

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

## DISPONIBILIDADE HÍDRICA ATRAVÉS DA CURVA DE GARANTIA DE VAZÃO, COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO-BA

Rios, G. A.<sup>1</sup>; Gonçalves, M. J de S.<sup>2</sup>; Torres, A. P.<sup>3</sup>; Casais, J. C.<sup>4</sup>; Santos, D. A. dos.<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Universidade Federal da Bahia – UFBA/IGEO  
Grupo de Pesquisa NEHMA  
Grupo de Pesquisa OBA-BA  
Campus Ondina, Salvador/BA, CEP: 40170-115  
[geovanarios13@gmail.com](mailto:geovanarios13@gmail.com)  
[antoniopuentes@hotmail.com](mailto:antoniopuentes@hotmail.com)  
[jaianealdascasais@gmail.com](mailto:jaianealdascasais@gmail.com)  
[das.daise@gmail.com](mailto:das.daise@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos– INEMA  
Universidade Federal da Bahia–UFBA: Grupo de Pesquisa OBA-BA  
Universidade Estadual de Feira de Santana–UEFS: Grupo de Pesquisa GEOLANDS e  
Laboratório GEOTRÓPICOS.  
Avenida Luís Viana Filho, 6ª Avenida, nº 600, CAB. Salvador– BA. CEP: 41745-900  
[mariotaboca@gmail.com](mailto:mariotaboca@gmail.com)

**Abstract.** The Water Guarantee consists of the probability of occurrence of flows over a planning horizon, serving as an important tool to support planning and management and, consequently, decision making regarding the various uses of water resources. The study area corresponds to the hydrographic sub-basin of the Preto River (SBHRP), located in the western region of Bahia, which presents a growing expansion of agribusiness, and as a result, has suffered from the transformation of land and the excessive use of resources water resources. In this way, this work focused on the analysis of the behavior of water availability for SBHRP during the years 1943 to 1983 and the years from 1991 to 2017. This study aims to quantitatively analyze the water availability of SBHRP from secondary data, generating relevant information for managing different uses and planning future scenarios. The methodology was divided into four stages, which are: a) Bibliographic survey and data collection, b) Review of the information obtained, c) Treatment of data for the generation of the graphics, d) Interpretation of the graphics. The study showed that the flows of the second period, in comparison to the first, showed large reductions in flows, leading us to infer that this decrease was caused by the intensification of agricultural activities, starting in the 1980.

**Palavras-Chave-** Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-BHRSF, Curva de Garantia, Disponibilidade Hídrica, Sub-bacia Hidrográfica do Rio Preto- SBHRP, Tempo de Retardo Médio-TRM.

### 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para diversos processos geológicos e biológicos, além de ser crucial para a formação e manutenção da vida humana. Desde os primórdios, a ocupação humana é controlada pela distribuição da água, os nômades, por exemplo, locomoviam-se com intuito de encontrar água, e conseqüentemente alimentos. Mesmo com a sua fixação, o homem continuou buscando, sobretudo, locais com abundância hídrica.

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

Devido ao crescente aumento da demanda por água, gerada pelo aumento populacional, avanço da urbanização e uso indiscriminado na indústria e em projetos de irrigação, ocasionaram-se graves conflitos entre os principais usuários, sendo a água de extrema importância para o setor produtivo e por consequência, para a acumulação de capital.

De acordo com o BRASIL (2020), a região Oeste do estado da Bahia possui uma das maiores taxas de crescimento do agronegócio no Brasil e a maior no estado da Bahia nos últimos 30 anos. Essa região encontra-se em pleno desenvolvimento econômico, desde o início da sua ocupação na década de 1980, quando houve alteração de boa parte do cerrado, em decorrência das extensas lavouras de grãos.

Essa grande procura por água tem despertado a ação e o interesse de pesquisadores e entidades públicas frente às necessidades de dados técnicos para embasar a tomada de decisões e o gerenciamento destes recursos (GASPAR, 2006, p.1). Deste modo, a gestão dos recursos hídricos tem por finalidade compatibilizar a disponibilidade hídrica existente na bacia, com as múltiplas demandas que se apresentam, devendo considerar os aspectos políticos, de planejamento e gerenciais, que lhes são correspondentes, bem como os componentes físicos, econômicos e sociais da comunidade onde a bacia está inserida (VIEGAS FILHO, 2004, p.3).

