

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VAZÃO MEDIDA E VAZÃO REGIONALIZADA EM TRÊS PARES DE BACIAS HIDROGRÁFICAS MORFOMETRICAMENTE SEMELHANTES DO ESTADO DE MINAS GERAIS

*Comparative analysis between measured flow and regionalized flow in three pairs of
morphometrically similar basins in the State of Minas Gerais*

Eduardo Goulart Collares^{1*}

Elisangela de Araujo²

Brenda Cristine Barbosa Silva³

Gideão Gabriel Gonçalves⁴

Ana Cláudia Nascimento e Silva⁵

RESUMO

A carência de monitoramento fluviométrico nas bacias hidrográficas brasileiras, principalmente nas de pequeno porte, configura-se como um desafio no âmbito da gestão dos recursos hídricos, e tal cenário acarreta no uso de dados regionalizados de vazões, que nem sempre condizem com a realidade local. O propósito deste trabalho foi avaliar o uso de vazões regionalizadas, bem como os limites definidos pelas agências reguladoras de recursos hídricos na análise de processos de outorgas para captação de água superficial. A sistemática metodológica envolveu a determinação das vazões regionalizadas para cada bacia selecionada, de acordo com as metodologias propostas pelos órgãos reguladores, e ainda, a comparação com os valores de vazões medidos nas estações situadas no exutório destas bacias. Os resultados obtidos permitem inferir que os métodos atualmente utilizados para a determinação das vazões regionalizadas e

¹ Doutor pela Universidade de São Paulo (USP). Professor e pesquisador da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Consultor ambiental em Geologia e Geotecnia. – e-mail: collaresambiental@hotmail.com.
*Autor correspondente.

² Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Técnico em Meio Ambiente. – e-mail: elisangela.2197321@discente.uemg.br

³ Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). – e-mail: brenda.2104214@discente.uemg.br

⁴ Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). – e-mail: gideo4336@gmail.com

⁵ Mestranda em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Graduada em Engenharia Geológica e Especialista em Engenharia Geotécnica pela UEMG. – e-mail: ana.2138746@discente.uemg.br

os limites definidos pelas agências reguladoras não foram representativos para as bacias alvo do estudo, visto que os valores calculados de vazão mínima mostraram-se superestimados para a $Q_{7,10}$ e Q_{95} e subestimados para a Q_{90} .

Palavras-chave: Vazões Regionalizadas. Recursos Hídricos. Outorgas.

ABSTRACT

The lack of actual hydrological data in hydrographic basins, especially in small ones, is a challenge in terms of water resources management. Such scenario entails the use of regionalized flow data, which is not always according to the local reality. Thus, this work aims to evaluate the use of regionalized flows, as well as the limits defined by regulatory water agencies concerning granting for use of surface water in small hydrographic basins in the state of Minas Gerais. Therefore, the methodological systematic of the work included determining regionalized flows for each selected basin, according to the methodologies proposed by the regulatory agencies, and comparing the values of flows measured at the gauge stations. The results obtained allow to infer that the methods currently used to determine the regionalized flows and the limits defined by the regulatory agencies were not representative for the target basins of the study, since the calculated values of minimum flow proved to be overestimated for $Q_{7,10}$ and Q_{95} and underestimated for Q_{90} .

Keywords: Regionalized Flows. Water resources. Grants.

Data de submissão: 29/10/2021

Data de aprovação: 07/03/2022

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção dos processos ocorrentes no planeta. Faz-se necessário o entendimento das suas características e do seu comportamento nas distintas fases do ciclo hidrológico para assim se ter uma gestão efetiva, sustentável e equilibrada, considerando as necessidades dos seres humanos e do meio (ROSA, 2017).

Atualmente, o gerenciamento dos recursos hídricos é alicerçado nos preceitos constantes na Lei nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997). Um dos objetivos desta lei é garantir que as presentes e futuras gerações tenham acesso a um recurso hídrico com qualidade que se enquadre nos padrões mínimos estabelecidos.

Dentre os instrumentos da lei está a Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos, que tem por propósito controlar a captação realizada pelos usuários e, sendo o recurso hídrico tutela do Estado, cabe a ele analisar e autorizar o uso deste recurso. No Brasil, são utilizados dados regionalizados de vazões de referência na análise dos processos de outorga de uso de águas superficiais e na previsão de disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas (SILVA *et al.*, 2006; LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2015).

O uso de vazões regionalizadas pode não ser representativo para análises de bacias de pequeno porte (SILVA *et al.*, 2006; LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2015). Estudos indicam a necessidade de se observar e quantificar outros aspectos, como a vazão histórica, os índices pluviométricos e as características morfométricas das bacias hidrográficas para avaliações em pequenas regiões, como forma de retratar a realidade local com maior fidelidade.

Considerando a pouca eficácia, ou mesmo a carência de métodos de observações concisos aplicados em análises da oferta hídrica de bacias hidrográficas de pequeno porte, buscou-se com este trabalho avaliar formas atualmente utilizadas para estimar a disponibilidade hídrica, comparando-as com vazões reais medidas por um período de mínimo de dez anos consecutivos, com o propósito de levantar uma discussão que possa contribuir para a busca de métodos mais eficazes de previsão a serem utilizados na gestão de bacias hidrográficas e na análise dos processos de autorização de uso dos recursos hídricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo dos anos, tem sido notório o aumento da demanda de recursos hídricos, tanto para satisfazer as necessidades básicas do homem, quanto para atender as etapas dos diversos processos produtivos existentes. Nem sempre a disponibilidade hídrica local é capaz de satisfazer à demanda solicitada, e isso se deve, muitas vezes, às alterações ocorrentes no ciclo hidrológico (NILSALAB; GHEEWALA; SILALERTRUKSA, 2016).

Estudos como o de Duran-Escalada *et al.* (2017) mostram que as mudanças no ciclo hidrológico têm potencializado a redução da oferta de recursos hídricos, aumentando assim, os índices de escassez hídrica no país (NAPOLEÃO; MATTOS, 2011). Diante deste quadro, adotar ferramentas adequadas para a avaliação da disponibilidade e demanda hídrica nas Bacias Hidrográficas, torna-se essencial para que se tenha um planejamento e gerenciamento eficientes (WEINTRAUB; TAO; REDDER, 2017).

De acordo com a Política Nacional dos Recursos Hídricos, estas devem ser consideradas como unidade territorial de estudo, para fins de planejamento e gerenciamento deste bem (BRASIL, 1997). As análises das Bacias Hidrográficas são de suma importância no âmbito da gestão hídrica, uma vez que interferem diretamente na qualidade de vida da sociedade e do meio (LOPES *et al.*, 2020).

