estado do Tocantins, comparando o desempenho dos interpoladores Krigagem ordinária (KO), inverso da potência da distância (IPD), considerando as potências de 2 a 5, a partir de dados de precipitação referente ao período de 1983 a 2013.

## **2 METODOLOGIA**

A bacia do Rio Manuel Alves da Natividade pertence ao sistema hidrográfico do rio Tocantins (margem direita), com uma área de drenagem de 14.934,93 km<sup>2</sup> (5,4% do estado),

contemplando 11 municípios, que abrangem uma área de aproximadamente 22.576 km<sup>2</sup>. Faz divisa ao Norte com a bacia do Rio das Balsas (drena 4,5% do estado), ao Sul e Sudeste, com a bacia do rio Palma (drena 6,1% do estado), a Noroeste com a bacia do rio Tocantins (20,8% do estado) e a Oeste com a bacia do rio São Valério (0,8% do estado) (SEPLAN, 2012).

A bacia em que foram obtidos os dados pluviométricos é de grande importância para o Estado do Tocantins, pois nela se localiza o Projeto Manuel Alves, região sudeste, um dos grandes projetos de irrigação do país, pela dimensão de seu reservatório de águas e pela extensão da área irrigável, por microaspersão, gotejamento e aspersão convencional, onde se pratica a cultura de abacaxi, banana, coco, mamão, maracujá e melancia, além de mandioca, milho, tomate, abóbora cabutiá, cana-de-açúcar, goiaba e pupunha (SEPLAN, 2012).

Segundo [Souza \(2016\)](#), ocorrem no Estado do Tocantins três regiões climáticas homogêneas (Figura 1a), sendo que a área da bacia do Rio Manuel Alves compreende a região climática C2wA'a', clima subúmido, com deficiência de água moderada no inverno, megatérmico

A equação de Wischmeier e Smith (1959), que é considerada uma referência para estes estudos, tende a subestimar a erosividade da chuva em regiões tropicais.

Silva, (2004) em estudos sobre a erosividade das chuvas no Brasil, aplicou equações ajustadas às regiões escolhidas de acordo com a distribuição geográfica da profundidade de precipitação anual no Brasil.

Na determinação da erosividade das chuvas, utilizou-se a Equação 1 determinada por [Morais et al. \(1991\)](#), definida por:

$$Ei_{30} = 36,849 \left( \frac{M_x^2}{P} \right)^{1,0852} \quad (1)$$

Onde, (EI<sub>30</sub>) é a erosividade da chuva para cada mês (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), M<sub>x</sub> é a média do total mensal de precipitação, em mm e P é a média do total anual de precipitação, em mm. O índice de erosividade anual das chuvas (R) é o somatório dos valores mensais desse índice, conforme Equação 2 abaixo:

$$R = \sum_1^{12} Ei_{30} \quad (2)$$

Para o mapeamento da erosividade foram testados os interpoladores Krigagem ordinária (KO), inverso da potência da distância (IPD), considerando as potências de 2 a 5, sendo utilizado o interpolador com melhor desempenho.

A justificativa para aplicação do IPD descrita na Equação 3, encontra-se na inviabilidade de utilização de interpoladores geoestatísticos (MELLO et al., 2003), uma vez que a maioria dos mapeamentos será desenvolvido a partir de dados de 25 estações pluviométricas em uma região inserida no sudeste do estado do Tocantins e entorno.

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \cdot X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (3)$$

Em que  $X_p$  corresponde à variável interpolada na posição  $p$ ,  $X_i$  é a erosividade conhecida nos  $i$  pontos vizinhos,  $d_i$  é a distância euclidiana da estação  $i$  ao ponto  $p$  a ser estimado,  $m$  é o expoente da distância euclidiana e  $n$  é o número de estações com dados de precipitações disponíveis, com base nos quais se determinou o valor da erosividade.

A fim de verificar a qualidade da espacialização da erosividade, aplicou-se a técnica da validação cruzada. Esta técnica consiste em estimar os valores da variável em estudo para a exata localização dos pontos amostrados, permitindo quantificar o erro médio percentual absoluto (EMPA), em %, conforme a Equação 4 (Lewis, 1997):

$$EMPA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Em que,  $n$  é o número de postos pluviométricos cujos dados foram utilizados na determinação do Fator (R),  $Obs_i$  é a erosividade observada para o posto  $i$  e  $Est_i$  é a erosividade estimada para a posição do posto  $i$ .

No presente trabalho adotou-se a classificação proposta por Lewis (1997), a qual apresenta os seguintes intervalos de valores:  $EMPA < 10\%$ : “muito bom”;  $10\% \leq EMPA < 20\%$ : “bom”;  $20\% \leq EMPA < 30\%$ : “razoável” e  $EMPA \geq 30\%$ : “impreciso”.

