ISSN 2675-3359
Revista Mineira de Recursos Hídricos
v. 1, n.2, 2020
Instituto Mineiro de Gestão das Águas - rmrh.igam.mg.gov.br

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS VAZÕES NAS BACIAS DOS RIOS PARAOPEBA E VELHAS

Analysis of flow behavior in Paraopeba and Velhas rivers basins

Micael de Souza Fraga[1]
Luiza Pinheiro Rezende Ribas[2]

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar o comportamento das vazões nas bacias hidrográficas dos rios Paraopeba (SF3) e Velhas (SF5), analisando a ocorrência de eventos extremos de máxima e mínima, bem como as tendências das séries históricas de vazões. Para isso, as séries históricas de vinte e uma estações fluviométricas presentes nas bacias foram analisadas. Foram determinadas as seguintes vazões: média de longa duração (Q_{mld}) e mínima média de sete dias consecutivos, associada a um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). Posteriormente, foi avaliado o período chuvoso referente ao ano hidrológico de 2019/2020, bem como a ocorrência de vazões abaixo da $Q_{7,10}$ para os anos de 2019 e 2020. Por fim, foi avaliada a estacionariedade dos dados de vazão utilizando o teste de Pettitt e a correlação de Spearman. Os resultados mostraram que o ano hidrológico pode ser definido de outubro a setembro, em ambas as bacias hidrográficas avaliadas. O período chuvoso do ano hidrológico de 2019/2020 foi caracterizado pelos altos valores de vazão nos cursos d'água, apresentando os maiores valores de vazão já registrados em algumas estações. Na bacia do rio Paraopeba foram observadas significativas condições de restrição efetiva de uso dos recursos hídricos no ano de 2019, com menores ocorrências na bacia do rio das Velhas. Com a análise das tendências foi possível observar que o período seco tende a se intensificar nas bacias do rio Paraopeba e rio das Velhas.

Palavras-chave: Demanda hídrica. Estacionariedade. Eventos extremos. Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

[1]Doutor e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Engenheiro Ambiental lotado no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) – e-mail: micael.fraga@meioambiente.mg.gov.br
[2]Engenheira Ambiental lotada no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) – e-mail: luiza.ribas@meioambiente.mg.gov.br

(cc) BY-NC

ABSTRACT

The purpose of the present study is to characterize the behavior of the flow in the basins of Paraopeba (SF3) and Velhas (SF5) rivers, analyzing the occurrence of extreme maximum and minimum events, as well as the trends of the historical flow series. For that, the historical series of twenty-one stream gauge stations present in the basins were analyzed. The following flows were determined: long-term average (Q_{mld}) and average minimum of seven consecutive days, associated with a 10-year return period ($Q_{7.10}$). Subsequently, the rainy period for the hydrological year 2019/2020 was evaluated, as well as the occurrence of flows below $Q_{7.10}$ for the years 2019 and 2020. Finally, the stationarity of the flow data was evaluated using the Pettitt test and Spearman's correlation. The results showed that the hydrological year can be defined from October to September, in both analyzed basins. The rainy period of the 2019/2020 hydrological year was characterized by high flow rates in water courses, reaching the highest flow rates ever recorded in some stations. In the Paraopeba basin, significant conditions of effective restriction in the use of water resources were observed in 2019, with lower occurrences in the Velhas basin. With the analysis of the trends it was possible to observe that the dry period tends to be intensified in the basins of Paraopeba and Velhas rivers.

Keywords*: Water demand. Stationarity. Extreme events. Belo Horizonte Metropolitan Area (RMBH).*

Data de submissão: 01/12/2020

Data de aprovação: 01/02/2021

1 INTRODUÇÃO

A vazão em um curso d'água é definida como o volume que escoa em uma seção transversal deste por unidade de tempo, sendo geralmente expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou litros por segundo (L/s). Como principais formas de caracterização da vazão em cursos d'água são frequentemente utilizadas as vazões máxima, mínima e a média de longa duração, a depender do objetivo do estudo que está sendo realizado (DO; WESTRA; LEONARD, 2017; DUDLEY *et al*., 2020; MOREIRA; SILVA, 2014).

Para o controle ambiental, o conhecimento da vazão de um curso d'água é fundamental para avaliar a qualidade da água, que, na maioria dos casos, é alterada em função do lançamento de cargas poluentes. Da mesma forma, conhecer o comportamento da vazão dos

(cc) BY-NC

cursos d'água é fundamental para conhecer a sua disponibilidade hídrica, auxiliando os órgãos gestores de recursos hídricos nas tomadas de decisão.

Em estudos de vazão dos cursos d'água, a vazão média de longa duração permite caracterizar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica e o seu potencial energético, uma vez que, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração, ela corresponde a maior vazão possível a ser regularizada no curso d'água. Já as vazões máximas e mínimas têm sua relevância no estudo da ocorrência de eventos extremos, que, a depender da sua magnitude, podem provocar diversas perdas para sistemas humanos e naturais, podendo resultar em desastres (CAMUFFO *et al*., 2020).

No estado de Minas Gerais, as bacias do rio Paraopeba e do rio das Velhas estão localizadas na cabeceira da bacia do rio São Francisco, sendo as maiores responsáveis pelas captações destinadas ao abastecimento público na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). No âmbito do monitoramento das vazões, ambas as bacias contam com estações pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), as quais são gerenciadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Diante da importância de ambas as bacias, surge a necessidade de um melhor entendimento do comportamento das vazões para conhecimento da disponibilidade hídrica. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o comportamento das vazões nas bacias hidrográficas do rio Paraopeba e rio das Velhas, analisando a ocorrência de eventos extremos e de tendências nas séries históricas de vazões, cujos resultados podem contribuir para a tomada de decisão em ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

