

Artigo

## Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio de Janeiro

Nilson Coutinho Gomes Néto<sup>1</sup> , Eliane Barbosa Santos<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Macaé, RJ, Brasil.

Recebido em: 26 de Setembro de 2020 - Aceito em: 25 de Abril de 2021

### Resumo

Com o presente estudo, objetivou-se analisar a intensidade e tendência das precipitações intensas no Estado do Rio de Janeiro, a partir de 50 anos de dados diários (1968-2017) de 53 postos pluviométricos. Foram determinadas regiões homogêneas com base na média mensal das precipitações diárias intensas ( $\geq$  percentil 95) e analisados quatro indicadores de extremos climáticos: máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day), índice de intensidade diária simples (SDII), precipitação total anual de dias em que a precipitação  $\geq$  percentil 95 (R95p) e precipitação total anual em dias úmidos (PRCPTOT). Para detectar tendências estatisticamente significativas, utilizou-se o teste de Mann-Kendall. A magnitude das tendências foi obtida pelo estimador de Sen. Os resultados evidenciaram duas regiões homogêneas de precipitação intensa. A região 2, composta por áreas das Baixadas Litorâneas, sudeste da região Metropolitana e sul do Norte Fluminense, apresentou precipitação mais intensa que as demais áreas do estado (região 1). A região 2 também apresentou maior quantidade de indicadores de extremos com tendências significativas (ao nível de confiança de 95%), que em sua maioria, foram de aumento de precipitação. No SDII, as magnitudes foram maiores ou iguais a +0,16 mm/dia/ano em Porciúncula, Conceição de Macabu, Cachoeiras de Macacu e Nova Friburgo.

**Palavras-chave:** regiões homogêneas de precipitação intensa, indicadores de extremos climáticos, análise de tendência.

## Spatio-Temporal Analysis of Intense Precipitation Events in Rio de Janeiro State

### Abstract

The present study aimed at analyzing the intensity and trend of intense precipitations in Rio de Janeiro State, by using daily data taken from 53 pluviometric stations since 50 years ago (1968-2017). Homogeneous regions have been determined based on the monthly average of intense daily rainfall ( $\geq$  95th percentile) being analyzed four climate extreme indicators: maximum annual precipitation in 1 day (Rx1day), simple daily intensity index (SDII), annual total precipitation having daily precipitation  $\geq$  95th percentile (R95p) and annual total precipitation in wet days (PRCPTOT). For detecting significant statistically trends, it was used the Mann-Kendall test. The magnitude of the trends was obtained by the Sen estimator. The results have shown two homogeneous regions of intense precipitation. Region 2, composed by areas of the Baixadas Litorâneas, southeast of the Metropolitan region and south of North Fluminense, presented more intense rainfall than the other areas of the State (region 1). Region 2 has also presented a larger number of extreme indicators with significant trends (at 95% of confidence level), being in their majority represented by increased precipitation. In SDII, the magnitudes were higher than or equal to +0,16 mm/day/year in Porciúncula, Conceição de Macabu, Cachoeiras de Macacu and Nova Friburgo.

**Keywords:** homogeneous regions of intense precipitation, climate extreme indicators, trend analysis.

### 1. Introdução

Nas últimas décadas, os desastres naturais têm se tornado cada vez mais frequentes devido a diversos

fatores, como o crescimento populacional, as modificações do uso e ocupação do solo e as mudanças climáticas, tanto de origem natural ou antrópica (Marcelino,

2008). No Estado do Rio de Janeiro (ERJ), e no Brasil de uma forma geral, a maior parte dos desastres está associada a eventos extremos de precipitação (CEPED UFSC, 2013).

São muitos os fatores que podem favorecer os eventos climáticos extremos, sendo que uma das principais preocupações da sociedade contemporânea em relação às projeções futuras do clima diz respeito às possíveis mudanças na frequência e intensidade dos extremos climáticos. O Sudeste do Brasil é uma das regiões cujas projeções climáticas geradas por modelos globais e regionais apontam mudanças na frequência e/ou intensidade dos extremos de precipitação (Marengo *et al.*, 2009; Kitoh *et al.*, 2011; Chou *et al.*, 2014; Silva e Dereczynski, 2014; Silva *et al.*, 2014; Giorgi *et al.*, 2014; Lyra *et al.*, 2018; Avila-Diaz *et al.*, 2020).

As mudanças nos extremos climáticos podem causar impactos significativos nas atividades humanas, como a agricultura e o gerenciamento de recursos hídricos. Nesse contexto, indicadores de extremos climáticos vêm sendo utilizados em todo o mundo, a fim de detectar mudanças na frequência e intensidade dos extremos relacionados à temperatura do ar e à precipitação (Zhang *et al.*, 2011; Sillmann *et al.*, 2013a,b; Donat *et al.*, 2013a,b).

No Sudeste do Brasil, as projeções futuras dos indicadores de extremos climáticos associados à precipitação indicam tendência de aumento de dias secos consecutivos e redução de dias úmidos (Lyra *et al.*, 2018; Avila-Diaz *et al.*, 2020). Entretanto, de acordo com as projeções de cenários futuros analisadas no estudo de Avila-Diaz *et al.* (2020), a frequência e a intensidade de dias extremamente úmidos devem aumentar.

Silva *et al.* (2014) analisaram projeções futuras (2041-2070) de alguns indicadores de extremos climáticos para o ERJ utilizando o modelo regional Eta-HadCM3 e encontraram projeções que apontam o aumento de dias secos consecutivos. Também detectaram o aumento nos totais pluviométricos das chuvas mais intensas, principalmente na porção sul do ERJ, com uma faixa de dispersão entre +50 e +300 mm.

