Distribuição Espacial do Potencial Erosivo das Chuvas do ano de 2016 no Município de Petrópolis-RJ: Uma contribuição para os estudos locais

Spatial Distribution of the Erosive Potential of the Rains of 2016 in the Municipality of Petrópolis-RJ: A contribution to local studies

Camila de Moraes Gomes Tavares
Mestre em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
camila.tardeli.tavares@gmail.com

Michaela Campos e Silva Mestranda em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil michaelacampos2010@gmail.com

Thiago Alves de Oliveira
Doutorando em Geografia, Universidade de São Paulo, Brasil
thiagoao1996@gmail.com

Cássia de Castro Martins Ferreira
Dra em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
cassia.castro@ufjf.edu.br

Resumo

Estudar o potencial erosivo das chuvas permite uma contribuição significativa ao clima urbano. O conhecimento das áreas e os períodos do ano de maior/ menor potencial erosivo contribui para elaboração de medidas de mitigação, planejamento e gestão de uso da terra. Ademais, permite ainda criação de medidas a serem aplicadas com objetivo de reduzir os impactos pluviométricos no espaço urbano (sobretudo os movimentos de massa). A distribuição da erosividade mensal das chuvas demonstrou que os bairros Posse e Pedro do Rio foram os mais presentes dentre os bairros mais relevantes em relação aos maiores valores de potencial erosivo das chuvas (EI₃₀). Os meses com a maior quantidade de bairros com EI₃₀ expressivos para o ano de 2016 foram: fevereiro (7 bairros) seguido de janeiro (6 bairros), novembro e dezembro (ambos com 5 bairros). Assim, o período mais indicado para planejamento e execução das medidas de prevenção em termos de manejo, uso do solo e cobertura da terra no município de Petrópolis foi referente aos meses março, abril, maio, julho, agosto, setembro e outubro.

Palavras–chave: Erosividade; Suscetibilidade; Serra do Mar; Variabilidade; Impacto Hidrometeórico.

Abstract

Studying the erosive potential of rainfall allows a significant contribution to the urban climate. The knowledge of the areas and periods of the year with higher/ lower erosive potential contributes to elaborating mitigation measures, planning and management of land use. In addition, it also allows the development of measures to be applied in order to reduce rainfall impacts in urban space. The distribution of monthly rainfall erosivity showed that the Posse and Pedro do Rio neighbourhoods were the most present among the most relevant neighbourhoods concerning the highest values of erosive rainfall potential (EI30). The months with the largest number of neighbourhoods with expressive EI30 for the year 2016 were: February (7 neighbourhoods) followed by January (6

neighbourhoods), November and December (both with five neighbourhoods). Thus, the most indicated period for planning and execution of prevention measures in management, land use and land cover in the municipality of Petrópolis was referring to March, April, May, July, August, September and October.

Keywords: Erosivity; Susceptibility; Sea Saw; Variability; Hydrometheoretical Impact.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre os impactos hidrometeóricos têm buscado entender quais elementos influenciam para suas ocorrências no espaço a partir de eventos habituais ou extremos chuva. Já se tem observado que as condições de uso e cobertura da terra, a vulnerabilidade social dos citadinos, as frequentes e intensas alterações antrópicas no espaço, os próprios eventos pluviométricos (em termos de sua intensidade, frequência, persistência em função das configurações atmosféricas) são significativamente relevantes nesse contexto (NASCIMENTO JÚNIOR, 2019; COSTA *et al.*, 2016; COLLISCHONN, 2009; LIMA, 2012; ARMOND, 2017; 2014; 2018).

A intensa urbanização atrelada à variabilidade pluviométrica é de grande importância nos estudos do potencial erosivo. Em cidades de relevo acidentado, em um contexto de ocupação (des)ordenada, segmentos de elevado grau de inclinação da vertente passam a ser ocupados agravando impactos dos processos erosivos como os movimentos de massa.

O potencial erosivo das chuvas "expressa o potencial da água da chuva para degradar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente" (SILVA *et al.*, 2010, p. 313). Esse potencial é em função da energia da água da chuva que depende do tamanho da gota, assim como da intensidade da precipitação. Os estudos vêm apontando a importância da análise do potencial erosivo das chuvas no tocante à produção agrícola; planejamento e ações de manejo do solo e da água; análises de uso e manejo do solo em bacias hidrográficas e afins (OLIVEIRA *et al.*, 2009; ELTZ *et al.*, 2011; VIOLA *et al.*, 2014; VALVASSORI *et al.*, 2014; BACK *et al.*, 2017).

A relação do potencial erosivo com os impactos hidrometeóricos nos espaços urbanos no contexto do clima urbano ainda é escassa. No entanto, compreender a distribuição da erosividade das chuvas para um município em que existe significativa frequência de movimentos de massa custosos ao município, em termos socioambientais, torna-se um caminho para criação de medidas de prevenção quanto a esses impactos.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo estudar a distribuição do potencial erosivo mensal das chuvas para o ano de 2016 no município de Petrópolis-RJ.

O município de Petrópolis localiza-se na Serra do Mar no estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC-CEPED, 2013), entre os anos de 1991 – 2012 o município, juntamente com São Gonçalo, foram os mais atingidos dentre os municípios do

estado por movimentos de massa com 18 e 16 registros (segundo os registros oficiais). Ainda segundo o documento, a região apresenta alta frequência de ocorrência de movimentos de massa devido ao acentuado declive das encostas e da elevada rede de drenagem que ocupa os fundos de vale. "As escarpas são imponentes e foram produzidas por falhas geológicas cujos movimentos póscretáceo formaram a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar. Esses fatores propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e, consequentemente, aumentam a suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa" (UFSC-CEPED, 2013 p. 91).

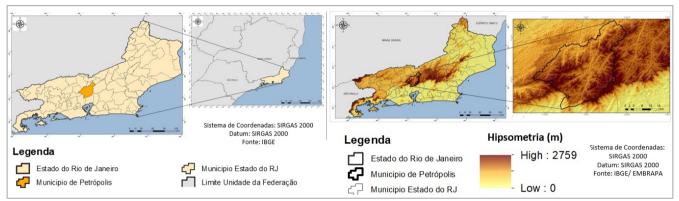


Figura 1 - Mapa de localização do município de Petrópolis- RJ. **Fonte:** organizado pelos autores.

