ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Espacialização e avaliação do potencial erosivo médio e máximo das chuvas para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - Paraná

Paulo Miguel de Bodas Terassi¹, Carlos Henrique Da Graça², Hélio Silveira³

¹Universidade de São Paulo. Autor correspondente. E-mail: pmbterassi@usp.br ²Universidade Estadual de Maringá. E-mail: henriquechg@gmail.com ³Universidade Estadual de Maringá. E-mail: hesilveira70@hotmail.com

Artigo recebido em 07/07/2016 e aceito em 05/08/2016

RESUMO

O presente trabalho objetiva espacializar e avaliar o potencial erosivo médio e máximo das chuvas nas escalas anual e mensal para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, situada no Terceiro Planalto Paranaense. Foram obtidos os dados de chuva de trinta e cinco postos pluviométricos junto ao Instituto das Águas do Paraná e de cinco estações meteorológicas, pertencentes ao IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), trabalhados com segmento temporal de 1976 a 2012. O índice de erosividade das chuvas foi calculado utilizando-se uma equação do tipo $a + bx$, no qual a e b = coeficientes linear e angular, e $x = p^2/P$ (p – precipitação média mensal em milímetros; P – precipitação média anual em milímetros). O efeito orográfico mostrou-se bastante significativo para a espacialização das isoerodentes médias anuais, com valores superiores a $7.800 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para os setores sul e sudeste, e inferiores a $6.400 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o setor noroeste. Verificou-se que 77,5% do potencial erosivo anual estão concentrados no período que vai de janeiro a março e de setembro a dezembro. O mapeamento da erosividade máxima mensal mostrou que os meses de janeiro e dezembro apresentam as maiores alterações, enquanto que os meses de julho e agosto obtiveram a menor erosividade máxima mensal.

Palavras-chave: erosividade; normal climatológica; potencial máximo, bacia hidrográfica.

Spatialization and evaluation of the medium and maximum erosivity potential of rainfall for hydrographic unit Pirapó, Paranapanema III and IV - Paraná

ABSTRACT

This paper aims to spatialise and evaluate the medium and maximum erosivity potential of rainfall in annual and monthly scales for hydrographic unit Pirapó, Paranapanema III and IV, situated in the Third Paraná Plateau. The rainfall data was collected from thirty five rain gauges at Paraná Water Institute and from five weather stations at Paraná Agronomy Institute (IAPAR), National Weather Institute (INMET) and Paraná Meteorological System (SIMEPAR) and were processed within the temporal segmentation 1976 to 2012. The rainfall erosivity index was calculated using an equation of the type $a + bx$, which a and b = linear and angular coefficients, $x = p^2/P$ (p - average monthly rainfall in mm; P - average annual rainfall in millimeters). The orographic effect proved to be very significant for the spatial distribution of isoerodentes annual averages with values greater than $7.800 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ for the sectors south and southeast, and less than $6.400 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ to the northwest sector. It was found that 77.5% of the annual erosive potential are concentrated in the period from January to March and September to December. The mapping of the maximum monthly erosivity showed that January and December have the highest changes, while the months of July and August have achieved lower maximum monthly erosivity.

Keywords: erosivity; climate normal; maximum potential; watershed.

Introdução

A partir da compreensão e do levantamento das características físicas das bacias hidrográficas, entende-se que os estudos e as análises das características climáticas de uma bacia são fatores determinantes, principalmente no contexto deste trabalho, para indicar predições quanto às problemáticas ambientais, como processos

erosivos, perda de solos agricultáveis, enchentes, assoreamentos, entre outros (Bertoni e Tucci, 1997; Zhang et al., 2005).

Especificamente, o desenvolvimento dos processos erosivos está associado ao impacto do potencial erosivo das chuvas aliados ao uso e a cobertura do solo, ao tipo de cobertura pedológica e as características do relevo (Guerra, 2010; Bertoni e

Lombardi, 2012). A erosividade se destaca em países de clima tropical devido aos elevados totais de pluviosidade e, normalmente, aos regimes de concentração de pluviosidade em determinados períodos do ano, como ocorre em diversas regiões do território brasileiro (Silva, 2004).