Paralelamente, Silva e Dereczynski (2014) analisaram três indicadores de extremos climáticos relativos à precipitação, com base em dados de postos pluviométricos localizados no ERJ. Os autores encontraram tendência estatisticamente significativa (ao nível de confiança de 95%) de aumento nos totais pluviométricos anuais nas Baixadas Litorâneas (entre +4,0 e +32,0 mm/ano) e elevação significativa nos totais pluviométricos das chuvas mais intensas do ano (entre +2,0 e +20,0 mm/ano), na região dos Lagos (área costeira das Baixadas Litorâneas) e em parte da região Metropolitana. Contudo, esses autores não analisaram indicadores relacionados à intensidade da precipitação diária, como a máxima precipitação diária anual e o índice de intensidade diária simples.

Para tanto, estudos de detecção de mudanças na intensidade da precipitação diária são úteis no sentido de orientar atividades em diversos setores da sociedade, como defesa civil, agricultura, planejamento urbano, entre outros. Diante do exposto, com o presente trabalho, objetivou-se analisar a intensidade e tendência dos eventos de precipitação intensa no Estado do Rio de Janeiro.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Dados

Para realização deste estudo, foram utilizados dados diários de precipitação da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Após a verificação da qualidade dos dados, foram selecionados 53 postos pluviométricos com dados consistentes de 1968 a 2017, que estão relativamente bem distribuídos no ERJ, conforme ilustrado na Fig 1. Esses postos pluviométricos apresentaram nas séries temporais diárias para o período de 1970 a 2016, um percentual de falhas inferior a 4%.

### 2.2. Análise de agrupamento

Para determinar as regiões homogêneas, foi utilizada a análise de agrupamento (ou análise de cluster), técnica multivariada que vem sendo utilizada por diversos pesquisadores, entre eles, Keller Filho *et al.* (2005); André *et al.* (2008); Santos *et al.* (2015) e Tinôco *et al.* (2018). No presente estudo, as médias mensais (1968-2017) das precipitações diárias intensas (Precipitação  $\geq$  Percentil 95) dos 53 postos pluviométricos foram utilizadas como variáveis para determinar as regiões homogêneas. A estimativa dos percentis foi baseada apenas nos registros em que a precipitação foi diferente de 0 mm, ou seja, foram excluídos os dias sem chuvas.

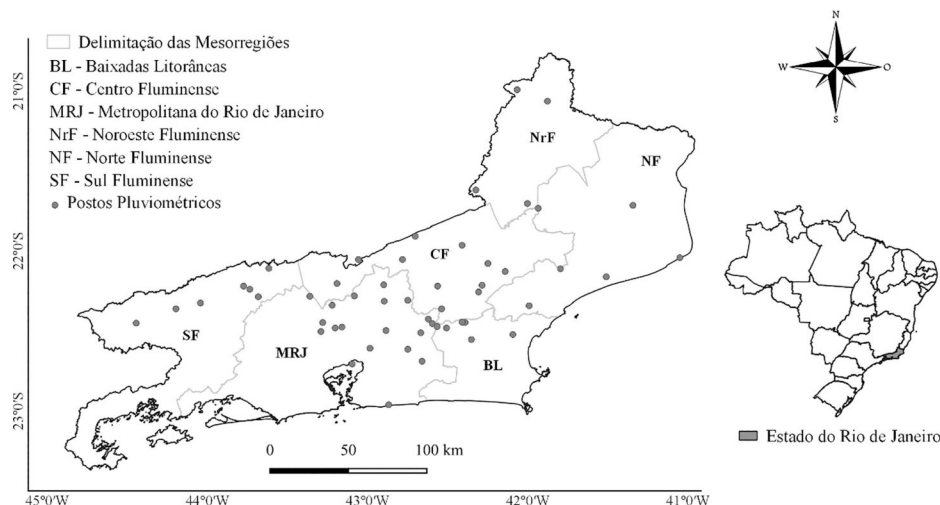
A primeira etapa do processo de agrupamento consiste em avaliar uma medida de similaridade ou dissimilaridade. Neste trabalho, utilizou-se a distância euclidiana, que é a uma das medidas indicadas para regionalização de dados climáticos (Mimmack *et al.*, 2001).

A distância euclidiana entre dois elementos  $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$  e  $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$ , num espaço euclidiano  $n$ -dimensional, pode ser definida por meio da Eq. (1):

$$d_{xy} = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

onde  $X_i$  e  $Y_i$  são os elementos a serem comparados, ou seja, as médias mensais (normais climatológicas) de precipitação dos 53 postos pluviométricos.

Em seguida, utilizou-se o método hierárquico aglomerativo de Ward (Ward, 1963), que visa unir elementos



**Figura 1** - Localização dos postos pluviométricos distribuídos no Estado do Rio de Janeiro utilizados neste estudo.

que tornem os grupos formados o mais homogêneo possível, de forma a buscar a menor variância entre os agrupamentos, juntando os elementos cuja soma dos quadrados entre eles seja mínima ou que o erro dessa soma seja mínimo (Hervada-Sala e Jarauta-Bragulat, 2004).

### 2.3. Índice Silhouette

Para avaliar a qualidade dos grupos formados pela análise de agrupamento, foi utilizado o Índice Silhouette (IS), que avalia o quanto uma observação é semelhante às outras observações do seu grupo ao comparar com observações inseridas em outros grupos. Os valores desse índice oscilam no intervalo  $[-1, 1]$ . Isto é, quanto mais próximos a 1, indicam que objeto está alocado no grupo correto, enquanto valores próximos a -1 sugerem que a observação está provavelmente em um grupo inadequado. Os valores próximos a 0 apontam que o objeto está próximo à fronteira entre dois grupos e não pertencem a um grupo ou outro.