Em termos da caracterização climática para o município, Nimer (1972) considera que a região sudeste do Brasil é uma das mais diversificadas considerando a temperatura do ar e a precipitação (atrás apenas da região Nordeste). Um dos maiores contrastes geomorfológicos do Brasil corresponde a orografia da região sudeste que, por sua vez, favorece o maior turbilhonamento do ar (pela ascensão orográfica do ar) e, consequentemente, a ocorrência de chuvas orográficas (NIMER, 1972). As chuvas no município de Petrópolis apresentam correlação expressiva com o fator orográfico em termos de intensidade e distribuição (TAVARES, 2020;2021). O clima do município é, segundo Nimer (1972) mesotérmico superúmido com características tropicais relacionadas às áreas de maior altitude. Segundo Tavares (2021) o período chuvoso no município se dá entre outubro- março com maior intensidade no mês de dezembro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em 5 etapas.

A primeira etapa correspondeu ao levantamento, organização e tratamento dos dados pluviométricos. Os dados foram coletados mediante acesso à plataforma online (hidroweb) da Agência Nacional de Água (ANA) através do link http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa. Após o levantamento, os dados foram organizados no software Excel segundo os totais diários, a média

mensal para cada mês do ano de 2016 e a média pluviométrica do ano de 2016. Foram levantados os dados de 5 estações ao longo do município de Petrópolis. As estações coletadas foram: 2243010, 2243011, 2243012, 2243013 e 2243014 (Figura 2).

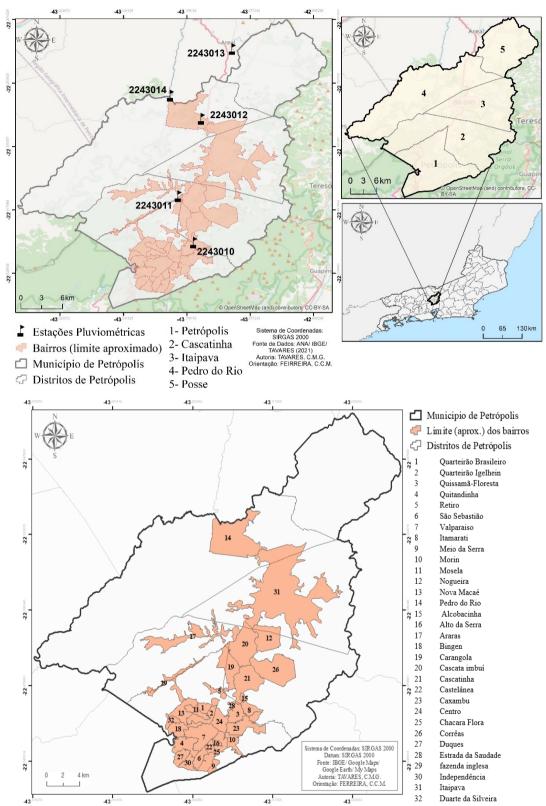


Figura 2 - mapa de localização das estações pluviométricas e dos bairros do município de Petrópolis, RJ. **Fonte:** Organizado pelos autores.

Após a organização dos dados foram aplicadas as equações **(A)** segundo a metodologia proposta nos trabalhos de Silva (2003); Santos Neto e Chirstofaro (2017); Back (2018) e **(B)** segundo a proposta de Moreira et al., (2018).

A equação (A) consiste no estabelecimento do Índice Fournier Modificado (MFI) que "está associado à erosividade por meio de uma equação empírica, obtida por cálculos de regressão para uma localidade que tenha dados pluviométricos" (SANTOS NETO, 2017 p.31).

A equação (**B**) se dá em função do MFI correspondendo ao Índice de Erosividade Mensal (EI₃₀) em Mjmm há-1 h-1 mês-1, significando, portanto, o potencial da chuva em erodir o solo. É importante destacar que comumente tais técnicas são aplicadas a séries históricas extensas, no entanto, o objetivo do presente trabalho deteve-se à uma abordagem de escala temporal menor, portanto, aplicando-as aos dados para um único ano. Nas comparações dos resultados obtidos com os demais artigos publicados sobre o tema (também já citados neste escrito) foi possível identificar boa correspondência, já que a amplitude dos valores obtidos se encontrou nas casas decimais correspondentes.

$$MFI = \left(\frac{Pm^2}{Pa}\right)$$
 Equação (A) $EI_{30} = 67,355*MFI^{0.85}$ Equação (B)

Onde Pm é a média mensal de precipitação elevada ao quadrado; e Pa é precipitação média anual (mm).

É necessário destacar que apesar da análise do potencial erosivo das chuvas ser uma ferramenta ao planejamento (seja ele urbano, agrário ou/e ambiental) seu mapeamento tem sido um infortúnio no escopo científico brasileiro, devido à ausência de dados pluviográficos confiáveis e de significativa robustez (os mais indicados e utilizados para a avaliação da erosividade das chuvas) tornando-se um empecilho aos estudos de tal natureza para o território brasileiro. Uma alternativa à essa questão é o uso de série sintéticas de dados pluviométricos.

Dentre os pesquisadores da área, destacam-se Oliveira (2015) que faz uso conjunto de dados pluviográficos e séries sintéticas pluviométricas para estimar a erosividade das chuvas nas regiões homogêneas de todo o Brasil. Trindade *et al.*, (2016) utilizando série pluviométricas com 20 anos ou mais de dados para estudar a variabilidade espacial erosiva das chuvas em todo o território brasileiro totalizando uma análise que compreende aproximadamente 850 milhões de hectares. Machado *et al.*, (2014) faz uso de dados pluviográficos e pluviométricos para a estimativa da erosividade das chuvas para o bioma Pantanal a partir do índice EI₃₀ o qual considera cada chuva individual, sua energia cinética unitária determinando segmentos uniformes de chuva.

Após a aplicação das fórmulas foi feita a espacialização dos dados do potencial erosivo das chuvas para os meses (janeiro – dezembro) de 2016. A espacialização foi executada através da aplicação da técnica de Ponderação do Inverso da Distância (IDW) dividindo as informações obtidas em 12 classes no ArcMap 10.3. Além dos mapas de erosividade foram produzidos materiais gráficos do total pluviométrico precipitado e do potencial erosivo de cada mês para o ano de 2016.

Após a espacialização do potencial erosivo das chuvas e da elaboração do material gráfico e cartográfico, foi feito o mapeamento da suscetibilidade à movimento de massa do município de Petrópolis a partir dos dados obtidos pela plataforma online do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) disponível no endereço eletrônico http://www.cprm.gov.br/. Foi feito o download dos shapfile referente à suscetibilidade de movimento de massa do município de Petrópolis, o cálculo da área em cada classe (alta/ média/ baixa suscetibilidade à movimento de massa) para cada bairro do município.

