

EROSIVIDADE DA CHUVA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇUAÍ-MG

Rain Erosivity in the Basin of the Araçuaí-MG River

José Ramalho dos Santos Neto*
Cristiano Christofaro**

***Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM / Teófilo Otoni, Minas Gerais**

joseramalho406@gmail.com

****Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM / Diamantina, Minas Gerais**

cristiano.christofaro@ufvjm.edu.br

RESUMO

A erosão do solo é um dos maiores problemas ambientais da atualidade. Todos os anos milhões de toneladas de terra arável são perdidos por esse processo, contribuindo para a perda de fertilidade do solo e para a diminuição da produtividade das culturas. A erosividade da chuva é descrita como uma interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a superfície do solo, representando o potencial da chuva e enxurrada na produção da erosão do solo, exercendo assim grande influência nos processos erosivos, principalmente em ambientes tropicais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar a variação espaço-temporal da erosividade das chuvas na bacia do rio Araçuaí - MG. Dados de precipitação de 14 estações pluviométricas distribuídas no território bacia, contendo séries históricas ininterruptas de 1996 a 2015, foram selecionados. A partir das séries históricas, foram efetuados os cálculos do Índice de Fournier Modificado (MFI), da erosividade mensal média EI_{30m} e da Erosividade Média Anual (Fator R) para cada estação pluviométrica. Os dados foram interpolados para toda a bacia pelo método inverso da Distância (IDW). Os resultados apontam uma erosividade média anual na bacia de $9125 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$. A análise espacial indicou a existência de um gradiente decrescente de erosividade no sentido Sul-Norte, com os maiores valores nos trechos mais altos da bacia. A análise temporal demonstrou que os maiores valores de erosividade ocorreram no período de outubro a março, e os menores valores de abril a setembro.

Palavras-chave: Erosão hídrica. Precipitação pluvial. MFI. USLE.

ABSTRACT

Soil erosion is one of the greatest environmental problems of our time. Every year millions of tons of arable land are lost through this process, contributing to the loss of soil fertility and to the decrease of crop productivity. Rain erosivity is described as an interaction between the kinetic energy of the raindrops and the soil surface, representing the potential of rainfall and flooding in soil erosion production, thus exerting a great influence on erosion, especially in tropical environments. In this context, the present work aims to determine the spatio-temporal variation of rainfall erosivity in the Araçuaí river basin - MG. Precipitation data of 14 rainfall stations distributed in the basin territory, containing uninterrupted historical series from 1996 to 2015, were selected. From the historical series, the Fournier Modified Index (MFI), the average monthly erosivity (EI_{30m}) and the Annual Average Erosivity (R-Factor) were calculated for each rainfall season. The data were interpolated for the entire basin by the inverse method of Distance (IDW). The results indicate an annual mean erosivity in the basin of $9125 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The spatial analysis indicated the existence of a decreasing gradient of erosivity in the South-North direction, with the highest values in the upper reaches of the basin. The temporal analysis showed that the highest values of erosivity occurred in the period from October to March, and the lowest values from April to September.

Keywords: Water erosion. Rainfall. MFI. USLE.

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica em sua forma laminar tem causado, anualmente, a perda de milhões de toneladas de solos agricultáveis em todo o território brasileiro. Tais perdas trazem sérios problemas à população, principalmente aos habitantes do meio rural, além de consequências negativas para os ecossistemas e para o país (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). A erosão hídrica atua no processo de desagregação e remoção de partículas do solo pela ação combinada do impacto das gotas de chuva e da ação do escoamento superficial sendo, portanto, um processo natural contínuo que ocorre sempre que o agente erosivo se torna mais forte do que as forças de coesão das partículas (MORGAN, 2005). Esse tipo de erosão contribui para o empobrecimento e redução ou perda de sustentabilidade dos agroecossistemas, decorrentes do carreamento do solo, água, nutrientes e carbono orgânico das propriedades, o que causa a diminuição do rendimento de culturas e o aumento dos custos de produção (COGO *et al.*, 2004).