Cada observação apresenta um IS e uma média geral de todas as observações, permitindo avaliar o desempenho geral do agrupamento. O  $IS(n)$  é calculado de acordo com a Eq. (2) (Rousseeuw, 1987):

$$IS(n) = \frac{b(n) - a(n)}{\max\{a(n), b(n)\}} \quad (2)$$

sendo  $n$  o objeto em avaliação,  $a(n)$  é a média das distâncias entre os objetos dentro do mesmo grupo, e  $b(n)$  é a média dos objetos a todos os outros alocados nos grupos mais próximos. A qualidade global do agrupamento pode ser medida por meio da média de  $IS(n)$ , conforme a Eq. (3):

$$\bar{IS} = \frac{\sum_{n=1}^N IS(n)}{N} \quad (3)$$

onde  $N$  representa o total de observações.

### 2.4. Indicadores de extremos climáticos

Neste estudo, foram utilizados quatro indicadores de extremos climáticos derivados dos dados diários de precipitação, conforme definidos na Tabela 1.

### 2.5. Análise de tendência

Para verificar se existe tendência positiva ou negativa nos indicadores de extremos climáticos, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), que é amplamente utilizado para detectar tendências em séries temporais de variáveis meteorológicas (Yue *et al.*, 2002; Lopes e Silva, 2013; Santos *et al.*, 2015; Salviano *et al.*, 2016).

Dada uma série temporal  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ , no teste de Mann-Kendall, deseja-se testar a hipótese nula ( $H_0$ ), de que não exista tendência na série de dados, ou seja, as

**Tabela 1** - Definição dos indicadores de extremos climáticos utilizados neste estudo.

| Indicadores | Definição  | Unidade |
|-------------|--|---------|
| Rx1day      | Máxima precipitação anual em 1 dia   | mm      |
| SDII        | Índice de intensidade diária simples<br>(Precipitação média anual quando a precipitação $\geq 1,0$ mm) | mm      |
| R95p        | Precipitação total anual de dias em que a precipitação $\geq$ percentil 95                             | mm      |
| PRCPTOT     | Precipitação total anual em dias úmidos<br>(Precipitação $\geq 1,0$ mm)                                | mm      |

Fonte: Adaptado de Sillmann *et al.* (2013a).

observações  $x_n$  são aleatoriamente ordenadas no tempo, em oposição à hipótese alternativa ( $H_1$ ), na qual existe uma tendência monotônica de aumento ou redução. A estatística do teste é calculada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sinal}(x_j - x_k) \quad (5)$$

sendo  $x_j$  e  $x_k$  valores sequenciais,  $n$  é o número de observações e, o sinal é obtido da seguinte forma:

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Kendall (1975) mostra que  $S$  é normalmente distribuída, e a média ( $\mu$ ) e a variância  $\sigma^2$  de  $S$ , para uma situação na qual pode haver valores iguais de  $x$ , são calculadas por:

$$\mu = 0 \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (8)$$

em que  $P$  é o número de grupos com observações iguais na série temporal e  $t_j$  é o número de observações iguais no grupo  $j$ .

Em um teste bilateral, não se rejeita a hipótese nula ( $H_0$ ), para um certo nível de significância  $\alpha$ , se dado o valor do quantil  $Z_{\alpha/2}$  de uma distribuição normal padrão temos  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ .

Para estimar a magnitude da tendência, foi utilizado o estimador de Sen (Sen, 1968). Primeiramente, calculam-se todos os declives entre cada par de variáveis  $j$  e  $k$ :

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ com } j > k, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

onde  $X_j$  e  $X_k$  representam os valores da variável em estudo nos anos  $j$  e  $k$ .

Se existirem  $n$  valores na série analisada, então o número de pares estimados de  $Q$  é dado por  $N = n(n-1)/2$ . O estimador de declive de Sen é a mediana dos  $N$  valores de  $Q_i$ .

### 3. Resultados e Discussão

Na Fig. 2a é apresentado o dendrograma obtido pelo método hierárquico aglomerativo de Ward, com a distância euclidiana como medida de similaridade e, as médias mensais (1968-2017) das precipitações diárias intensas (Precipitação  $\geq$  Percentil 95) dos 53 postos pluviométricos do ERJ como variável de agrupamento. O eixo das ordenadas exibe a distância euclidiana, no qual, quanto maior o seu valor, menor a similaridade dos dados.

