

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **AValiação DA OCORRÊNCIA DE SECAS TRIMESTRAIS NA BACIA DO RIO DOCE POR DIFERENTES ÍNDICES DE SEVERIDADE DE SECA**

*Rafael Petruceli Coelho Lima<sup>1</sup>; Demetrius David da Silva<sup>2</sup>; Jéssica Bandeira de Melo Carvalho Passos<sup>3</sup> & Michel Castro Moreira<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Visando caracterizar a ocorrência e classificar a intensidade de secas na bacia hidrográfica do rio Doce foram avaliados quatro índices de seca: Índice de Porcentagem Normal (IPN), Método dos Decis (MD), Índice de Anomalia de Chuva (RAI) e Índice de Precipitação Padronizada (SPI), os quais foram calculados na escala de tempo trimestral a partir de dados de precipitação de 89 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Trabalhou-se com nove unidades de análises (UAs) na bacia, sendo utilizado o método dos Polígonos de Thiessen para obtenção da precipitação média nas respectivas áreas de drenagem. Os índices foram calculados para cada UA e, em seguida, relacionados às classes de intensidade: seca moderada (SM), seca severa (SS), seca extrema (SE) e, também classe normal (N). Após a análise de frequências médias de ocorrências de classes de intensidade de secas, observou-se que dentre os índices, os resultados obtidos pelo RAI e SPI apresentaram comportamento bem próximo de uma distribuição normal, em que os eventos moderados foram os mais presentes e, em número bem menor, os eventos extremos. Devido à sua maior simplicidade de cálculo o índice RAI apresenta maior potencial de uso de monitoramento de secas na bacia.

**ABSTRACT**– In order to characterize the occurrence and classification of drought intensity in the Doce river basin, four indices were evaluated: Normal Percentage Index (IPN), Decis Method (MD), Rainfall Anomaly Index (RAI) and Standardized Precipitation Index (SPI). They were calculated on the quarterly time scale, based on precipitation data from 89 rain stations belonging to the hydrometeorological network of the Brazilian National Water Agency (ANA). Nine units of analysis (UAs) were used in the basin, using the Thiessen Polygons method to obtain the average rainfall in the respective drainage areas. The indices were calculated for each UA and then related to the intensity classes: moderate dry (SM), severe dry (SS), extreme dry (SE) and also the normal (N) class. After the analysis of average frequencies of occurrences of drought intensity classes, it was observed that among the indices, the frequencies calculated for the RAI and SPI index were very close to that of a normal distribution, where moderate events are more present and, in much smaller numbers, extreme events. Due to its simplicity of calculation, the RAI index presents a greater potential of use of monitoring of droughts in the basin.

**Palavras-Chave** – precipitação, estação pluviométrica, condição climática

1) Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil, rafael.petruceli@gmail.com

2) Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil, (31) 3899-1904, demetrius.ufrv@gmail.com

3) Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, Brasil, jessicabmelo@gmail.com

4) Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Rua Professor José Seabra de Lemos, 316, Recanto dos Pássaros, 47808-021 Barreiras, BA, Brasil, michelcm@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A seca é definida por Hayes *et al.* (2011) como o déficit de precipitação em relação às médias históricas de uma determinada região. Enquanto alguns desastres ambientais como cheias, terremotos e furações se restringem a danos estruturais e possuem início e fim repentinos, a seca, segundo Byun e Wilhite (1999), é uma situação temporária, com duração, magnitude e severidade, que se espalha por grande área geográfica, quase sempre com início lento e extensa duração (Mishra e Singh, 2010).

Por se tratar de um evento natural, recorrente e complexo, são feitas tentativas para prever seu início, fim e severidade. Esse processo envolve o cálculo de índices de seca, que incorporam dados hidrometeorológicos, os quais fornecem informações sobre secas históricas servindo para monitorar as condições atuais (Santos *et al.*, 2013).

Fernandes *et al.* (2010) afirmam que inúmeros são os índices de seca, no entanto, é importante a adoção de diferentes índices, para uma avaliação de desempenho. Dentre os diversos índices destacam-se: Índice de Porcentagem Normal – IPN, Método dos Decis – MD (Gibbs e Maher, 1967), Índice de Anomalia de Chuva – RAI (Rooy, 1965) e Índice de Precipitação Padronizada – SPI (McKee *et al.*, 1993).