A dificuldade de caracterização dos processos erosivos em escala regional faz com que a utilização de modelos de predição da erosão se torne cada vez mais frequente (FERRO; PORTO; YU, 1999; PANAGOS *et al.*, 2015). A Equação Universal das Perdas de Solo (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e a sua versão revisada (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997) têm sido amplamente utilizadas como modelos de avaliação da perda de solos. Essas equações são consideradas modelos simples, de fácil utilização, e com desempenho satisfatório nos resultados (AMORIM *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012). São considerados os mais eficientes na estimativa da perda de solos utilizados no mundo (SOUZA *et al.*, 2003), com ampla utilização em projetos agrícolas, bem como no planejamento e gestão ambiental (CARVALHO, 1987; RUHOFF, 2006).

A USLE/RUSLE relaciona seis fatores que influenciam na erosão do solo: erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), comprimento de rampa (Fator L), declividade (Fator S), uso, manejo e cobertura do solo (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P). Entre esses fatores, a erosividade da chuva destaca-se por representar o potencial da chuva e enxurrada na produção da erosão do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erosividade da chuva (Fator R) é descrita como uma interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a superfície do solo, sendo originalmente calculado a partir do produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos (HUDSON, 1971; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Determinada em MJ mm hano, a erosividade corresponde à capacidade erosiva da chuva em seu contato direto com a superfície do solo. Este fator depende das características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erosividade da chuva é um parâmetro importante dentre os fatores que afetam a erosão do solo. Diferente dos outros fatores, como o relevo e características do solo, a erosividade não pode ser alterada pela ação humana. Assim, esse parâmetro representa uma limitação ambiental natural ao uso e manejo da terra. No contexto das mudanças climáticas, o efeito da alteração das características da chuva na erosão do solo vem sendo cada vez mais necessário nos estudos de conservação (ANGULO-MARTÍNEZ; BEGUERÍA, 2009).

Diversos estudos têm sido realizados para caracterizar a distribuição espacial regional da erosividade da chuva no Brasil e em outros países (SILVA, 2004; AQUINO, 2005; MEN; YU; XU, 2008; SILVA *et al.*, 2009; SANTOS; MONTENEGRO, 2012). Contudo, não há relatos de estudos similares para a região do Vale do Jequitinhonha, em MG. A região é considerada uma das mais pobres do país, apresentando trechos com clima próximo à semiaridez (SILVA, 2002). Isso indica um alto potencial de desenvolvimento socioeconômico que deve ser pautado por preceitos do desenvolvimento sustentável. A caracterização espaço-temporal da erosividade da chuva pode contribuir para identificar áreas com maiores riscos de sofrerem efeitos dos processos erosivos (FERRO; PORTO; YU, 1999), verificar eventuais tendências temporais nos processos erosivos, bem como avaliar sua variabilidade temporal e períodos críticos para eventuais intervenções nas áreas de

interesse (CAPOLONGO *et al.*, 2008), contribuindo para a adoção de medidas mais efetivas de conservação e manejo do solo (FERRO; PORTO; YU, 1999). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar a variação espaço-temporal da erosividade das chuvas na bacia do rio Araçuai – MG.