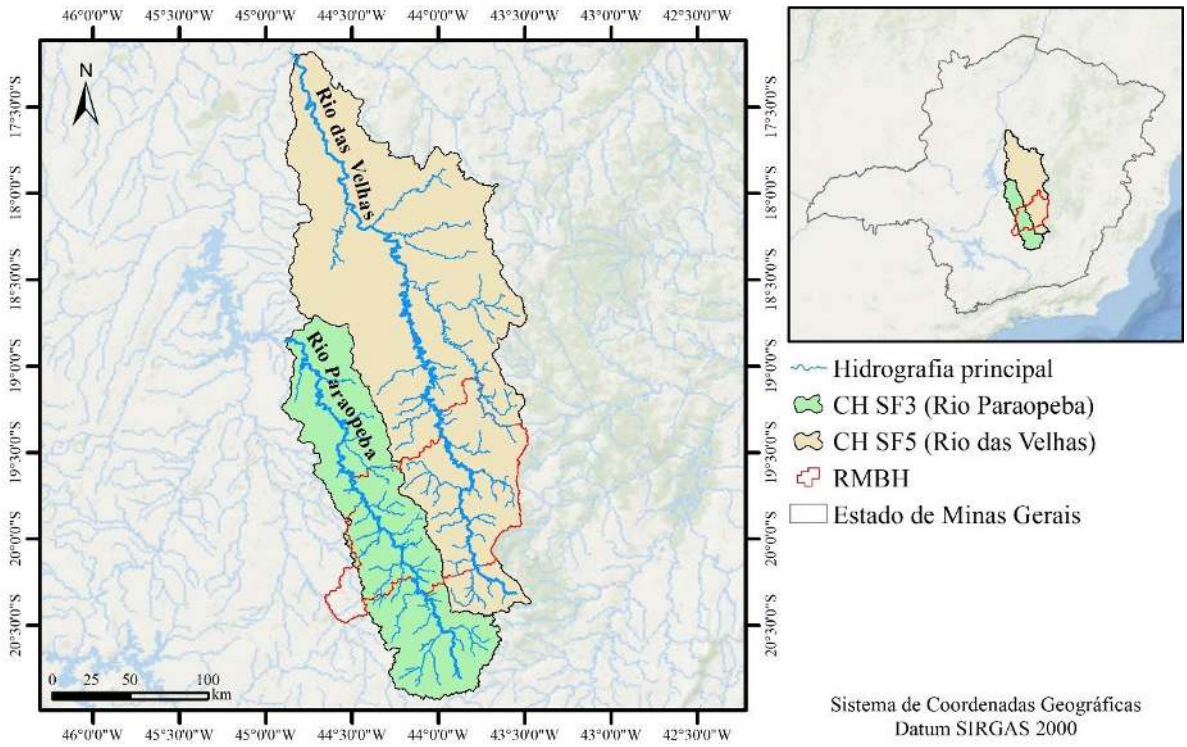
2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado nas bacias hidrográficas dos rios Paraopeba e Velhas, ambas pertencentes à bacia do rio São Francisco em sua porção inserida no estado de Minas Gerais.

(cc) BY-NC

As bacias compõem a Circunscrição Hidrográfica (CH)[3] do rio Paraopeba (CH SF3) e a Circunscrição Hidrográfica (CH) do rio das Velhas (CH SF5). A CH SF3 possui uma área de aproximadamente 12.091,53 km², enquanto a área da CH SF5 é de aproximadamente 28.091,92 km² (MAPA 1).

Mapa 1 – Bacias do Rio Paraopeba (CH SF3) e Rio das Velhas (CH SF5)



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

2.2 Análise das vazões máximas, médias e mínimas

Para a avaliação das vazões foram utilizadas as estações fluviométricas pertencentes à RHN da ANA, cujo inventário e suas respectivas séries históricas de dados encontram-se disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb)[4]. No total, foram selecionadas 10 estações fluviométricas na CH SF3 e 11 na CH SF5 (TABELA 1).

[3] Após aprovação da DN CERH-MG 66/2020 a nomenclatura foi alterada. Conforme disposto no Art. 5º Leia-se "Circunscrição Hidrográfica - CH" em todas as normas e instrumentos de gestão onde houver a expressão "Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH".

[4] http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao

(cc) BY-NC

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas para a caracterização geral das vazões nos corpos hídricos das bacias do Rio Paraopeba (CH SF3) e Rio das Velhas (CH SF5)

CH	Código	Nome da estação	Área (km²)	Período
SF3	40549998	São Brás do Suaçuí Montante	462	1982-2019
SF3	40579995	Congonhas Linígrafo	569	1987-2019
SF3	40680000	Entre Rios de Minas	487	1938-2019
SF3	40710000	Belo Vale	2.770	1966-2019
SF3	40740000	Alberto Flores	4.120	1963-2019
SF3	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	5.690	1938-2019
SF3	40810800	Fazenda Pasto Grande	54,7	2004-2019
SF3	40811100	Jardim	113	1978-2019
SF3	40823500	Suzana	154	1980-2019
SF3	40850000	Ponte da Taquara	8.750	1967-2019
SF5	41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	175	1994-2019
SF5	41180000	Itabirito Linígrafo	315	1956-2019
SF5	41199998	Honório Bicalho Montante	1.550	1971-2019
SF5	41250000	Vespasiano	709	1938-2019
SF5	41260000	Pinhões	3.730	1975-2019
SF5	41300000	Taquaraçu	618	1938-2019
SF5	41340000	Ponte Raul Soares	4.860	1938-2019
SF5	41380000	Ponte Preta	564	1941-2019
SF5	41410000	Jequitibá	7.080	1965-2019
SF5	41440005	Represa Jusante	238	1979-2019
SF5	41600000	Pirapama	8.050	1968-2019
SF5	41650002	Ponte do Licínio Jusante	10.700	1976-2019
SF5	41818000	Santo Hipólito (ANA/CEMIG)	16600	1938-2019
SF5	41990000	Várzea da Palma	26500	1938-2019