É comum a aplicação dos índices de seca em diferentes áreas de estudo ao longo do território brasileiro. Destaca-se o grande número de pesquisas direcionadas à região nordeste (Oliveira Junior *et al.*, 2012; Macedo *et al.*, 2010), devido ao predomínio do clima semiárido, marcado por baixa precipitação volumétrica e estiagem prolongada.

Neste contexto, pretende-se caracterizar a intensidade e o número de ocorrências de seca na bacia hidrográfica do rio Doce na escala de tempo trimestral e verificar, dentre os índices utilizados (IPN, MD, RAI e SPI), qual ou quais têm maior potencial de uso para o monitoramento de secas.

## MATERIAL E MÉTODOS

De modo a conduzir o estudo de forma mais organizada e eficiente, a bacia do rio Doce foi dividida em nove unidades de análise (UA), estando seis delas em Minas Gerais e três na parte capixaba da bacia, conforme a Figura 1.

Foram utilizadas séries históricas mensais de precipitação das estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas - ANA localizadas dentro e no entorno da bacia hidrográfica do rio Doce. Adotou-se o mesmo período-base, de 1985 a 2015, para todas as 89 estações pluviométricas, satisfazendo o critério da utilização de, no mínimo, 30 anos de dados. Destaca-se que o ano hidrológico adotado na bacia do rio Doce teve início em outubro e final

em setembro, conforme Marques (2010), e, por essa razão, adotou-se o início do período em outubro de 1985 e o término em setembro de 2015 (360 meses).

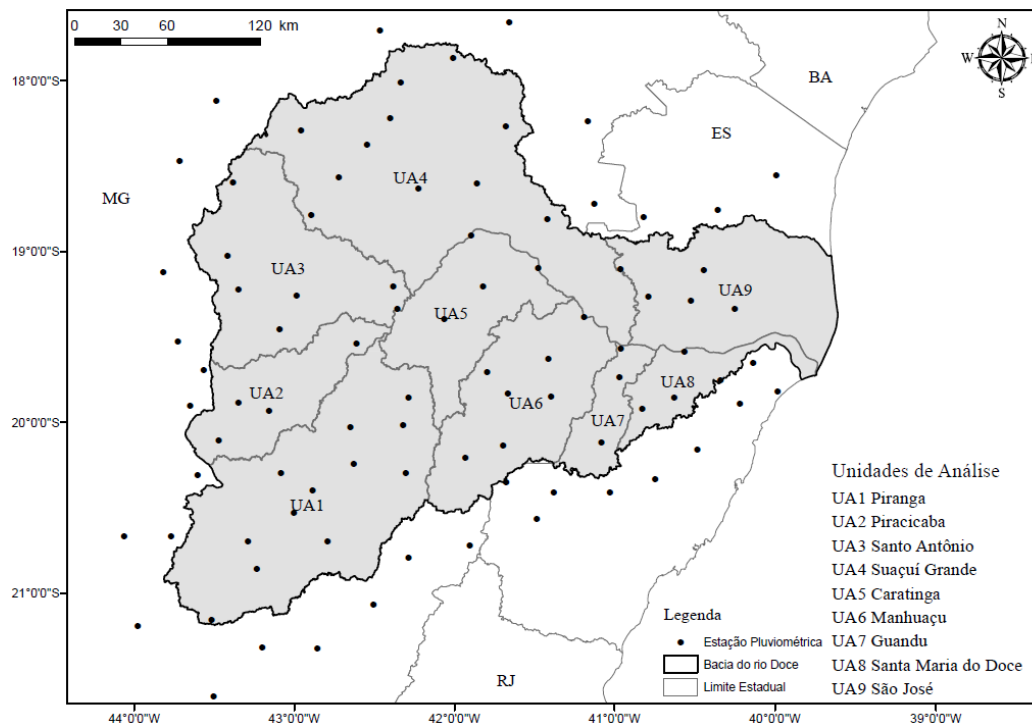


Figura 1 – Unidades de análise (UAs) e estações pluviométricas da rede hidrometeorológica da ANA selecionadas para o estudo na bacia do rio Doce

Utilizou-se o método da regressão linear simples para o preenchimento de falhas mensais nas estações utilizadas, conforme recomendado por Pruski *et al.* (2004).