Além das normais climatológicas, a erosividade apresenta significativas variações espaciais e temporais decorrentes dos diferentes tipos de tempo, com destaque para as alturas pluviométricas extremas, responsáveis pelas maiores probabilidades de que ocorra a erosão. Nesta perspectiva, os estudos a cerca do potencial erosivo das chuvas indicam os períodos e as áreas de maior susceptibilidade ao desenvolvimento da erosão a partir da energia cinética da pluviosidade.

O cálculo do índice de erosividade das chuvas permite descobrir os valores de energia potencial para transformar-se em energia cinética responsável pela erosividade da chuva. Portanto, as chuvas erosivas são quantificadas e expressas através de um índice de erosividade das chuvas, que é uma medida da capacidade do seu potencial erosivo (Carvalho et al., 2005). Desta forma, conforme Gonçalves et al. (2006) e Oliveira et al. (2012), a determinação dos períodos e das áreas de maior susceptibilidade à erosividade das chuvas subsidia o planejamento do uso e manejo adequado e, conseqüentemente, a redução das perdas de solo.

Com a utilização da equação proposta por Rufino et al. (1993), Waltrick et al. (2015) realizaram a mais recente aproximação do cálculo do potencial erosivo das chuvas para o estado do Paraná. Para o recorte do presente estudo, observaram um índice de erosividade entre 7000 a 8000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, demonstrando elevados valores como uma característica típica de países de clima tropical e de elevados volumes de pluviosidade, com uma concentração no período de verão e primavera.

As características naturais da cobertura pedológica da área de estudo mostram elevada vulnerabilidade ao desenvolvimento de processos erosivos, em especial pela predominância dos Argissolos Vermelhos nos setores onde ocorrem as formações areníticas e a ocorrência do Nitossolo Vermelho sobre a formação basáltica, tipos de solos de heterogeneidade textural e mais favoráveis à erosão (Nakashima, 2000; Souza e Gasparetto, 2010). Principalmente, com o processo de ocupação e o desenvolvimento intensivo das atividades agrícolas, sobretudo a partir da década de 1950, a região sofreu o aceleração antrópico das erosões,

condição atribuída ao manejo inadequado das técnicas agrícolas e a inadequada disposição e formatos dos lotes urbanos (Derpsch et al., 1990).

Atualmente, Nóbrega et al. (2015) destaca o papel desempenhado pelos atributos climáticos para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV no contexto da estrutura da paisagem e destaca a pluviosidade como um dos principais fatores para a ocorrência de processos erosivos e perdas de solo.

Diante disso, o presente trabalho objetivou espacializar e avaliar o potencial erosivo médio e máximo nas escalas anual e mensal para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV. Esse estudo está alinhado ao projeto de pesquisa institucional e multidisciplinar “Rede de Monitoramento da Bacia do Rio Pirapó, Paranapanema III e IV - Análise e Monitoramento do Comportamento Hidrológico”, desenvolvido por diferentes setores de grandes áreas do conhecimento da Universidade Estadual de Maringá em conjunto com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), com a finalidade de fornecer informações para prover o uso e manejo racional destas bacias hidrográficas.

Localização e caracterização da área de estudo

A unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV está situada no Terceiro Planalto Paranaense (Maack, 2012), entre paralelos de 22°30' S e 23°30' S e os meridianos de 51°00' W e 53°00' W, nas regiões Norte e Noroeste do estado do Paraná. A área conjunta das bacias abrange uma superfície aproximada de 13.026 km², sendo que a extensão individual da bacia hidrográfica do Pirapó é de 5.067 km², a do Paranapanema III é de 3.776 km², e a do Paranapanema IV, 4.183 km² (ITCG, 2013) (Figura 1).

As bacias hidrográficas Pirapó, Paranapanema III e IV estão situadas nas seguintes unidades litológicas: basalto originado pelos derrames de lava da Formação Serra Geral; rochas areníticas do Grupo Bauru, formadas no período cretáceo da era mesozóica; Formações Adamantina e Santo Anastácio e Caiuá (Minerpar, 2001). Nos setores com a ocorrência de rochas básicas da Formação Serra Geral os tipos de solos mais comuns são: Latossolo Vermelho textura argilosa e o Nitossolo Vermelho férrico textura argilosa. Na região das formações areníticas, são predominantes os Latossolos Vermelhos de textura média e os Argissolos Vermelho de textura arenosa/média (Embrapa, 2007; Nóbrega et al., 2015).

