

## AVALIAÇÃO DE EVENTOS DE SECAS HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Caluan Rodrigues Capozzoli <sup>1\*</sup>  
Ricardo Gabriel Bandeira de Almeida <sup>2</sup>  
Marcos Figueiredo Salviano <sup>3</sup>  
Camila Dalla Porta Mattiuzi <sup>4</sup>

1, 2, 3, 4 CPRM – Serviço Geológico do Brasil  
\* caluan.capozzoli@cprm.gov.br

### RESUMO

A ocorrência de secas é uma característica normal do clima, podendo atingir regiões com regimes climáticos distintos. A seca é um desastre natural temporário e recorrente que se origina da falta de precipitação, apresentando diferentes graus de severidade, com a possibilidade de afetar a umidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, ecossistemas, além de prejudicar atividades econômicas. Neste trabalho foi avaliada a relação entre a ocorrência de extremos de seca nas vazões e na precipitação, comparando, ambos em escala anual, o comportamento, espacial e temporal, do índice de precipitação padronizada da bacia (SPI - *Standard Precipitation Index*) com o seu análogo para a vazão (*Streamflow Drought Index*) no período de 1979 a 2017. Foram selecionados para análise os anos hidrológicos em que três ou mais estações fluviométricas registraram intensidade de seca moderada a extrema, de acordo com a métrica do SDI, sendo identificados oito eventos com essa característica. A análise mostra que a ocorrência de secas na vazão ocorre no mesmo ano hidrológico em que há o déficit de precipitação e a vazão se recupera na mesma medida em que os totais pluviométricos voltam a normalidade. A exceção ocorre para o evento mais recente (2013-2014), onde, apesar da recuperação da precipitação entre 2015 e 2017 as vazões médias da bacia ainda são consideradas de seca.

### INTRODUÇÃO

A ocorrência de secas é uma característica normal do clima, podendo atingir regiões com regimes climáticos distintos. A seca é um desastre natural temporário e recorrente que se origina da falta de precipitação, apresentando diferentes graus de severidade, com a possibilidade de afetar a umidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, ecossistemas, além de prejudicar atividades econômicas. Os diversos setores possuem perspectivas da escassez hídrica, surgindo diferentes tipos de seca, como meteorológica, agrícola, hidrológica, socioeconômica (Smakhtin & Hughes, 2004).

O conceito de seca hidrológica está associado com um déficit (espacial e/ou temporal) no suprimento de água. Nesse sentido, a seca hidrológica pode ser analisada como um déficit no armazenamento de água na superfície ou então como um déficit na precipitação ou no escoamento superficial e envolve os seguintes fatores: duração, extensão em área, severidade, probabilidade de recorrência e localização temporal absoluta (Yevjevich, 1967).

Abrangendo os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, com uma população de mais de 5 milhões de habitantes distribuídas em 180 municípios em uma área de aproximadamente 57.000 km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul apresenta um cenário de conflitos pelo uso da água. A bacia possui rios de domínio federal e sua área de drenagem abrange diversas hidrelétricas, importantes pólos industriais e populacionais do país, com diversos tipos de disputa pelo uso, onde compreender os impactos de eventos de secas é fundamental para subsidiar o gerenciamento de recursos hídricos e realizar prognósticos e previsões de eventos.

### OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a relação entre a ocorrência de extremos de seca nas vazões e na precipitação. Esta avaliação é feita comparando o comportamento, espacial e temporal, do índice de precipitação padronizada da bacia (SPI - *Standard Precipitation Index*) com o seu análogo para a vazão (*Streamflow Drought Index*), ambos em escala anual.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados pluviométricos de acumulado de chuva diário distribuído ao longo de toda a bacia e também de pontos próximos das bacias adjacentes e dados fluviométricos de vazão média diária distribuída ao longo da bacia.