O termo Disponibilidade Hídrica configura-se como a vazão disponível para utilização em benefício próprio dos usuários, sem ocasionar, contudo, grandes impactos ao meio hídrico (CRUZ; TUCCI, 2008). A Demanda Hídrica, por sua vez, pode ser entendida como a água captada para satisfazer as diversas solicitações da comunidade (ARSKY; SANTANA, 2013).

Apesar do Brasil ser considerado um país privilegiado com relação à disponibilidade hídrica, tem passado seguidamente por crises hídricas, e isso se deve, em grande parte, às variações regionais de oferta deste bem, às extensões territoriais e à precariedade do abastecimento público. A disponibilidade do recurso hídrico está diretamente relacionada a fatores de caráter natural e não natural, ou seja, antrópico (PASQUALETTO T.; PASQUALETTO A.; PASQUALETTO, A.G. 2020).

A disponibilidade dos recursos hídricos envolve, também, outros fatores que necessitam ser constantemente analisados. Dentre eles, o panorama econômico atual, a legislação vigente, os aspectos ambientais que condicionam a permissão do uso deste recurso, e ainda a qualidade e quantidade de água de determinada região (GRANNEMANN; REEVES, 2005).

A PNRH definiu, em seu Art. 5, inciso III, a Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos, como um de seus instrumentos, com o intuito de garantir o direito de acesso à água e o controle dos usos do recurso hídrico (BRASIL, 1997). Este instrumento qualifica-se como um ato administrativo, que tem sua execução a encargo dos órgãos reguladores responsáveis, podendo ser na esfera nacional ou estadual (CAMPOS, 2017).

No estado de Minas Gerais, as análises das solicitações de outorga são de competência do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) e são executadas normalmente nas Unidades Regionais de Gestão das Águas (Urgas). As Urgas detêm seu raio de abrangência e localização em função das Superintendências Regionais de Meio Ambiente (Suprams), estabelecidas em 13 de dezembro de 2019, por meio do Decreto nº 47.787 (MINAS GERAIS, 2016; MINAS GERAIS, 2019; MINAS GERAIS, 2020).

No Brasil, os órgãos reguladores e os comitês de bacias utilizam as vazões regionalizadas para a determinação da disponibilidade hídrica e análise das solicitações de outorga de uso de águas superficiais. São comumente utilizadas a $Q_{7,10}$ (Vazão mínima de sete dias consecutivos com um período de retorno de dez anos), a Q_{90} (Vazão com garantia de 90% de permanência dentro da série histórica de dados observada) e a Q_{95} (Vazão com garantia de 95% de permanência dentro da série histórica de dados observada) (SILVA *et al.*, 2006; LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2015).

Contudo, em função da escassez de informações locais, estas são definidas a partir de dados regionalizados, tendendo, assim, a uma alteração no que tange a representatividade dos resultados obtidos, tornando-os imprecisos para avaliações locais (SILVA *et al.*, 2006; LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2015). Uma alternativa, em caso de bacias com dados pluviométricos e fluviométricos históricos, mesmo que não atualizados, é observar e avaliar o comportamento das vazões medidas ao longo do tempo, fato este que pode retratar, com maior fidelidade, a realidade local.

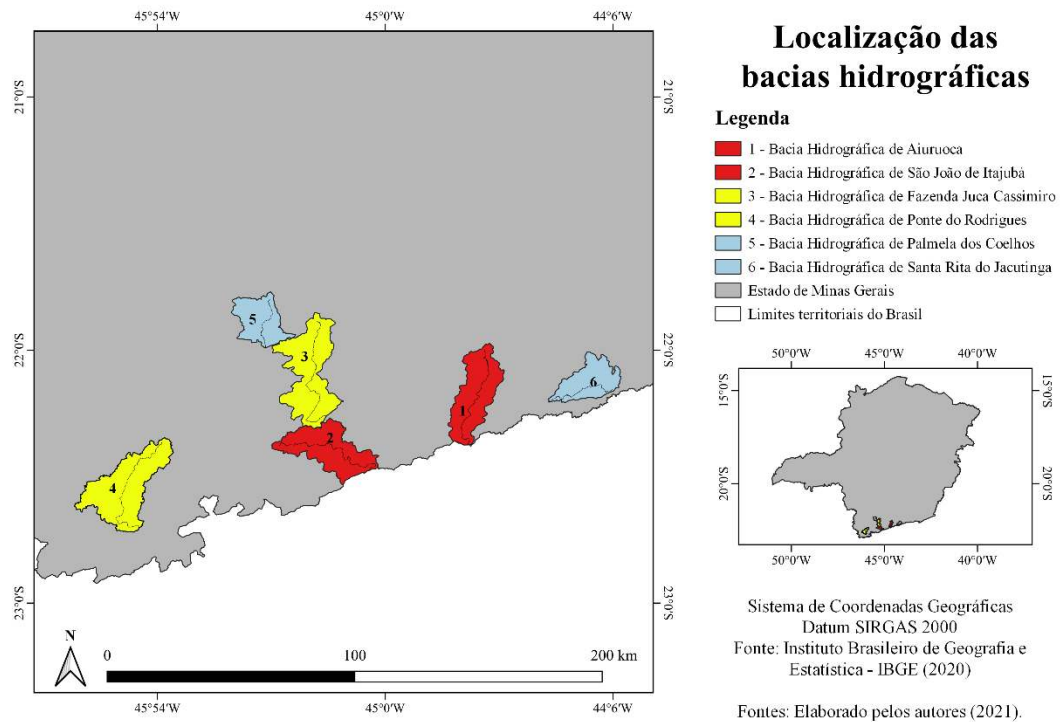
Pesquisas desenvolvidas ao longo dos anos mostram que o monitoramento fluviométrico constante, em bacias hidrográficas de ordem inferior, é imprescindível para a redução das incertezas e imprecisões oriundas da utilização de técnicas de regionalização. Isto posto, a busca por metodologias que sejam capazes de atender tal finalidade são de suma importância (GARBOSSA; PINHEIRO, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo envolveu bacias hidrográficas de quinta e sexta ordem, situadas no estado de Minas Gerais, que dispunham de dez ou onze anos de dados diários consecutivos e coincidentes de chuvas e vazões. Após as análises descritas nos itens subsequentes, foram definidas como áreas de estudo as seis bacias hidrográficas (MAPA 1).

Mapa 1 – Localização das bacias hidrográficas objeto de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

3.2 Levantamento e análise da regularidade das informações nas estações pluviométricas e fluviométricas

A partir do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB⁵, disponibilizado pela ANA, foram selecionados e organizados os dados pluviométricos e fluviométricos históricos contínuos das estações localizadas nas bacias hidrográficas selecionadas, que possuíam período mínimo de dez anos de dados regulares e coincidentes entre chuva e vazão. Nessa seleção, identificou-se 418 estações que apresentavam dados fluviométricos e pluviométricos, entretanto, apenas 130 enquadravam-se no critério de, no mínimo, dez anos de dados sequenciais e coincidentes entre fluviiosidade e pluviiosidade.