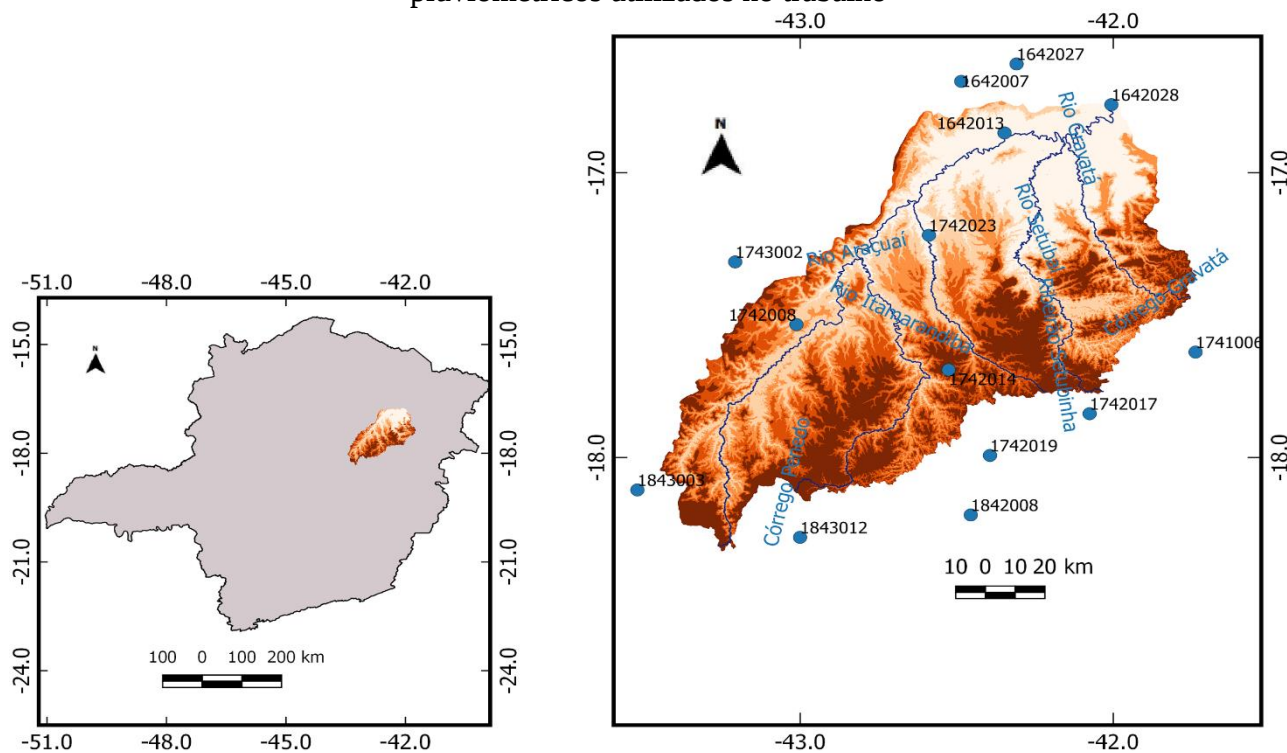
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A bacia do rio Araçuaí está localizada na região Nordeste de Minas Gerais, entre os paralelos 16°40'S e 18°20'S e meridianos 41°50'W e 43° 25'W (Figura 1).

A área de drenagem da bacia do rio Araçuaí possui 16.273 km², abrangendo 25 municípios e uma população estimada de 311.000 habitantes (IGAM, 2010). A bacia está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) denominada JQ2, uma das 36 unidades físico-territoriais destinadas à aplicação da Política de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2010).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Araçuaí e distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados no trabalho



Fonte: Autoria Própria (2017).

O rio Araçuaí apresenta extensão de 250 km e é um dos principais afluentes da margem direita do rio Jequitinhonha, com vazões médias de 134,9 m³/s. A bacia compreende quatro feições geomorfológicas: as serras ao sul, com cotas entre 1000 e 1300 m, os planaltos a sudeste, com cotas entre 600 e 800 m, as chapadas, com cotas entre 800 e 1200, na margem esquerda do rio Araçuaí e as depressões, com cotas entre 300 e 600 metros, no restante da área (DINIZ *et al.*, 2001).

O clima da bacia do Araçuaí é Tropical Continental de Transição, com áreas úmidas nas nascentes e tendência à semiaridez na foz. Os índices pluviométricos variam de 700 a 1400 mm anuais. O trimestre mais chuvoso é o de novembro, dezembro e janeiro, com valores entre 400 e 750 mm, representando 49 a 59 % do valor precipitado. Em contrapartida, os três meses mais secos são junho,

julho e agosto, com 8 a 100 mm, concentrando 1 a 25% das chuvas. A região nordeste de Minas Gerais, onde se localiza a bacia, possui um déficit hídrico entre 100 a 700 mm com taxa de evapotranspiração de 900 a 1300 mm. Os excedentes possuem valores entre 0 e 300 mm, da foz em direção às nascentes de dezembro a janeiro (PEREIRA *et al.*, 2001). A região apresenta temperaturas médias, nos meses mais quentes, superiores a 20°C e mínimas de 18°C, nos meses mais frios (IGAM, 2010).