Devido à ausência da lei de abairramento da cidade de Petrópolis, foi feito uso da metodologia apresentada por Tavares (2021) que vetoriza o limite aproximado dos bairros através dos dados do google maps; my maps e google Earth. A área de cada classe em cada bairro do município foi feita através da utilização dos softwares Arcgis 10.3 e do software Excel. As áreas foram calculadas em seus valores absolutos de área (km²) e percentual (km²).

Os resultados obtidos foram discutidos, por fim, em relação às prerrogativas da abordagem do clima urbano mediante o subsistema hidrodinâmico de Monteiro (1976).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresente os valores de MFI e EI₃₀ obtidos em cada uma das cinco estações pluviométricas para cada mês ao longo do ano de 2016. A tabela 2 apresenta o total pluviométrico mensal e a média pluviométrica mensal de 2016. Observou-se a partir dos dados que o mês de maior potencial erosivo em 4 das 5 estações (2243010, (11), (12) e (13)) foi janeiro e, para a estação 2243014 foram os meses de janeiro e dezembro.

O período chuvoso para a série histórica no município de Petrópolis, RJ segundo Tavares (2021) é correspondente ao intervalo de novembro- março. Para o ano estudado, o potencial erosivo das chuvas foi significativo (além do mês de janeiro já elucidado) nos meses de fevereiro, novembro e dezembro, uma vez que em todas as estações os valores de EI₃₀ foram os mais elevados se comparados aos demais valores de EI₃₀ de cada mês para o ano.

Sobre o total pluviométrico precipitado, os meses mais volumosos foram janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro (correspondendo ao período chuvoso para o município) para 5 estações pluviométricas.

Maio

Junho

0,2

0,8

14,7

54,4

0,1

2,4

6,8

142,5

2243012 2243010 2243011 2243013 2243014 MÊS MFI **EI30** MFI **EI30 MFI EI30** MFI **EI30 MFI EI30** 71,0 2523,4 45,7 1734,8 42,3 1623,5 37,5 1466,1 21,7 920,2 Janeiro 565,7 9,9 471,7 552,7 649,2 Fevereiro 12,2 11,9 14,4 7,3 366,3 9,1 439,0 3,6 199,3 Março 3,3 183,8 3,7 206,6 7,0 350,2 Abril 0,4 33,8 34,2 0,0 5,1 0,0 3,3 0,0 3,6 0,4

0,3

2,1

27,2

127,0

0,2

1,6

18,0

98,6

0,3

3,6

26,0

199,4

Tabela 1 - Valores de MFI e EI₃₀ obtidos para cada estação pluviométrica por mês ao longo de 2016.

0,0 119,3 0,0 Julho 0,0 0,0 0,0 2,0 0,1 0,0 0,0 41,2 0,1 12,4 0,7 47,5 0,1 12,5 0,1 6,5 Agosto 0,6 2,7 0,7 47,0 0,9 Setembro 0,0 0,0 0,0 8,0 55,6 62,0 90,1 6,9 145,5 Outubro 0,1 6,7 1,4 0,1 2,5 145,1 2,5 Novembro 3,8 210,1 19,5 842,7 19,2 831,7 24,0 1004,9 22,2 940,3 793,2 9,2 Dezembro 6,8 343,9 18,2 16,8 741,4 446,1 13,3 607,0

Fonte: Organizado pelos autores, 2021

Tabela 2 - Totais mensais e médias mensais pluviométrica para o ano de 2016.

	2243	010	2243	3011	2243	3012	2243	3013	2243	8014
	Média	Total								
Janeiro	15,03	466	14,31	443,7	13,98	433,4	13,03	403,9	8,92	276,4
Fevereiro	6,24	180,9	6,65	197,6	7,42	215,1	8,07	234	5,19	150,4
Março	3,22	99,8	4,09	126,9	5,67	175,8	6,41	198,7	3,63	112,4
Abril	1,19	35,7	1,42	42,6	0,47	14,1	0,36	10,8	0,34	10,2
Maio	0,73	22,6	0,55	17,1	1,26	39,1	0,98	30,4	1,09	33,9
Junho	1,57	47,2	3,29	98,7	3,12	93,7	2,66	79,9	3,63	108,8
Julho	0,00	0	0,00	0	3,01	93,3	0,03	1	0,00	0
Agosto	1,34	41,4	0,78	24,2	1,75	11,8	0,79	24,5	0,48	15
Setembro	0,27	8,1	1,71	51,4	0,00	0	1,90	57	1,82	54,7
Outubro	0,46	14,2	2,51	77,9	0,56	17,5	3,34	103,6	3,01	93,4
Novembro	3,48	104,5	9,36	280,8	9,43	283	10,43	313	9,03	270,9
Dezembro	4,65	144,3	9,03	280	8,82	273,3	6,47	200,6	6,98	216,4

Fonte: Organizado pelos autores.

Em junho para as estações 2243011, (12), (13) e (14) e em julho para estação 2243012 também houveram registros de totais pluviométricos elevados, a pesar de não serem habituais para os meses em questão. No mês de julho, apenas a estação 2243012 registrou volume elevado mensal de precipitação. Para esse mês as chuvas concentraram-se entre os dias 01-08 com totais diários de 2,2 mm, 1,2 mm, 20,4mm, 22,0 mm, 24,7 mm, 0,1 mm, 20,3 mm e 2,3 mm respectivamente.

Os dados abordados indicam a necessidade de ações de preservação em termos de uso e cobertura da terra principalmente nos meses de maior potencial erosivo das chuvas. O município de Petrópolis é marcado pelos impactos hidrometeóricos na cidade. Segundo os dados apontados por Tavares (2021) o mês de janeiro de 2016 apresentou, ao longo do município, 758 impactos dentre os quais 53,47% corresponderam a movimentos de massa que, por sua vez, encontram-se

diretamente relacionados à erosão do solo (acrescido dos processos de alteração antrópica do espaço e uso e ocupação da terra). Ademais, o município por localizar-se na Serra do Mar apresenta o fator orográfico como potencializador dos volumes precipitados (TAVARES *et al.*, 2020) e que, para os eventos de chuva de janeiro de 2016 83,33% dos eventos de chuva apresentaram correlação de relevante à significativa em relação à altitude das estações pluviométricas segundo Tavares (2020; 2021).