⁵ <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

3.3 Avaliação estatística para a seleção das bacias hidrográficas

3.3.1 Análise de morfometria das bacias hidrográficas

Com auxílio da plataforma de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE-Sisema⁶, foram demarcadas as estações que possuíam dados regulares, com base nas coordenadas das estações disponíveis no HIDROWEB. A partir das redes de drenagem da plataforma, realizou-se a delimitação e a determinação das bacias hidrográficas. A partir disso, foram identificadas 61 bacias de quinta ou sexta ordem, sendo que, dessas, 12 apresentavam quinta ordem de ramificação e 49 sexta ordem de ramificação.

Em relação as áreas de contribuição, notou-se que dentre as bacias selecionadas, estes valores variaram entre 73km² a 23.367km², no entanto, devido a amplitude entre os valores, foram descartadas bacias com áreas discrepantes, resultando em um conjunto final de 37 bacias hidrográficas, das quais 11 apresentavam quinta ordem de ramificação e 26, sexta ordem de ramificação.

Posteriormente, com a utilização do software QGIS 3.10 e das redes hidrográficas do Sistema IDE-Sisema, foram obtidos os valores correspondentes ao comprimento dos cursos d'água e número de nascentes para cada bacia hidrográfica, necessários para o cálculo das variáveis morfométricas. Na análise morfométrica, adotando-se os procedimentos expostos em Collares (2000), as variáveis consideradas foram: área da bacia hidrográfica, densidade de drenagem e densidade hidrográfica (QUADRO 1).

⁶ <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>

Quadro 1 – Índices morfométricos avaliados

Índices Morfométricos		
Área da sub-bacia hidrográfica (A)	Área da sub-bacia hidrográfica em km ²	-
Densidade de drenagem (Dd)	Aborda o grau de desenvolvimento da rede de drenagem em determinada bacia hidrográfica, relacionando o comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia	$Dd = \frac{\sum L}{A}$ (km/km ²)
Densidade hidrográfica (Dh)	Consiste na relação existente entre o número de rios ou canais e a área da bacia hidrográfica	$Dh = \frac{n}{A}$ (nº de canais de 1ª ordem/km ²)

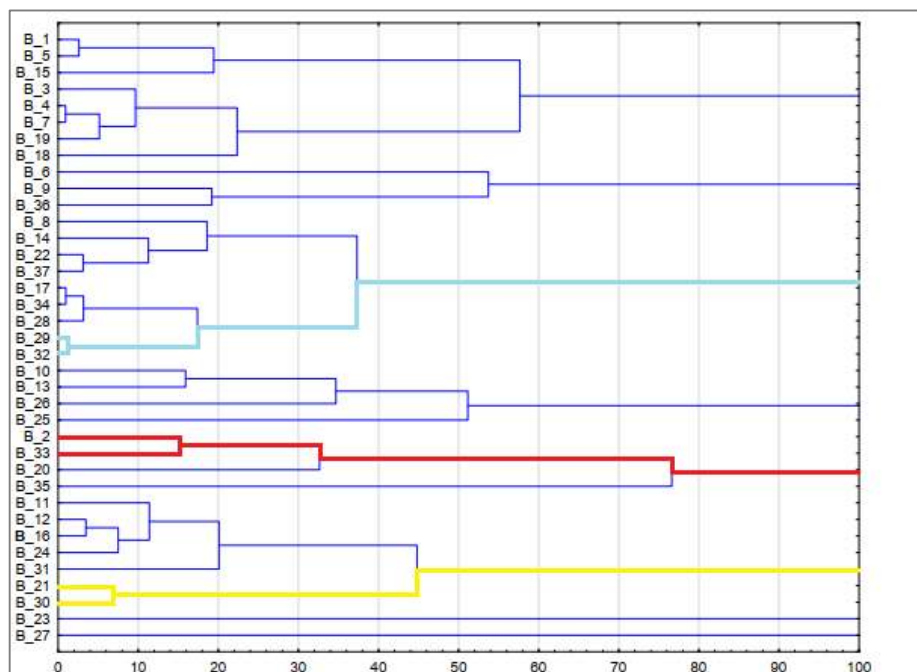
Fonte: Adaptado de Collares (2000)

3.3.2 Estudo estatístico para seleção dos pares de bacias hidrográficas

Para a seleção das bacias hidrográficas morfometricamente semelhantes foi empregada a análise estatística multivariada de agrupamento *Cluster Analysis*. Nesta, utilizaram-se as variáveis morfométricas: área de contribuição da bacia, densidade de drenagem e densidade hidrográfica. O método adotado foi o pareado igualmente ponderado, o qual se mostrou mais adequado aos demais métodos como, pareado proporcionalmente ponderado, ligação simples e composta, variância mínima, pois, a princípio se busca pelos mais altos coeficientes de associação mútua. Quanto ao coeficiente de similaridade, adotou-se o coeficiente de distância, por agrupar melhor as amostras (sub-bacias hidrográficas de 5ª e 6ª ordem de ramificação) do que a utilização do coeficiente de correlação indicado para agrupar variáveis (LANDIM, 2011). Para os cálculos utilizou-se software estatístico de livre distribuição.

Na análise efetuada das 37 bacias hidrográficas, foram definidos os 3 pares de bacias hidrográficas morfometricamente semelhantes, como mostra o dendrograma da Figura 2, além da disponibilidade de dados hidrológicos consistentes e com período de cobertura similar, dentre os elementos do par. O Quadro 2, exhibe os 3 pares selecionados, os dados das respectivas estações hidrológicas de referência e o período de análise.

Figura 2 – Dendograma gerado pela análise estatística multivariada
Cluster Analysis



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Quadro 2 – Dados dos pares de bacias hidrográficas

Pares	Nome das Estações	Código	Coordenadas	Município	Período de análise
Par 1	Aiuruoca	2144018	-21.9772 -44.6033	Aiuruoca	1990 - 2000
	São João do Itajubá	2245083	-22.3756 -45.4469	Itajubá	
Par 2	Fazenda Juca Casimiro	2145008	-21.8742 -45.2583	Cambuquira	1981 - 1991
	Ponte do Rodrigues	2245086	-22.3542 -45.8539	Pouso Alegre	
Par 3	Palmela dos Coelhos	2145024	-21.7864 -45.4403	Campanha	1978 - 1988
	Santa Rita do Jacutinga	2244035	-22.1506 -44.0900	Santa Rita do Jacutinga	

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

3.3.3 Manipulação e análise das chuvas e vazões medidas

Com intuito de verificar a consistência do conjunto de dados, foi utilizado o Método da Dupla Massa para verificar a consistência dos dados fluviométricos e pluviométricos, envolvendo o período de 10 a 11 anos de dados contínuos de cada bacia.