Com essa motivação, o presente trabalho traz como enfoque a utilização da Garantia de vazão, como ferramenta de suporte ao planejamento e gerenciamento e, conseqüentemente, tomadas de decisão quanto aos diversos usos dos recursos hídricos da sub-bacia hidrográfica do rio Preto (SBHRP). Conforme Pinto (2006, p. 3), a Garantia Hídrica ou de Vazão é uma técnica utilizada para diferentes fins, seja para a avaliação de impactos ambientais, planejamento de projetos de irrigação, concessão de outorgas de captação e de lançamento, dentre outras aplicações.

Deste modo, o objetivo central deste estudo consiste em analisar quantitativamente a disponibilidade hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Preto a partir de dados secundários, gerando informações relevantes para a gestão dos diferentes usos e planejamento de cenários futuros.

## 2. METODOLOGIA

A SBHRP está situada entre as latitudes  $-10^{\circ} 11' 04,62''S$ ;  $-11^{\circ} 36' 55,38''S$  e as longitudes  $43^{\circ} 49' 50,77''W$ ;  $46^{\circ} 37' 50,77''W$  (i.e., FIGURA 1. Mapa da sub-bacia hidrográfica do rio Preto). Abrange os municípios baianos de Formosa do rio Preto, Santa Rita de Cássia e Mansidão, possui uma área correspondente a 22.881,1 km<sup>2</sup>. Este rio faz parte da sub-bacia do rio Grande, que é um importante afluente do rio São Francisco.

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

Figura 1. Mapa da sub-bacia hidrográfica do rio Preto.



Fonte: Oliveira et al. (2019)

Estudos semelhantes foram realizados nas sub-bacias dos rios Carinhanha, Sapão e Arrojado, todas localizadas na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, a fim de se mapear e analisar as disponibilidades hídricas de cada compartimento hidrográfico.

Assim, para a realização desta pesquisa inicialmente houve o levantamento de informações do meio físico onde a área de estudo está inserida, verificação de trabalhos anteriores sobre o tema e entendimento da proposta metodológica descrita por Gonçalves (no prelo), intitulada de Hidrologia Avançada Experimental. A obtenção dos dados de investigação foi apoiada pela Agência Nacional de Águas - ANA, através da plataforma digital Hidroweb, disponíveis em séries históricas, sendo utilizadas as estações Ibetubá (fluviométrica) dos anos de 1940 a 2017, e Formosa do rio Preto (pluviométrica) dos anos de 1943 a 1983. Algumas informações disponibilizadas nas séries históricas apresentavam lacunas diárias e mensais, havendo a necessidade do preenchimento destas, através da média aritmética, para que os resultados finais não fossem influenciados.

Com os dados sistematizados e tratados, foram reunidas as informações pertinentes para a produção de gráficos no programa Excel. Os gráficos gerados para obtenção das análises descritas no objetivo do trabalho consistem em:

- I. **Tempo de Retardo Médio (TRM):** Este dado é obtido a partir das precipitações e vazões médias mensais, num dado período de tempo. Segundo Gonçalves (Trabalho em 2019), o TRM corresponde ao tempo no qual as precipitações médias, interferem nas vazões médias de uma bacia num determinado período. Desta maneira, as bacias hidrográficas são divididas em dois grupos: a) Tipo 1: Bacia com tempo de retardo médio < 30 dias e b) Tipo 2: Bacia com tempo de retardo médio  $\geq$  30 dias.
- II. **Razão precipitação-vazão (Rpv):** A Rpv corresponde ao valor da precipitação média mensal dividida pelo valor da vazão média mensal.
- III. **Garantia Hídrica:** Segundo Martins et. al (2011, p.2), para a determinação desta curva são utilizadas todas as vazões mensais (total de vazões= n). Essas vazões são arranjadas de forma decrescente, através do Excel, e atribuídas um número de ordem para cada uma (m=1, m=2, ..., m=n). Em seguida, para cada vazão e número de ordem, foi associada uma