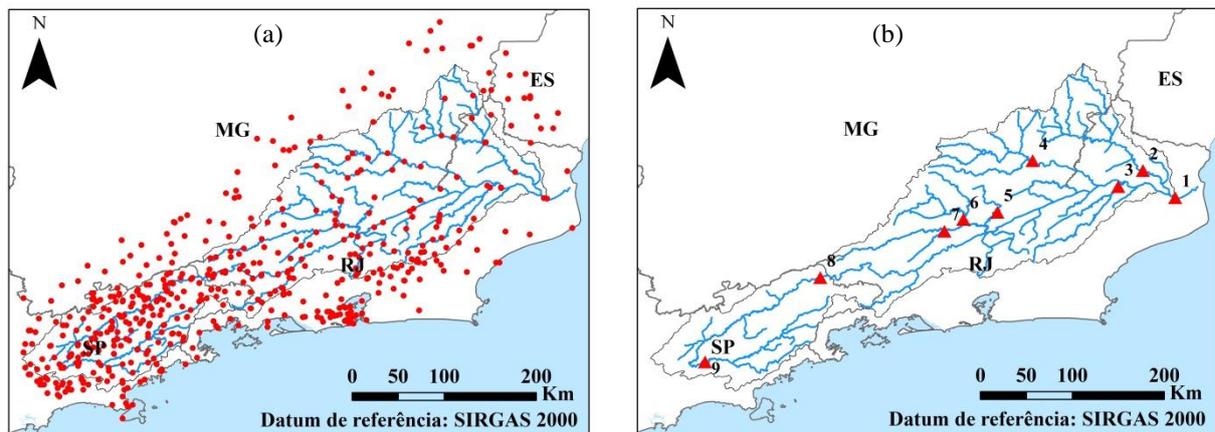
Os dados de chuva e vazão foram obtidos no portal hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo que o download e a avaliação de faltantes foram feitas com o auxílio plugin MGB-IPH desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Para o caso da precipitação foram selecionadas as estações no interior e nas adjacências da bacia que apresentaram séries com menos de 10% de dados faltantes por ano para o período considerado no estudo e para as estações fluviométricas, foram selecionadas as estações distribuídas ao longo do trecho alto, médio e baixo do rio Paraíba do Sul e nos rios Paraibuna mineiro, Pomba, Muriaé e Dois Rios, importantes afluentes do rio Paraíba do Sul.

Para o desenvolvimento deste estudo foi selecionado o período de outubro de 1979 a setembro de 2017. Este período foi selecionado de modo a compreender um período suficientemente longo em que a disponibilidade de dados nas estações (especialmente as estações pluviométricas) estivesse bem distribuída ao longo da bacia.

Caso fosse selecionado um período maior, um número considerável de postos pluviométricos teria que ser excluído, comprometendo a representação espacial da chuva na bacia. A Figura 1 mostra a distribuição espacial das estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas.

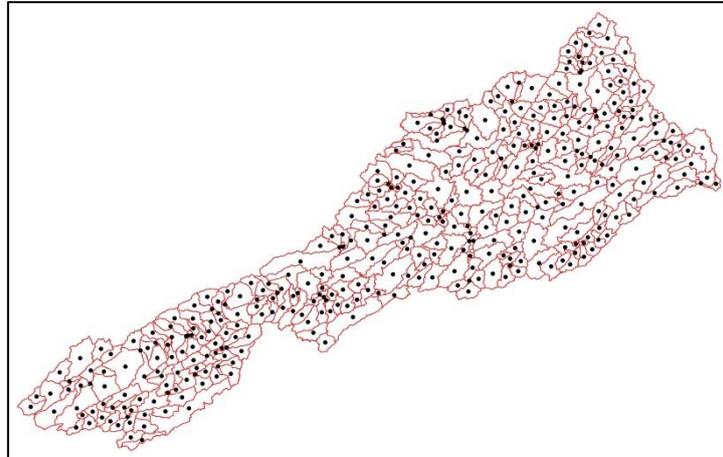
**Figura 1 – Distribuição espacial das estações pluviométricas (a) e fluviométricas (b) utilizadas.**



O campo de precipitações utilizado neste trabalho foi gerado utilizando a rotina de interpolação de precipitação do programa MGB-IPH.

Nesta rotina os dados de precipitação são interpolados diariamente, sendo que a discretização utilizada é feita com base em “mini bacias” por sua vez são construídas com base em um modelo digital de elevação, do qual se extrai a área e a rede de drenagem da bacia (Figura 2). A interpolação é feita com base nos vizinhos próximos, ponderada pelo inverso do quadrado da distância e o ponto utilizado como referência para interpolação são as coordenadas do centro geométrico de cada uma das mini bacias.

**Figura 2 – Bacia do rio Paraíba do Sul discretizada em minibacias para interpolação da chuva.**



Apesar do método de seleção de estações considerar que só seriam aceitas estações com um máximo de 10% de falhas para cada ano do período de análise, ainda assim haveriam falhas que poderiam comprometer o cálculo dos acumulados por ano hidrológico e a interpolação da chuva na bacia foi utilizada para gerar um campo de precipitação da bacia com dados contínuos temporalmente.

O resultado da interpolação da chuva é uma série diária de precipitação para cada centroide da minibacia. A partir das séries diárias, foram calculados os acumulados anuais por ano hidrológico (considerando o ano hidrológico da bacia como sendo de outubro a setembro) entre outubro de 1979 e setembro de 2017 para cada ponto (centroide) da bacia.