De acordo com Carvalho e Ruiz (2016), o Método da Dupla Massa, envolve a seleção de 3 postos de medição de dados hidrológicos em determinado local, os quais terão seus dados mensais acumulados e plotados em um gráfico cartesiano, junto aos dados acumulados do posto de interesse. A partir disso, se o gráfico plotado apresentar tendência linear em relação as estações vizinhas, o conjunto de dados é categorizado como consistente, todavia, se apresentar discrepância significativa, configura-se como um conjunto inconsistente.

As estações vizinhas de apoio foram selecionadas a partir do software denominado HidroPlu⁷ 2010, disponibilizado pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico, empregando-se raio máximo de 150 km (AMADOR; SILVA, 2020).

Além disso, foram identificadas falhas nos dados utilizando o software Hidro 1.4, também ofertado pela ANA. Após a identificação destas, fez-se seu preenchimento a partir do método da média aritmética simples, com os dados das estações vizinhas para os dados pluviométricos e com dados de anos anteriores às falhas, para os dados fluviométricos (SOARES; SILVA, 2017).

3.4 Determinação das vazões regionalizadas

Para a determinação das vazões regionalizadas, empregou-se o software Hidroplu 2010, selecionou-se a jusante a estação hidrológica mais próxima, que apresentasse dados sequenciais consistentes e coincidentes com o período de análise do estudo. Após a seleção das estações, delimitou-se as bacias hidrográficas alusivas a elas e foram coletados seus dados fluviométricos; este realizado por meio do sistema HIDROWEB. A partir do software SisCAH⁸ 1.0, foram determinadas as vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} .

O SisCAH 1.0 foi desenvolvido pela ANA em parceria com a Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade

⁷ <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/monitoramentohidro.aspx>

⁸ <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, objetivando obter valores de vazões máximas, mínimas, médias, curvas de permanência, regularização de vazões, preenchimento e extensão de séries, por meio de dados fornecidos pela Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (SOUZA *et al.*, 2009).

Para o cálculo da vazão regionalizada específica foi utilizada a relação entre a área da bacia e da vazão adquirida do software SisCAH, e para o cálculo da vazão regionalizada, realizou-se o produto entre a vazão específica e a área da bacia hidrográfica.

3.5 Análise comparativa entre vazão medida e vazão regionalizada

A comparação foi realizada através da construção de gráficos e projeções no software Excel, utilizando os dados reais de vazões das estações fluviométricas disponíveis na plataforma HIDROWEB e as vazões regionalizadas calculadas. Além disso, foram também considerados os limites de vazões de referência usados pelas agências reguladoras estaduais em processos de autorização para outorgas de captação superficial de água, sendo estes, 50% da $Q_{7,10}$ nos estados de Minas Gerais e São Paulo, 90% da Q_{90} , em estados da Região Nordeste do país, e 50% da Q_{95} para o estado do Paraná (ANA, 2011; MINAS GERAIS; IGAM, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Par 1: Aiuruoca e São João de Itajubá

A Tabela 1 apresenta os resultados dos cálculos de vazões regionalizadas para as bacias hidrográficas do Par 1 e os limites empregados em processos de outorga para captação de água superficial.

Tabela 1 – Vazões Regionalizadas (m³/s): Aiuruoca e São João de Itajubá

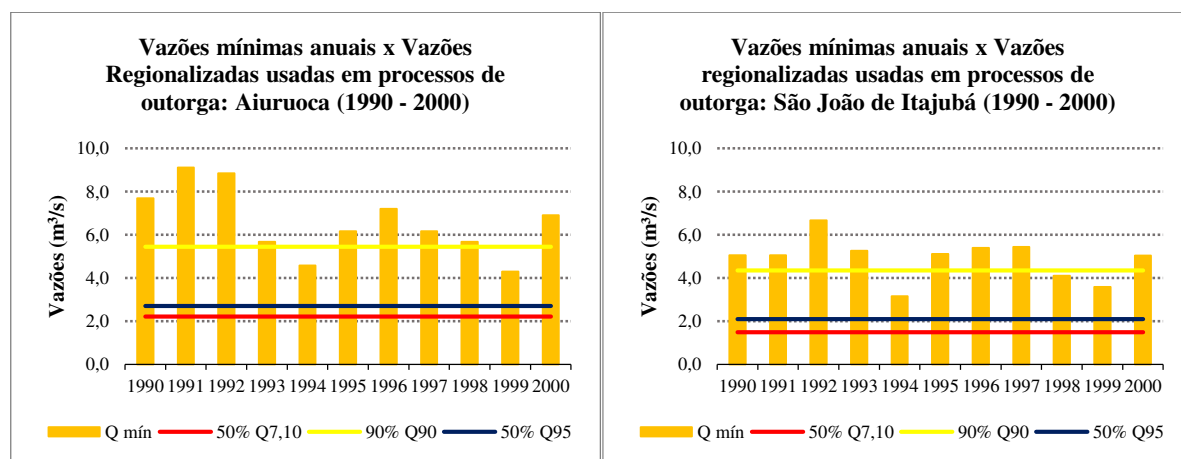
Vazões regionalizadas e limites	Bacias Hidrográficas	
	Aiuruoca	São João de Itajubá
Q _{7,10}	4,427	2,976
50% Q _{7,10}	2,213	1,488
Q ₉₀	6,046	4,830
90% Q ₉₀	5,442	4,347
Q ₉₅	5,412	4,194
50% Q ₉₅	2,706	2,097

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

No Gráfico 1 observa-se o comparativo entre as vazões mínimas anuais para o período de 1990 a 2000, e os limites das vazões de referência adotados em solicitações de outorga para fins de captação de água superficial. Em Aiuruoca, constata-se que as vazões mínimas anuais foram superiores aos limites de 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅, todavia, inferiores a 90% da Q₉₀ em 1994 e 1999.

Na bacia de São João de Itajubá nota-se a mesma situação para os limites de 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅, em que as vazões mínimas anuais são superiores aos limites, entretanto, para 90% da Q₉₀, os registros foram inferiores em 1994, 1998 e 1999.