No que se refere aos aspectos socioeconômicos, a bacia do rio Araçuaí é uma das menos favorecidas do Estado de Minas Gerais e do Brasil. A região convive com diversos problemas ambientais, requerendo soluções que garantam alternativas de sobrevivência para a população residente (SILVA, 2002). Aproximadamente 70% da área da bacia apresenta cobertura vegetal nativa, composta pelo cerrado, campo cerrado e florestas decíduais e semidecíduais, as áreas urbanas representam 0,23% da área, enquanto pastagens ou florestas plantadas, com poucas áreas de cultivo, correspondem a cerca de 27% do território da bacia. Assim, verifica-se o predomínio do setor agropecuário, com empregos de baixa qualificação, em relação a um setor industrial incipiente (IGAM, 2010).

2.2. Coleta de dados de Erosividade da Chuva

A erosividade da chuva foi obtida por meio de dados de 14 estações pluviométricas distribuídas na área de influência da bacia do rio Araçuaí. Os dados pluviométricos mensais das estações selecionadas foram obtidos no site *Hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

Originalmente, o fator R (erosividade da chuva) foi proposto para ser calculado para cada evento de chuva, exigindo o uso de dados pluviográficos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Esse tipo de dados é de difícil obtenção em várias partes do mundo, devido à escassez de estações pluviográficas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; SILVA, 2004). Para suprir tal problema, diversos autores têm encontrado relação entre valores anuais de erosividade e estimativas baseadas em dados pluviométricos anuais ou mensais (ANGULO-MARTÍNEZ; BEGUERÍA, 2009; RENARD; FREIMUND, 1994; SILVA, 2004), utilizando índices específicos, como o Índice de Fournier (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Os critérios para a escolha das estações pluviométricas utilizadas no trabalho incluíram a localização, no interior ou entorno próximo da bacia, e a qualidade da série histórica, buscando-se valores contínuos entre janeiro de 1996 e dezembro de 2015, de modo a incluir 20 anos de registros anuais, série ideal para o cálculo do fator R (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no trabalho está apresentada na Figura 1, e suas descrições são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Denominação e codificação das estações pluviométricas utilizadas para a avaliação da erodibilidade da chuva na bacia do rio Araçuaí-MG

REGISTRO ID	CÓDIGO	NOME
1452	1843012	Rio Vermelho
1445	1842008	Santa Maria do Suaçuí
1450	1843003	Mendanha
1337	1742019	Água Boa
1336	1742017	Malacacheta
1335	1742014	Capelinha
1328	1741006	Ladainha
1334	1742008	Carbonita
1343	1743002	Vila Terra Branca - Jusante
1340	1742023	Minas Novas
1233	1642013	Pega

1237	1642028	Itira
1231	1642007	Porto Mandacaru
1236	1642027	Barra Do Salinas

Fonte: ANA (2016).

O cálculo da erosividade da chuva foi obtido por meio da relação entre a erosividade média da chuva, em escala mensal, e o índice de Fournier modificado (MFI). O índice de Fournier Modificado (MFI_m), foi calculado a partir dos dados mensais de precipitação (RENARD; FREIMUND, 1994) (Equação 1):

$$MFI = \frac{Pm^2}{Pa} \quad (1)$$

Onde, MFI é o índice de Fournier, Pm² a média mensal elevado ao quadrado (mm) e Pa representa a precipitação média anual (mm).

A partir dos MFIs, calculou-se o índice de erosividade mensal (EI_{30m}) para todos os meses do ano. Para isso aplicou-se o método desenvolvido por Oliveira et al. (2009) (Equação 2):

$$EI_{30m} = 121,385 (MFI_m)^{0,7982} \quad (2)$$

Onde EI_{30m} representa o índice de erosividade mensal em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ Mês⁻¹ e MFI_m é o índice de Fournier Modificado de cada mês. A partir dos índices de erosividade mensais, calculou-se a erosividade de cada estação pluviométrica pela soma dos 12 meses do ano.