Para o acumulado anual de cada um dos centroides foi calculado o SPI. O cálculo do SPI consiste no ajuste da série histórica à função Gama de densidade de probabilidade, e na posterior transformação em uma variável normal, Z, de modo que a série apresente uma distribuição normal, com média zero e variância unitária.

Para o cálculo do SPI, após a obtenção da função Gama de probabilidade, a mesma deve ser transformada em uma distribuição normal, para a variável aleatória Z, que corresponde ao valor SPI. A transformação é realizada conforme apresentado por Abramowitz & Stegun (1970).

Os valores positivos de SPI indicam a precipitação maior do que a mediana ou média e os valores negativos indicam precipitações menores que a mediana ou média (Mckee *et.al.*,1993), sendo possível a classificação de períodos secos e úmidos quanto à intensidade (Tabela 1).

**Tabela 1: Classificação de períodos secos em função do SPI (Mckee *et.al.*,1993) e do SDI (Nalbantis e Tsakiris, 2009).**

SDI	Categoria
$SDI \geq 0,0$	Não há seca
$-1,00 \leq SDI < 0,0$	Seca leve
$-1,50 \leq SDI < -1,0$	Seca moderada
$-2,00 \leq SDI < -1,5$	Seca severa
$SDI < -2,00$	Seca extrema

O procedimento para o cálculo do SDI é feito de acordo com o proposto por Nalbantis e Tsakiris (2009). O cálculo do índice apresentado pelos autores é realizado a partir da soma das vazões médias mensais  $Q_{i,j}$  do ano hidrológico i, no mês j. Onde a vazão acumulada utilizada no cálculo do SDI é obtida da seguinte forma:

$$A_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo n o número de anos hidrológicos utilizados,  $A_{i,k}$  refere-se à vazão acumulada no i-ésimo ano hidrológico ( $i= 1 \dots n$ ) no período de tempo k ( $k=1 \dots 4$ ) onde  $j=1$  refere-se ao primeiro mês do ano hidrológico (para a região de estudo, outubro) e  $j=12$  o décimo segundo mês do ano hidrológico (setembro). De acordo com a equação 1, quando  $k=1$  temos o acumulado de outubro até dezembro e quando  $k=4$  temos o acumulado do ano hidrológico (outubro até setembro). Para este trabalho,  $k=4$  e então o SDI é calculado da seguinte forma:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k}$$

equação (2)

Onde  $\bar{V}_k$  é a vazão acumulada média do período k, e  $s_k$  o desvio padrão da vazão acumulada média para o período k. Uma consideração importante sobre a aplicação do referido método é que as séries hidrológicas não apresentem falhas no período utilizado para o estudo. Os valores de SDI são classificados de maneira análoga ao SPI, seguindo a métrica apresentada na tabela 1.

Para este trabalho os eventos de seca analisados são aqueles em que três ou mais pontos de vazão apresentaram  $SDI < -1,00$  (seca de moderada a extrema). Nos anos de evento de seca foi analisado o comportamento do SPI no mesmo ano do evento, no ano anterior e no ano posterior ao evento de seca.