De forma a avaliar a seca em toda a área de estudo, utilizou-se a precipitação média mensal para cada uma das UAs da bacia, a qual foi obtida por meio da espacialização dos registros de chuvas segundo o método dos polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911). Obtidas as séries históricas para cada uma das nove UAs, procedeu-se os cálculos dos quatro índices de seca na escala trimestral.

Para a estimativa do IPN, que expressa, em porcentagem, a razão entre a precipitação atual e a precipitação normal (média de 30 anos) de uma região, utilizou-se a Eq. 1.

$$IPN = \frac{P_{atual}}{P_{normal}} \quad (1)$$

em que:

$P_{atual}$  - precipitação no trimestre avaliado para um determinado ano (mm); e

$P_{normal}$  - precipitação média no trimestre avaliado para o período de 1985 a 2015 (mm).

Para o cálculo do MD agrupou-se os valores de precipitação em decis (décimos da distribuição dos dados), dividindo-se a série em dez partes iguais, da menor precipitação até a precipitação mais elevada, de forma a gerar uma distribuição de frequências acumuladas. Posteriormente, os decis foram classificados conforme Gibbs e Maher (1967), como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre os valores de IPN, SPI, MD e RAI e intensidade de seca

| IPN (Cunha, 2008)             |                     | SPI (McKee <i>et al.</i> , 1993) |                     |
|-------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| Intervalo                     | Intensidade da seca | Intervalo                        | Intensidade da seca |
| $0,85 \leq \text{IPN} < 1,10$ | Normal              | $-1,00 < \text{SPI} \leq 0,00$   | Seca Suave          |
| $0,75 \leq \text{IPN} < 0,85$ | Seca Moderada       | $-1,50 < \text{SPI} \leq -1,00$  | Seca Moderada       |
| $0,50 \leq \text{IPN} < 0,75$ | Seca Severa         | $-2,00 < \text{SPI} \leq -1,50$  | Seca Severa         |
| $\text{IPN} < 0,50$           | Seca Extrema        | $\text{SPI} \leq -2,00$          | Seca Extrema        |

| MD (Gibbs e Maher, 1967) |                     | RAI (Rooy, 1965)                |                     |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| Decis                    | Intensidade da seca | Intervalo                       | Intensidade da seca |
| 10-9                     | Muito Úmido         | $-0,50 < \text{RAI} < 0,50$     | Normal              |
| 8-7                      | Úmido               | $-2,00 < \text{RAI} \leq -0,50$ | Seca Suave          |
| 6-5                      | Próximo ao Normal   | $-3,00 < \text{RAI} \leq -2,00$ | Seca Moderada       |
| 4-3                      | Seco                | $-4,00 < \text{RAI} \leq -3,00$ | Seca Alta           |
| 2-1                      | Muito Seco          | $\text{RAI} \leq -4,00$         | Extremamente Seca   |

O cálculo do RAI foi realizado utilizando-se a Eq. 2. As anomalias positivas, com valores acima da média histórica de precipitação, foram calculadas com sinal positivo enquanto, para as anomalias negativas, relacionadas aos períodos de déficit de chuvas, aplicou-se o sinal negativo.

$$RAI = \pm 3 \left[ \frac{(p - \bar{p})}{(\bar{x} - \bar{p})} \right] \quad (2)$$

em que:

p - precipitação no trimestre avaliado para um determinado ano (mm); e

$\bar{p}$  - precipitação média no trimestre avaliado para o período de 1985 a 2015 (mm); e

$\bar{x}$  - média das dez maiores ou das dez menores precipitações no trimestre avaliado (mm).