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

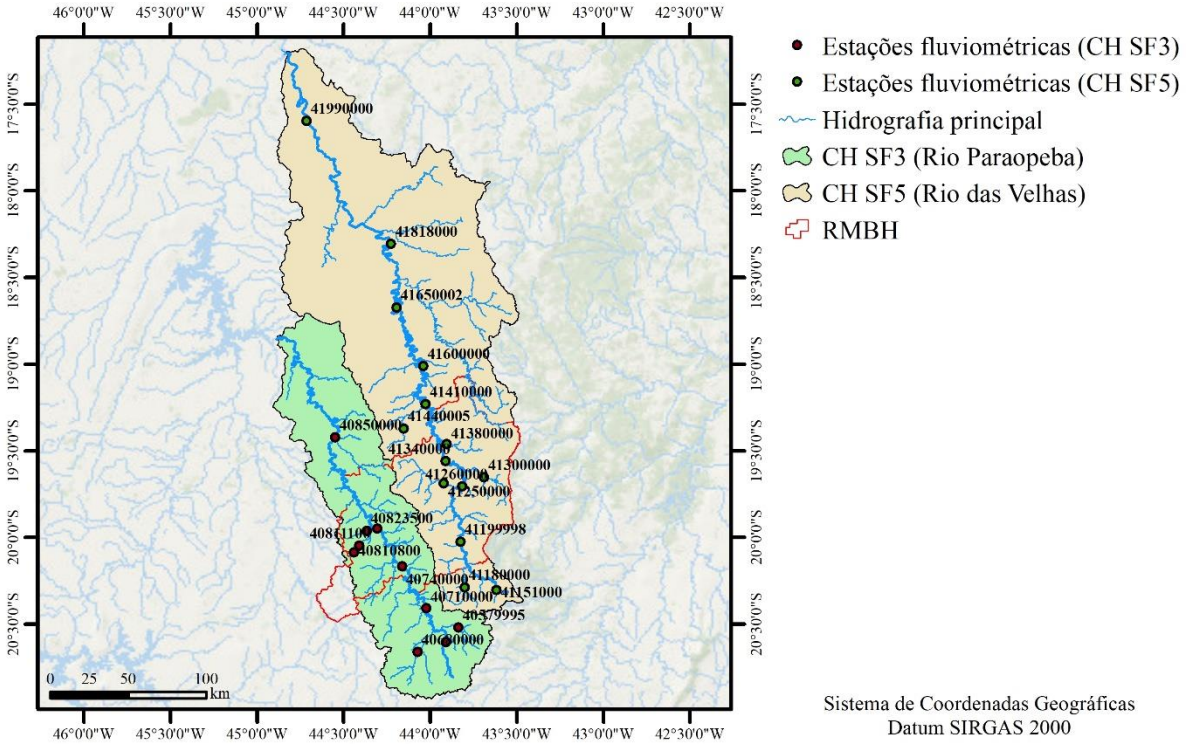
Com base nas séries históricas das estações fluviométricas da Tabela 1, foi obtida a $Q_{7,10}$ e as vazões médias de longo período mensal e anual (Q_{mlt}) para todas as estações. A $Q_{7,10}$ consiste na vazão mínima de referência adotada no estado de Minas Gerais para caracterizar a disponibilidade hídrica dos cursos d'água. Todo o processamento dos dados para obtenção das vazões foi realizado no *software* SisCAH 1.0, considerando-se os anos com no máximo 5% de falhas. Para o cálculo da $Q_{7,10}$, que está associada a uma probabilidade de ocorrência, foi

(cc) BY-NC

necessário verificar a distribuição de probabilidade com melhor ajuste aos dados de Q_7 (vazão mínima com 7 dias de duração). Para isso, o SisCAH 1.0 considera os seguintes modelos de distribuição de probabilidade: Weibull; Log-normal II; Log-normal III; Pearson III; e Log-Pearson III. A seleção da distribuição de probabilidade com melhor ajuste aos dados de Q_7 se deu com a estimativa dos valores de vazão que apresentou o menor erro padrão e a menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas em cada distribuição, admitindo-se um intervalo de confiança em um nível de 95%.

O Mapa 2 mostra a distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas para caracterização geral das vazões.

Mapa 2 – Distribuição espacial das estações fluviométricas utilizadas para a caracterização geral das vazões nos corpos hídricos das bacias do Rio Paraopeba (CH SF3) e Rio das Velhas (CH SF5)



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Também foi realizado o cálculo das vazões máximas e o respectivo período de retorno (T), que consiste no intervalo de tempo em que um evento é igualado ou superado. Os valores foram obtidos utilizando o *software* ALEA, onde optou-se por utilizar a distribuição de

(cc) BY-NC

Gumbel, que é frequentemente utilizada em estudos hidrológicos de eventos extremos de máxima. Para o cálculo, foram utilizadas as vazões máximas diárias de cada ano hidrológico. Entretanto, para essa etapa da análise, foram utilizadas as estações apresentadas na Tabela 2, com um enfoque principal para o período chuvoso do ano hidrológico de 2019/2020. Tais estações foram escolhidas por estarem próximas a RMBH e por possuírem estações fluviométricas com Plataforma Automática de Coletas de Dados (PCD), o que possibilitou a aquisição automática dos dados atualizados de nível d'água, vazão e precipitação.

Tabela 2 – Estações selecionadas para avaliação do comportamento das vazões máximas

CH	Código	Nome da estação	Rio	Período
SF3	40680000	Entre Rios de Minas	Rio Brumado	1938-2020
SF3	40710000	Belo Vale	Rio Paraopeba	1965-2020
SF3	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Rio Paraopeba	1938-2020
SF5	41180000	Itabirito Linígrafo	Rio Itabirito	1956-2020
SF5	41340000	Ponte Raul Soares	Rio das Velhas	1938-2020
SF5	41410000	Jequitibá	Rio das Velhas	1965-2020
SF5	41650002	Ponte do Licínio Jusante	Rio das Velhas	1976-2020
SF5	41818000	Santo Hipólito (ANA/CEMIG)	Rio das Velhas	1938-2020
SF5	41990000	Várzea da Palma	Rio das Velhas	1938-2020

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

2.3 Análise de vazão em condições críticas

Como medida para controle/minimização de escassez hídrica, a Deliberação Normativa nº 49/2015 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), a qual estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas do estado de Minas Gerais, traz regras para a classificação dos níveis de vazão em três estágios:

a) ESTADO DE ATENÇÃO: se caracteriza quando a(s) média(s) das vazões diárias de 7 (sete) dias consecutivos, observadas no(s) posto(s) de monitoramento fluviométrico de referência estiver(em) inferior(es) a 200% da Q7,10;

(cc) BY-NC

b) ESTADO DE ALERTA: ocorre quando a média das vazões diárias de 7 (sete) dias consecutivos observadas no(s) posto(s) de monitoramento fluviométrico de referência estiver(em) igual ou inferior da 100% da Q7,10;

c) ESTADO DE RESTRIÇÃO DE USO: ocorre quando a média das vazões diárias de 7 (sete) dias consecutivos observadas no(s) posto(s) de monitoramento fluviométrico de referência estiver(em) inferior a 50% (cinquenta por cento) da Q7,10 nas bacias hidrográficas do Estado ou inferior a 70% da Q7,10 para as bacias hidrográficas dos Rios Jequitaí, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas (CERH, 2015).