Os dados de erosividade obtidos para cada estação pluviométrica, foram interpolados pelo método Peso Inverso da Distância (IDW), que consiste na aplicação da média ponderada pelo inverso da distância entre as estações pluviométricas e as localidades vizinhas (MELLO; SILVA, 2013), gerando dados de erosividade da bacia. Os dados de erosividade foram classificados de acordo com Carvalho (2008), considerando as classes: Fraca, Média, Média-Forte e Forte e Muito Forte (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixas de valores do fator R (erosividade da chuva) e respectivas classes para a interpretação da erosividade anual adotada no presente estudo

Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ Ano ⁻¹)	Classe de Erosividade
R ≤ 2452	Fraca
2452 < R ≤ 4905	Média
4905 < R ≤ 7357	Média - Forte
7357 < R ≤ 9810	Forte
R > 9810	Muito Forte

R = Fator de erosividade da chuva

Fonte: Carvalho (2008).

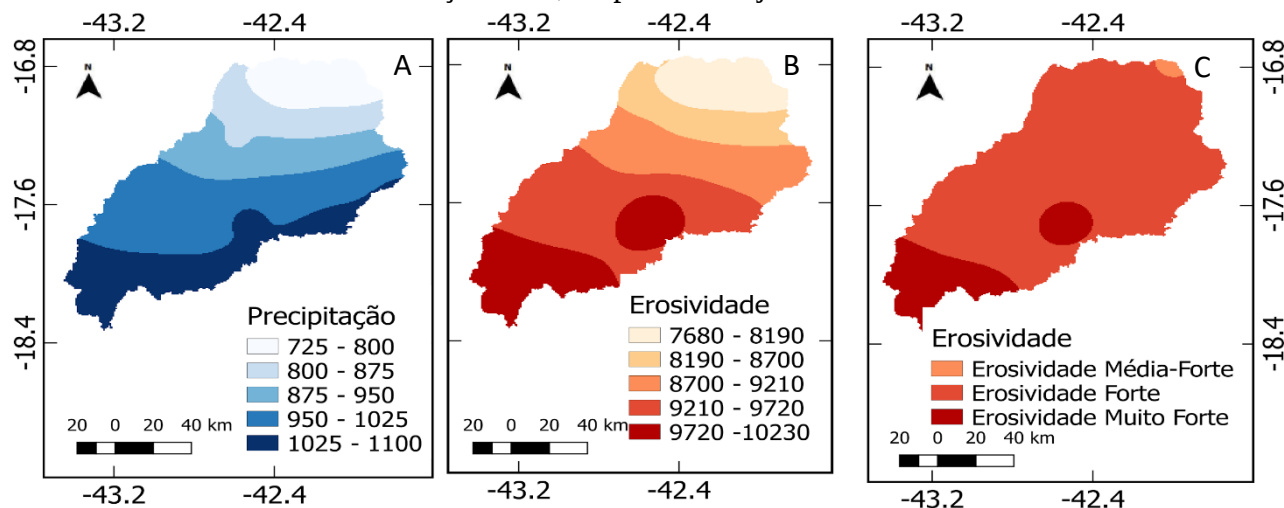
As análises dos resultados incluíram o cálculo do erro-padrão mensal, obtido a partir da divisão do desvio-padrão mensal pela raiz quadrada do número de meses abrangidos pelo estudo. A correlação entre a chuva e a erosividade foi testada por meio do teste de correlação de Pearson. As análises foram executadas no programa LibreOffice Calc 3.2 e QGIS 2.18.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade média anual variou consideravelmente ao longo do território da bacia do rio Araçuaí. Os resultados da interpolação dos dados de erosividade e precipitação das estações pluviométricas em estudo estão representados na Figura 2.

A precipitação média anual calculada para toda a bacia, no período avaliado, foi de 954 mm, com erosividade média anual de $9.125 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$, considerada Forte (Tabela 2). As figuras 2A e 2B demonstram haver correlação direta entre a precipitação e a erosividade da chuva, com a formação de um gradiente com os maiores valores ao sul, próximo à cabeceira, que vão se reduzindo ao longo do curso do rio até o trecho norte. Os valores anuais médios de chuva variaram de 725 mm, no trecho norte da bacia, a 1.184 mm no trecho sul, próximo à cabeceira (Figura 2). A erosividade apresentou comportamento espacial similar, com a média variando de $7.680 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$, no trecho norte da bacia, e $10.230 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$ no trecho sul (Figura 2B).