Para fins de obtenção do SPI o primeiro passo foi o ajuste da série de dados pluviométricos à distribuição probabilística Gama, conforme recomendado por Blain *et al.* (2010), uma vez que a mesma descreve adequadamente o comportamento da chuva. Após, ajustou-se à distribuição de probabilidade cumulativa. Por fim, a distribuição cumulativa foi transformada em uma variável aleatória normalizada (Z), com média zero e desvio padrão igual a unidade, que corresponde ao valor de SPI (Eqs. 3 e 4, suportadas nas Eqs. 5 e 6).

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (3)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (4)$$

em que:

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (5)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (6)$$

$C_0$  - 2,515517;  $C_1$  - 0,802853;  $C_2$  - 0,010328;

$d_1$  - 1,432788;  $d_2$  - 0,189269;  $d_3$  - 0,001308.

Uma vez que a análise dos resultados numéricos dos diversos índices de seca é, muitas vezes, de difícil compreensão, procurou-se avaliar o grau de severidade da seca com base nas classificações propostas para cada um dos índices avaliados (Tabela 1).

No presente trabalho, os quatro índices sofreram adaptações em suas classes e intervalos de classificação por meio de uma padronização no sistema de classificação em quatro intensidades de seca: normal (N), seca moderada (SM), seca severa (SS) e seca extrema (SE). Essas modificações se deram a fim de adequar a utilização dos índices na região de estudo, pois a maior parte destes índices foi desenvolvida para regiões semiáridas, com precipitação média anual abaixo de 500 mm. Dessa forma, após a padronização criou-se uma classificação única para avaliar o fenômeno de seca nas nove UAs da bacia do rio Doce, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação da intensidade de seca baseada nos índices IPN, MD, RAI e SPI e limites de classe propostos e adotados

| Intensidade   | Intervalo de valores dos índices |       |                          |                          |
|---------------|----------------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|
|               | IPN                              | MD    | RAI                      | SPI                      |
| Normal        | $0,90 \leq IPN < 1,10$           | 5 e 6 | $-2,00 < RAI \leq 2,00$  | $-0,84 < SPI \leq 0,84$  |
| Seca Moderada | $0,81 \leq IPN < 0,90$           | 3 e 4 | $-3,00 < RAI \leq -2,00$ | $-1,28 < SPI \leq -0,84$ |
| Seca Severa   | $0,75 \leq IPN < 0,81$           | 2     | $-4,00 < RAI \leq -3,00$ | $-1,65 < SPI \leq -1,28$ |
| Seca Extrema  | $IPN < 0,75$                     | 1     | $RAI \leq -4,00$         | $SPI \leq -1,65$         |

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentadas as precipitações médias trimestrais e anuais de longa duração das nove UAs bem como de toda a bacia do rio Doce. A partir desses dados, é possível analisar uma acentuada variabilidade de precipitação média na bacia, tanto no tempo (trimestres), como no espaço (UAs). Isso confirma a importância de se aplicar os índices de severidade de seca nas sub-bacias e não simplesmente na bacia do Doce.

Tabela 3 – Precipitações médias trimestrais e anuais, em mm, das unidades de análise (UAs) e da bacia hidrográfica do rio Doce

| UAs  | P trimestral (mm) |              |             |             | P anual (mm) |
|------|-------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|      | Jan/Fev/Mar       | Abr/Maio/Jun | Jul/Ago/Set | Out/Nov/Dez |              |
| UA1  | 531,3             | 118,6        | 77,1        | 592,9       | 1.319,9      |
| UA2  | 572,9             | 128,0        | 73,9        | 661,7       | 1.436,5      |
| UA3  | 500,3             | 120,1        | 60,0        | 633,7       | 1.314,2      |
| UA4  | 383,1             | 102,4        | 59,6        | 535,4       | 1.080,4      |
| UA5  | 378,5             | 99,1         | 54,9        | 536,4       | 1.068,9      |
| UA6  | 409,9             | 111,2        | 65,9        | 556,3       | 1.143,2      |
| UA7  | 365,5             | 113,7        | 61,9        | 490,3       | 1.031,3      |
| UA8  | 352,7             | 139,6        | 90,7        | 505,5       | 1.088,4      |
| UA9  | 355,8             | 137,8        | 104,5       | 495,8       | 1.093,9      |
| Doce | 427,8             | 118,9        | 72,1        | 556,4       | 1.175,2      |

UA1 = bacia do rio Piranga; UA2 = bacia do rio Piracicaba; UA3 = bacia do rio Santo Antônio; UA4 = bacia do rio Suaçuí; UA5 = bacia do rio Caratinga; UA6 = bacia do rio Manhuaçu; UA7 = bacia do rio Guandu; UA8 = bacia do rio Santa Maria do Doce; UA9 = bacia do rio São José; e Doce = bacia do rio Doce.