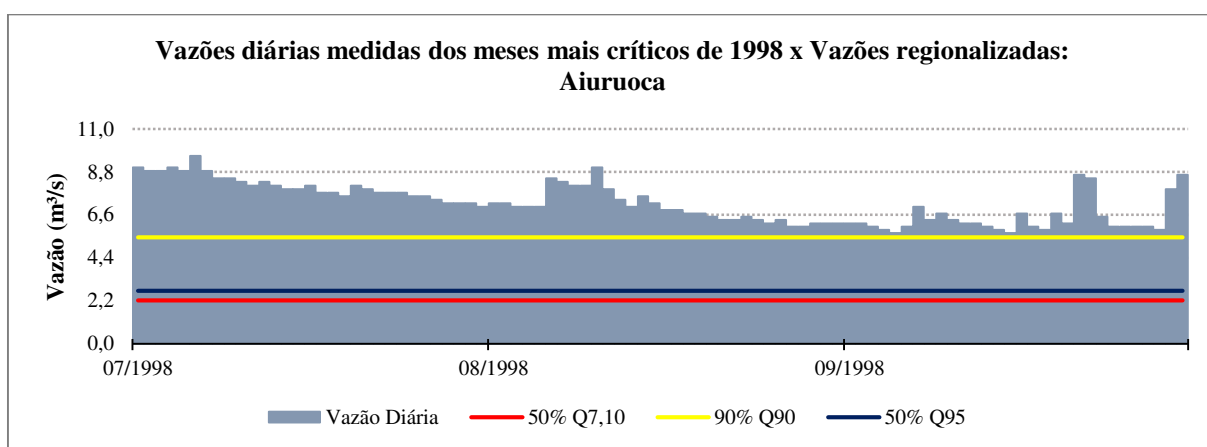
Gráfico 1 – Vazões mínimas anuais x Vazões regionalizadas: Par 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

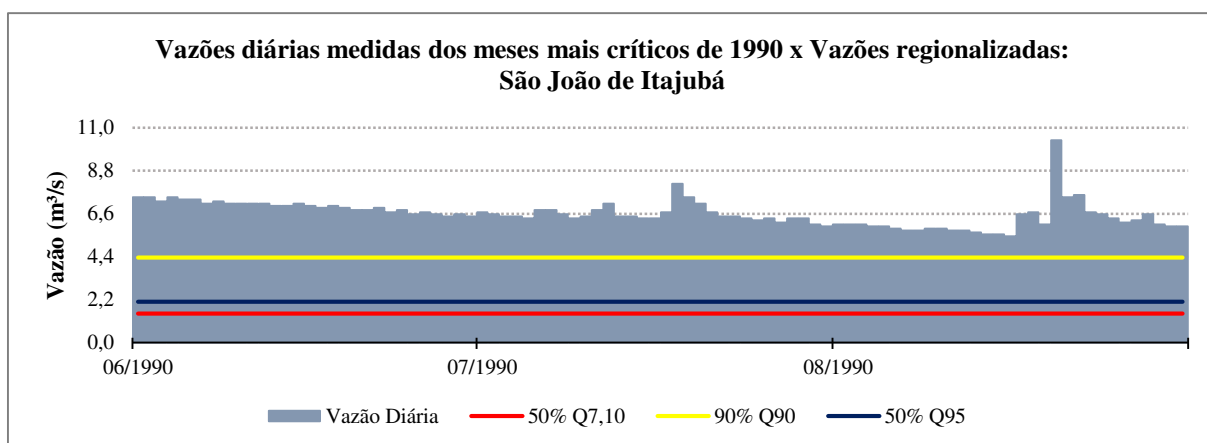
Como mostra os Gráficos 2 e 3, os anos de menores vazões diárias nas bacias foram 1998 e 1990, respectivamente. Os meses de julho a setembro foram registrados como os meses mais críticos de 1998 em Aiuruoca e também os mais críticos de 1990 em São João de Itajubá. Foi possível observar que em todo o período analisado nas duas bacias, os limites de 50% da $Q_{7,10}$ e 50% da Q_{95} não foram excedidos em nenhum dia, todavia, o limite de 90% da Q_{90} foi ultrapassado durante 100 dias do período, equivalente a 2,49% do período analisado, em Aiuruoca e 55 dias, correspondente a 1,37%, em São João do Itajubá.

Gráfico 2 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1998 x Limites de Vazões Regionalizadas para Aiuruoca



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Gráfico 3 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1990 x Vazões regionalizadas: São João de Itajubá



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.2 Par 2: Fazenda Juca Cassimiro e Ponte do Rodrigues

A Tabela 2 apresenta os resultados dos cálculos de vazões regionalizadas para as bacias hidrográficas do Par 2 e os limites empregados em processos de outorga para captação de água superficial.

Tabela 2 – Vazões Regionalizadas (m³/s): Fazenda Juca Cassimiro e Ponte do Rodrigues

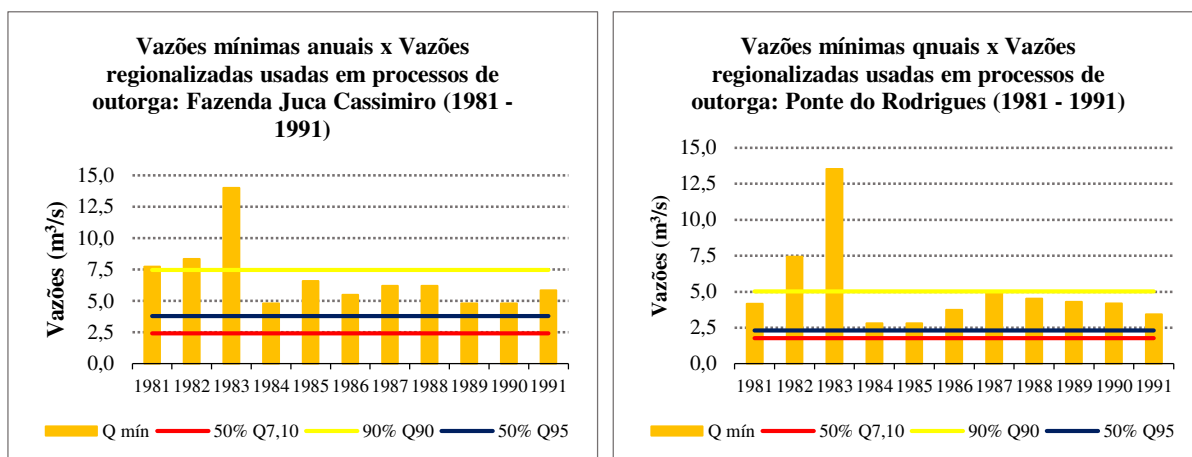
Vazões regionalizadas e limites	Bacias Hidrográficas	
	Fazenda Juca Cassimiro	Ponte do Rodrigues
Q _{7,10}	4,848	3,573
50% Q _{7,10}	2,424	1,786
Q ₉₀	8,303	5,587
90% Q ₉₀	7,472	5,028
Q ₉₅	7,570	4,638
50% Q ₉₅	3,785	2,319

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

O Gráfico 4 mostra o comparativo entre as vazões mínimas anuais e os limites das vazões regionalizadas do Par 2. Na primeira bacia, observa-se que as vazões mínimas anuais foram superiores a 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅, porém, inferiores a 90% da Q₉₀ na maioria do período analisado.

Na segunda bacia, constata-se o mesmo para os limites de 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅, destacando 1984 e 1985, em que as vazões mínimas anuais estiveram próximas aos limites estabelecidos. Para 90% da Q₉₀, os registros em sua maioria foram inferiores a este.