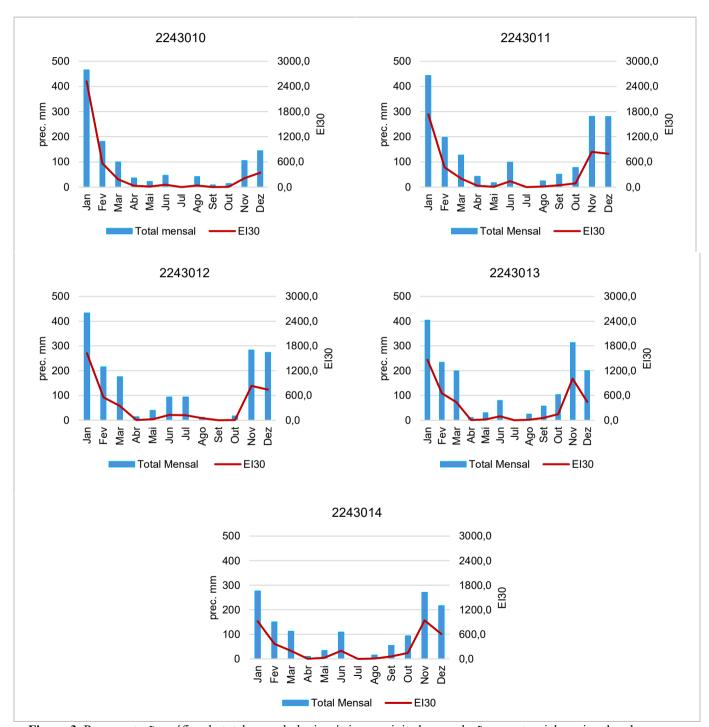


Figura 3 -Representação gráfica do total mensal pluviométrico precipitado em relação ao potencial erosivo das chuvas (EI₃₀) nas estações pluviométricas utilizadas (2243010, (11), (12), (13) e (14)).

Fonte: Organizado pelos autores

A figura 3 apresenta o total mensal pluviométrico com relação aos valores de EI₃₀ obtidos. Na estação 2243010 apenas o mês de janeiro apresentou maior destaque em relação ao volume de chuva e o potencial erosivo. Os gráficos das estações 2243011 e (12) apresentaram uma distribuição dos dados similar com destaque para o mês de junho na estação (11) em que o volume de chuva e o potencial erosivo apresentaram aumento (em relação a habitualidade dos dados) e os meses de junho e julho na estação (12). Observou-se, também, maior potencial erosivo das chuvas nos meses de novembro e dezembro em ambas as estações seguindo o aumento do volume de chuvas (comparando com a estação (10)). Os gráficos das estações (13) e (14) assemelham-se aos gráficos das estações (11) e (12) salvo o mês de dezembro que apresentou leve decréscimo do potencial erosivo assim como menores valores de chuva registrada

As figuras 4- 15 apresentam a espacialização da erosividade mensal para o ano de 2016. Para o mês de janeiro a porção sul do município apresentou os maiores potenciais erosivos com destaque para os bairros Alcobacinha, Itamarati, Quissamã-Floresta, Cascatinha, Caxambu e Estrada da Saudade (Figura 4).

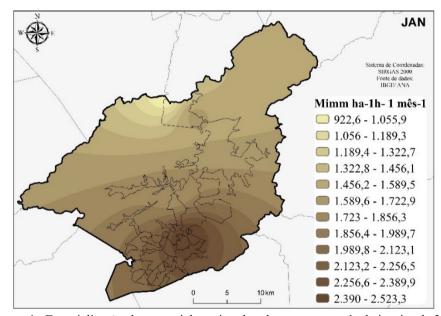


Figura 4 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de janeiro de 2016. **Fonte:** organizado pelos autores.

O mês de fevereiro apresentou dois pontos de maiores valores de potencial erosivo das chuvas. O primeiro na porção nordeste (bairro Posse) e o segundo na porção sudeste e sul (bairros: Cascatinha, Alcobacinha, Itamarati, Quissamã-Floresta, Estrada da Saudade e Caxambu) (Figura 5).

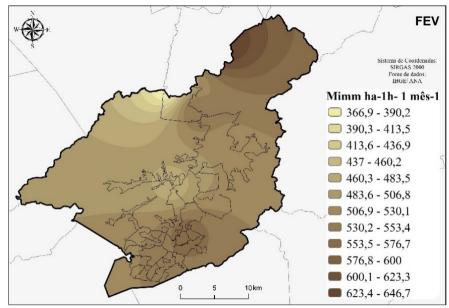


Figura 5 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de fevereiro de 2016. **Fonte:** organizado pelos autores.

Para o mês de março a porção sul e sudeste do município foi a que apresentou os menores potenciais erosivos das chuvas variando entre 183,8 – 225,9 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ com os maiores potenciais na porção norte (bairros Posse e Pedro do Rio) (Figura 6).

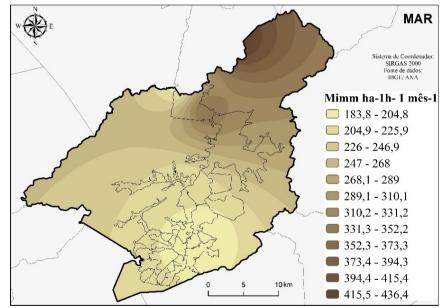


Figura 6 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de março de 2016. **Fonte:** organizado pelos autores.

O mês de abril apresentou totais de potencial erosivo das chuvas significativamente menores em relação aos anteriores sendo a porção sul, sudeste e a área central do município com os maiores valores (18,9 - 34,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹⁾ (Figura 7)

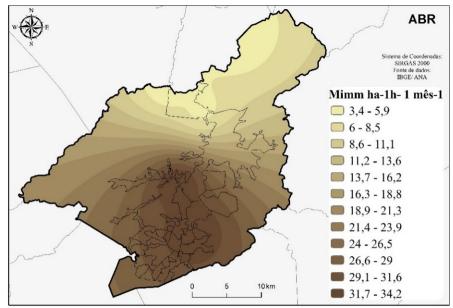


Figura 7 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de abril de 2016 **Fonte:** Organizado pelos autores.

Para o mês de maio os valores de EI₃₀ também foram baixos (se comprados aos meses mais chuvosos) com variação entre 6,8 – 27,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹. A porção central do município (nas proximidades dos bairros Araras, Cascata Imbuí e Carangola) obteve os menores potenciais enquanto que as proximidades do bairro Pedro do Rio na porção nordeste foi a de maior potencial 27,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ (Figura 8).