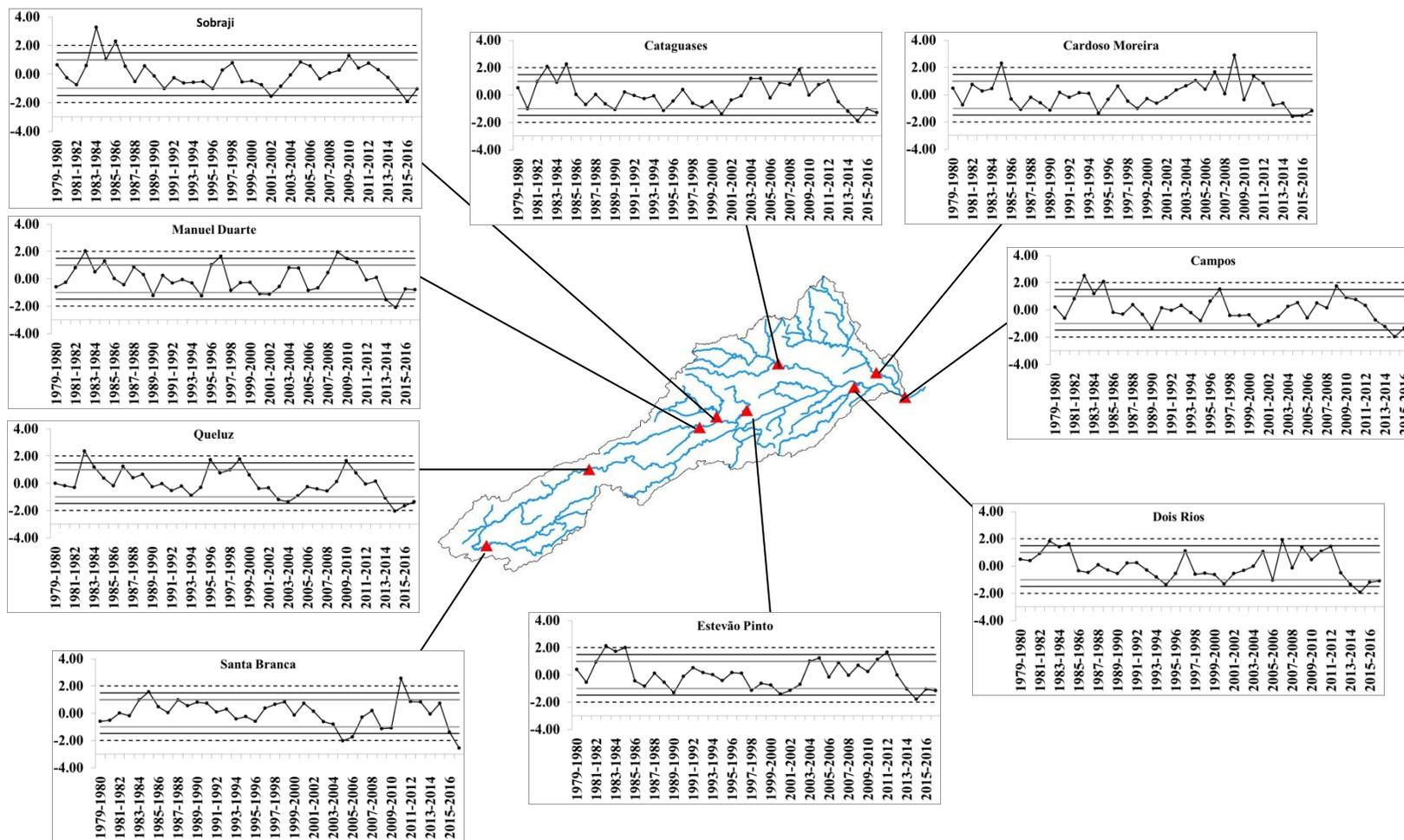
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a série temporal do SDI para cada um dos postos fluviométricos analisados. O posto fluviométrico Estevão Pinto, localizado no rio Cágado, afluente do Paraíba Mineiro, apresentou o maior número de eventos (oito eventos) com  $SDI < -1,00$ , ou seja, eventos de seca moderada ou mais intensa. Em Sobraji, Manuel Duarte, Queluz, Santa Branca e Campos foram registrados seis eventos em que o SDI foi inferior a -1,00 e nas demais estações (Cataguases, Dois Rios e Cardoso Moreira) foram registrados sete eventos de seca moderada a extrema.

No ano hidrológico de 2014-2015 somente o posto de Santa Branca não registrou evento de seca e, no ano hidrológico de 2016-2017 este posto registrou o evento de maior intensidade entre todos os postos analisados ( $SDI = -2,55$ ).

Os anos hidrológicos em que três ou mais estações registraram seca de intensidade moderada a extrema foram: 1989-1990, 1994-1995, 2000-2001, 2001-2002, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017. Para estes anos é avaliada a condição do SPI e do SDI no ano do evento, no ano anterior e no ano posterior ao evento.

Figura 3: Série temporal do SDI dos postos fluviométricos utilizados neste estudo, a linhas cinza, preta e tracejada indicam os limiares de seca moderada, severa e extrema.



A evolução das condições de chuva e vazão dos eventos de seca dos anos hidrológicos de 1989-1990 e 1994-1995 é mostrada na Figura 4.