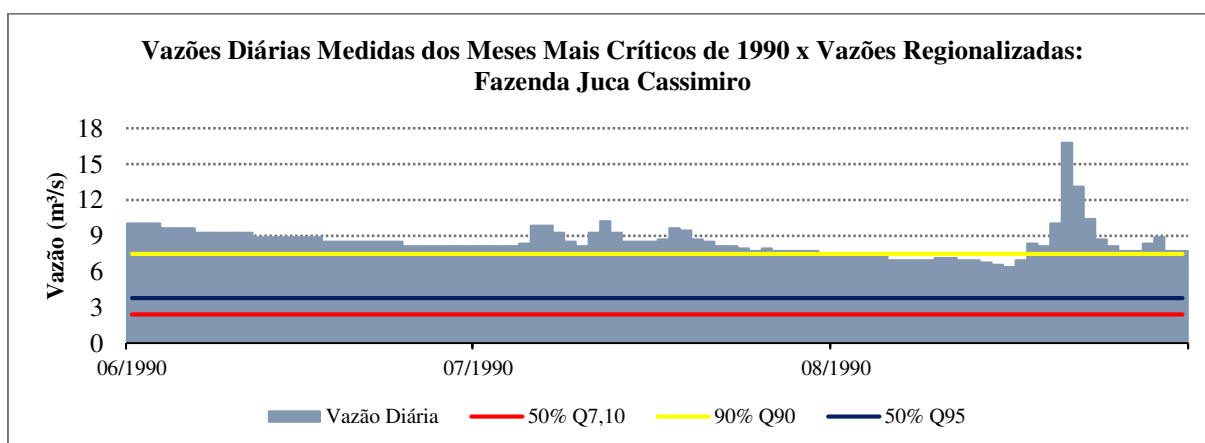
Gráfico 4 – Vazões Mínimas Anuais x Vazões Regionalizadas: Par 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

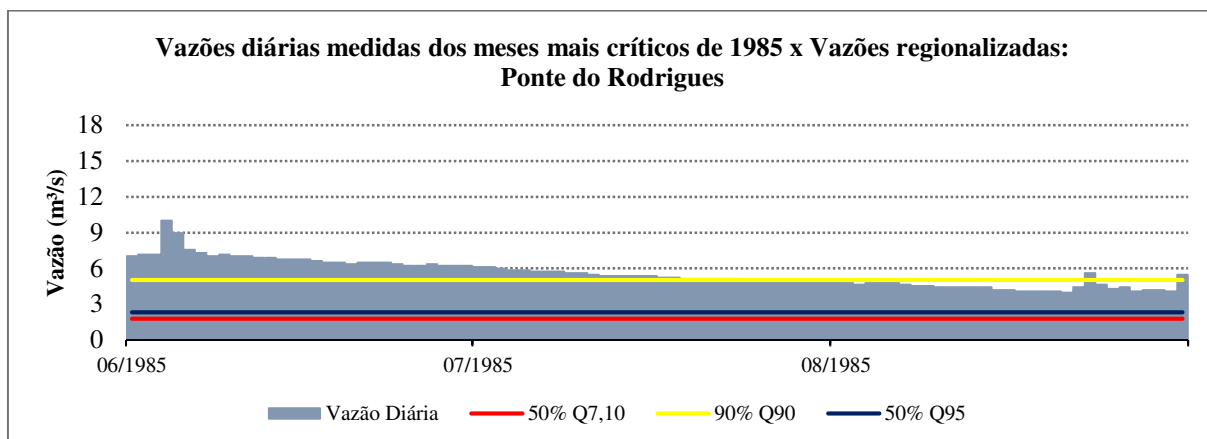
Os anos de menores vazões diárias foram 1990, em Fazenda Juca Cassimiro, e 1985, em Ponte do Rodrigues. Nos Gráficos 5 e 6, respectivamente, têm-se as vazões mínimas diárias dos meses mais críticos de Fazenda Juca Cassimiro, em 1990, e de Ponte de Rodrigues, em 1985. Foi possível observar que os limites de 50% da $Q_{7,10}$ e 50% da Q_{95} não foram ultrapassados em nenhum dia do período analisado nas duas bacias, porém, o limite de 90% da Q_{90} foi ultrapassado durante 342 dias, 8,5% dos dias, em Fazenda Juca Cassimiro e, 287 dias (7,1%) em Ponte do Rodrigues. Além disso, nota-se que nestes meses houve períodos em que o limite de 90% da Q_{90} foi excedido nas duas bacias.

Gráfico 5 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1990 x Limites de Vazões Regionalizadas para Fazenda Juca Cassimiro



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Gráfico 6 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1985 x Limites de Vazões Regionalizadas para Ponte do Rodrigues



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.3 Par 3: Palmela dos Coelho e Santa Rita do Jacutinga

A Tabela 3 apresenta os resultados dos cálculos de vazões regionalizadas para as bacias hidrográficas do Par 3 e os limites empregados em processos de outorga para captação de água superficial.

Tabela 3 – Vazões Regionalizadas (m³/s): Palmela dos Coelho e Santa Rita do Jacutinga

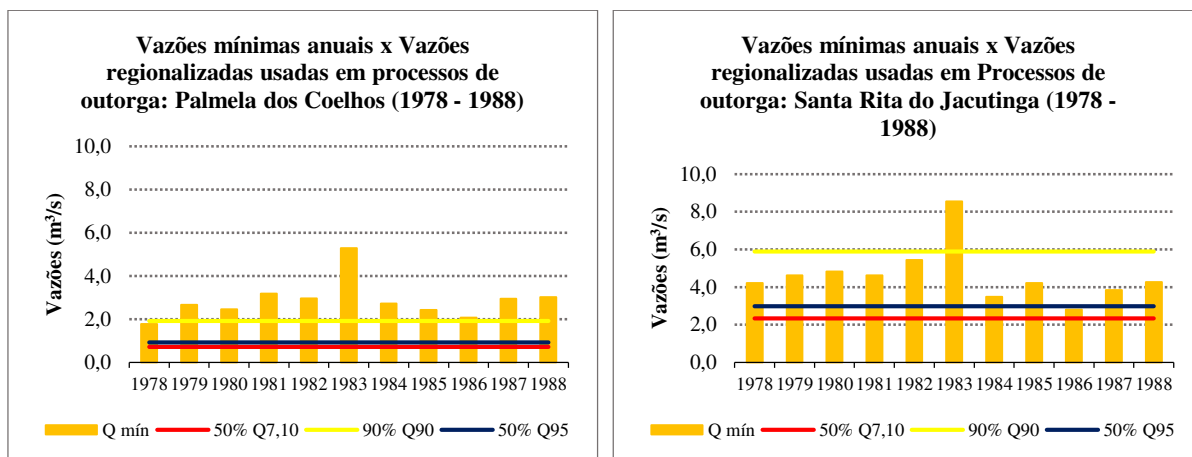
Vazões regionalizadas e limites	Bacias Hidrográficas	
	Palmela dos Coelho	Santa Rita do Jacutinga
100% Q _{7,10}	1,422	4,686
50% Q _{7,10}	0,711	2,343
Q ₉₀	2,127	6,537
90% Q ₉₀	1,915	5,883
Q ₉₅	1,850	5,958
50% Q ₉₅	0,925	2,979