Figura 2 – Precipitação média anual (A), erosividade média anual (B) e classes de erosividade (C) da chuva da bacia do rio Araçuaí-MG, no período de janeiro de 1996 a dezembro de 2015



Fonte: Autoria própria (2017).

Os valores médios anuais de erosividade verificados no trecho norte da bacia do Araçuaí apresentam-se próximos ao valor médio máximo anual ($12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$) obtido para todo o estado de Minas Gerais e um pouco acima do valor máximo anual obtido para o nordeste mineiro ($9.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$) de acordo com Mello *et al.* (2007). Colodro *et al.* (2002) encontrou valores médios de $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$ para o município de Teodoro Sampaio/SP, com valor máximo de $13.651 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$. Considerando a erosividade anual média calculada (Figura 2B), percebe-se que a classe de erosividade Muito Forte corresponde ao trecho sul da bacia, ocupando cerca de 15% da área (Figura 2C). A classe Média-Forte é verificada na região mais ao norte da bacia, ocupando 0,5% da área. O restante da bacia (84,5%) foi classificado como de erosividade Muito Forte (Figura 2C). IGAM (2010) calculou a propensão à erosão dos solos na bacia do rio Araçuaí a partir das propriedades dos solos e declividade, identificando predomínio de classes de baixa propensão. Contudo, esses autores identificaram alta suscetibilidade à erosão em trechos da bacia associados a solos das ordens Neossolos e Cambissolos (SANTOS *et al.*, 2018), destacando manchas de alta suscetibilidade na região centro-sul, correspondendo à mancha central da classe de erosividade Muito Forte obtida no presente estudo (Figura 2C).

A tabela 3 apresenta a distribuição temporal das chuvas e da erosividade na bacia. A precipitação pluvial ocorrida nos meses úmidos (novembro a março) corresponde a 79,5% da precipitação anual média, sendo 44,3% da precipitação concentrada nos meses de novembro e

dezembro. Esses resultados são similares aos observados, no estado de Minas Gerais, de novembro a fevereiro, por Oliveira *et al.* (2005). A erosividade na bacia também apresenta distribuição concentrada em períodos específicos, com 88,8% do total anual médio relacionado aos meses úmidos, de outubro a março, sendo 57,3% referente aos meses de novembro e dezembro, resultado similar aos encontrados por Oliveira *et al.* (2009) na bacia do Rio Doce e Souza *et al.* (2006) na região norte do estado de São Paulo.

Tabela 3 – Valores médios mensais e valor total anual da precipitação pluvial e da erosividade para a bacia do rio Araçuaí entre 1996 e 2015

Mês	Precipitação		Erosividade	
	mm	%	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ Mês ⁻¹	%
Janeiro	133,3 ± 9,8	14,0	1012,2 ± 138,7	13,7
Fevereiro	85,9 ± 18,6	09,0	298,9 ± 103,6	6,8
Março	116,4 ± 17,4	12,2	65,1 ± 41,0	11,0
Abril	53,9 ± 14,7	5,7	18,26 ± 22,3	3,2
Mai	20,3 ± 9,3	2,1	21,1 ± 37,4	0,7
Junho	8,5 ± 6,9	0,9	21,1 ± 10,7	0,2
Julho	8,5 ± 9,5	0,9	21,1 ± 7,4	0,2
Agosto	8,1 ± 7,1	0,9	17,42 ± 24,2	0,1
Setembro	21,1 ± 9,0	2,2	67,36 ± 36,8	0,7
Outubro	75,3 ± 11,5	7,9	505,72 ± 74,8	5,5
Novembro	206,9 ± 27,1	21,7	2534,0 ± 224,9	27,7
Dezembro	215,4 ± 7,8	22,6	2707,0 ± 498,9	29,6
Total	953,7 ± 98,7	100,0	9124,7 ± 1661,7	100,0

(1) Média de 20 anos e erro-padrão

Fonte: Autoria Própria (2017).