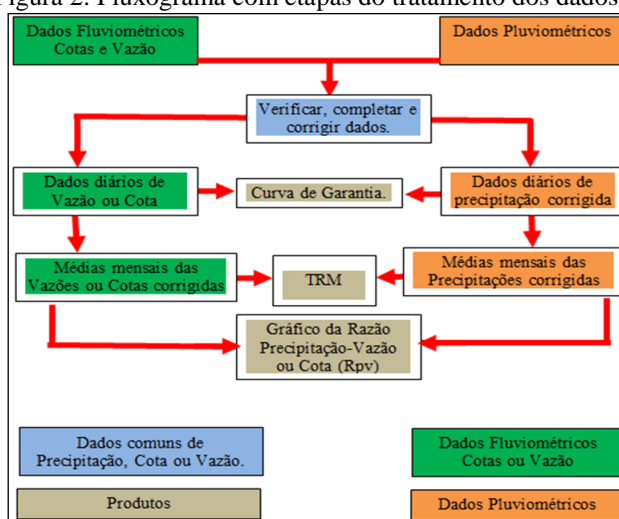
### A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

probabilidade, dada por  $P=m/n$ . Assim, a Garantia Hídrica corresponde a Probabilidade multiplicada por 100. Entretanto neste trabalho só usaremos os valores múltiplos de 10, compreendidos entre 0 e 100.

- IV. Comparação da vazão garantida:** Esta curva é obtida através das garantias hídricas de dois períodos. É encontrada a razão entre a garantia mais antiga pela mais recente, e esse resultado é multiplicado por 100. Posteriormente, o valor encontrado no cálculo anterior é subtraído por 100, e em seguida, multiplicado por -1, obtendo assim, a Redução da Garantia ou Aumento da Garantia.

De posse dos gráficos foi possível analisar e interpretar o comportamento da sub-bacia do rio Preto no decorrer do período estudado. As disponibilidades desses dados são imprescindíveis para o bom gerenciamento da sub-bacia, pois traz uma visão simplificada tanto para os gestores, responsáveis pela regulamentação do uso, quanto para o público que se interessa pelo assunto. O fluxograma abaixo (i.e. FIGURA 2. Fluxograma com etapas do tratamento de dados) apresenta a organização geral desta etapa da pesquisa.

Figura 2: Fluxograma com etapas do tratamento dos dados.



Fonte: Adaptado de Gonçalves & Andrade (2020).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao observar os valores médios de precipitação e de vazão, no período de 1943 a 1983, para a sub-bacia do rio Preto (i.e. QUADRO 1. Correlação entre as vazões e precipitações médias mensais, sem correção do TRM, na sub-bacia do rio Preto, no período de 1943 a 1983) observamos que a maior precipitação não coincide com a maior vazão (valores na cor verde). Neste caso a maior precipitação média acontece no mês de dezembro e a maior vazão média acontece no mês de fevereiro, ocasionando um tempo de retardo médio de 60 dias, o qual foi devidamente corrigido (i.e. QUADRO 2. Correlação entre as vazões e precipitações médias mensais, com correção do TRM, na sub-bacia do rio Preto, no período de 1943 a 1983). Desta forma, a sub-bacia do rio Preto é classificada como de Tempo de Retardo Médio (TRM) do Tipo 2, pois após ocorrer determinada precipitação, a sua vazão só é influenciada após um tempo  $\geq 30$  dias. Neste tipo de bacia, também classificada como sendo permeável é comum a captação de água por meio de poços tubulares.

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

Quadro 1. Correlação entre as vazões e precipitações médias mensais, sem correção do TRM, na sub-bacia do rio Preto, no período de 1943 a 1983.

Mês	Prec. (mm)	Vaz. (m³/s)	Mês
Jan	162,7	105,0	Jan
Fev	131,7	113,1	Fev
Mar	130,9	107,2	Mar
Abr	56,5	99,4	Abr
Mai	6,2	84,0	Mai
Jun	0,0	77,3	Jun
Jul	0,7	73,8	Jul
Ago	0,0	70,9	Ago
Set	8,2	69,2	Set
Out	79,9	75,2	Out
Nov	180,7	89,0	Nov
Dez	191,2	100,0	Dez

Fonte: Oliveira et al. (2019).