O viés estatístico ou BIAS foi calculado de acordo com Liew et al. (2007), pela Equação 5. O valor do BIAS corresponde ao percentual de viés das variáveis estimadas com relação às variáveis observadas.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Est_i)}{\sum_{i=1}^n (Obs_i)} \cdot 100 \quad (5)$$

Os mapas encontram-se na Projeção SIRGAS 2000. A erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ), em MJ  $mm \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , foi mapeada em escala de cinza, sendo que as classes de menores valores receberam coloração clara, seguindo para a coloração escura com seu incremento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

É possível identificar dois períodos distintos na distribuição de chuvas sobre a bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. O período chuvoso se concentra nos meses de outubro a abril, enquanto o período seco ocorre entre maio a setembro, quando a precipitação média mensal não ultrapassou os 50 mm. Segundo [Reboita et al. \(2010\)](#) e [Viola et al. \(2014\)](#), esta diferença na sazonalidade das chuvas é uma característica marcante da região central do Brasil, na qual, durante o período de estiagem, ocorre a intensificação do fenômeno anticiclone do Atlântico Sul, com redução da presença de vapor d'água na atmosfera, o que impede a organização de nuvens de chuva e o deslocamento de sistemas frontais.

Os meses que apresentaram maiores valores de erosividade, foram dezembro e janeiro, 3.014 e 2.789 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os meses com menores valores de erosividade na bacia foram junho e julho, com erosividade equivalente a 0,29 e 1,34 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

No período chuvoso, considerando apenas os quatro meses mais chuvosos na região da bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, a erosividade registrada corresponde a cerca de 10.166 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 69,32% da erosividade anual, revelando que nesses quatro meses, concentra-se o período crítico de impacto erosivo das chuvas (VIOLA et al., 2014). O total acumulado no restante do ano corresponde a 3.118 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 30,67% da erosividade anual.

A Tabela 1 revela que 96% dos dados observados nas 25 estações apresentam erosividade anual classificada como “muito forte” e os restantes 4% classificados como “forte”, revelando a necessidade de utilização de técnicas de manejo e conservação do solo adequadas para evitar a perda de solo por ação da erosividade das chuvas.

Tabela 1 - Classe de interpretação da erosividade anual Fator (R)

Erosividade das Chuvas (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Nível de Erosividade	Dados observados (%)
R ≤ 2452	Erosividade Fraca	0
2452 < R ≤ 4905	Erosividade Média	0
4905 < R ≤ 7357	Erosividade Média-Forte	0
7357 < R ≤ 9810	Erosividade Forte	4
R > 9810	Erosividade Muito Forte	96

Fonte: Carvalho (2008), modificado para o S.I. métrico de unidades segundo Foster et al. (1981).

Para a espacialização dos dados de erosividade da chuva (Fator R), o interpolador que obteve o melhor desempenho foi o IPD, com expoente 3. A Tabela 2 apresenta o Bias e o EMPA, avaliados de cada modelo testado. Em estudos realizados sobre o mapeamento da erosividade das

chuvas no Brasil, Oliveira et al., (2015), afirma que o interpolador IPD apresentou melhor desempenho, em relação aos interpoladores baseados em Krigagem ordinária (KO), simples (KS) e universal (KU), sob diferentes semivariogramas experimentais, esférico (ESF) e exponencial (EXP).

Tabela 2 – Desempenho dos interpoladores da erosividade anual para a bacia do Rio Manuel Alves da Natividade, considerando o inverso da potência da distância, com expoentes 2, 3, 4 e 5 (IPD2, IPD3, IPD4, IPD5) e Krigagem ordinária, modelos esférico (KOESF), exponencial (KOEXP) e gaussiano (KOGAU)

Interpolador	BIAS (%)	EMPA (%)
IPD2	0,4	9,24
IPD3*	0,62	8,89
IPD4	0,88	8,99
		Continua...
IPD5	1,07	9,13
KOESF	1,18	9,81
KOEXP	1,28	9,62
KOGAU	0,58	10,78

\* Interpolador que obteve o melhor desempenho.

Na espacialização dos dados de erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, os maiores valores encontrados concentram-se na porção centro-oeste da bacia, variando entre 13.727 e 16.072 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 1A).

Comparando-se a espacialização da erosividade anual com dados da erosividade registrada apenas nos 4 meses mais chuvosos do ano (Figura 1B), observa-se comportamento semelhante nos locais de maior e menor erosividade, diferindo apenas na extensão da área cuja classe de erosividade de sobressaiu, na porção centro-oeste da bacia. Nestes meses, os maiores valores de erosividade registrados variaram entre 11.708 e 12.553 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Observa-se que a região sudeste da bacia apresentou os menores valores de erosividade, variando entre 9.522 e 11.655 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 1A) e entre 7.005 e 9.183, respectivamente.