Figura 1. Localização da unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

O Instituto Agrônomo do Paraná (Cavaglione et al., 2000), utilizando-se do método de Köppen (1918), definiu a tipologia climática das regiões Norte e Noroeste do estado, nas quais estão situadas as bacias hidrográficas em estudo, como de clima Cfa (subtropical quente), com exibindo temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C. Apresentando verões quentes com tendência de concentração das chuvas, invernos com geadas pouco frequentes, e sem estação seca definida.

Contudo, os estudos de Terassi e Silveira (2013) identificaram para a bacia hidrográfica do rio

Pirapó as tipologias Cfa (subtropical quente) somente para os setores acima de 650 metros, e a predominância da Ama (tropical com inverno seco) para as porções de menores cotas altimétricas, nas quais a temperatura do mês mais frio encontra-se entre 18°C e 22°C e a do mês mais quente acima dos 22°C, com precipitação pluviométrica concentrada nos meses de verão e significativa redução nos meses de inverno. A obtenção de tais tipologias climáticas demonstra nitidamente um quadro de transição climática (do subtropical para o tropical) existente na área de estudo, fator que regula a dinâmica atmosférica das demais bacias

hidrográficas, Paranapanema III e IV, conforme Nimer (1989) e Silva et al. (2006).

Material e métodos

Para o desenvolvimento do trabalho foram obtidos dados de precipitação pluviométrica de trinta e cinco postos pluviométricos gerenciados pelo Instituto das Águas do Paraná e de cinco estações meteorológicas, sendo três da rede do IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) em Bela Vista do Paraíso, Londrina e Paranaíba, uma da rede do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), em Maringá, e a outra da rede do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), em Apucarana, para a série temporal entre 1976 e 2012 (Figura 2), ordenadas conforme Terassi (2015).

Os dados dos postos e estações meteorológicas que estão ao entorno das bacias hidrográficas foram utilizados em busca de uma melhor distribuição espacial da erosividade das

chuvas, considerando a importância destes para o preenchimento de falhas das séries de dados. Os postos pluviométricos e estações meteorológicas foram escolhidos a partir de uma análise preliminar da qualidade dos dados disponibilizados e as semelhanças entre as características climáticas e a hipsometria.

Para o tratamento estatístico das séries históricas dos postos pluviométricos procedeu-se o preenchimento das falhas existentes para a escala mensal através da utilização da planilha eletrônica do software Excel 2010. Os dados faltantes foram preenchidos seguindo o método de ponderação regional apresentado por Villela e Mattos (1975) que utiliza os registros pluviométricos de três postos localizados o mais próximo possível do posto em que se verifica a falta de dados e que, segundo Oliveira et al. (2010) é um dos mais apropriados para este procedimento.

Figura 2. Localização geográfica e distribuição dos postos pluviométricos e estações meteorológicas da área de estudo.

Para estabelecer os valores do índice de erosividade foi aplicada a equação do tipo $Y = a + bx$, onde: Y = índice de erosão ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); a e b = coeficientes linear e angular, e $x = p^2/P$ (pluviosidade média mensal ao quadrado dividido pela pluviosidade média anual), apresentada por Rufino et al. (1993) para o estado do Paraná. Os valores aplicados para a área de estudo encontram-se predominantemente na região isoerosiva quatro ($Y = 16,73 + 4,02$), como exceção dos postos pluviométricos e estações meteorológicas 1, 5, 7, 32, 33 e 39, que estão situados na região isoerosiva três ($Y = 22,05 + 4,21$), conforme os valores de densidade de fluxo obtidos por Terassi (2015).

Para a elaboração das cartas de distribuição da erosividade das chuvas foi utilizado o software

Surfer versão 9.0. Através do arquivo com o contorno da área de estudo digitalizado, em formato *.bln, utilizando-se dos valores de longitude e latitude, e outro arquivo com os valores calculados, em formato *.grid (grade regular), tais como a média e a máxima erosividade de cada estação meteorológica e postos pluviométricos, com suas respectivas coordenadas geográficas, processados nas escalas anual e mensal.

A interpolação dos dados no reticulado do programa foi feita através do método de Kriging, considerado o mais adequado para este tipo de interpolação, por permitir uma representação mais adequada da continuidade da erosividade, conforme apontado por Montebeller et al. (2007) e Silva et al. (2010). Devido ao elevado número de postos

pluviométricos e estações utilizados, recorreu-se a técnica de semivariograma experimentais que permitiram verificar que o semivariograma Nugget Effect associado ao Exponencial e/ou Esférico foi o mais adequado para as opções avançadas de Krigagem, uma vez que demonstraram uma menor quantidade de núcleos isolados de isoerodentes.