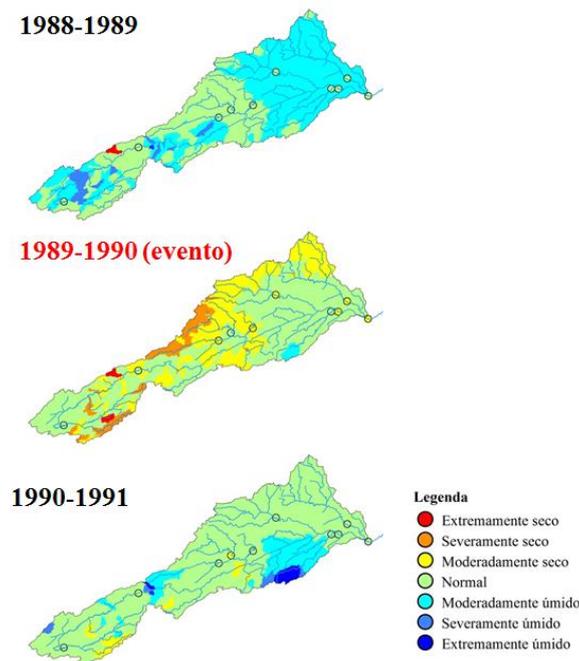
No ano hidrológico anterior ao evento de 1989-1990 o total pluviométrico anual foi de moderadamente a extremamente úmido na parte baixa e no trecho paulista da bacia e na região serrana do rio de Janeiro, em praticamente todo o restante da bacia o total anual foi dentro da normalidade. Para a vazão média anual, o ano hidrológico anterior ao evento de 1989-1990 foi normal em todos os postos analisados.

O SPI dos totais pluviométricos do ano hidrológico do evento de 1989-1990 indicou seca de moderada a severa na parte alta mais da bacia, onde nascem os formadores do rio Paraíba do Sul, apesar disso, a vazão média anual deste ano hidrológico foi normal no posto que compreende esta área de drenagem (Santa Branca).

Na maior parte da área de drenagem do posto Queluz o SPI indicou que o total acumulado foi dentro do normal, com alguns pontos de seca moderada a severa. Em praticamente toda extensão da bacia do rio Paraíba Mineiro o SPI do total pluviométrico do AH 1989-1990 indicou seca de moderada (na parte mais baixa) a severa (na cabeceira dos formadores do rio Paraíba), nesta bacia o SDI da vazão média anual indicou vazões consideradas moderadamente seca nos postos Estevão Pinto e Manuel Duarte e normal no posto Sobraji.

Para o total pluviométrico do ano posterior ao evento o SPI indicou totais dentro do normal na maior parte da bacia e de moderado a extremamente úmido no trecho mais a sudeste, na bacia do rio Dois Rios. Com exceção do posto Sobraji onde o SDI indicou moderadamente seco para a vazão média anual, todos os outros postos pluviométricos indicaram que a vazão média foi dentro do normal.

**Figura 4: Evolução do SPI (indicado pela cor na área da bacia) e do SDI (indicado pela cor dos círculos no local das estações fluviométricas) antes, durante e depois do evento de seca de 1989-1990.**



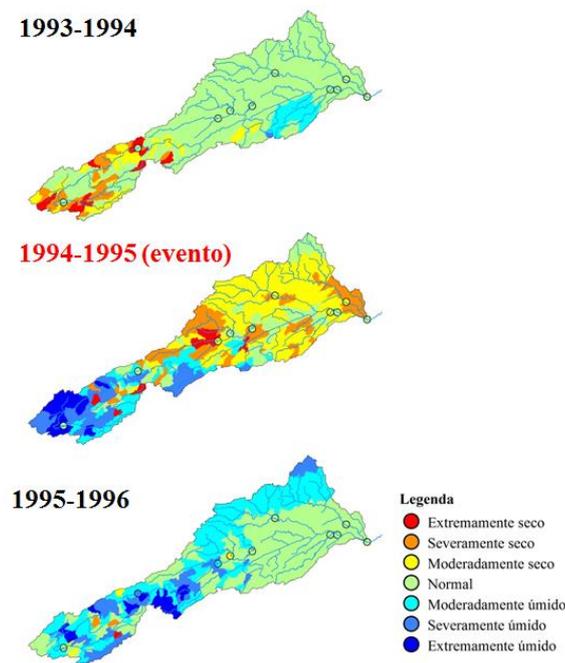
O próximo evento analisado é o evento de seca ocorrido no ano hidrológico de 1994-1995. No ano anterior a este evento, os SPI indicou que os totais pluviométricos foram de severo a extremamente seco em todo o trecho paulista da bacia, nos dois postos fluviométricos que compreendem esta área de drenagem a vazão média anual ficou dentro do normal, de acordo com o SDI. No restante da bacia, o ano anterior ao evento de seca foi de totais pluviométricos dentro do normal na maior parte da bacia, assim como as vazões médias dos postos fluviométricos restantes.

No ano do evento de seca (1994-1995) os totais pluviométricos foram de moderadamente a extremamente úmido na parte alta da bacia e a vazão média das estações que compreendem esta área foi dentro do normal. Na

bacia do rio Paraíba Mineiro o SPI foi de moderado a extremamente seco e os postos fluviométricos desta área de drenagem indicaram que a vazão média foi normal nos postos Sobraji e Estevão Pinto e moderadamente seco no posto Manuel Duarte. Na bacia do rio Pomba o SPI foi de moderado a severamente seco e o posto Cataguases indicou que a vazão média foi moderadamente seca, resultado semelhante foi observado na área de drenagem do rio Muriaé e no posto fluviométrico desta sub-bacia, Cardoso Moreira.