A análise de vazão em condições críticas foi realizada com base na avaliação das séries das vazões, partindo das definições da DN CERH/MG nº 49/2015, quantificando a ocorrência de valores abaixo de 70%, da $Q_{7,10}$, para os anos de 2019 e 2020 e, posteriormente, foram consideradas ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos. Para a avaliação da CH SF3 foram utilizadas as estações: Entre Rios de Minas, Belo Vale e Ponte Nova do Paraopeba. Já para a CH SF5 foram utilizadas as estações Itabirito Linígrafo, Jequitibá e Santo Hipólito, tendo em vista que a estação Ponte Raul Soares apresentou muitas falhas, principalmente no período seco. Ressalta-se que, para a análise de vazões em condições críticas em 2019 e 2020 foram utilizados dados brutos das estações telemétricas, estando estes sujeitos a alterações após tratamento e consistência.

2.4 Análise de estacionariedade

Para a análise de estacionariedade foram utilizados os testes não paramétricos de Pettitt (1979) e a correlação de Spearman (GAUTHIER, 2001) que permitem confirmar a estacionariedade, ou não, de uma série histórica. Os testes foram aplicados, em cada uma das estações fluviométricas, às 12 séries de médias mensais e à série de média anual (TABELA 2).

O teste de Pettitt foi realizado a um nível de significância de 5%. Quando o valor de p-value é menor que o nível de significância (0,05), rejeita-se a hipótese nula (H0) de estacionariedade na série. Neste caso, prevalece a hipótese alternativa (H1) de não estacionariedade dos dados. O sinal positivo ou negativo do coeficiente R de Spearman definiu

(cc) BY-NC

se a não estacionariedade dos dados estava associada a um aumento ou redução destes, respectivamente, já que correspondeu à correlação da vazão com o tempo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das vazões máximas, médias e mínimas

Na Tabela 3 podem ser observados os resultados da $Q_{7,10}$ e das vazões médias para a bacia do Rio Paraopeba, enquanto na Tabela 4 são apresentados os resultados para a bacia do Rio das Velhas. Com exceção das estações 40710000, 41340000, 41410000 e 41600000, que apresentaram melhor ajuste dos dados de Q_7 a distribuição de Weibull, todas as demais estações apresentaram melhor ajuste a distribuição Log-Pearson III.

Como podem ser observados pela Tabela 3, os maiores e os menores valores de vazão média encontrados na calha do Rio Paraopeba foram referentes às estações Ponte de Taquara (40850000) e São Brás do Suaçuí Montante (40549998), respectivamente, uma vez que a vazão de um curso d'água é normalmente um valor diretamente proporcional à área de drenagem do ponto de medição. Já para as estações alocadas na calha do rio das Velhas apresentadas na Tabela 4, esses valores são referentes às estações Várzea da Palma (41990000) e Fazenda Água Limpa Jusante (41151000). Outro fato a ser determinado através dos dados das estações avaliadas em ambas as bacias é o início do ano hidrológico. Pode-se observar que as vazões começam a apresentar um leve aumento no mês de outubro, tendo maiores saltos nos meses de novembro e dezembro. Dessa forma, o ano hidrológico em ambas as bacias pode ser definido de outubro a setembro.

(cc) BY-NC

Tabela 3 – $Q_{7,10}$ e vazões médias mensais e anual de longo período para as estações analisadas na bacia do Rio Paraopeba

Código	$Q_{7,10}$	Vazões médias mensais (m³/s)												Q_{mlt}
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
40549998	1,44	17,48	12,09	10,46	7,36	5,45	4,57	3,84	3,34	3,58	4,31	7,27	12,34	7,67
40579995	1,79	24,84	16,94	14,32	9,24	6,47	5,05	4,14	3,61	3,91	5,84	11,16	19,49	10,42
40680000	1,56	16,84	13,95	11,99	8,06	5,92	5,00	4,25	3,64	3,78	5,09	7,86	14,21	8,38
40710000	10,46	109,80	78,30	67,76	46,74	33,69	28,30	24,17	20,92	21,76	28,73	47,72	81,55	49,12
40740000	13,17	134,20	101,15	84,62	59,00	43,55	36,52	31,13	26,72	27,12	35,90	58,78	100,50	61,60
40800001	17,60	172,48	143,70	123,97	84,15	60,82	50,86	43,10	36,53	36,32	46,09	74,66	132,40	83,76
40810800	0,12	1,72	1,26	1,13	0,81	0,60	0,50	0,42	0,36	0,34	0,36	0,59	1,21	0,78
40811100	0,22	3,40	2,49	2,28	1,59	1,15	0,97	0,78	0,66	0,62	0,67	1,15	2,41	1,52
40823500	0,35	5,13	3,26	3,21	2,04	1,49	1,23	1,02	0,86	0,83	0,90	1,64	3,90	2,13
40850000	21,42	267,29	197,43	169,84	118,01	83,62	69,15	57,34	48,60	48,78	62,79	108,19	196,21	118,94

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Tabela 4 – $Q_{7,10}$ e vazões médias mensais e anual de longo período para as estações analisadas na bacia do Rio das Velhas