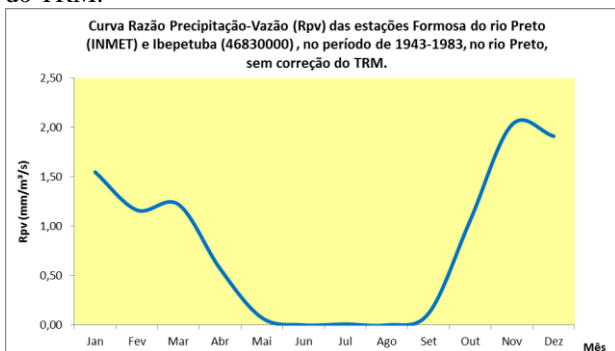
Quadro 2. Correlação entre as vazões e precipitações médias mensais, com correção do TRM, na sub-bacia do rio Preto, no período de 1943 a 1983.

Mês	Prec. (mm)	Vaz. (m³/s)	Mês
Jan	162,7	107,2	Mar
Fev	131,7	99,4	Abr
Mar	130,9	84,0	Mai
Abr	56,5	77,3	Jun
Mai	6,2	73,8	Jul
Jun	0,0	70,9	Ago
Jul	0,7	69,2	Set
Ago	0,0	75,2	Out
Set	8,2	89,0	Nov
Out	79,9	100,0	Dez
Nov	180,7	105,0	Jan
Dez	191,2	113,1	Fev

Fonte: Oliveira et al. (2019).

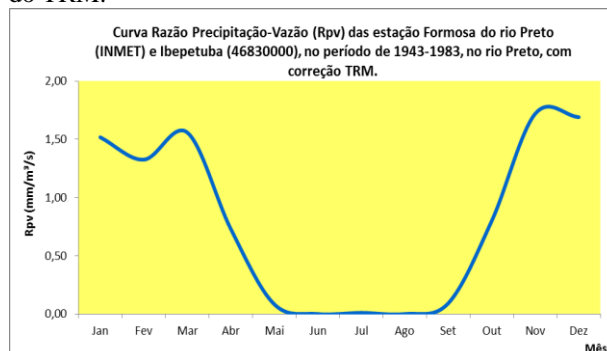
A partir da curva da Razão precipitação-vazão (Rpv), elaborada com dados correspondentes às precipitações e vazões médias mensais, a qual nos mostra quantos mm de precipitação média mensal são necessários numa dada estação pluviométrica para gerar 1 m³/s de vazão média mensal numa determinada estação fluviométrica localizada a jusante. Sendo assim, os picos positivos de crescimento da razão estão associados a uma diminuição significativa do armazenamento e quanto menor o valor da razão, maior o armazenamento no período, pois quando o aquífero está cheio, o rio necessita de menos precipitação para produzir 1 m³/s de vazão média mensal. Além disto, com a curva da Rpv é possível analisar o armazenamento no aquífero ao longo do ano. Deste modo, através das Figuras abaixo (i.e. FIGURA 3. Curva Razão Precipitação-Vazão sem correção do TRM e FIGURA 4. Curva Razão Precipitação-Vazão com correção do TRM), podemos observar que nos meses de novembro a março exibem picos maiores de Rpv, indicando que o aquífero se encontra vazio, pois necessita de quase 2 mm de precipitação média, na Estação Formosa do Rio Preto (INMET), para gerar 1 m³/s de vazão média na Estação 46830000.

Figura 3. Curva Razão Precipitação-Vazão sem correção do TRM.



Fonte dos dados: Oliveira et al. (2019).

Figura 4. Curva Razão Precipitação-Vazão com correção do TRM.

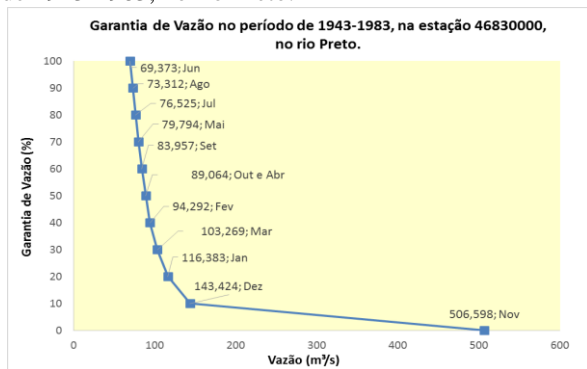


Fonte dos dados: Oliveira et al. (2019).