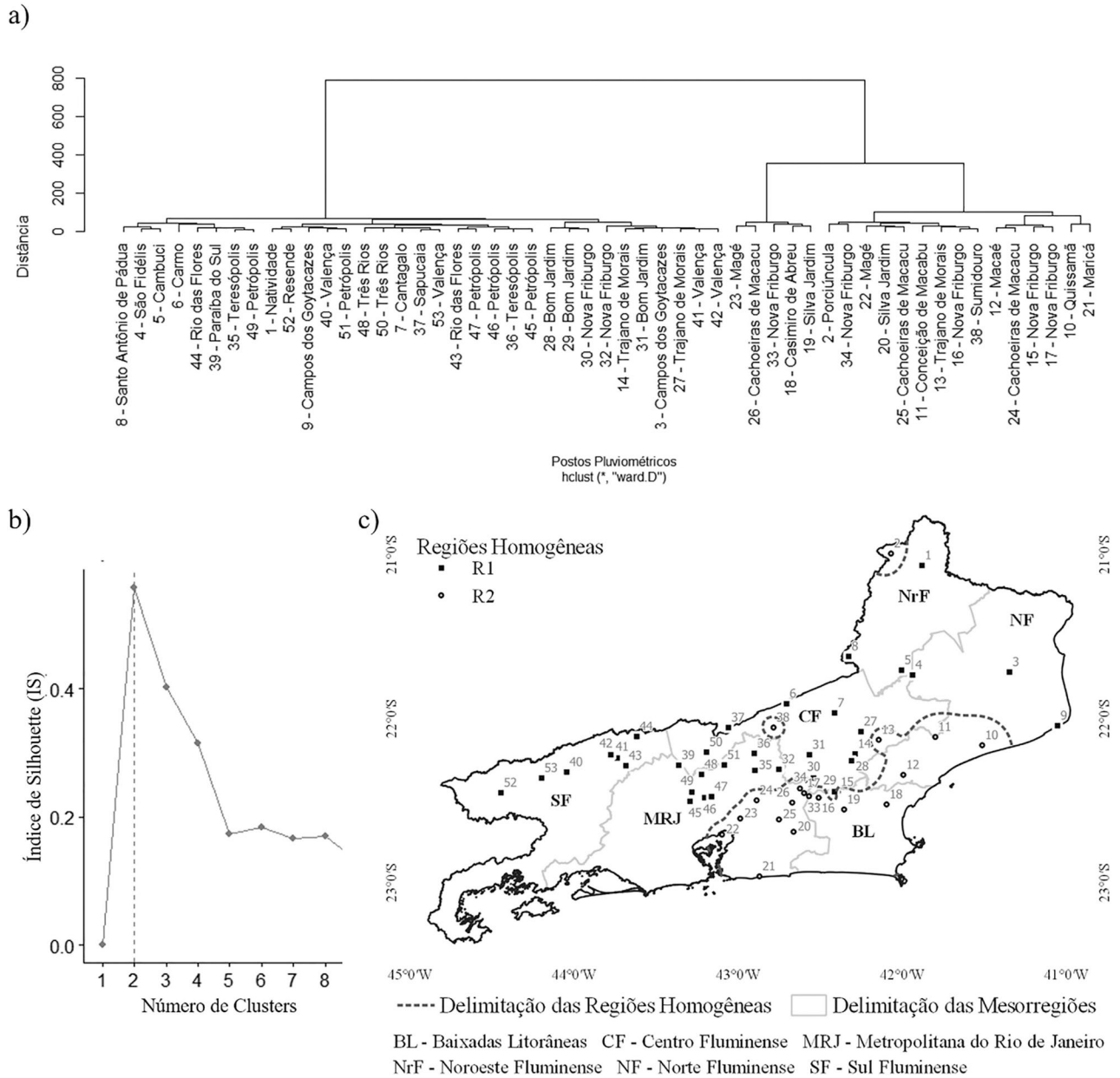
De acordo com o dendrograma (Fig. 2a), é possível perceber a formação de dois ou três grupos, conforme o corte escolhido na distância (eixo vertical). Para auxiliar na definição da quantidade de grupos e avaliar a qualidade dos mesmos, foi utilizado o IS (Fig. 2b), que mostrou o melhor resultado (maior IS) na formação de dois grupos, que correspondem as regiões homogêneas. Na Fig. 2c, são mostradas a distribuição espacial dos postos pluviométricos e a delimitação das regiões homogêneas. Observa-se que a região 2 (R2) abrange áreas das Baixadas Litorâneas, sudeste da Metropolitana do Rio de Janeiro e sul do Norte Fluminense; enquanto a região 1 (R1) abrange as demais áreas do estado, com exceção das áreas de três postos pluviométricos, um localizado no Noroeste Fluminense e dois no Centro Fluminense.

Na Fig. 3 são apresentados os valores dos percentis 95 das séries temporais de precipitação diária (Fig. 3a) e as médias (1968-2017) das precipitações iguais ou superiores ao percentil 95 (Fig. 3b).

Observa-se que a R2 apresenta precipitações diárias mais elevadas em relação a R1, principalmente na fronteira da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, áreas que também apresentam os maiores totais pluviométricos anuais (entre 2.500 e 2.800 mm), conforme constatado por Silva e Dereczynski (2014).

André *et al.* (2008) também identificaram regiões homogêneas de precipitação no ERJ, mas com base nas médias mensais da precipitação para o período de 1971 a 2000. Para esses autores, a melhor classificação para a distribuição espacial da precipitação no estado foi a de seis regiões homogêneas. Logo, das seis regiões, duas apresentaram maior precipitação em relação às demais: a encosta sul da Serra do Mar e parte da Serra da Mantiqueira, com precipitação média anual variando de 2.126,29 a 2.605,86 mm, e a encosta da Serra do Mar e região Sul Fluminense, com precipitação média variando de 1.804,62 a 2.202,03 mm. Nas regiões homogêneas de precipitação intensa determinadas neste estudo, observa-se que a região que apresentou precipitações mais intensas, (R2), corresponde as regiões mais chuvosas observadas por André *et al.* (2008).

Na R2, os valores dos percentis 95 das séries temporais de precipitação diária foram superiores a 45 mm na maioria dos postos pluviométricos. Por outro lado, na R1, os valores estão entre 30 e 45 mm (Fig. 3a). Em relação às



**Figura 2** - a) Dendrograma de agrupamento para os 53 postos pluviométricos utilizados, b) Índice de Silhouette (IS) com a indicação do melhor número de clusters e c) Distribuição espacial dos postos pluviométricos e delimitação das regiões homogêneas do ERJ.

médias das precipitações diárias iguais ou superiores ao percentil 95 (Fig. 3b), observa-se que os valores foram superiores a 60 mm na R2 e inferiores a 60 mm na maioria dos postos pluviométricos na R1.