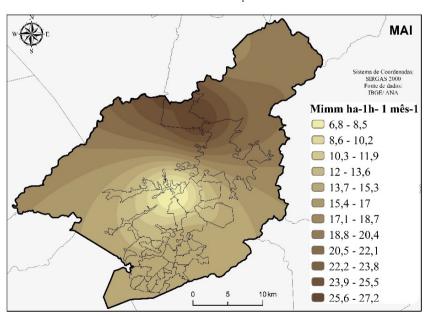


Figura 8 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de maio de 2016 **Fonte:** Organizado pelos autores.

O mês de junho apresentou, como já discutido anteriormente, maiores volumes de chuva o que, por sua vez, culminou em valores mais significativos de erosividade das chuvas. Segundo o mapa do mês de junho a gradação do EI₃₀ foi de 54,4 – 199,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹. Os maiores

potenciais erosivos concentraram-se na porção noroeste do município sobretudo no bairro Pedro do Rio. Além da porção noroeste, as proximidades dos bairros Araras, Cascata Imbuí e Carangola registraram valores entre 139 - 150,9 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ (Figura 9)

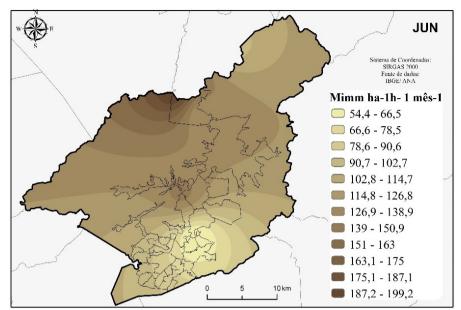


Figura 9 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de junho de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

O mês de julho por ter apresentado precipitação total mensal de 93,3 mm na estação 2243012 apresentou variação do EI_{30} entre 0-119,3 MJ mm há⁻¹mês⁻¹. O local de maior potencial erosivo foi nas proximidades dos bairros Pedro do Rio, Itaipava e Posse (Figura 10)

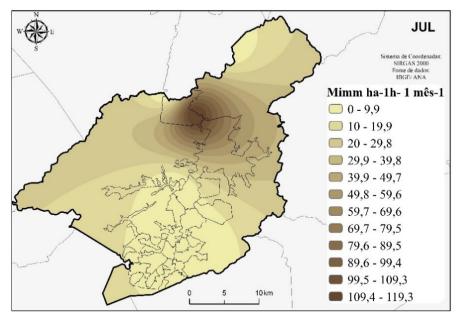


Figura 10 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de julho de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

O mês de agosto apresentou valores do potencial erosivo das chuvas entre 6,6-47,5 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ com destaque na porção sudeste e noroeste do município (Figura 11)

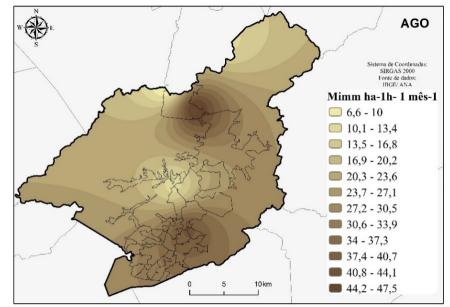


Figura 11 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de agosto de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

O mês de setembro apresentou gradação de potencial erosivo das chuvas entre 0-61,8 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ com dois pontos de menor potencial erosivo (porção nordeste sendo os bairros: Pedro do Rio e sudeste sendo os bairros de maior destaque: Alcobacinha, Estrada da Saudade, Quissamã-Floresta e Itamarati) (Figura 12).

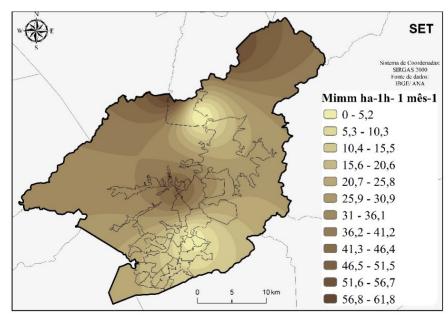


Figura 12 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de setembro de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

Para o mês de outubro os valores de potencial erosivo voltam a ser maiores com gradação entre 6,7 – 145,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ o que corresponde ao retorno do período chuvoso para o ano. Para o mês, a porção central e sul do município foram as de maior potencial erosivo com destaque para os bairros Araras e Posse (Figura 13).

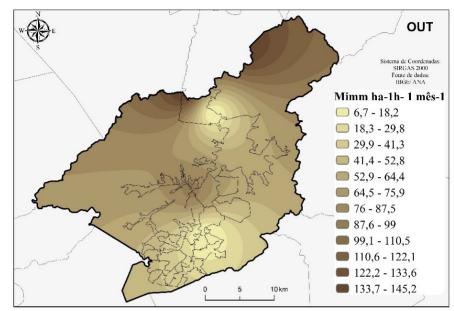


Figura 13 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de outubro de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

Os meses de novembro e dezembro foram absolutamente mais expressivos em termos do potencial erosivo em relação aos meses fevereiro a outubro. Para dezembro a gradação do potencial erosivo das chuvas foi de 210,2 – 1002,4 MJ mm há⁻¹mês⁻¹ e para novembro foi de 344 – 793,2 MJ mm há⁻¹mês⁻¹. Dentre os dois meses, o mês de novembro apresentou maiores valores de potencial erosivo com destaque para todo o município exceto a porção sudeste. Os maiores EI₃₀ foram nos bairros Araras, Cascata Imbuí e Carangola (porção mais central do município) e Pedro do Rio e Posse (porção norte e noroeste) (Figura 14 e 15).

A tabela 3 apresenta a gradação de EI₃₀ nos bairros em que o potencial erosivo das chuvas foi significativo em relação aos meses. Sendo assim, foram considerados os mais significativos os maiores valores do potencial erosivo considerando a gradação para cada mês. Nos meses em que foi constatado baixos valores de erosividade para determinados bairros, em comparação à gradação geral do mês, foram considerados não significativos.