Considerando toda a bacia, o mês com maior precipitação e erosividade média foi dezembro, com 215,4 mm e 2.707 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ Mês⁻¹, respectivamente. O mês de agosto apresentou os menores valores médios de precipitação (8,1 mm) e erosividade na bacia, 17,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ Mês⁻¹. Mello *et al.* (2007) encontraram valores similares para essa região, verificando que os maiores índices de erosividade do estado de Minas Gerais ocorrem na região leste e nordeste do estado, no mês de dezembro (faixa de 2500 a 3000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ Mês⁻¹). O erro padrão da erosividade apresentou-se proporcionalmente maior nos meses secos, indicando que esses períodos apresentam, proporcionalmente, maior variabilidade das chuvas. Nos meses chuvosos o erro-padrão apresentou-se proporcionalmente menor ao valor médio. Esses resultados divergiram do encontrado por Silva *et al.* (2009) na região sul do Estado de Minas Gerais.

Mello *et al.* (2007) considera que uma maior quantidade anual de precipitação não necessariamente implica em maior erosividade anual, utilizando o Sul do estado de Minas Gerais como exemplo dessa situação. Segundo esses autores, a maior quantidade de chuva anual não necessariamente resulta em maior EI₃₀, que é um índice associado à concentração das chuvas, dinâmica de circulação atmosférica e às características climáticas da região. Contudo, na bacia do rio Araçuaí verificou-se uma correlação direta muito forte entre a média mensal de precipitação e a erosividade ($r = 0,91$), corroborando os valores calculados em outros estudos (SILVA, 2004; SILVA *et al.*, 2009).

Os resultados indicam que, mesmo pertencendo a uma região de semiáridade, a bacia do rio Araçuaí apresenta predomínio das classes de erosividade Muito-Forte e Forte, com uma sazonalidade bem demarcada, apresentando um potencial de erosão maior nos meses de outubro a janeiro. Esses resultados podem ser explicados pela alta concentração das chuvas em poucos meses do ano. Assim, os trechos mais ao sul da bacia do Araçuaí, com elevados valores de erosividade, devem ser

priorizados na adoção de medidas de controle da erosão na região. Essas medidas devem ainda considerar a elevada concentração da erosividade nos meses chuvosos (SILVA *et al.*, 2009).

4. CONCLUSÃO

A erosividade na bacia hidrográfica do rio Araçuaí apresentou grande amplitude e sazonalidade bem definida, refletido a distribuição das chuvas ao longo do ano.

As estimativas de erosividade revelam valores médios anuais acumulados de $9.125 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Ano}^{-1}$, com maiores riscos de ocorrência de perdas de solo por erosão hídrica no mês de dezembro (média de $2707 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), principalmente no trecho sul da bacia, mais próximo à sua cabeceira. Os dados permitem classificar a bacia do rio Araçuaí como apresentando erosividade de Média-Forte a Muito-Forte, com predomínio da classe Forte (84,5% da área), seguido da classe Muito-Forte (15% da área).

A análise espacial indicou a existência de um gradiente decrescente de erosividade no sentido Sul-Norte, com os maiores valores nos trechos mais altos da bacia. A análise temporal demonstrou que os maiores valores de erosividade ocorreram no período de outubro a março, e os menores valores de abril a setembro.

Os resultados podem contribuir para o manejo da erosão da bacia, permitindo o planejamento espacial e temporal de ações, de modo a minimizar a perda do solo, contribuindo para o desenvolvimento da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela bolsa de estudo concedida e pelo apoio e fomento a pesquisa, bem como à CAPES, FAPEMIG e CNPq.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S. *et al.* Avaliação do Desempenho dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica Usle, Rusle e Wepp para Diferentes Condições Edafoclimáticas do Brasil. **Revista Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, nov./dez., 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a06v30n6>. Acesso em: 16 mar. 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. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409006258>. Acesso em: 22 fev. 2017.

AQUINO, R. F. **Padrões de chuva e variabilidade espacial da erosividade para o sul do Estado de Minas Gerais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005. 98p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Hidroweb**: Sistemas de Informações Hidrológicas (SIH). Brasília: Agência Nacional de Águas (ANA), 2016. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 28 set. 2016.

CAPOLONGO, D. *et al.* Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). **Journal of Hydrology**, v. 356, p. 119–130, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169408001753>. Acesso em: 16 mar. 2017.