O ano posterior ao evento de seca foi de moderadamente a extremamente úmido para o SPI no trecho alto e médio da bacia, sendo que o SDI dos postos fluviométricos destas áreas indicaram vazão dentro do normal. Na bacia do rio Paraíba Mineiro resultado para o SPI indicou totais pluviométricos de normal a moderadamente úmido e os postos fluviométricos desta área indicaram vazão normal (Estevão Pinto e Manuel Duarte) e moderadamente seca (Sobraji). Nos demais postos o SDI indicou vazão dentro do normal e precipitação entre normal (baixo Paraíba) e moderadamente úmida (cabeceras dos rios Pomba e Muriaé).

**Figura 5: Evolução do SPI (indicado pela cor na área da bacia) e do SDI (indicado pela cor dos círculos no local das estações fluviométricas) antes, durante e depois do evento de seca de 1994-1995.**



Os anos hidrológicos de 2000-2001 e 2001-2002 apresentaram mais de três estações com SDI inferior a -1,00. Estes dois anos, bem como os anos hidrológicos que antecedem e sucedem o evento também são mostrados na Figura 6.

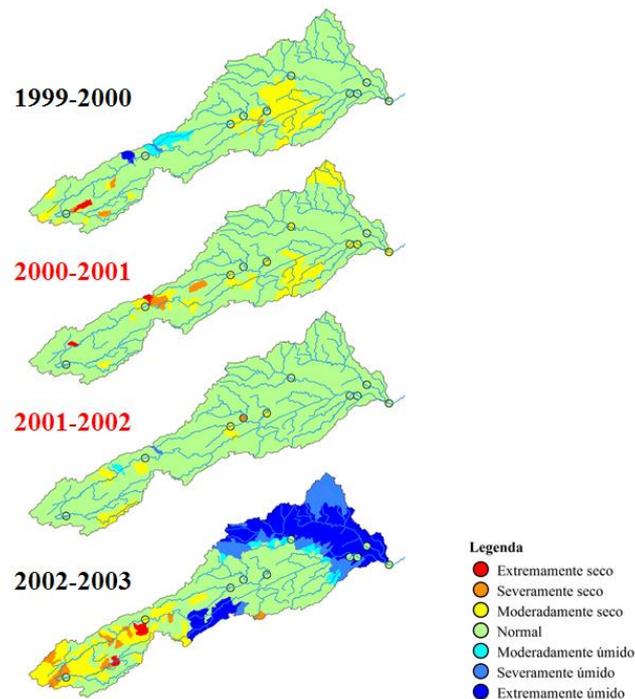
No ano hidrológico que antecede o evento, o SDI de todas as estações fluviométricas analisadas indicam que a vazão média do ano hidrológico foi normal. O SPI indica totais pluviométricos dentro da normalidade em praticamente toda a bacia, alguns pontos indicando seca moderada e um ponto de seca extrema observado na parte alta da bacia e uma região do trecho médio indica seca moderada e no trecho médio uma pequena região os totais foram classificados como de moderado a extremamente úmido.

No primeiro ano hidrológico de seca, o total precipitado na bacia foi dentro do normal em quase toda a bacia, com alguns pontos de seca moderada a extrema no início do trecho médio, uma pequena região de seca moderada na região do médio Paraíba do Sul e na cabeceira do rio Muriaé, a extremo nordeste da bacia. O SDI dos postos fluviométricos das estações Estevão Pinto, Manuel Duarte indicaram que a vazão média é de seca moderada, porém na área de drenagem destas bacias o total pluviométrico foi normal, mesma situação observada no posto fluviométrico Cataguases. Os postos Cardoso Moreira, Dois Rios e Campos o SDI também indicou que a vazão média foi de seca moderada.

No segundo ano hidrológico em três postos o SDI ficou abaixo de -1,00, sendo que na área de drenagem destes postos o SPI indica que o total pluviométrico foi dentro da categoria normal. As áreas onde o SPI indicou total pluviométrico de seca moderada estão espalhadas e não contemplam uma área grande da bacia.

O ano hidrológico de 2002-2003, que sucede o evento, possui totais pluviométricos na categoria de seca moderada a extrema na parte alta da bacia, precipitação dentro do normal no trecho do médio e baixo Paraíba e de moderado a extremamente úmido na porção mais a oeste da bacia, contemplando a área de drenagem das bacias dos rios Pomba e Muriaé.