Dentre os bairros com maior potencial erosivo mensal registrado para o ano de 2016 os bairros Posse e Pedro do Rio foram destaque em 5 dos 12 meses (41,6% dos meses do ano) cada um. O Bairro Araras foi o terceiro com 4 meses em que o potencial erosivo das chuvas foi significativo no bairro. Nos bairros Alcobacinha, Itamarati, Quissamã-Floresta, Cascatinha, Caxambu, Estrada da Saudade, Cascata Imbuí e Carangola foram destaques em termos de maiores

valores de EI₃₀ em 2 meses ao longo do ano e Itaipava em 1 mês. O mês com a maior quantidade de bairros com EI₃₀ significativo foi fevereiro (7 bairros) seguido de janeiro (6 bairros) e de novembro e dezembro (ambos com 5 bairros).

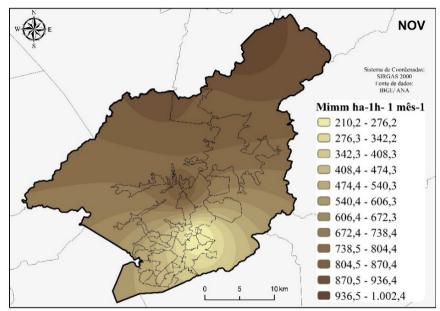


Figura 14 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de novembro de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

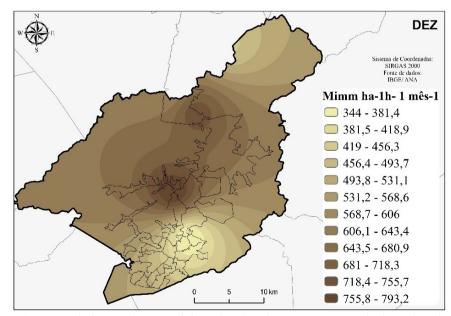


Figura 15 - Espacialização do potencial erosivo das chuvas para o mês de dezembro de 2016. **Fonte:** Organizado pelos autores.

Tabela 3: gradação de EI_{30} dos bairros mais significativos ao longo dos meses. (N/S = valor de EI_{30} do bairro não significativo para o mês em questão).

MJ mm ha-1 mês-1									
Bairro	janeiro	fevereiro	março	junho	julho	outubro	novembro	dezembro	
Alcobacinha	2390-2523,3	553,5-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Itamarati	2390-2523,3	553,5-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Quissamã-Floresta	2390-2523,3	553,5-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Cascatinha	1989,8-2523,3	506,9-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Caxambu	2390-2523,3	530,2-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Estrada da Saudade	2391-2523,3	553,5-576,7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
Posse	N/S	530,2-646,7	310,2-436,4	N/S	0-69,9	52,9-145,2	804,5-1002,4	N/S	
Pedro do Rio	N/S	N/S	183,8-352,2	126,9-199,2	0-119,3	N/S	804,5-936,4	606,1-755,7	
Araras	N/S	N/S	N/S	126,9-150,9	N/S	64,5-110,5	672,7-870,4	643,5-793,2	
Cascata Imbuí	N/S	N/S	N/S	114,8-138,9	N/S	N/S	606,4-870,4	643,5-793,2	
Carangola	N/S	N/S	N/S	66,6-150,9	N/S	N/S	276,3-870,4	465,4-793,2	
Itaipava	N/S	N/S	N/S	N/S	29,9-109,3	N/S	N/S	643,5-755,7	

Fonte: Organizado pelos autores.

Através das informações dispostas na tabela 3 observou-se uma sazonalidade do potencial erosivo das chuvas em função dos bairros. Sendo assim, a figura 16 apresenta a localização dos bairros em que o potencial erosivo foi mais significativo nos meses de janeiro e fevereiro (concomitantemente), e novembro e dezembro (concomitantemente). A figura apresenta ainda o cumulado de chuva dos meses de janeiro e fevereiro (soma do total mensal das chuvas dos dois meses) assim como o acumulado de chuva dos meses de novembro e dezembro (soma do total mensal das chuvas dos dois meses).

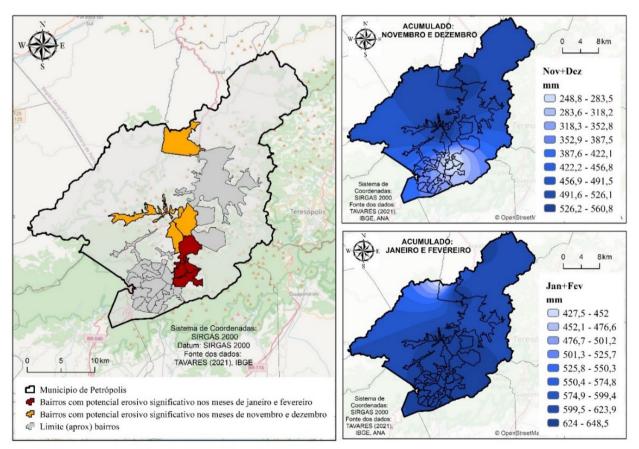


Figura 16 - Mapa de localização dos bairros com potencial erosivo mais significativo nos meses de janeiro + fevereiro e novembro + dezembro com os respectivos acumulados de chuva (novembro + dezembro; janeiro + fevereiro) **Fonte:** organizado pelos autores.

Foi possível verificar que, para o mês de novembro e dezembro, os bairros com os maiores acumulados de chuva correspondem aos bairros com potencial erosivo mais significativo. Uma importante influência na distribuição espacial das chuvas são os sistemas atmosféricos geradores de tais eventos de precipitação. Segunda Tavares (2021) o município de Petrópolis apresenta uma importante condição de alternância das vertentes barlavento e sotavendo a depender dos sistemas atmosféricos atuantes (sobretudo sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS). Dessa forma, para os períodos de maior persistência ou frequência de determinados eventos, diferentes porções do município podem receber maiores acumulados de chuva.

Já para os meses janeiro e fevereiro toda porção sul e sudeste apresentaram acumulado de chuva elevado, de até 648,5 mm. Os bairros que apresentaram potencial erosivo significativo nos meses de janeiro e fevereiro localizam-se na porção sudeste, no entanto, os demais bairros que apresentaram acumulado expressivo não correspondem à bairros de significativo potencial erosivo.

Essas informações são notoriamente importantes nos estudos de clima urbano, sobretudo os voltados ao subsistema hidrodinâmico, uma vez que, indica os bairros em que a chuva apresentou maior potencial erosivo nos meses ao longo do ano. Ademais, identificar os meses em que o EI₃₀ é expressivo na maior quantidade de bairros indica o período do ano em que as ações de prevenção já devam estar em ação, enquanto que os meses em que o potencial erosivo é baixo ou inexiste de forma relevante nos bairros (ou ao longo de todo o município) apresenta-se como o período de ações de planejamento, adaptação e prevenção em relação ao uso e ocupação da terra. Os dados indicam ainda que os bairros em que o potencial erosivo das chuvas foi maior requerem atenção singular em termos de gestão e planejamento do uso e cobertura da terra, principalmente se tratando do espaço urbano que, intensamente alterado, modifica o padrão natural em superfície dos fenômenos atmosféricos (como por exemplo a percolação subsuperficial/ superficial; e as taxas de vazão dos rios).