CARVALHO, M. P. **Erosividade da chuva**: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. 1987. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-20190821-122015>.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

COGO, N. P. *et al.* **Retomada, redefinição e intensidade da pesquisa em erosão do solo no Brasil**. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Manejo Integrado a Ciência do Solo na Produção de Alimentos, 15., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: UFSM, 2004, p.1-18.

COLODRO, G. *et al.* Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 2002, vol. 26, n.3, pp.809-818. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300027>. Acesso em: 16 mar. 2017.

DINIZ, H. N. *et al.* Geologia, Climatologia e Hidrologia da bacia do rio Araçuaí, Estado de Minas Gerais – Brasil. In: Encontro de Geógrafos da América Latina (EGAL), 8., 2001, Santiago de Chile. **Anais [...]**. Santiago de Chile: Universidad de Chile. 2001: 2001, p. 01-10. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal8/Procesosambientales/Hidrologia/03.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2017.

FERRO, V.; PORTO, P.; YU, B. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 1, p. 3-24, 1999. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626669909492199>. Acesso em: 13 maio 2017.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. New York: Cornell Univ. Press:, 1971.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí**. Maceió: Set. 2010. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/upgrhj2rio-aracuai/8286-pdrharacuaiv42010>. Acesso em: 28 fev. 2017.

MELLO, C. R. *et al.* Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, abr., 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>. Acesso em: 13 mai. 2020.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: UFLA, 2013. 455p.

MEN, M.; YU, Z. e XU, H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on statistics in Hebei Province, China. **Front. Agric.**, China, v. 2, p. 281-289, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11703-008-0042-2?LI=true>. Acesso em: 19 abr. 2017.

MORGAN, R. P. **Soil erosion and conservation**, 3 ed. Mandel: Blackwell, 2005.

OLIVEIRA, F. P. *et al.* Potencial erosivo da chuva no Vale do rio Doce, região centro leste do estado de Minas Gerais: primeira aproximação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1569-1577, dez., 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/7060>. Acesso em: 04 abr. 2017.

OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 50., 2005, Londrina. **Anais [...]** Londrina: 2005. 1 CD-ROOM.

OLIVEIRA, L. M. M. *et al.* Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1209-1217, set., 2012. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/11093>. Acesso em: 29 mar. 2017.

PANAGOS, P. *et al.* Rainfall erosivity in Europe. **Elsevier, Science of the Total Environment.**, v. 511, p. 801-814, abr., 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971500011X>. Acesso em: 16 abr. 2017.

PEREIRA, P. R. B. *et al.* O zoneamento climático na bacia do rio Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais, Brasil. 8., 2001, Santiago de Chile. **Anais [...]**. Santiago de Chile: Universidad de Chile. 2001: 2001, p. 01-10. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal8/Procesosambientales/Climatologia/04.pdf>. Acesso em: 14 maio 2017.

RENARD, K. G. *et al.* **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington D.C.: USDA (Agricultural Handbook), 1997. 404p.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v. 157, n. 1-4, p. 287-306, maio, 1994. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169494901104>. Acesso em: 19 maio 2017.

RUHOFF, A. L. Avaliação dos processos erosivos na bacia do Arroio Grande, RS, através da equação universal de perdas de solos. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal 1., 2006, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006, p. 229-238. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/1195>. Acesso em: 14 fev. 2017.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 871-880, ago. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000800009&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 nov. 2019.

SILVA, A. M. da *et al.* Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, dez. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000600029&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 nov. 2019.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>. Acesso em: 14 mai. 2017.

SILVA, L. M. **Atlas ambiental como subsídio aos estudos de sustentabilidade - a bacia do Araçuaí no Vale do Jequitinhonha - MG**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/86526>. Acesso em: 18 fev. 2017.

SOUZA, C. K. *et al.* Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1067-1074, dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600011>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000600011&lng=en&nrm=iso. Acesso em 14 fev. 2017.

SOUZA, M. J. H. *et al.* Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 399-410, jun. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000300010>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000300010&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 14 fev. 2017.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, (Agriculture Handbook, 537), 1978. 58p.

Data de submissão: 07.06.2017

Data de aceite: 29.04.2020

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.