**Figura 6: Evolução do SPI (indicado pela cor na área da bacia) e do SDI (indicado pela cor dos círculos no local das estações fluviométricas) antes, durante e depois do evento de seca iniciado no ano hidrológico 2000-2001 e que se estende até o ano hidrológico de 2001-2002.**



O último evento analisado corresponde ao evento recente, iniciado no ano hidrológico de 2013-2014 e que, como pode ser observado na Figura 7, persiste indicando condição de seca em diversos postos fluviométricos da bacia.

No ano que antecede o evento os totais pluviométricos registrados foram dentro da normalidade em praticamente toda a extensão da bacia, do mesmo modo, a vazão média dos postos de monitoramento fluviométrico também ficaram dentro da categoria normal do SDI.

Os totais pluviométricos do ano hidrológico de 2013-2014 foram enquadrados na categoria extremamente seco em praticamente toda a extensão da bacia.

O SDI indicou que nas estações Santa Branca, Sobraji e Cardoso Moreira, a vazão média foi normal. O total pluviométrico sobre a área de drenagem de Santa Branca e Sobraji variou entre normal e extremamente seco e em Cardoso Moreira o total pluviométrico foi de seca extrema em toda a área de drenagem.

Os postos Queluz, Estevão Pinto, Cataguases Dois Rios e Campos foram classificados como de seca moderada e São Fidélis e Manuel Duarte a vazão média do ano hidrológico de 2013-2014 foi de seca severa.

O ano hidrológico seguinte (2014-2015) registrou totais pluviométricos classificados como severamente seco na região do baixo Paraíba do Sul e nas bacias dos rios Pomba e Muriaé. No trecho médio e alto da bacia do Paraíba do Sul os totais pluviométricos foram classificados entre normal e extremamente seco.

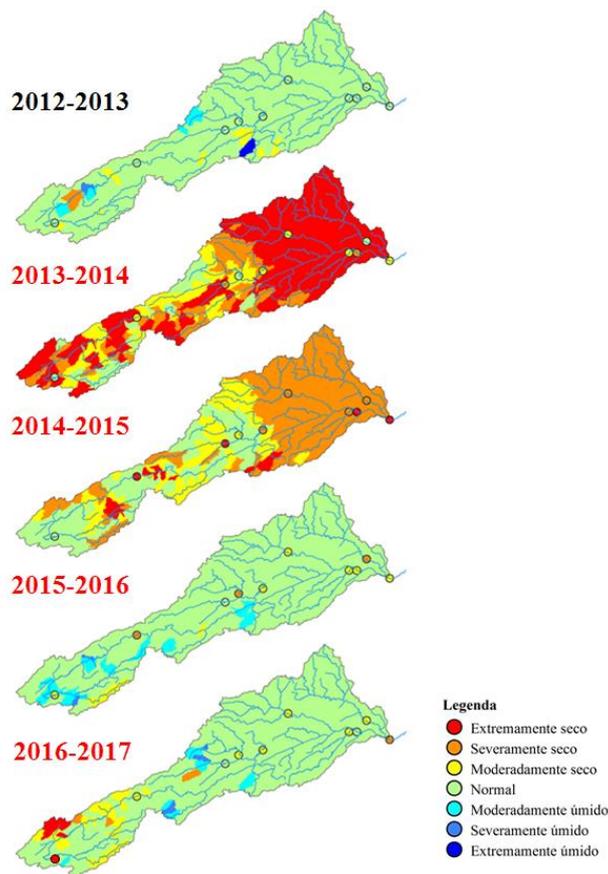
O ano hidrológico de 2014-2015 o SPI indicou condições de seca menos intensa e com menor abrangência espacial na bacia, apesar disso, o SDI apresentou resultado mais crítico do que o período anterior. Somente na estação Santa Branca a vazão foi classificada como normal; em Sobraji a vazão foi moderadamente seca; Estevão Pinto, Cataguases, Dois Rios e Cardoso Moreira a vazão foi classificada como de seca severa e o SDI indicou seca extrema e Queluz, Manuel Duarte, São Fidélis e Campos.

É interessante notar que em nenhum destes postos o total pluviométrico obteve uma classificação de seca menos intensa do que no ano anterior. A condição de seca para os totais pluviométricos do ano hidrológico de 2013-2014 foi a de maior intensidade e de maior extensão espacial de todo o período de análise, porém, em termos de vazão média anual o episódio de maior intensidade e extensão espacial é observado no ano hidrológico de 2014-2015.