A figura 17 e a tabela 4 apresentam as classes de suscetibilidade à movimento de massa ao longo do município de Petrópolis e a área em valores percentuais e absolutos (km²) de cada classe (alta, média e baixa) de suscetibilidade por bairro e distrito da Posse, uma vez que não foi possível a delimitação do limite aproximado do bairro por Tavares (2021) devida à geomorfologia do local.

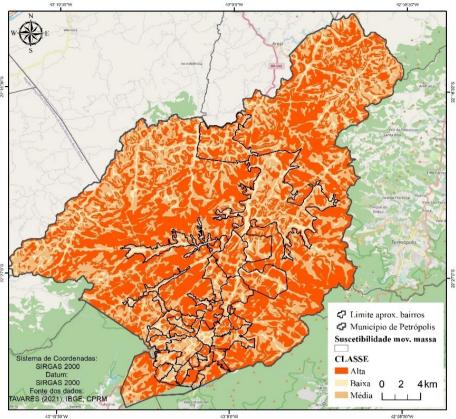


Figura 17 - Mapa de suscetibilidade à movimento de massa no município de Petrópolis; Fonte: Autores (2021). Fonte dos dados para mapeamento: CPRM, IBGE e TAVARES (2021). Fonte: organizado pelos autores.

Segundo os dados observou-se que dentre os bairros significativos quanto ao EI₃₀, os de maior percentual de área em alta suscetibilidade à movimento de massa foram: Alcobacinha com 52,82% de área em alta suscetibilidade; Cascata Imbuí com 48,62 %; Chácara- Flora com 64,69 %; Estrada da Saudade com 46,27 %; Itamarati com 53,91 %; Pedro do Rio com 44,74 %; Posse com 72,27 %; e Quissamã-Floresta com 40,22 %. Destaca-se que foi considerado como preocupante as áreas com ≥40% de área em alta suscetibilidade à movimento de massa.

Considera-se, ainda, os bairros Pedro do Rio e Posse, em que ambos foram os de maior total de impacto das chuvas nos eventos de janeiro de 2007 e 2016, são pertinentes em termos de significância do potencial erosivo das chuvas além de apresentarem percentual de área do bairro em condição de alta suscetibilidade à movimento de massa (\geq 40% de área).

Dentre os bairros em melhor condição em termos de suscetibilidade à movimentos de massa, ou seja, percentual elevado de área na classe de baixa suscetibilidade (considerado pertinente bairros com áreas ≥ 30%), destacam-se os bairros: Alto da Serra com 38,39 % de área na classe de baixa suscetibilidade; Centro com 35,93 %; Fazenda Inglesa com 33,82 %. É possível constatar que os bairros destacados não foram significativos em relação ao EI₃₀ e, dentre todos os bairros do município, o bairro com maior área na classe de baixa suscetibilidade à movimento de

massa é o Alto da Serra com 38,39 %. A gradação do percentual de área na classe baixa é de 33,82 -38,39.

Tabela 4: Área em km² das classes alta/ média/ baixa suscetibilidade à movimentos de massa por bairro (e distrito da Posse) do município de Petrópolis. (*) corresponde à distrito; ** bairros significativos em relação ao potencial erosivo das chuvas destacado na tabela 3.

Suscetibilidade à Movimento de Massa por Bairro do município de Petrópolis-RJ										
		Área em Km²								
Bairros	A	lta	Média		Baixa					
	abs	%	Abs	%	abs	%				
Alcobacinha **	0,13	52,82	0,12	47,18	0,00	0,00				
Alto da Serra	0,00	0,00	0,28	61,61	0,18	38,39				
Araras **	1,77	18,21	5,19	53,36	2,77	28,43				
Bingen	0,93	27,46	1,59	47,28	0,85	25,26				
Carangola **	1,80	30,81	3,11	53,02	0,95	16,17				
Cascata Imbuí **	4,87	48,62	3,82	38,10	1,33	13,27				
Cascatinha **	2,81	35,56	3,81	48,22	1,28	16,23				
Castelênea	0,34	31,96	0,65	60,64	0,08	7,40				
Caxambu **	16,92	15,28	93,30	84,26	0,50	0,45				
Centro	0,61	18,54	1,50	45,52	1,18	35,93				
Chácara-Flora	3,00	64,69	1,37	29,53	0,27	5,78				
Corrêas	6,02	53,06	4,02	35,41	1,31	11,53				
Duarte da Silveira	0,43	21,52	1,13	56,07	0,45	22,41				
Duques	0,79	37,53	1,06	49,93	0,27	12,54				
Estrada da Saudade **	0,19	46,27	0,21	52,49	0,01	1,24				
Fazenda Inglesa	0,43	11,28	2,07	54,90	1,28	33,82				
Independência	0,46	24,44	0,97	51,93	0,44	23,64				
Itaipava **	16,10	31,67	24,72	48,62	10,02	19,71				
Itamarati **	1,25	53,91	0,93	40,15	0,14	5,93				
Meio da Serra	0,20	24,05	0,61	75,34	0,01	0,61				
Morin	1,38	59,61	0,63	27,00	0,31	13,39				
Mosela	0,39	21,57	1,01	56,03	0,41	22,40				
Nogueira	2,58	36,43	3,21	45,32	1,29	18,25				
Nova Macaé	1,22	30,33	1,86	46,20	0,95	23,47				
Pedro do Rio **	8,21	44,74	7,88	42,94	2,26	12,32				
Posse (*) **	51,60	72,27	10,50	14,71	9,30	13,03				
Quarteirão Brasileiro	0,73	38,09	1,02	53,14	0,17	8,77				
Quarteirão Ingelhein	1,15	40,87	1,27	44,98	0,40	14,14				
Quissamã-Floresta **	1,19	40,22	1,42	47,94	0,35	11,84				
Quitandinha	0,74	18,95	2,21	57,00	0,93	24,05				
Retiro	0,36	23,98	0,76	50,00	0,40	26,02				
São Sebastião	0,96	46,79	0,83	40,13	0,27	13,08				
Valparaíso	0,82	12,66	3,92	60,59	1,73	26,75				

Fonte: Autores, 2021.