Código	$Q_{7,10}$	Vazões médias mensais (m³/s)												Q_{mlt}
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
41151000	0,94	6,18	3,75	3,65	2,72	2,13	1,85	1,66	1,52	1,56	1,67	2,99	5,04	2,89
41180000	3,01	14,59	11,39	9,35	7,26	5,98	5,36	5,01	4,67	4,79	5,39	7,32	10,73	7,65
41199998	10,72	59,45	41,14	39,06	28,65	21,96	19,09	17,81	16,76	16,95	19,30	27,88	47,48	29,63
41250000	1,20	20,47	14,63	12,92	7,73	5,38	4,45	3,82	3,27	3,18	3,94	8,09	16,19	8,67
41260000	17,58	138,96	96,42	84,76	57,23	42,93	37,31	32,73	29,58	30,27	35,09	59,50	107,83	62,72
41300000	1,22	23,66	16,67	14,25	9,11	6,55	5,21	4,29	3,47	3,24	4,25	9,75	19,20	9,97
41340000	20,18	154,90	117,21	104,60	68,05	50,09	43,13	38,26	34,52	35,18	43,15	72,35	127,92	74,11
41380000	0,90	16,04	11,47	9,26	5,26	3,55	2,97	2,58	2,23	2,24	3,29	7,49	15,06	6,79
41410000	24,32	209,03	146,00	128,24	83,93	61,60	52,97	46,46	41,55	41,63	50,97	92,62	167,12	93,51
41440005	0,70	6,26	4,38	4,41	2,87	2,19	1,90	1,65	1,46	1,44	1,58	2,85	4,80	2,98
41600000	27,19	225,62	164,59	146,61	98,65	71,06	61,21	53,17	47,36	46,84	56,65	103,11	179,83	104,56
41650002	29,01	269.94	215.26	179.36	113.91	79.06	67.38	57.56	51.25	50.26	62.40	114.51	226.83	125,50
41818000	35,41	449.41	330.00	285.36	176.54	111.52	90.31	75.23	64.78	63.73	91.64	206.17	374.89	194,44
41990000	43,01	746.74	549.72	455.04	273.72	159.73	124.11	101.35	84.79	83.27	128.67	325.04	624.97	308,80

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

No que tange à disponibilidade hídrica de ambas as bacias, as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$) refletem o potencial hídrico disponível para os períodos críticos. Nesse sentido, a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de referência com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos) é utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica dos cursos d'água e para fins de concessão de outorga no estado de Minas Gerais.

Em relação às vazões máximas ocorridas no ano hidrológico de 2019/2020, na Tabela 5 podem ser observados os maiores eventos de vazão registrados nas estações analisadas

(cc) BY-NC

para toda a série histórica, bem como os maiores eventos registrados no referido ano hidrológico.

Tabela 5 – Maiores vazões registradas para toda a série histórica e para o ano de 2019/2020

Código	Nome da estação	Maior vazão já registrada na estação (m^3/s)	Data de ocorrência da maior vazão já registrada	Maior vazão registrada em 2020 (m^3/s)	Data de ocorrência da maior vazão em 2019/2020	Ordem da maior vazão registrada em 2019/2020
40680000	Entre Rios de Minas	360,26	17/12/2008	437,60	25/01/2020	1°
40710000	Belo Vale	1453,60	04/01/1997	1020,46	26/01/2020	4°
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	2193,84	05/01/1997	996,42	25/01/2020	4°
41180000	Itabirito Linígrafo	350,65	03/01/1997	166,31	24/01/2020	5°
41340000	Ponte Raul Soares	1462,38	19/02/1965	1477,37	26/01/2020	1°
41410000	Jequitibá	1450,71	28/01/1985	1523,04	27/01/2020	1°
41650002	Ponte do Licínio Jusante	1709,45	07/01/1997	1485,08	29/01/2020	4°
41818000	Santo Hipólito (ANA/CEMIG)	2161,56	25/11/1996	2505,04	29/01/2020	1°
41990000	Várzea da Palma	4961,76	01/02/1979	2790,67	31/01/2020	18°

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Pelos dados observados, o período chuvoso do ano hidrológico de 2019/2020 foi caracterizado por altos valores de precipitação, o que ocasionou altos valores de vazão nos cursos d'água. Segundo o Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE), o evento foi resultante da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se estacionou na faixa centro/oeste/leste do estado de Minas Gerais.

Na bacia do rio Paraopeba, o evento de vazão foi o maior na estação Entre Rios de Minas (40680000) com período de retorno igual a 85 anos, ou seja, a probabilidade deste evento ser igualado ou superado é de 1.17% a cada ano. Já nas estações Belo Vale (40710000) e Ponte Nova do Paraopeba (40800001), o evento foi o 4° maior em ambas as estações, com um período de retorno de aproximadamente 15 e 21 anos, respectivamente. Na bacia do rio das Velhas, o evento foi o maior já registrado nas estações Ponte Raul Soares (41340000), Jequitibá (41410000) e Santo Hipólito (41818000), com períodos de retorno de aproximadamente 73, 51 e 78 anos, respectivamente.

(cc) BY-NC

Ao observar os anos de ocorrência das maiores vazões já registradas em cada estação, nota-se que nem todas elas apresentaram os maiores valores no mesmo ano. Tal fato é decorrente das falhas encontradas nos dados das séries históricas, impedindo que todos os anos fossem utilizados na análise; bem como da distribuição espacial das chuvas na bacia, que nem sempre cobre toda a área de drenagem.

3.2 Análise de vazão em condições críticas

Na Tabela 6 pode ser observada a quantificação de ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ nas 6 estações analisadas. Entretanto, é válido ressaltar que, devido à crise sanitária provocada pelo agente patógeno Covid-19, o ano de 2020 apresentou, em todas as estações, falhas de dados, principalmente nos meses do período seco, em virtude das dificuldades de realização de manutenção nas estações.