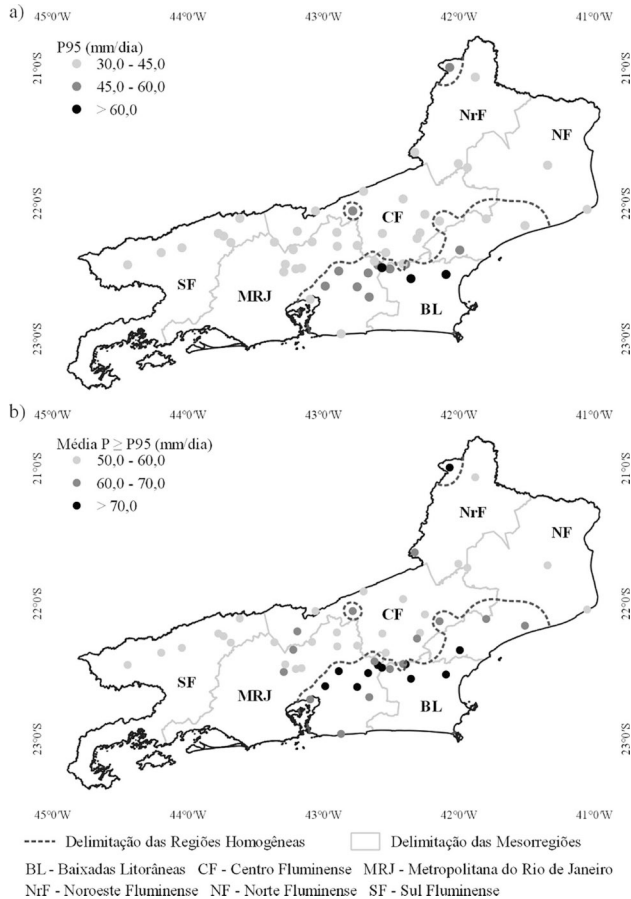
Na Fig. 4 são apresentados os valores médios (1968-2017) do índice de intensidade diária simples (SDII) e da máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day).

De maneira geral, nota-se que as precipitações são mais intensas na R2. No SDII (Fig. 4a), 30 (~ 91%) postos pluviométricos localizados na R1 apresentaram valores menores que 15 mm/dia, enquanto na R2, mais da metade (65% - 13 postos pluviométricos) possuem SDII maiores

que 15 mm/dia. Na Rx1day (Fig. 4b), 26 (~ 79%) postos localizados na R1 apresentaram valores inferiores a 80 mm/dia, enquanto na R2, os valores foram superiores a 80 mm/dia, com Rx1day superiores a 100 mm/dia em 9 (45%) postos pluviométricos.

Na Fig. 5 são apresentados os valores médios (1968-2017) da precipitação total anual de dias em que a precipitação é maior ou igual ao percentil 95 (R95p) e da precipitação total anual em dias úmidos (PRCPTOT).

Na R95p (Fig. 5a), 14 (~ 70%) postos pluviométricos localizados na R2 apresentaram valores maiores que 400 mm/ano, ao mesmo tempo em que na R1, a maioria



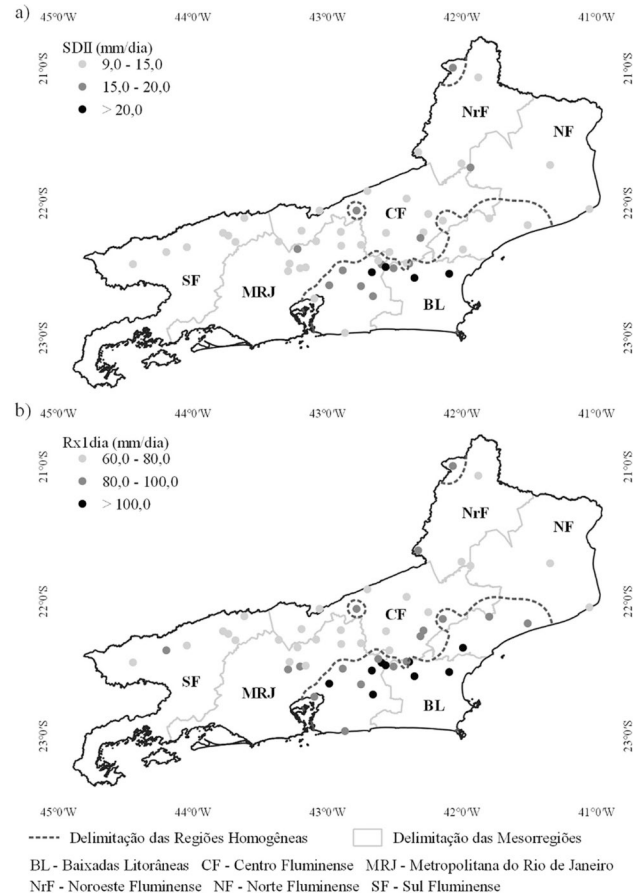
**Figura 3** - a) Valores dos percentis 95 (P95) das séries temporais de precipitação diária (mm/dia) e b) Médias das precipitações iguais ou superiores ao percentil 95 ( $P \geq P95$ , mm/dia), referente ao período de 1968 a 2017.

(19 postos - 56%) obtiveram R95p menores que 320 mm/ano. Na PRCPTOT (Fig. 5b), 31 (~ 94%) postos pluviométricos localizados na R1 apresentaram valores entre 700 e 1.500 mm/ano, enquanto na R2, 14 (70%) possuem PRCPTOT superiores a 1.500 mm/ano.

De forma geral, observa-se que as precipitações menos intensas são registradas no norte da região Norte Fluminense, com valores menores que 255 mm/ano na R95p e entre 711 e 1.002 mm/ano na PRCPTOT. Vale ressaltar que o Norte Fluminense é a região mais seca do estado, com totais pluviométricos anuais em torno de 870 mm (1971-2000) segundo André *et al.* (2008) e 1.033 mm (1979-2009) segundo Sobral *et al.* (2018).