No ano hidrológico de 2015-2016 o total precipitado sobre toda a extensão da bacia ficou classificado dentro da categoria normal, para vazões a condição de seca persiste, porém com menor intensidade. Dos pontos analisados somente Manuel Duarte a vazão voltou ao estado considerado normal pelo SDI; Santa Branca, estevão Pinto, Cataguases, Dois Rios, São Fidélis e Campos a vazão média foi de seca moderada e em Queluz, Sobraji e Cardoso Moreira a classificação da vazão média do ano hidrológico 2015-2016 foi de seca severa.

O ano hidrológico de 2016-2017 registra condição de seca moderada a severa para os totais pluviométricos registrados em áreas do trecho paulista da bacia. No restante da bacia os totais registrados foram predominantemente classificados como normal. Assim como no ano anterior, as condições observadas para os totais pluviométricos não refletem as condições da vazão da bacia, somente em São Fidélis a vazão foi classificada dentro do considerado normal pelo SDI; Queluz, Sobraji, Estevão Pinto, Cataguases, Dois Rios e Cardoso Moreira a vazão média anual foi classificada como moderadamente seca; em Campos foi classificada como severamente seca e Santa Branca a vazão média anual do ultimo ano hidrológico foi de seca extrema.

**Figura 7: Evolução do SPI (indicado pela cor na área da bacia) e do SDI (indicado pela cor dos círculos no local das estações fluviométricas) antes, durante e depois do evento de seca iniciado no ano hidrológico 2013-2014.**



## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliada a relação entre a ocorrência de extremos de seca nas vazões e na precipitação na bacia do rio Paraíba do Sul, comparando o comportamento, espacial e temporal, do SPI e do SDI em escala anual, para o período de outubro de 1979 até setembro de 2017.

Foram selecionados para análise os anos hidrológicos em que três ou mais estações registraram seca de intensidade moderada a extrema, sendo identificados oito eventos com essa característica.

Nos dois primeiros eventos analisados (1989-1990 e 1994-1995) a condição de seca observada na vazão coincide com a condição de precipitação abaixo da normalidade observada na bacia no mesmo ano hidrológico dos eventos.

No evento de 2000-2001, 2001-2002, a condição de seca dos totais pluviométricos não é observada com a mesma intensidade e extensão da vazão.

A situação observada na sequência de eventos registrada em 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017, mostra que o início do evento de seca para a vazão média anual coincide com uma condição de seca para os totais pluviométricos, porém a extensão e a intensidade não coincidem temporalmente.

A condição de seca para os totais pluviométricos do ano hidrológico de 2013-2014 foi a de maior intensidade e de maior extensão espacial de todo o período de análise, porém, em termos de vazão média anual o episódio de maior intensidade e extensão espacial é observado no ano hidrológico de 2014-2015.

No ano hidrológico de 2015-2016 o total precipitado sobre toda a extensão da bacia ficou classificado dentro da categoria normal, já para vazões a condição de seca persiste, porém com menor intensidade, onde somente um posto analisados a vazão voltou ao estado considerado normal pelo SDI.

Situação semelhante persiste em 2016-2017 onde os totais pluviométricos registrados foram predominantemente classificados como normal, enquanto que somente em São Fidélis a vazão foi classificada dentro da categoria normal pelo SDI.

Não compreende o escopo deste trabalho avaliar as diferenças observadas nos eventos recentes de secas, porém, algumas hipóteses podem ser formuladas e futuramente avaliadas, sendo elas: (1) a contribuição da regulação de vazões em reservatórios e as retiradas de água existentes nas bacias podem ter aumentado e se intensificado, impactando o regime de vazões; (2) as condições de uso e ocupação da bacia podem ter se alterado ao longo do tempo e impactando a capacidade de reserva natural da bacia (armazenamento subsuperficial e subterrâneo) e ainda (3) a intensidade e a extensão do evento de seca registrado entre 2013 e 2015 foi tamanho que não houve tempo suficiente para que a bacia pudesse se recuperar.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM-Serviço Geológico do Brasil e à Agência Nacional de Águas pelo apoio institucional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, Milton; STEGUN, Irene A. *Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables*. Courier Corporation, 1964.

MCKEE, Thomas B. *et al.* The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993. p. 179-183.

NALBANTIS, I.; TSAKIRIS, G. Assessment of hydrological drought revisited. **Water Resources Management**, v. 23, n. 5, p. 881-897, 2009.

SMAKHTIN, Vladimir U.; HUGHES, D. A. *Review, automated estimation and analyses of drought indices in South Asia*. Iwmi, 2004.

YEVJEVICH, V. M. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology papers (Colorado State University)*; no. 23, 1967.