Tabela 6 – Ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$

CH	Código	Estação	2019	2020
SF3	40680000	Entre Rios de Minas	82	0
	40710000	Belo Vale	0	0
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	25	0
SF5	41180000	Itabirito Linígrafo	0	9
	41410000	Jequitibá	5	2
	41818000	Santo Hipólito	36	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Na bacia do rio Paraopeba a ocorrência de dados abaixo de 70% de $Q_{7,10}$ foi registrada apenas em 2019 nas estações Entre Rios de Minas e Ponte Nova do Paraopeba, contabilizando 82 e 25 dados, respectivamente. Com os resultados de 2019, a estação Entre Rios de Minas ultrapassa historicamente a marca de maior registro, o qual, até o momento, tinha acontecido em 2017 com 60 ocorrências. Além de 2017 e 2019 a referida estação teve registro de violações nos anos de 1955, 2002, 2014 e 2015. Já na estação Ponte Nova do Paraopeba, o ano de 2019 apresentou resultados semelhantes ao período entre 2014 e 2016, onde foram verificadas 21, 18 e 22 ocorrências, respectivamente. Para esta estação, a marca histórica

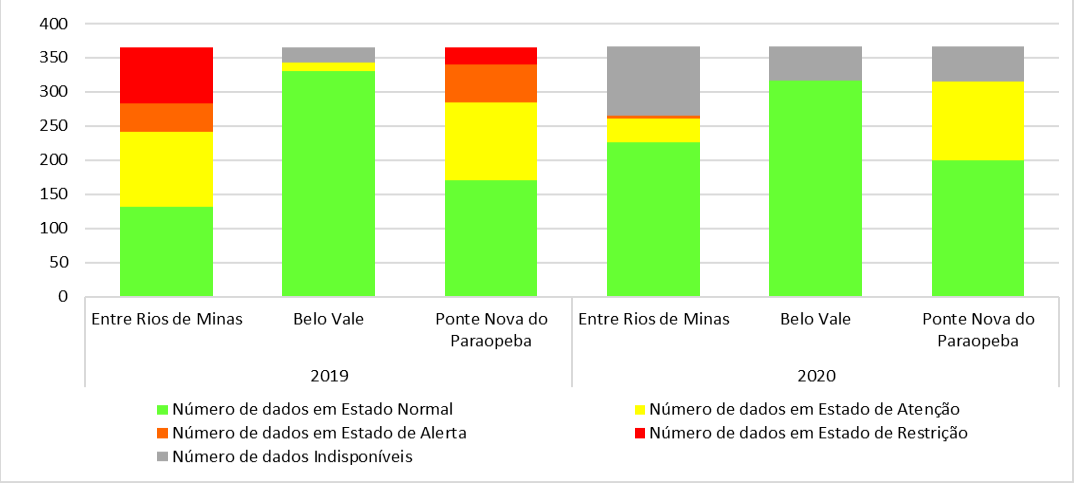
(cc) BY-NC

continua sendo o ano de 2017 onde chegou-se a contabilizar 108 dados inferiores à 70% da $Q_{7,10}$.

Na bacia do rio das Velhas, as estações Santo Hipólito e Jequitibá contabilizaram um total de 36 e 5 registros de vazões inferiores à 70% de $Q_{7,10}$ em 2019. Já em 2020, foram registradas 9 e 2 ocorrências nas estações Itabirito Linígrafo e Jequitibá, respectivamente. A estação Itabirito Linígrafo, é uma estação que, historicamente, possui poucos anos com registros de vazões em condições de restrição de uso, tendo contabilizado além dos 9 registros em 2020, 51 em 1965 e 12 em 2015. Na estação Jequitibá, considerando sua série histórica, a ocorrência de vazões críticas foi registrada entre os anos de 2014 e 2017, tendo o cenário de 2019 e 2020 semelhante aos anos de 2014 e 2016 que atingiram 1 e 3 registros, respectivamente. Para a estação, o maior número de ocorrências continua sendo o ano de 2017 com 24 dados. Já a estação Santo Hipólito, vazões inferiores à 70% da $Q_{7,10}$ foram visualizados entre os anos de 2015 e 2017, deixando o ano de 2019 próximo a média de registros dos anos em que foram verificadas vazões críticas.

Destaca-se que, para todas as estações analisadas, o ano de 2020 apresentou muitas falhas, principalmente nos meses de setembro e outubro, período em que são registradas vazões mais baixas e, consequentemente, maiores ocorrências de violações da $Q_{7,10}$. Nos Gráficos 1 e 2 é possível observar o detalhamento dos indicadores estatísticos, para o período analisado, com a aplicação das prerrogativas legais previstas na DN CERH/MG nº 49/2015, em cada estação.