Resultados e discussão

A figura 3 demonstra a variação anual da erosividade das chuvas para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, que apresenta uma média estimada de erosividade anual de 7.312, 3 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Esses resultados estão próximos aos obtidos por Tommaselli, Freire e Carvalho (1999) para a região Oeste do estado de São Paulo, com uma média anual de 7.161 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ para o município de Presidente Prudente (SP).

Excepcionalmente, os anos com a menor erosividade média foram 1978, 1985, 1988 e 2008, com valores inferiores a 6.100 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, devido à ocorrência do fenômeno La Niña (Grimm e Tedeschi, 2009). Inversamente, os anos de 1981, 1983, 1997, 1998, 2005 e 2009 apresentaram o maior potencial erosivo, com totais anuais superiores a 8.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, influenciados pela atuação majoritária do El Niño, conforme mencionam Grimm e Tedeschi (2009) e

Nery e Carfan (2014) (Figura 3). Waltrick et al. (2012) observaram que a erosividade das chuvas no estado do Paraná sofreu alterações significativas em todas as regiões, em períodos de El Niño e La Niña, demonstrando a influência destes eventos na estimativa do potencial erosivo das chuvas no território paranaense, assim como Santos (2008) obteve para o estado do Rio Grande do Sul.

A espacialização do índice de erosividade demonstrou a variabilidade na distribuição do potencial erosivo das chuvas para a unidade hidrográfica. Os setores sudeste e leste exibiram os maiores valores da erosividade média anual, superiores a 7.800 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, com uma redução significativa no setor noroeste, que apresentou isoerodente inferior a 6.400 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Figura 4). Essa distribuição espacial das isoerodentes confirma uma tendência de maior potencial erosivo para os setores com as maiores altitudes, revelando a influência da orografia para a diminuição ou aumento deste índice. Observa-se que os valores obtidos para a erosividade e sua distribuição espacial são concordantes com os estudos anteriores realizados para o Estado do Paraná, como os trabalhos de Rufino et al. (1993) e Waltrick et al. (2015).

Figura 3. Valores da média dos totais anuais de erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) para os postos pluviométricos e estações meteorológicas inseridas dentro e no entorno da unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Figura 4. Distribuição espacial da erosividade média anual (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Identificou-se uma significativa variabilidade espacial dos valores máximos absolutos da erosividade das chuvas. O setor extremo noroeste da bacia hidrográfica Paranapanema IV apresentou valores superiores a 16.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo que na mesma bacia hidrográfica observam-se os menores valores

máximos absolutos, inferiores a 9000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Os setores norte e nordeste da bacia hidrográfica Paranapanema III e central da bacia hidrográfica do rio Pirapó apresentaram valores máximos absolutos superiores a 11.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Figura 5).

Figura 5. Distribuição espacial da erosividade máxima anual (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Com os resultados alinhados aos obtidos por Tommaselli et al. (1999) para o Oeste paulista e Waltrick et al. (2015) para o Norte paraense, indica-se que período que vai de janeiro a março e de setembro a dezembro concentra 77,5% do potencial erosivo anual das chuvas para toda unidade hidrográfica, ao passo que o período que vai de abril a agosto apresenta uma menor susceptibilidade a erosividade das chuvas (Figura 6), conforme o regime pluviométrico obtido por Fritzsons et al. (2011) para a região Norte do Paraná.

Essa condição reafirma o que indica Silva (2004) para as condições tropicais brasileiras, com uma concentração de chuvas e do potencial erosivo de setembro a março, com maiores concentrações conforme se avança ao Brasil Central, de características mais definidas de clima Tropical, conforme Nimer (1989).

Segundo Terassi et al. (2016), os meses com os maiores valores de erosividade apresentam a maior variação espacial e que, tendencialmente, nestes meses a maior erosividade concentram-se no setor nordeste da unidade hidrográfica. Para os meses de menores potenciais de erosividade das chuvas, indicam-se maiores isoerodentes para os setores oeste, sul e leste da unidade hidrográfica.