Nota-se que a UA2 tem a maior média trimestral (661,7 mm), registrada no período de outubro/novembro/dezembro, assim como a maior média anual (1.436,5 mm). As menores médias trimestrais de precipitação ocorreram na bacia do rio Caratinga (UA5), no trimestre julho/agosto/setembro com 54,9 mm. Além disso, pode-se comprovar que o regime de precipitações em todas UAs segue uma mesma tendência. Nos três primeiros e três últimos meses do ano existe uma concentração das chuvas, enquanto que o período de estiagem se agrupa nos meses restantes.

Os totais anuais médios na bacia do rio Doce variaram de 1.031,3 mm, na bacia do rio São José (UA7), a 1.436,5 mm, na bacia do rio Piracicaba (UA2), sendo o valor médio para toda a bacia do rio Doce de 1.175,2 mm. A partir desses valores é possível verificar que existe uma grande variabilidade espacial da chuva dentro da bacia do Doce, correspondendo a mais de 400 mm de amplitude entre os valores extremos.

Os sistemas frontais e a convecção tropical são os principais fatores de formação das chuvas na bacia do Doce e a topografia faz com que ela se distribua desigualmente entre as regiões (Cupolillo *et al.*, 2008).

A Tabela 4 apresenta o número de ocorrências de secas trimestrais com base nas classes de intensidade de seca dos índices IPN, MD, RAI e SPI, no período de 1985 a 2015.

Tabela 4 – Número de ocorrências de secas trimestrais com base nas classes de intensidade de seca dos índices IPN, MD, RAI e SPI, no período de 1985 a 2015

| UAs        | IPN |    |    |    | MD |    |    |    | RAI |    |    |    | SPI |    |    |    |
|------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|
|            | N   | SM | SS | SE | N  | SM | SS | SE | N   | SM | SS | SE | N   | SM | SS | SE |
| <b>UA1</b> | 31  | 10 | 3  | 31 | 24 | 24 | 12 | 12 | 60  | 12 | 12 | 6  | 68  | 13 | 7  | 6  |
| <b>UA2</b> | 21  | 14 | 7  | 32 | 24 | 24 | 12 | 12 | 56  | 11 | 10 | 9  | 64  | 8  | 7  | 9  |
| <b>UA3</b> | 25  | 8  | 5  | 36 | 24 | 24 | 12 | 12 | 58  | 14 | 13 | 7  | 65  | 10 | 8  | 9  |
| <b>UA4</b> | 25  | 11 | 9  | 34 | 24 | 24 | 12 | 12 | 59  | 15 | 15 | 4  | 70  | 11 | 7  | 5  |
| <b>UA5</b> | 23  | 8  | 8  | 35 | 24 | 24 | 12 | 12 | 54  | 15 | 18 | 3  | 64  | 7  | 15 | 5  |
| <b>UA6</b> | 16  | 8  | 5  | 41 | 24 | 24 | 12 | 12 | 53  | 17 | 16 | 4  | 64  | 14 | 9  | 5  |
| <b>UA7</b> | 23  | 8  | 7  | 38 | 24 | 24 | 12 | 12 | 57  | 18 | 15 | 4  | 67  | 14 | 10 | 4  |
| <b>UA8</b> | 19  | 10 | 9  | 35 | 24 | 24 | 12 | 12 | 60  | 15 | 13 | 6  | 66  | 15 | 9  | 5  |
| <b>UA9</b> | 23  | 14 | 6  | 34 | 24 | 24 | 12 | 12 | 65  | 14 | 13 | 6  | 75  | 17 | 2  | 6  |

Legenda: N = normal; SM = seca moderada; SS = seca severa, SE = seca extrema.