Gráfico 1 – Quantitativo de dados nas categorias de oferta hídrica na CH SF3

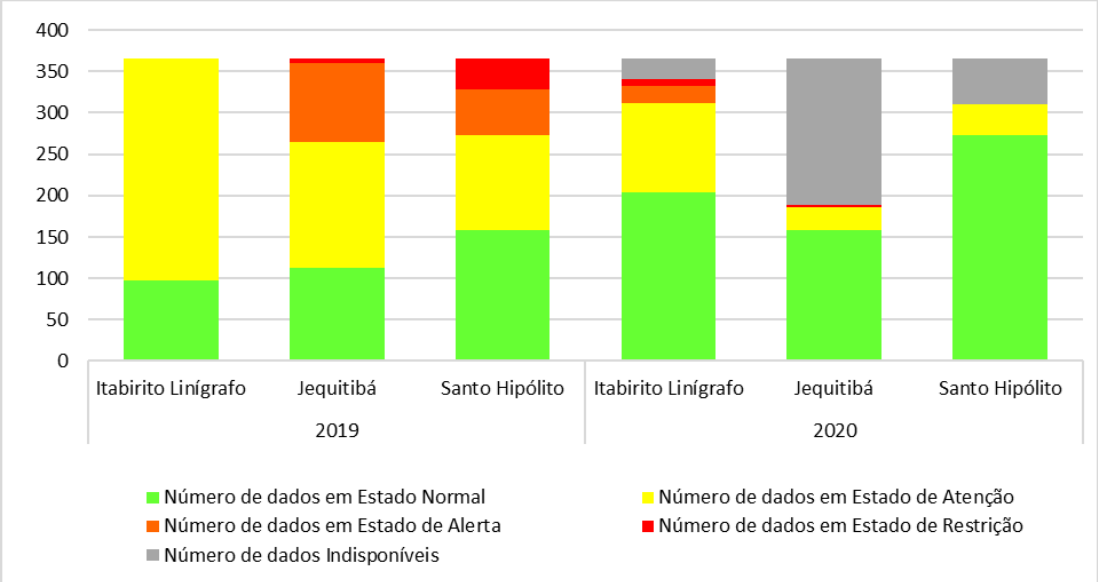


Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

(cc) BY-NC

Na bacia do rio Paraopeba, quanto ao enquadramento das vazões aos estados previstos na DN, verifica-se que, em 2019 os resultados obtidos demonstram relativa semelhança no comportamento das vazões das estações Entre Rios de Minas e Ponte Nova do Paraopeba, indicando períodos em que se observaram dados inferiores à $Q_{7,10}$, incluindo-se significativas condições de restrição efetiva de uso, principalmente em Entre Rios de Minas, apesar de se tratar de cursos d'águas diferentes. Já a estação Belo Vale apresentou dados de vazão prevalentemente em estado normal. Para o ano de 2020, a avaliação dos enquadramentos, principalmente nas categorias que retratam situação crítica, foi comprometida devido ao considerável número de falhas, tendo em vista que estas ocorreram principalmente nos meses do período seco, porém é possível observar que, o bom o resultado de período chuvoso de 2019/2020 refletiu bem nas vazões, onde pode-se notar um maior quantitativo de dados em estado normal nas estações Entre Rios de Minas e Ponte Nova do Paraopeba.

Gráfico 2 – Quantitativo de dados nas categorias de oferta hídrica na CH SF5



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

O enquadramento das vazões das estações na bacia do rio das Velhas mostrou-se menos crítico do que na bacia do rio Paraopeba. Na estação Itabirito Linígrafo não foi observado nenhum dado inferior à $Q_{7,10}$. Já nas estações Jequitibá e Santo Hipólito prevaleceram registros enquadrados nos estados normal e de atenção, porém houve número significativo de ocorrência

(cc) BY-NC

de vazões inferiores à $Q_{7,10}$, sendo 95 registros de estado de alerta e 5 de estado de restrição de uso na estação Jequitibá e 56 registros de estado de alerta e 36 de estado de restrição de uso na estação Santo Hipólito. Em 2020, assim como na bacia do rio Paraopeba, a avaliação para bacia do rio das Velhas também ficou comprometida, entretanto nota-se, além do aumento no quantitativo de dados em estado normal nas três estações, a ocorrência de vazões abaixo da $Q_{7,10}$ na estação Itabirito Linígrafo e a melhora do cenário das categorias de oferta hídrica na estação Santo Hipólito.

Também foram analisadas as ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos caracterizando situação de escassez hídrica segundo critérios definidos pela DN CERH/MG nº 49/2015 (TABELA 7).

Pelos dados apresentados na Tabela 7, observa-se que, assim como quando avaliado apenas a ocorrência de dados inferiores a 70% da $Q_{7,10}$, a estação Entre Rios de Minas foi a que mais registrou ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos, caracterizando estado de restrição de uso, com 68 registros em 2019. A estação Ponte Nova do Paraopeba, nesta avaliação, contabilizou 14 ocorrências em 2019 e, na bacia do Velhas, a estação Santo Hipólito atingiu 23 ocorrências. Para o ano de 2020, conforme já mencionado, a baixa ocorrência de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos pode ter sido consequência do período chuvoso de 2019/2020.

Tabela 7 – Ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos

CH	Código	Estação	2019	2020
SF3	40680000	Entre Rios de Minas	68	0
	40710000	Belo Vale	0	0
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	14	0
SF5	41180000	Itabirito Linígrafo	0	3
	41410000	Jequitibá	0	0
	41818000	Santo Hipólito	23	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

3.3 Análise de estacionariedade

Na Tabela 8 é apresentado os resultados do teste de Pettitt, com os respectivos valores do p-valor e do ano. Na análise, o ano representa o ponto de mudança na sucessão das

(cc) BY-NC

observações, quando detectada a não estacionariedade dos dados observados. Já na Tabela 9 são apresentados os resultados referentes à correlação de Spearman (R).