Nas Figs. 6-7 são apresentados os resultados do estimador de Sen e do teste de Mann-Kendall para os quatro indicadores de extremos climáticos (Rx1day, SDII, R95p e PRCPTOT).

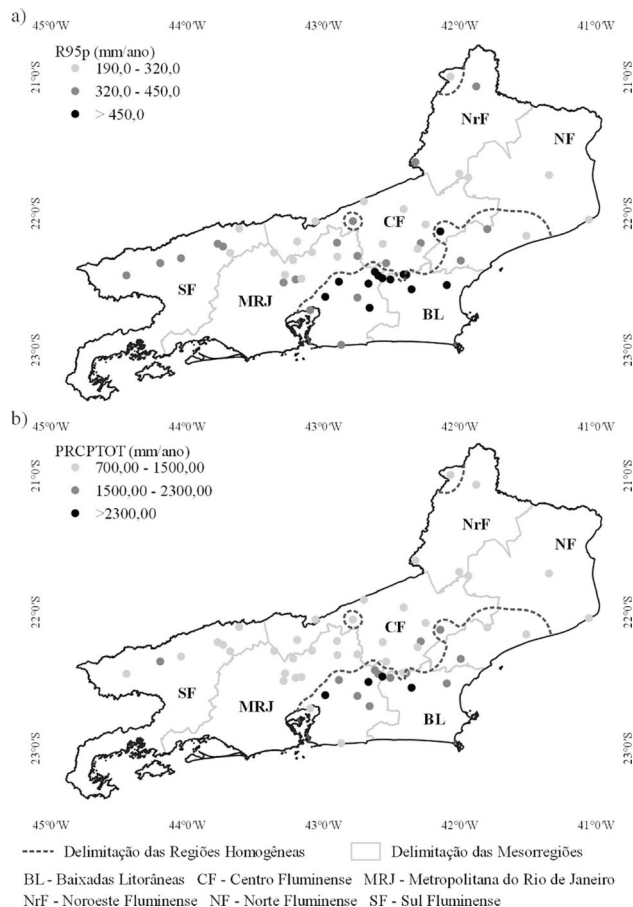
Na Fig. 6a, observam-se as magnitudes das tendências da intensidade diária simples (SDII), com valores entre -0,15 e +0,20 mm/dia/ano. Na R1, 4 postos pluviométricos apresentaram tendência significativa (ao nível de



**Figura 4** - a) Índice de intensidade diária simples (SDII, mm/dia) e b) Máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day, mm/dia). Valores médios para o período de 1968 a 2017.

significância de 5%) de aumento e outros 4 registraram tendência significativa de redução no SDII. Entre eles, destacam-se dois localizados em Nova Friburgo, com magnitudes de +0,16 mm/dia/ano e +0,14 mm/dia/ano e dois localizados em Valença e Campos dos Goytacazes, com magnitudes de -0,15 mm/dia/ano e -0,14 mm/dia/ano. Na R2, 10 postos pluviométricos apresentaram tendência significativa de aumento e 2 de redução no SDII. Entre eles, destacam-se as tendências observadas em Porciúncula, Conceição de Macabu, Cachoeiras de Macacu e Nova Friburgo, com magnitudes maiores ou iguais a +0,16 mm/dia/ano e 1 posto localizado em Nova Friburgo, que registrou magnitudes de -0,10 mm/dia/ano.

Na Fig. 6b são apresentadas as magnitudes das tendências observadas da máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day). Na R1, 2 postos pluviométricos localizados no Município de Bom Jardim e 1 localizado no Município de Teresópolis, apresentaram tendência significativa de aumento de Rx1day, com magnitudes de +0,64; +0,33 e +0,44 mm/ano, respectivamente. Por outro lado, 2 postos registraram tendência significativa de redução, um localizado em Petrópolis (-0,52 mm/ano) e outro em

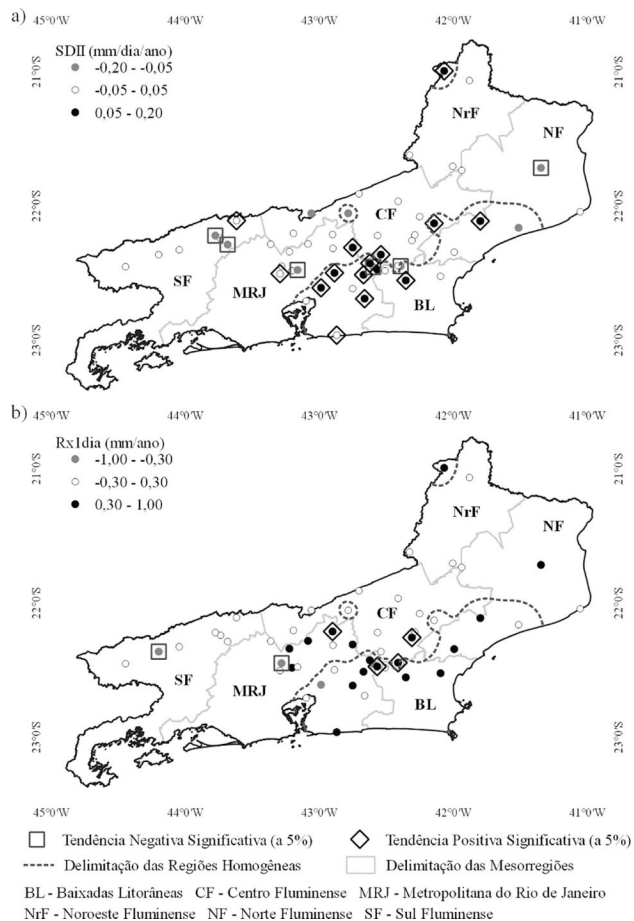


**Figura 5** - a) Precipitação total anual de dias em que a precipitação  $\geq$  percentil 95 (R95p, mm/ano) e b) Precipitação total anual em dias úmidos, quando a precipitação  $\geq 1,0$  mm (PRCPTOT, mm/ano). Valores médios para o período de 1968 a 2017.