Esse padrão espacial das isoerodentes demonstra a maior participação de sistemas atmosféricos intertropicais para a formação das chuvas nos setores setentrionais, especialmente durante os meses de primavera e verão. A atuação mais frequente dos sistemas intertropicais associada à participação frequente da frente polar atlântica ocasionam os maiores volumes de pluviosidade principalmente no período que vai de setembro a março. Por sua vez, a porção meridional apresenta uma influência mais incisiva de sistemas atmosféricos extratropicais durante o período de

outono e inverno (Baldo, 2006; Silva et al., 2006; Zandonadi, 2013; Zandonadi et al., 2015), fator que aliado à orografia, permitem justificar a maior erosividade das chuvas durante este período para essa porção da área de estudo.

Ao identificar os períodos de maior potencial erosivo, observou-se que nos meses de maio e outubro ocorre uma habitual elevação dos valores de erosividade que se dá por um aumento significativo da pluviosidade em relação aos meses que os antecedem ou sucedem, justamente por situarem-se em períodos de transição entre a estação chuvosa e seca e ter a participação alternada de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais. Waltrick et al. (2015) destacam que este aumento dos volumes de pluviosidade e erosividade em períodos de transição como outubro se dão pela atuação do Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) que é uma espessa cobertura de nuvens frias, na ordem de centenas de quilômetros e de duração e que duram no mínimo seis horas. Conforme Grimm (2009), o CCM torna-se mais intenso com a mudança sazonal do jato subtropical de altos níveis, que normalmente em outubro encontra-se próximo à região do Paraná, e é intensificado pela interação com os ventos de baixos níveis, quentes e úmidos, vindos do norte.

Os meses com os maiores valores da erosividade máxima mensal são janeiro, fevereiro, maio, junho, outubro e dezembro, com uma média superior a $2.900 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$. Os meses de abril, julho e agosto registraram os menores máximos da erosividade das chuvas, inferiores a $1.900 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$. Isoladamente, o mês de janeiro apresenta o maior potencial erosivo médio e máximo das chuvas, destacando os cuidados com o grau de proteção do solo para este mês (Figura 6).

Figura 6. Distribuição mensal da erosividade máxima e média ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - Paraná.

O quadrimestre de janeiro a abril demonstra a redução gradativa da erosividade das chuvas do verão para o outono (Figura 7). O mês de janeiro apresentou a maior média da erosividade máxima mensal para toda unidade hidrográfica, com o valor de $5.195 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ (Figura 7A), ao passo que se obteve para o mês de abril uma média de erosividade máxima de $1.845 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ (Figura 7D).

Verifica-se de maio a agosto apresenta uma condição de aumento da erosividade máxima mensal para os meses de maio e junho e, em seguida, uma redução para os meses de julho e agosto (Figura 8). Os meses de maio e junho obtiveram para toda unidade hidrográfica uma erosividade média máxima próxima a $3.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ (Figura 8A - 8B). O mês de

agosto apresenta a menor média da erosividade máxima mensal, com o valor de $1.221 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ (Figura 8D).

O período que vai de setembro a dezembro apresenta um aumento do potencial erosivo máximo na unidade hidrográfica (Figura 9). O mês de outubro obteve uma média de $3.036 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ da erosividade máxima mensal, concordante com o aumento da pluviosidade máxima mensal em relação aos meses de setembro e novembro (Figura 9B). O mês de dezembro apresenta a segunda maior erosividade máxima mensal, com uma média de $4.072 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$ para toda unidade hidrográfica (Figura 9D).

Figura 7. Distribuição espacial da erosividade máxima ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$) para os meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C) e abril (D) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Figura 8. Distribuição espacial da erosividade máxima ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$) para os meses de maio (A), junho (B), julho (C) e agosto (D) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Figura 9. Distribuição espacial da erosividade máxima ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mensal}^{-1}$) para os meses de setembro (A), outubro (B), novembro (C) e dezembro (D) para a unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV - PR.

Considerações finais

O efeito orográfico mostrou-se bastante significativo para a espacialização da erosividade média anual, com valores superiores a $7.800 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para os setores sul e sudeste, de maiores cotas altimétricas, e inferiores a $6.400 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o setor noroeste, onde são verificadas as menores elevações do relevo. Verificou-se que 77,5% do potencial erosivo anual estão concentrados no período que vai de janeiro a março e de setembro a dezembro. Atenta-se que nos meses de maio e outubro ocorre um acréscimo da erosividade média em relação aos meses que os antecedem ou os sucedem, condição que é justificada pela literatura consultada por estarem situados em meses que predominam as condições atmosféricas de transição estacional, com uma maior interação de sistemas atmosféricos de diferentes propriedades e que, ao se chocarem, ocasionam mais elevados valores de pluviosidade.