Para o IPN verifica-se um alto número de ocorrências de seca extrema (SE) em todas as UAs da bacia do rio Doce. Isso se deve ao fato de que neste índice basta se ter um valor de  $IPN < 0,75$  para que a seca seja classificada como extrema, ou seja, basta que a precipitação seja menor que 75% da média de longo período de um certo mês para o evento ser classificado como seca extrema. Neste caso, o número de ocorrências de seca moderada (SM) e severa (SS) é menor devido à pequena variação entre os limites inferiores e superiores de cada classe, que são  $0,81 \leq IPN < 0,90$  e  $0,75 \leq IPN < 0,81$ , respectivamente.

O MD teve o número de ocorrências das classes de intensidades de seca constante, independente da UA de estudo. Isso acontece porque o Método dos Decis divide a amostra em 10 partes iguais e, assim, cada decil corresponde a uma frequência de 10%. Por isso a classe SE, bem como a classe SS, apresentaram 12 eventos de seca, que correspondem a 10% dos menores eventos (decil 1) e a 10% dos menores subsequentes (decil 2), respectivamente. A classe SM apresentou 24 casos em cada UA, pois tal intensidade é relacionada aos decis 3 e 4, compreendendo 20% do total dos meses da série histórica.



Os valores de ocorrências das intensidades de seca, por meio do RAI, seguem a mesma tendência em todas as UAs, com exceção da UA5. Nas demais UAs os valores foram relativamente homogêneos, cujos maiores números de eventos de seca são de SM, SS e, por fim, SE. Ou seja, a probabilidade diminui à medida que as intensidades de seca se tornam mais agravantes.

O índice SPI obteve resultados semelhantes aos resultados do índice RAI, nos quais, de maneira geral, a probabilidade aumenta à medida que as intensidades de seca se tornam mais brandas. Logo, é de se esperar que exista uma probabilidade de ocorrência sequencial decrescente, partindo da classe de seca moderada (SM) até a classe de seca extrema (SE).

A Tabela 5 apresenta a distribuição de frequência de ocorrência das classes de intensidade de seca nas UAs para cada um dos índices avaliados. Concentrou-se a análise apenas nas três intensidades de seca e não se apresentou a classe de normalidade, uma vez que a real intenção é comparar os três níveis de seca para as distintas UAs.

Tabela 5 – Frequência média de ocorrência das classes de intensidade de seca dos quatro índices, na escala de tempo trimestral, para a bacia hidrográfica do rio Doce

| Índice de seca | Eventos de seca |        |        |           |
|----------------|-----------------|--------|--------|-----------|
|                | SM (%)          | SS (%) | SE (%) | Total (%) |
| <b>IPN</b>     | 8,4             | 5,5    | 29,3   | 43,1      |
| <b>MD</b>      | 20,0            | 10,0   | 10,0   | 40,0      |
| <b>RAI</b>     | 12,1            | 11,6   | 4,5    | 28,2      |
| <b>SPI</b>     | 10,1            | 6,9    | 5,0    | 21,9      |

O IPN foi o índice com maior frequência de eventos de seca na bacia do rio Doce (43,1%). O MD apresentou 40% de frequência de eventos de seca, sendo 20% de SM e 10% para as classes SS e SE. Os índices RAI e SPI se comportaram de maneira semelhante, com maior frequência dos casos para SM, seguido de SS e SE. Destaca-se, ainda, que o SPI foi o índice com menor frequência média de ocorrência de eventos de seca na bacia do rio Doce.

Vale lembrar que ao se avaliar maiores escalas temporais, os registros de chuva tendem a ter um comportamento simétrico em torno do valor médio e, assim, maiores frequências são esperadas para seca moderada (SM) e menores valores para seca extrema (SE) (Lima *et al.*, 2019).