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

O Gráfico 7 exibe o comparativo entre as vazões mínimas anuais e as vazões regionalizadas. Em Palmela dos Coelho, observa-se que as vazões mínimas anuais se mantiveram superiores aos limites de 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅, e inferiores a 90% da Q₉₀, apenas em 1978. Em Santa Rita do Jacutinga, o mesmo ocorre para o limite de 50% da Q_{7,10},

porém, o limite de 50% da Q₉₅ foi extrapolado em 1986. Para 90% da Q₉₀, todos os anos apresentaram valores inferiores ao limite, exceto no ano de 1983.

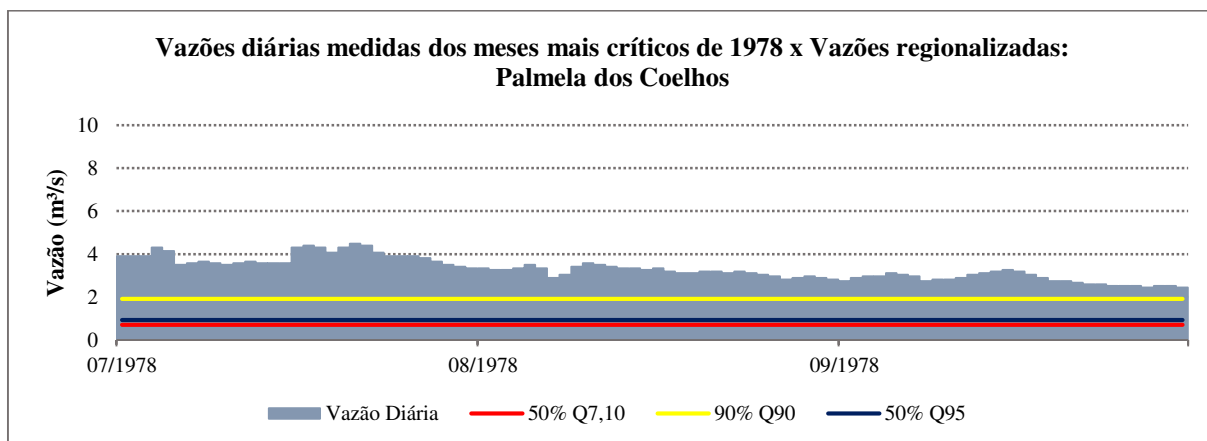
Gráfico 7 – Vazões Mínimas Anuais x Vazões Regionalizadas: Par 3



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

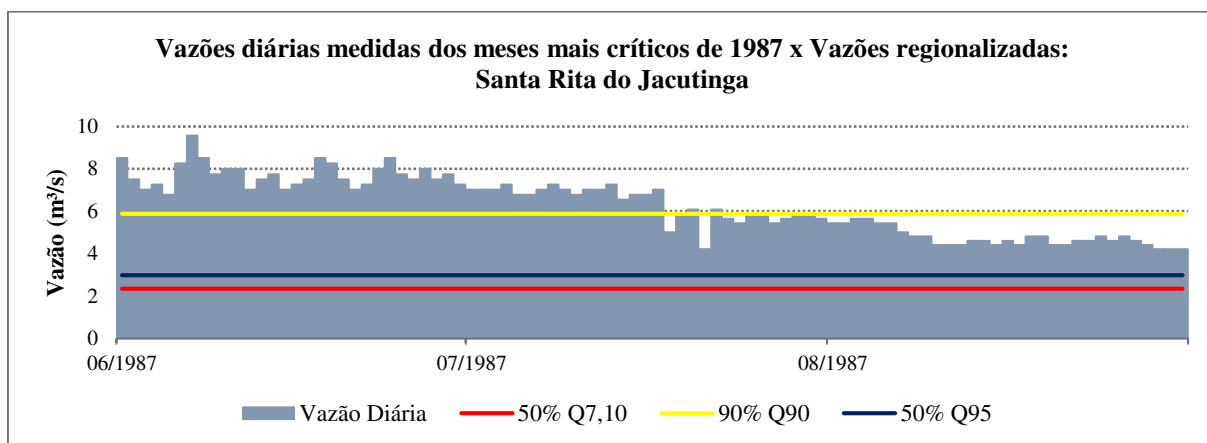
Nos Gráficos 8 e 9, pode-se observar as vazões mínimas diárias dos meses de julho a setembro, considerados os mais críticos de Palmela dos Coelhos, em 1978, e os meses de junho a agosto de 1987, em Santa Rita do Jacutinga. Na primeira bacia do Par, os limites de 50% da Q_{7,10} e 50% da Q₉₅ não foram excedidos, e o limite de 90% da Q₉₀ foi excedido durante 1 dia, equivalente a 0,025%. Na segunda bacia, o mesmo prevaleceu quanto ao limite de 50% da Q_{7,10}, entretanto, o limite de 50% da Q₉₅ foi ultrapassado durante 15 dias (0,37%), e o de 90% da Q₉₀ em 678 dias, correspondente a 16,87% do período. Em Palmela dos Coelhos, os meses mais críticos de 1978 não apresentaram períodos de extrapolação dos limites de referência, entretanto, em Santa Rita de Jacutinga, em 1987, nota-se que o limite de 90% da Q₉₀, foi extrapolado no mês de julho e agosto.