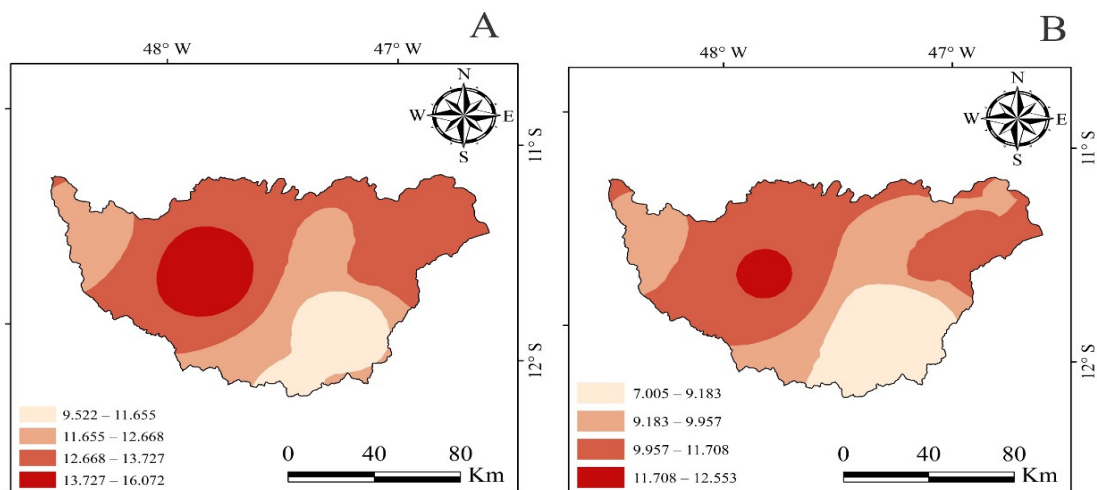


Figura 1 – Distribuição espacial da erosividade anual das chuvas (A) e Distribuição da erosividade das chuvas nos quatro meses mais chuvoso na bacia do Rio Manuel Alves da Natividade (B) (em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)

Cabe destacar, que os valores de erosividade foram determinados por meio de equações pré-ajustadas baseando-se na distribuição geográfica da profundidade de precipitação anual para regiões homogêneas do território brasileiro, em que foi aplicada a equações proposta Moraes et al., (1991), sendo de fundamental importância a realização de estudos futuros que visem determinar a erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade por meio do ajuste de equações de erosividade para as chuvas na própria área da bacia, com intuito de averiguar a possibilidade de superestimação e subestimação dos valores encontrados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do rio Manuel Alves da Natividade apresenta severo risco natural à erosão hídrica, principalmente nas regiões centro-oeste, norte e nordeste.

O interpolador IPD com expoente 3 foi o que apresentou melhor desempenho na espacialização dos dados de erosividade das chuvas.

Os meses mais chuvosos Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março apresentam os maiores valores de erosividade, correspondendo a 96% da erosividade anual das chuvas sobre a bacia.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor, aplicada em Arranjos Produtivos Locais (APL), por meio do Programa de Apoio à Pesquisa (PAP), contemplada pelo Edital 24/2016.



## REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1993. 355 p.
- CAMBARDELLA, C. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. ISSN 0361-5995.
- CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008.
- HICKMANN, C. et al. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 32, n. 2 (mar./abr. 2008), p. 825-831**, 2008.
- LEWIS, C. D. **Demand Forecasting and Inventory Control**. A computer aided learning approach. Woodhead Publishing Ltd, 1997. 157p.
- MELLO, C. D. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.
- MELLO, C. R. D. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.
- MORAIS, L. D. et al. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 15, n. 3, p. 339-344, 1991.
- NETO, F. L.; MOLDENHAUER, W. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- OLIVEIRA, J. P. B. D. et al. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, 2015.
- REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2> >.
- SILVA, A. M. D. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.
- SILVA, M. L. N. et al. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 10, p. 977-985, 1997.
- SILVA NETO, V. L. Avaliação da erosividade das chuvas na microrregião de Taguatinga-TO. **Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 2, n. 1, p. 14, 2015. Disponível em: < [dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2015v2n1p149](http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2015v2n1p149) >.





SILVA NETO, V. L.; SILVA, T. B.; SILVA, J. J. D. C. **O potencial erosivo das chuvas na Bacia do Rio Manuel Alves.** 7ª Jornada de Iniciação Científica e Extensão. Dianópolis: Instituto Federal do Tocantins. 7: 1-8 p. 2016.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins.** 2016. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO. 118 p.

VIOLA, M. R. et al. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 125-135, 2014. ISSN 0100-204X.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** 1978. 58 p.