Como os índices RAI e SPI representaram de forma mais apropriada o comportamento das secas na bacia do rio Doce na escala trimestral, recomenda-se, dentre os quatro índices avaliados, a utilização destes índices para a avaliação das secas nas unidades de análise da bacia. Loukas *et al.* (2003) também observaram que os índices RAI e SPI apresentaram os melhores resultados quando aplicados para as condições climáticas da Grécia. No entanto, por apresentar simplicidade de cálculo



e resultados semelhantes ao do SPI, o índice RAI apresenta maior potencial de uso para monitoramento de secas trimestrais na bacia do rio Doce.

## CONCLUSÕES

Dentre os quatro índices de seca avaliados, considera-se que os índices RAI e SPI constituem-se nos mais apropriados para a avaliação de secas trimestrais na bacia hidrográfica do rio Doce, em função de apresentar comportamento similar ao de uma distribuição normal. Recomenda-se a utilização do índice RAI devido à sua maior simplicidade de cálculo e, conseqüentemente, maior potencial de uso para monitoramento de secas na bacia.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ). Este trabalho é dedicado à saudosa memória do Professor Silvio Bueno Pereira.

## REFERÊNCIAS

- BLAIN, G.R.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEZZOPANE J.E.M; BONOMO, R. (2010). “Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.10, pp. 1067 – 1073.
- BYUN, H.R.; WILHITE, D.A. (1999). “Objective quantification of drought severity and duration”. Journal of Climate v. 12, n.9, pp. 2747 – 2756.
- CUNHA, R.L.A. (2008). “Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas”. Dissertação Mestrado. Universidade do Porto. Porto – Portugal, 147 f.
- CUPOLILLO, F.; DE ABREU, M.L.; VIANELLO, R.L. (2008). “Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua relação com a topografia local”. Revista Geografias v. 4, n. 2, pp. 45 – 60.
- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F.; DE OLIVEIRA AMORIM, A. (2010). “Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas”. Pesquisa Agropecuária Brasileira v. 45, n.8, pp. 771 – 779.
- GIBBS, W.J.; MAHER, J.V. (1967). *Rainfall deciles as drought indicators*. Bureau of Meteorology/ Bulletin, Melbourne, 84 p.
- HAYES, M.; SVOBADA, M.; WALL, N.; WIDHALM, M. (2011). “The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended”. Bulletin of the American Meteorological Society v. 92, n4, pp. 485 – 488.

- LIMA, R.P.; SILVA, D.D.; MOREIRA, M.C.; PASSOS, J.B.; COELHO, C.D.; ELESBON, A.A. (2019). “*Development of an annual drought classification system based on drought severity indexes*”. Anais da Academia Brasileira de Ciências v. 91, n.1.
- LOUKAS, A.; VASILIADES, L.; DALEZIOS, N.R. (2003). “*Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece*” in International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos island - Grécia, Set. 2003, pp. 484-491.
- MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R.V.S.; SOUZA, F.A.S.; DANTAS, F.R.C. (2010). “*Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil*”. Revista Ambiente & Água v. 5, n.1, pp. 204 – 214.
- MARQUES, F.A. (2010). “*Sistema de controle dinâmico para a gestão dos usos múltiplos da água*”. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – Brasil, 234 f.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1993) “*The relationship of drought frequency and duration to the time scales*” in Eighth Conference on Applied Climatology, Anhaeim – California - EUA, Jan. 1993. pp. 179 – 184.
- MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. (2010) “*A review of drought concepts*”. Journal of hydrology v. 391, n. 1-2, pp. 202 – 216.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; BRITO, T.T.; MOURA, N.S.H. (2012). “*Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas*”. Floresta e Ambiente v. 19, n.1, pp. 101 – 112.
- PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. (2004). “*Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.8, n.2/3, pp. 247 – 253.
- ROOY, M.P.VAN. (1965). “*A rainfall anomaly index independent of time and space*”. Notos v. 14, n. 43, pp. 43 – 48.
- SANTOS, J.F.; PORTELA, M. M.; PULIDO-CALVO, I. (2013). “*Dimensionality reduction in drought modelling*”. Hydrological Processes v. 27, n.10, pp. 1399 – 1410.
- THIESSEN, A.H. (1911). “*Precipitation averages for large areas*”. Monthly weather review v. 39, n. 7, pp. 1082 – 1089.