Retomando a prerrogativa do clima urbano os movimentos de massa enquadram-se no segmento de produção do Sistema Clima Urbano (S.C.U.), ou seja, o resultado da precipitação em termos de impacto à estrutura física da cidade. A percepção desses impactos estará sujeita, segundo Monteiro (2003) aos problemas sanitários, problemas de abastecimento, transtorno na circulação intra e inter urbana, transtorno nas atividades de serviço, colapso no transporte além das perdas e danos. Tavares (2021) ao abordar o impacto hidrometeórico enquanto processo enfatiza que os impactos iniciais no espaço (os mais imediatos como os movimentos de massa por exemplo) embora momentâneos, repercutem ao longo do tempo (sobretudo quando há ocorrência de impactos decorrentes como os desabrigados, desalojados, soterramentos e afins). Nesse sentido, a identificação dos bairros que já apresentaram total de impactos pluviométrico pertinente em um dado evento; os bairros mais/ menos suscetíveis aos movimentos de massa além dos bairros em que o potencial erosivo se apresenta mais significativo e o mês de maior relevância apresenta um panorama de informações para auxílio das tomadas de decisão frente ao planejamento urbano e ambiental.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir, a partir da discussão dos resultados, que o mês de janeiro de 2016 foi o mês de maior registro do potencial erosivo das chuvas além de ter sido o mês de maior volume pluviométrico registrado no ano.

Em relação a distribuição da erosividade mensal das chuvas, os bairros Posse (distrito) e Pedro do Rio foram os que mais apareceram dentre os bairros mais relevantes em relação aos maiores valores de EI₃₀ ao longo dos meses. O mês com a maior quantidade de bairros com EI₃₀ significativo foi fevereiro (7 bairros) seguido de janeiro (6 bairros) e novembro e dezembro (ambos com 5 bairros). O período, portanto, correspondeu ao intervalo similar ao período chuvoso no município.

Tomar conhecimento dos meses em que o potencial erosivo das chuvas é maior/ menor auxilia a ações de planejamento e gestão do uso do solo além de identificar o período em que as medidas idealizadas já devam estar implementadas (para a redução dos impactos relacionados à erosão dos solos). Ademais conhecer os bairros mais presente dentre àqueles em que o potencial erosivo das chuvas é mais vultoso orienta as áreas prioritárias em relação as tomadas de decisão.

Sobre os dados referente à suscetibilidade a movimento de massa, os bairros com maior percentual de área em alta suscetibilidade foram: Alcobacinha (52,82%); Cascata Imbuí (48,62 %); Chácara- Flora (64,69 %); Estrada da Saudade (46,27 %); Itamarati (53,91 %); Pedro do Rio (44,74 %); Posse (72,27 %); e Quissamã-Floresta (40,22 %).

REFERÊNCIAS

ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: Ritmo climático e excepcionalidades para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, n. 13, p. 5-28, 2017.

ARMOND, N. B. Entre Eventos e Episódios: As excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro. 2014. 239 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2014.

ARMOND, N. B. **Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidades:** contribuição para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro. 2018. 170 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2018.

BACK, A. J.; POLETO, C. Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 264-283, 2017.

BACK, A. J. Erosividade da chuva para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 41, n. 2, p. 298-308, 2018.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Atlas Brasileiro De Desastres Naturais. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

COLLISCHONN, E. **Inundações em Venâncio Aires/ RS:** interações entre as dinâmicas natural e social na formação de riscos socioambientais urbano. 2009. 254 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

COSTA, T. O.; WOLLMANN, C. A. Eventos de precipitação extrema e impacto meteórico na bacia hidrográfica do Igarapé Cereja, área urbana de Bragança- PA, durante o inverno amazônico de 2014. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, v. esp., p. 51-69, 2016.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 331–337, 2011.

LIMA, A. P. Análise de impactos associados à precipitação na cidade de São Carlos/ SP. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente, 2012.

MACHADO, D. O.; ALVES SOBRINHO, T.; RIBEIRO, A. S.; IDE, C. N.; OLIVEIRA, P. T. S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. **Eng Sanit Ambient.**, v. 19, n. 2, p. 195-202, 2014.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: IGEO/USP, 1976. 192p.

MOREIRA, L. L.; VASCONCELLOS, S. M.; KOBIYAMA, M. Avaliação temporal e espacial da Erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Maquiné, RS. In: ENCONTRO NACIONAL

DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS E PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS. 13., Vitória. Anais... Vitória: ENES, 2018. p. 1-8

NASCIMENTO JÚNIOR, L. O clima urbano como risco climático. **Geo UERJ,** Rio de Janeiro, n. 34, p. 1-34, 2019.

NIMER, E. Climatologia da região Sudeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica- Subsídio à geografia regional do Brasil. **R. Bras. Geog.**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 3-48, 1972.

OLIVEIRA, F. P.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; MELLO, C. R. Potencial erosivo da chuva no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do estado de Minas Gerais- Primeira aproximação. **Ciênc. agrotec.,** Lavras, v. 33, n. 6, p. 1569-1577, 2009.

SANTOS NETO, J. R. **Distribuição espacial do potencial de erosão hídrica na bacia do rio Araçuaí-MG.** 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia, Ambiente e Sociedade) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2017.

SANTOS NETO, J. R.; CHRISTOFARO, C. Variações espaço-temporal da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Araçuaí- MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 18., Santos. Anais... Santos: INPE, 2017. p. 7915-1922.

TAVARES, C. M. G.; FERREIRA, C. C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis- RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, n. 16, p. 752-783, 2020.

TAVARES, C. M. G. Os impactos dos eventos extremos de precipitação no município de **Petrópolis- RJ:** Um estudo socioambiental. 2021. 312 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2021.

TRINDADO, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E.; Variabilidade espacial da Erosividade das chuvas no Brasil. **Pesq. agropec. Bras.**, Brasília, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.

UFSC-CEPED. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

VALVASSORI, M. L.; BACK, A. J. Avaliação do potencial erosivo das chuvas em Urussanga, SC, no período de 1980 a 2012. **Rer. Bras. Ciênc. Solo,** Viçosa, v. 38, n. 3, p. 1011-1019, 2014.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C.R.; LIMA, S.O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no estado do Tocantins. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 49, n. 2, p. 125-135, 2014.

Trabalho enviado em 16/08/2021 Trabalho aceito em 19/11/2021