O mapeamento da erosividade máxima mensal mostrou que os meses de janeiro e dezembro apresentam as maiores alterações, enquanto que os meses de julho e agosto obtiveram a menor erosividade máxima mensal, com diversos padrões espaciais. Entretanto, salientou-se o aumento dos registros da erosividade máxima absoluta para os meses de maio, junho e outubro que apresentam um significativo aumento, indicando que estes compreendem períodos que são suscetíveis ao

maior potencial erosivo. Como uma análise comparativa, destaca-se que o mês de janeiro apresentou uma média máxima superior a $6.500 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para alguns setores da unidade hidrográfica, resultado que indica a potencialidade da ocorrência da concentração da erosividade correspondente ou aproximada à média anual em somente um mês.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos para o primeiro autor, à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo fomento ao projeto de pesquisa “Rede de Monitoramento da Bacia do Rio Pirapó, Paranapanema III e IV - Análise e Monitoramento do Comportamento Hidrológico” e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá.

Referências

- Baldo, M. C., 2006. Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica da bacia do Rio Ivaí – PR. Tese (Doutorado). Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- Bertoni, J.C.; Tucci, C.E.M., 1997. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. (Org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associação

- Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, pp. 727-768.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 2012. Conservação do solo. 8ª Edição. Editora Ícone. São Paulo.
- Carvalho, D. F.; Montebeller, C. A.; Franco, E. M.; Valcarcel, R.; Bertol, I., 2005. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental [Online], Campina Grande, v.9, n.1, pp.7-14. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v9n1/v9n1a02.pdf>. Acesso em 03 de junho de 2015.
- Cavaglione, J. H.; Kiihl, L. R. B.; Caramori, P. H.; Oliveira, D., 2000. Cartas climáticas do Paraná. Iapar (Instituto Agrônômico do Paraná), Londrina.
- Derpsch, R.; Roth, C. H.; Sidiras, N.; Kopke, U., 1990. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Iapar (Instituto Agrônômico do Paraná), Londrina.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. Mapa de Solos do Estado do Paraná. EMBRAPA: Solos e Florestas, Rio de Janeiro.
- Fritzsons, E.; Mantovani, L. E.; Wrege, M. S.; Chaves Neto, A., 2011. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no estado do Paraná. RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise [Online], Curitiba. 555-572. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v23i0.24921>. Acesso em 20 de maio de 2016.
- Gonçalves, F.A.; Silva, D.D.; Pruski, F.F.; Carvalho, D.F.; Cruz, E.S., 2006. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online], 269-276. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000200004. Acesso em 21 de maio de 2016.
- Grimm, A. M., 2009. Clima na Região Sul. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Justi da Silva, M.G.A.; Silva Dias, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1ª Edição. Oficina de Textos, São Paulo. 259-275.
- Grimm, A. M.; Tedeschi, R. G., 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. Journal of Climate [Online], Boston. 1589-1609. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008JCLI2429.1>. Acesso em 03 de junho de 2016.
- Guerra, A. J. T., 2010. O Início do Processo Erosivo. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações. 6ª Edição. Editora Betrand Brasil, Rio de Janeiro. 17-50.
- ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geodésia., 2013. Produtos Cartográficos. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>. Acesso em 20 de agosto de 2013.
- Köppen, W., 1918. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. Petermanns Mitt. 193-203.
- Maack, R., 2012. Geografia Física do Estado do Paraná. 4ª Edição. Editora UEPG, Ponta Grossa.
- Mineropar. Minerais do Paraná – Serviço Geológico do Paraná, 2001. Atlas Geológico do Estado do Paraná. Minerais do Paraná, Curitiba.
- Montebeller, C.A.; Ceddia, Carvalho, D.F.; Vieira, S.R.; Franco, E.M., 2007. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Engenharia Agrícola [Online], Jaboticabal, 426-435. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000300011. Acesso em 02 de fevereiro de 2016.
- Nakashima, P., 2000. Sistema pedológico da região noroeste do estado do Paraná: distribuição e subsídios para o controle da erosão. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nery, J.T.; Carfan, A.C., 2014. Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. Atmosfera [Online], Cidade do México, 103-114. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362014000200001. Acesso em 03 de junho de 2016.
- Nimer, E., 1989. Climatologia do Brasil. 2ª Edição. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Nóbrega, M.T.; Serra, E.; Silveira, H.; Terassi, P.M.B.; Bonifácio, C.M., 2015. Landscape structure in the Pirapó, Paranapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná, Brazil. Brazilian Journal of Biology [Online], São Carlos. 1-13. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v75n4s2/1519-6984-bjb-1519-698400913suppl.pdf>. Acesso em 04 de junho de 2016.
- Oliveira, L.F.C.; Fioreze, A.P.; Medeiros, A.M.M.; Silva, M.A.S., 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em séries históricas de precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online], Campina Grande. 1186-1192. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010001100008. Acesso em 30 de maio de 2016.