Gráfico 8 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1978 x Limites de Vazões Regionalizadas para Palmela dos Coelhos



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Gráfico 9 – Vazões diárias nos meses mais críticos de 1987 x Limites de Vazões Regionalizadas para Santa Rita do Jacutinga



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Durante todo o período de análise, os limites de 50% da $Q_{7,10}$ e limite de 50% da Q_{95} , não foram ultrapassados em cinco das seis bacias hidrográficas avaliadas, apenas na bacia de Santa Rita do Jacutinga, durante 15 dias (0,37%). O limite de 90% da Q_{90} , foi ultrapassado durante 100 dias (2,49%) em Aiuruoca; 55 dias (1,37%) em São João de Itajubá; 342 dias (8,5%) em Fazenda Juca Cassimiro; 287 dias (7,1%) em Ponte do Rodrigues; 1 dia (0,025%) em Palmela dos Coelhos e 678 dias (16,87%) em Santa Rita do Jacutinga.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos é possível inferir que os procedimentos atuais utilizando vazões regionalizadas e os limites propostos pelas agências reguladoras utilizados em processos de outorga para captação superficial de água, não foi representativo para as bacias estudadas, visto que no caso da $Q_{7,10}$ e da Q_{95} os valores calculados de vazão mínima foram superestimados e no caso da Q_{90} os valores foram subestimados, podendo, neste último caso, comprometer a segurança de abastecimento. Como observado, o limite de 50% da $Q_{7,10}$, não foi excedido em nenhum dia em relação ao período total analisado nas seis bacias em análise e o limite de 50% da Q_{95} foi ultrapassado somente em uma bacia, correspondente a 0,37% dos dias analisados, deste modo, conjectura-se que esses limites são muito restritivos para estas bacias. Com relação ao limite de 90% da Q_{90} , foi ultrapassado em todas as bacias analisadas, e conjectura-se ser muito tolerante, visto que foi ultrapassado em até 16,87% dos dias avaliados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília/DF: ANA, 2011. (Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, 6). Disponível em:
<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/OutorgaDeDireitoDeUsoDeRecursosHidricos.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**. Base de Dados. Disponível em:
<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 out. 2020.
- AMADOR, M. C.; DA SILVA, C. A. O preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, Três Lagoas/MS, v.1, n.31, p. 178-202, 2020. Disponível em:
<https://desafioonline.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/9699>. Acesso em: 01 dez. 2020.
- ARSKY, I. C.; SANTANA, V. L. **Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social: parâmetros de demanda hídrica no semiárido**. Brasília, DF: Editora IABS, 2013. 149 p. Disponível em:
<https://www.asabrasil.org.br/images/UserFiles/File/convivenciacomosemiaridobrasileiro.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 20 abr. 2020.

CAMPOS, B. P. **Outorga de água**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Produção de Grãos) – Universidade Estadual de Goiás, Posse/GO, 2017. Disponível em: <http://aprender.posse.ueg.br:8081/jspui/handle/123456789/189>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CARVALHO, H. P.; RUIZ, M. V. S. Avaliação da consistência se séries históricas de chuva da bacia hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã/SP, v. 12, n. 06, p. 76-84, 2016. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1480. Acesso em: 01 dez. 2020.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari – SP. 2000. 211f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos/SP, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-25012001-115727/pt-br.php>. Acesso em: 5 abr. 2020.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 111-124, jan./mar. 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/232847>. Acesso em: 18 jan. 2021.

DURAN-ENCALADA, J. A. *et al.* The impact of global climate change on water quantity and quality: a system dynamics approach to the US-Mexican transborder region. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 256, p. 567-581, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221716304362>. Acesso em: 22 out. 2020.

GARBOSSA, L. H. P.; PINHEIRO, A. vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem monitoramento. **REGA**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 43-52, jan./jun., 2015. Disponível em: http://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/185/83b7f198444611295df9d4ce28ce52c0_bf779f91f2b51d7a8a16cd0ad57b1ad3.pdf . Acesso em: 18 maio 2021.

GRANNEMANN, N. G.; REEVES, H. W. **Great lakes basin water availability and use**: a study of the national assessment of water availability and use program. Washington: USGS, 2005. 4 p. Report. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20053113>. Acesso em: 18 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>. Acesso em: 16 ago. 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (Minas Gerais). **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 17 ago. 2021.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos multivariados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 208 p.

LEMO, R. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da bacia do ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, Diamantina, v. 2, n. 4, p. 4 -12, 2015. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/revista/article/view/61>. Acesso em: 18 maio 2021.

LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Gestão de bacias hidrográficas na perspectiva espacial e socioambiental. **Economía, Sociedad y Territorio**, Zinacantepec, Mexico, v. 10, n. 62, p. 1-23, 2020. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212020000100631&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 20 out. 2020.

MACHADO, M. F.; SILVA, S. F. **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2010. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16735?show=full>. Acesso em: 03 maio 2021.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.787, de 13 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a organização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 14 dez. 2019. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=50263>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.866, de 19 de fevereiro de 2020. Estabelece o Regulamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas e dá outras providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 20 fev. 2020. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=50864>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MINAS GERAIS. Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 22 jan. 2016. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=40095#:~:text=1%C2%B0%20O%20Sistema%20Estadual,e%20a%20melhoria%20da%20qualidade>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Resolução Conjunta nº 1548, de 29 de março de 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 31 de mar. 2012. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

NAPOLEÃO, R. P.; MATTOS, J. T. O uso de geotecnologias como subsídio à gestão dos recursos hídricos: o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Capivari (SP). *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Inpe, 2011. p. 4744 - 4751. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.25.13.29/doc/p0426.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

NILSALAB, P.; GHEEWALA, S. H.; SILALERTRUKSA, T. methodology development for including environmental water requirement in the water stress index considering the case of Thailand. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616319928>. Acesso em: 19 maio 2021.

PASQUELETTO, T. L. L.; PASQUELETTO, A.; PASQUELETTO, A. G. N. Análise da disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. *In: FÓRUM AMBIENTAL*, 16., 2020, Alta Paulista. **Anais** [...]. Alta Paulista, 2020. p. 2088-2103. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/5695/form3171191525.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

ROSA, A. F. **Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio – MG**. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia/MG, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19693>. Acesso em: 06 jul. 2020.

REBOITA, M. S. *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 11, v. 17, p. 206-226, jul./dez, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SILVA, A. M. *et al.* Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3Y5NFNsM6gdXxHMcKSwR9wf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Infraestrutura de Dados Espaciais Ide-Sisema**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 06 jul. 2020.

SOARES, N. K. C. S.; SILVA, C. A. Comparação de metodologias para preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos: média aritmética X ponderação regional com base em regressão linear. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 17., CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., Campinas/SP. **Anais** [...]. Campinas, 2017, v.1, p. 1931-1941. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2403>. Acesso em: 01 dez. 2020.

SOUSA, H. T. *et al.* **SisCAH 1.0**: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas. Brasília: Agência Nacional de Águas; Viçosa: UFV; Arka, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Heber-Tormentino/publication/325831717_SisCaH_10_-_Sistema_Computacional_para_Analises_Hidrologicas/links/5b284fea0f7e9b332a31d398/SisCaH-10-Sistema-Computacional-para-Analises-Hidrologicas.pdf. Acesso em: 28 jul. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Grupo de Estudos em Recursos Hídricos. **SISCAH 1.0**. Software. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: 28 jul. 2021.

WEINTRAUB, L. H. Z.; TAO, H.; REDDER, T. M. Water prism: a tool to assess water availability risk and investigate water management strategies. **Journal of the American Water Resources Association**, London, v. 53, n.3, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1752-1688.12519>. Acesso em: 19 maio 2021.