A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

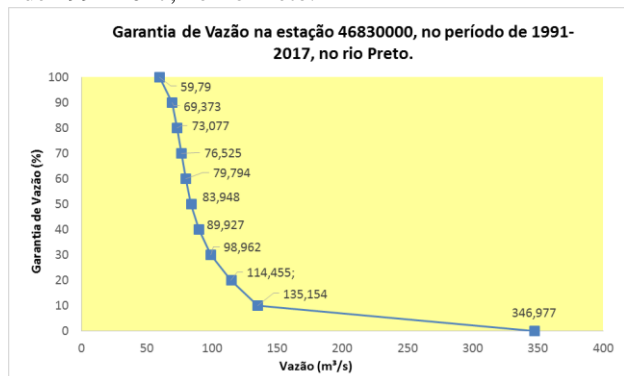
A curva de Garantia Hídrica relaciona as vazões, posicionadas no eixo das abcissas, associadas à porcentagem de ocorrência dessas vazões, no eixo das ordenadas. Através da construção desta curva foi possível entender a variabilidade da frequência da oferta hídrica num dado horizonte de planejamento, em dois períodos distintos, sendo eles, de 1943 a 1983 e de 1991 a 2017, respectivamente (i.e. FIGURA 5. Curva de Garantia de Vazão para o período de 1943-1983, no rio Preto). Os meses correlacionados com as vazões nos gráficos abaixo foram retirados da curva de Rpv, onde às menores razões foram associadas às maiores garantias e os meses de maiores razões, às menores garantias, dado que quanto menor o valor da razão, maior o armazenamento no período. Foi possível também notar que mesmo em 100% dos períodos analisados, a disponibilidade hídrica nunca chega a 0 m³/s para a estação 46830000 (i.e. Figura 6. Curva da Garantia de Vazão para o período de 1991-2017).

Figura 5. Curva de Garantia de Vazão para o período de 1943-1983, no rio Preto.



Fonte: BRASIL (2020). Produção própria dos autores.

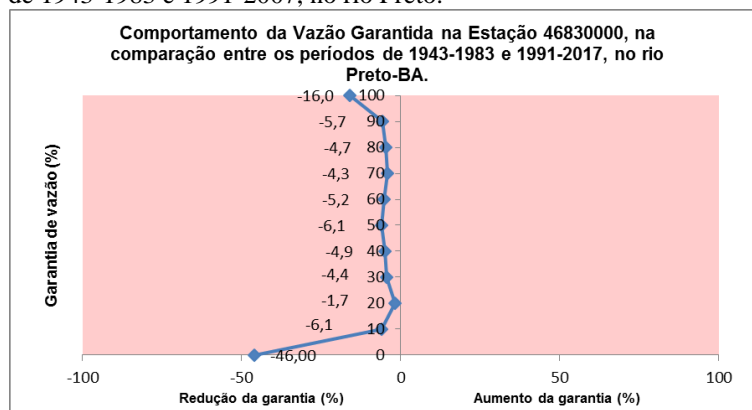
Figura 6. Curva de Garantia de Vazão para o período de 1991-2017, no rio Preto.



Fonte: BRASIL (2020). Produção própria dos autores.

Verificando o comportamento da garantia (i.e. FIGURA 7. Curva de comparação da vazão garantida, entre os períodos de 1943-1983 e 1991-2007, no rio Preto) é possível destacar que as vazões do segundo período, em comparação ao primeiro, apresentaram grandes diminuições. Em 0% de garantia de vazão do período analisado as vazões tiveram uma redução máxima da garantia de 46%, já em 100% de garantia de vazão a redução correspondeu a 16%.

Figura 7. Curva de comparação da vazão garantida, entre os períodos de 1943-1983 e 1991-2007, no rio Preto.



Fonte: BRASIL (2020). Produção própria dos autores.

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os gráficos e tabelas referentes aos dados de vazão e precipitação na sub-bacia do rio Preto, conclui-se que:

A sub-bacia do rio Preto é classificada como do tipo 2, pois possui o TRM  $\geq 30$  dias, está inserida numa região constituída essencialmente por rochas sedimentares com alta permeabilidade devido a uma grande presença de vazios interconectados. Outra característica deste tipo de bacia é a difícil ocorrência de inundações e de grande quantidade de rios tributários perenes, desta maneira este tipo de bacia hidrográfica possui uma maior aptidão para construção de poços tubulares.