- Rufino, R. L.; Biscaia, R. C. M.; Merten, G. H., 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas. 439-444.
- Santos, C. N., 2008. El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no estado do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Silva, A.M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* [Online], Amsterdam, 251-259. Disponível em: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0341816203002595>. Acesso em 14 de junho de 2016.
- Silva, C.B.; Sant'Anna Neto, J.L.; Tommaselli, J.T.G.; Passos, M.M., 2006. Dinâmica atmosférica e análise geoestatística do clima na área de integração paisagística 'Raia Divisória' SP/PR/MS: uma proposta de tipologia climática. *Revista Brasileira de Climatologia* [Online], Curitiba. 53-70. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v2i0.25386>. Acesso em 15 de abril de 2016.
- Silva, M.A.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Santos, G.R.; Marques, J.J.G.S.M.; Menezes, M.D.; Leite, F.P., 2010. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [Online], Viçosa. 1029-1039. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/03.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2015.
- Souza, V.; Gasparetto, N. V. L., 2010. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos no município de Maringá por meio de análises físicas e geotécnicas. *Boletim de Geografia* [Online], Maringá. 267-278. Disponível: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/viewFile/10386/6452>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.
- Terassi, P.M.B.; Silveira, H., 2013. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó - PR. Formação [Online], Presidente Prudente. 111-128. Disponível em: <http://revista.fct.une.br/index.php/formacao/article/view/2058/2322>. Acesso em 03 de junho de 2016.
- Terassi, P.M.B., 2015. Variabilidade pluviométrica e a erosividade na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, Paraná. Dissertação (Mestrado). Maringá, Universidade Estadual de Maringá.
- Terassi, P.M.B.; Silveira, H.; Graça, C.H., 2016. Regiões pluviométricas homogêneas e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV – Paraná. *Caderno de Geografia* [Online], Belo Horizonte. 507-521. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/viewFile/P.2318-2962.2016v26n46p507/9523>. Acesso em 03 de maio de 2016.
- Tommaselli, J.T.G.; Freire, O.; Carvalho, O. 1999. Erosividade da chuva na região oeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria. 269-276.
- Villela, S. M.; Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
- Waltrick, P. C.; Machado, M. A. M.; Oliveira, D.; Grimm, A. M.; Dieckow, J., 2012. Erosividade de chuvas no estado do Paraná: Atualização e influência dos eventos “El Niño” e “La Niña”. *Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Curitiba.
- Waltrick, P. C.; Machado, M. A. M.; Dieckow, J.; Oliveira, D., 2015. Estimativas 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* [Online], Viçosa. 256-267. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000100256. Acesso em 15 de dezembro de 2015.
- Zandonadi, L., 2013. As chuvas da bacia do rio Paraná, Brasil: Um estudo do ritmo climático e algumas considerações sobre a vazão hídrica. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro.
- Zandonadi, L.; Acquafatta, F.; Fratianni, S.; Zavattini, J. A., 2015. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). *Theoretical and Applied Climatology*. 741-756. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1391-4>. Acesso em 14 de junho de 2016.
- Zhang, G.H.; Nearing, M.A.; Liu, B.Y. 2005. Potencial effects of climate change on rainfall erosivity in the Yellow river basin of China. *Transactions of the American Society of Agriculture Engineers*, Washington. 511-517. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.514.3127&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 14 de junho de 2016.