Valença (-0,55 mm/ano). Já na R2, apenas 1 posto (localizado em Nova Friburgo) apresentou tendência significativa, que foi de aumento de Rx1day com magnitude de +0,91 mm/ano.

Na Fig. 7a são apresentadas as magnitudes das tendências observadas da precipitação total anual de dias em que a precipitação é maior ou igual ao percentil 95 (R95p). Na R1, 3 postos pluviométricos apresentaram tendência significativa de aumento de R95p, com magnitudes de +2,40 mm/ano (Santo Antônio de Pádua), +7,13 mm/ano (Trajano de Moraes) e +3,58 mm/ano (Teresópolis). Na R2, 5 postos apresentaram tendências estatisticamente significativas (ao nível de significância de 5%) na R95p, sendo de aumento em 3 postos, com magnitudes de +3,54 mm/ano (Magé), +8,27 mm/ano (Cachoeiras de Macacu) e +15,38 mm/ano (Nova Friburgo) e, de redução de -7,38 mm/ano em Nova Friburgo e -7,22 mm/ano em Silva Jardim.

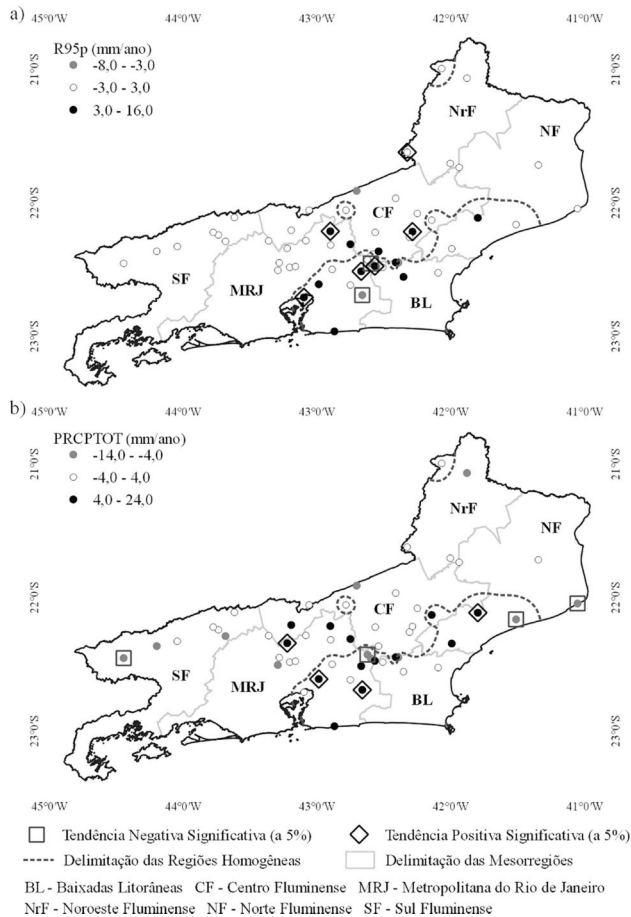
Os resultados observados na Fig. 7a estão de acordo com os encontrados por [Silva e Dereczynski \(2014\)](#), que observaram um aumento significativo dos totais pluvio-



**Figura 6** - Magnitudes das tendências observadas: a) Índice de intensidade diária simples (SDII, mm/dia/ano) e b) Máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day, mm/ano), calculadas por meio do estimador de declive de Sen. Os quadrados (losangos) representam tendências de diminuição (aumento) estatisticamente significativas ao nível de 5% por meio do teste de Mann-Kendall.

métricos das chuvas mais intensas do ano (R95p) nas Baixadas Litorâneas e em parte da região Metropolitana, com magnitudes variando entre +2,0 e +20,0 mm/ano.

Na Fig. 7b são apresentadas as magnitudes das tendências observadas da precipitação total anual em dias úmidos (PRCPTOT). Na R2, houve tendência significativa de aumento de PRCPTOT nos postos pluviométricos localizados nos Municípios de Conceição de Macabu (+9,6 mm/ano), Silva Jardim (+13,96 mm/ano) e Magé (+23,63 mm/ano). Em Quissamã e Nova Friburgo foram detectadas tendências significativas de redução, com magnitudes de -5,75 e -12,60 mm/ano, respectivamente. Na R1, foram encontradas tendências significativas de redução nos postos localizados em Campos dos Goytacazes (-4,97 mm/ano) e Resende (-6,38 mm/ano) e tendência significativa de aumento no posto localizado em Três Rios (+10,77 mm/ano). De maneira geral, esses resultados também estão de acordo com [Silva e Dereczynski \(2014\)](#), que observaram tendência significativa de aumento de



**Figura 7 -** Magnitudes das tendências observadas (mm/ano): a) Precipitação total anual de dias em que a precipitação  $\geq$  percentil 95 (R95p) e b) Precipitação total anual em dias úmidos, quando a precipitação  $\geq$  1,0 mm (PRCPTOT), calculadas por meio do estimador de declive de Sen. Os quadrados (losangos) representam tendências de diminuição (aumento) estatisticamente significativas ao nível de 5% por meio do teste de Mann-Kendall.