A curva de Razão Precipitação-Vazão (Rpv) nos indica que nos meses de abril a setembro, a sub-bacia necessita de uma menor precipitação para gerar 1 m<sup>3</sup>/s de vazão. É importante mencionar também que quando os valores de precipitação diminuem, os valores de vazão continuam altos. Logo, nestes meses o principal contribuinte para as vazões nos rios é o aquífero.

A curva de garantia de vazão para o período 1 (1943 a 1983) indica que com uma garantia de 90% temos uma vazão de 73,312 m<sup>3</sup>/s. Já a curva de garantia de vazão para o período 2 (1991 a 2017) indica que com uma garantia de 90% temos uma vazão de 69,793 m<sup>3</sup>/s, implicando numa redução da garantia de 5,7%. A partir do comportamento da curva de garantia, concluímos que o rio é perene, visto que suas vazões mesmo em 100% do período analisado, nunca chega a 0 m<sup>3</sup>/s.

Através da curva de comparação da vazão garantida nos períodos destacados acima, podemos notar uma grande redução da disponibilidade hídrica em relação ao primeiro período, evidenciando assim o avanço do agronegócio na região estudada.

Os dados disponibilizados neste trabalho são essenciais para outorgas dos recursos hídricos, pois a partir deles é possível dimensionar o planejamento de uma concessão maior em determinados meses ou a contenção do valor outorgado em outros, evitando-se a falta de água para os múltiplos usuários.

### REFERÊNCIAS

Agência Nacional das Águas-ANA (Brasil). Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM (Brasil). **Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos Integrados na Região do Aquífero Urucuia**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Projetos/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos-Integrados-na-Regiao-do-Aquifero-Urucuia-5208.html>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

GASPAR, M. T. P. **Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização regional e propostas de gestão**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília, 2006. Disponível em: <[file:///C:/Users/PC/Downloads/2006\\_MarciaTerezaPantojaGaspar.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/2006_MarciaTerezaPantojaGaspar.pdf)>. Acesso em: 15 de agosto de 2019.

GONÇALVES, M. J. de S.; ANDRADE, J. J. de S. (2020) **Avaliação da barragem de São José do Jacuípe, 34 anos depois de sua inauguração, seus usos, gestão e consequências da operação**. Simpósio Nacional o Rural e o Urbano no Brasil – SINARUB. Universidade Católica. Salvador (no prelo).

## A Importância da Ciência para o Futuro do Rio São Francisco

GONÇALVES, M. J. de S. & TORRES, A. P. **Distinção entre sub-bacias hidrográficas dos rios Carinhonha, Preto e Sapão, localizadas no Sistema Aquífero do Urucuia-SAU, a partir do tempo de retardo médio.** (2019d). Revista Mercator. Submissão abril/2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (Brasil). Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

MARTINS, C. A. da S.; ULIANA, E. M.; SILVA, J. G. F. da; CAMARA, G. R.; REIS, E. F. dos. **Curva de permanência das vazões locais da bacia hidrográfica do rio São Mateus-ES.** In: Anais do XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos/ SP: 2011.

PINTO, J. A. de O. **Avaliação de métodos para a regionalização de Curva de Permanência de vazões para a bacia do rio das Velhas.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/ MG. 219 f. 2006.

OLIVEIRA, N. de; GONÇALVES, M. J. de S.; TORRES, A. P.; RIOS, G. A.; CASAIS, J. C. **Análise Hidrológica das sub-bacias dos rios Preto e Carinhonha, Brasil.** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, 2019, Fortaleza. Livro Digital, Fortaleza: Editora UFC, 2019. Disponível em: < [http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais?fbclid=IwAR3ngkc3\\_-4li3t9fxmoteUN9PjK6dDYIZ9WXxNg6ssXCycP2Ao3GEpT38](http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais?fbclid=IwAR3ngkc3_-4li3t9fxmoteUN9PjK6dDYIZ9WXxNg6ssXCycP2Ao3GEpT38)> Acesso em: 08 de julho de 2020.

VIEGAS FILHO, J. S. (2004). **A gestão de recursos hídricos e o papel das microbacias nesse contexto.** In: Anais do II Simpósio Nacional Sobre Uso da Água na Agricultura. Universidade de Passo Fundo, 2004.