Tabela 8 – Resultado da estatística do teste de Pettitt

Estação	Estatística	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
40680000	p-valor	0,401	0,252	0,754	0,268	0,046	0,087	0,017	0,001	0,011	0,015	0,380	0,139	0,048
	Ano	-	-	-	-	1998	-	1997	1998	1998	1998	-	-	1998
40710000	p-valor	1,226	0,513	0,766	0,162	0,043	0,056	0,009	0,001	0,006	0,011	0,363	0,386	0,187
	Ano	-	-	-	-	1997	-	1997	1998	1997	1998	-	-	-
40800001	p-valor	0,766	0,731	1,146	0,119	0,013	0,043	0,006	0,001	0,003	0,012	0,434	0,434	0,150
	Ano	-	-	-	-	1997	1997	1997	1997	1997	1997	-	-	-
41180000	p-valor	0,601	0,041	0,226	0,115	0,066	0,038	0,016	0,005	0,010	0,008	0,330	0,198	0,041
	Ano	-	1993	-	-	-	1988	1988	1988	1997	1998	-	-	1997
41340000	p-valor	0,460	0,589	1,329	0,142	0,109	0,065	0,043	0,004	0,091	0,018	1,146	0,606	0,445
	Ano	-	-	-	-	-	-	1998	1998	-	1998	-	-	-
41410000	p-valor	0,912	0,541	1,265	0,541	0,363	0,282	0,215	0,086	0,486	0,174	1,226	1,185	0,486
	Ano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41650002	p-valor	0,586	0,702	1,131	1,139	0,057	0,017	0,015	0,007	0,129	0,049	1,048	1,194	0,3325
	Ano	-	-	-	-	-	1998	1998	1998	-	1997	-	-	-
41818000	p-valor	0,486	0,434	0,874	0,149	0,061	0,069	0,016	0,007	0,024	0,029	1,106	1,106	0,247
	Ano	-	-	-	-	-	-	-	1994	1994	1993	-	-	-
41990000	p-valor	0,301	0,486	0,801	0,1287	0,073	0,067	0,009	0,007	0,022	0,016	1,423	1,265	0,201
	Ano	-	-	-	-	-	-	1994	1994	1993	1994	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Tabela 9 – Resultado da estatística da correlação de Spearman (R)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
40680000	-0,310	-0,243	-0,197	-0,331	-0,405	-0,356	-0,476	-0,601	-0,422	-0,423	-0,308	-0,405	-0,458
40710000	-0,122	-0,178	-0,170	-0,273	-0,324	-0,366	-0,484	-0,632	-0,550	-0,455	-0,302	-0,263	-0,280
40800001	-0,182	-0,150	-0,118	-0,289	-0,418	-0,371	-0,491	-0,637	-0,543	-0,432	-0,235	-0,190	-0,272
41180000	-0,262	-0,353	-0,260	-0,352	-0,408	-0,388	-0,462	-0,488	-0,512	-0,492	-0,249	-0,309	-0,436
41340000	-0,206	-0,275	0,035	-0,312	-0,395	-0,435	-0,520	-0,629	-0,510	-0,338	-0,051	-0,212	-0,245
41410000	-0,175	-0,244	-0,031	-0,162	-0,302	-0,321	-0,338	-0,388	-0,277	-0,262	-0,086	-0,122	-0,245
41650002	-0,283	-0,234	-0,083	-0,327	-0,440	-0,481	-0,514	-0,564	-0,426	-0,357	-0,149	-0,048	-0,292
41818000	-0,263	-0,277	-0,190	-0,327	-0,480	-0,447	-0,543	-0,622	-0,541	-0,424	-0,094	-0,120	-0,362
41999999	-0,308	-0,290	-0,243	-0,324	-0,427	-0,431	-0,545	-0,592	-0,557	-0,423	-0,061	-0,116	-0,396

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

As análises dos dados anuais mostraram que as estações Entre Rios de Minas (40680000) e Itabirito Linígrafo (41180000) não apresentaram estacionariedade nos dados com redução nos valores de vazão e mudança ocorrendo nos anos de 1998 e 1997, respectivamente. Já para as demais estações, a hipótese de estacionariedade dos dados foi aceita, embora os resultados do R de Spearman mostrem uma correlação negativa da vazão com o tempo, o que indica que os valores estão decrescendo ao longo dos anos.

(cc) BY-NC

Ao analisar os dados mensais, com exceção da estação Jequitibá (41410000), todas as demais apresentaram tendência significativa de redução para o mês de agosto, sendo constatadas também reduções para os meses de maio, junho, julho e setembro. Ao avaliar os anos em que ocorreram as mudanças, observa-se que a maioria ocorreu entre 1997 e 1998, corroborando com os resultados encontrados para os dados anuais. Outro fato observado na análise dos dados mensais é que, com exceção do mês de março para a estação Ponte Raul Soares (41340000), todos dados em que a tendência não foi significativa apresentaram correlação negativa da vazão com o tempo.

Com a análise das tendências é possível observar que o período seco tende a se intensificar nas bacias do rio Paraopeba e rio das Velhas. Entretanto, se faz importante a realização de estudos adicionais para a identificação das causas deste comportamento.

De maneira geral, quatro fatores podem influenciar na mudança do comportamento das vazões ao longo do tempo, sendo eles: alteração nos valores de totais precipitados e na frequência de ocorrência das precipitações, bem como os demais fatores associados às alterações climáticas; mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo, principalmente àquelas relacionadas aos usos que dificultam a infiltração da água no solo e favorecem ao escoamento superficial; instalação de barramentos e/ou demais estruturas hidráulicas; e a evolução das demandas pelo uso dos recursos hídricos na bacia, que, de maneira geral, tem apresentado um alto crescimento em todo o estado de Minas Gerais.

4 CONCLUSÃO

Devido ao comportamento das vazões, foi possível determinar que o ano hidrológico pode ser definido de outubro a setembro, em ambas as bacias hidrográficas avaliadas.

O período chuvoso do ano hidrológico de 2019/2020 foi caracterizado pelos altos valores de vazão nos cursos d'água, fazendo com que diversas estações fluviométricas registrassem os maiores valores de vazão dos dados já observados.

Em ambas as bacias foram observadas significativas condições de restrição efetiva de uso dos recursos hídricos no ano de 2019. O período chuvoso de 2019/2020 refletiu bem nas

(cc) BY-NC

vazões, fazendo com que o ano de 2020 apresentasse poucas condições de restrição efetiva de uso dos recursos hídricos.

Com a análise das tendências foi possível observar que o período seco tende a se intensificar nas bacias do rio Paraopeba e rio das Velhas. Entretanto as análises utilizadas não permitiram a identificação das possíveis causas de redução.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Portal Hidroweb v3.1.1**. Brasília. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao. Acesso em: 20 set. 2020.

CAMUFFO, D. *et al*. A critical analysis of the definitions of climate and hydrological extreme events. **Quaternary International**, Amstedam, v. 538, p. 5-13, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.10.008

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Deliberação Normativa CERH/MG nº 49/2015, de 25 março de 2015**. Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37775. Acesso em: 20 set. 2020.

DO, H. X.; WESTRA, S.; LEONARD, M. A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 552, p. 28-43, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.015

DUDLEY, R. W. *et al*. Low streamflow trends at human-impacted and reference basins in the United States. **Journal of Hydrology**, Amstedam, v. 580, p. Jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124254

GAUTHIER, T. D. Detecting trends using Spearman's rank correlation coefficient. **Environmental Forensics**, Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 359-362, 2001. DOI: https://doi.org/10.1006/enfo.2001.0061

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE**). Base de dados. Disponível em: http://www.simge.mg.gov.br/. Acesso em: 23 set. 2020.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise de métodos para estimativa das vazões da Bacia do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 313-324, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p313-324

(cc) BY-NC

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. (Series C Applied Statistics). DOI: https://doi.org/10.2307/2346729

(cc) BY-NC