PRCPTOT nas Baixadas Litorâneas, com magnitudes entre +4,0 e +32,0 mm/ano.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho, estudou-se o comportamento dos eventos de precipitação intensa no Estado do Rio de Janeiro. Para isso, foram determinadas regiões homogêneas de precipitação intensa e analisados indicadores de extremos climáticos derivados de dados de precipitação diária. Além disso, foi verificado se existe tendência na intensidade desses eventos.

Os resultados obtidos indicaram que o Estado do Rio de Janeiro apresenta duas regiões homogêneas de precipitação intensa (R1 e R2). A R2, composta pelas áreas das Baixadas Litorâneas, sudeste da Metropolitana do Rio de Janeiro e sul do Norte Fluminense, apresentou precipitações mais intensas que as demais áreas do estado (R1), com índice de intensidade diária simples (SDII) maior que

13,22 mm/dia e máxima precipitação anual em 1 dia (Rx1day) maior que 80 mm/dia em todos os postos pluviométricos.

Na análise de tendência, de forma geral, a R2 apresentou maior número de postos pluviométricos com tendências estatisticamente significativas (ao nível de significância de 5%) nos indicadores de extremos climáticos analisados, que em sua maioria, foram de aumento de precipitação. Destacam-se os Municípios de Porciúncula, Conceição de Macabu, Cachoeiras de Macacu e Nova Friburgo, com magnitudes maiores ou iguais a +0,16 mm/dia/ano no SDII. Na Rx1day, destaca-se 1 posto pluviométrico localizado em Nova Friburgo, com magnitude de +0,91 mm/ano.

No entanto, também foram observadas tendências negativas significativas, sugerindo que a intensidade das precipitações intensas vem aumentando ou diminuindo em uma escala local. Na R1, por exemplo, destacam-se os postos pluviométricos localizados em Campos dos Goytacazes e Valença, que registraram tendência significativa de redução no SDII, com magnitudes de -0,14 mm/dia/ano e -0,15 mm/dia/ano, respectivamente.

Espera-se, assim, que este estudo possa fornecer subsídios para o planejamento estratégico de medidas preventivas de enfrentamento aos possíveis danos causados por desastres naturais associados a chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro, principalmente no tocante aos municípios que demonstraram aumento na intensidade das precipitações intensas.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pela disponibilidade dos dados.

#### Referências

- ANDRÉ, R.G.B.; MARQUES, V.S.; PINHEIRO, F.M.A.; FERRAUDO, A.S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, p. 501-509, 2008. DOI
- AVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. *Climate Dynamics*, v. 55, n. 5, p. 1403-1426, 2020. DOI
- CEPED UFSC – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012*. 2 ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. Disponível em <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>, acesso em 10 mai. 2020.
- CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I. *et al.* Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scena-



- rios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 5, p. 512, 2014. DOI
- DONAT, M.G.; ALEXANDER, L.V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R. *et al.* Global land-based datasets for monitoring climatic extremes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 7, p. 997-1006, 2013a. DOI
- DONAT, M.G.; ALEXANDER, L.V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R. *et al.* Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 5, p. 2098-2118, 2013b. DOI
- GIORGI, F.; COPPOLA, E.; RAFFAELE, F. A consistent picture of the hydroclimatic response to global warming from multiple indices: Models and observations. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, n. 20, p. 11,695-11,708, 2014. DOI
- HERVADA-SALA, C.; JARAUTA-BRAGULAT, E. A program to perform Ward's clustering method on several regionalized variables. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 8, p. 881-886, 2004. DOI
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005. DOI
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.
- KITOH, A.; KUSUNOKI, S.; NAKAEGAWA, T. Climate change projections over South America in the late 21st century with the 20 and 60 km mesh Meteorological Research Institute atmospheric general circulation model (MRI-AGCM). **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, n. D6, 2011. DOI
- LOPES, J.R.F.; SILVA, D.F. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 3, p. 192-208, 2013.
- LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DEREZYNKI, C. *et al.* Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, n. 1-2, p. 663-682, 2018. DOI
- MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. The econometric society. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.
- MARCELINO, E.V. **Desastres Naturais e Geotecnia: Conceitos Básicos, v. 1**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2008. Disponível em <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>, acesso em 27 mai. 2020.
- MARENCO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. DOI
- MIMMACK, G.M.; MASON, S.J.; GALPIN, J.S. Choice of distance matrices in cluster analysis: defining regions. **Journal of Climate**, v. 14, n. 12, p. 2790-2797, 2001. DOI
- ROUSSEUW, P.J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53-65, 1987. DOI
- SALVIANO, M.F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016. DOI
- SANTOS, E.B.; LUCIO, P.S.; SILVA, C.M.S. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1041-1052, 2015.
- SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI
- SILLMANN, J.; KHARIN, V.V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 4, p. 1716-1733, 2013a. DOI
- SILLMANN, J.; KHARIN, V.V.; ZWIERS, F.W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 6, p. 2473-2493, 2013b. DOI
- SILVA, W.L.; DEREZYNKI, C.P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014. DOI
- SILVA, W.L.; DEREZYNKI, C.P.; CHOU, S.C.; CAVALCANTI, I.F.A. Future changes in temperature and precipitation extremes in the state of Rio de Janeiro (Brazil). **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 353-365, 2014. DOI
- SOBRAL, B.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; TERASSI, P.M.B.; MUNIZ JÚNIOR, J.G.R. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. DOI
- TINÓCO, I.C.M.; BEZERRA, B.G.; LUCIO, P.S.; BARBOSA, L.M. Caracterização dos padrões de precipitação no semi-árido brasileiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 397-409, 2018. DOI
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963. DOI
- YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1-4, p. 254-271, 2002. DOI
- ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G.C.; JONES, P.; TANK, A.K. *et al.* Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011. DOI