

Vazões de referência sazonal e sua aplicação na outorga de recursos hídricos

Seasonal reference flows in water resource allocation

Alexandre Sokoloski de Azevedo Delduque de Macedo¹ ,
Camila Marin Stinghen¹ , Michael Mannich¹ 

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil. E-mails: alesokoloski@hotmail.com, cami.stinghen@gmail.com, mannich@ufpr.br

Como citar: Macedo, A. S. A. D., Stinghen, C. M., & Mannich, M. (2024). Vazões de referência sazonal e sua aplicação na outorga de recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e21. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e21>

RESUMO: A Política Nacional de Recursos Hídricos institui a outorga como instrumento para garantir o acesso aos usuários, sendo as vazões mínimas de referência fundamentais para definir os limites outorgáveis. Contudo, a sazonalidade hídrica raramente é considerada de maneira direta, o que limita o uso eficiente dos recursos para diversos fins (irrigação, indústria, abastecimento, etc.). Este artigo realiza uma síntese bibliográfica sobre a utilização da vazão de referência sazonal, explora locais onde já se aplicam métodos que a consideram e destaca legislações relevantes, como as resoluções CNRH n° 140/2012 e 141/2012 da ANA, que evidenciam a importância dessa abordagem como forma de ampliar o acesso à água. A adoção desses critérios é crucial para otimizar a outorga em períodos de maior disponibilidade hídrica e garantir a segurança hídrica em eventos extremos, como secas severas. Adicionalmente, são apresentados os critérios de outorga em cada estado do Brasil e sua associação com a disponibilidade hídrica regional. Recomenda-se a continuidade de pesquisas e estudos técnicos sobre as vazões de referência sazonal para aprimorar a quantificação e incorporação desses efeitos no processo de outorga.

Palavras-chave: Sazonalidade; Vazão de Referência; Outorga.

ABSTRACT: The National Water Resources Policy establishes the use of water permits as a tool to guarantee users' access, with minimum reference flows being fundamental for defining permit limits. However, hydrological seasonality is rarely directly considered, which limits the efficient use of water resources for various purposes (irrigation, industry, public supply, etc.). This article provides a bibliographic review of the use of seasonal reference flow, explores locations where methods that account for seasonality are already applied, and highlights relevant legislation, such as ANA's CNRH resolutions No. 140/2012 and 141/2012, which emphasize the importance of this approach. Adopting these criteria is crucial for optimizing water permits during periods of more significant water availability and ensuring water security during extreme events, such as severe droughts. The requirements for granting water rights in each Brazilian state and their association with regional water availability are also presented. Further research and technical studies on seasonal reference flows are recommended to improve the quantification and incorporation of these effects in the water permit process.

Keywords: Seasonality; Reference Low-flow; Water Permit.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos é um dos maiores desafios enfrentados por técnicos responsáveis pelo planejamento e operação de sistemas de gestão e aproveitamento de água. Eles precisam garantir o fornecimento de quantidades adequadas, com a qualidade e no momento certos, para atender aos múltiplos usos desses recursos (Azevedo et al., 1998).

A pressão hídrica sobre áreas de nascentes e córregos superficiais é crescente (Chagas et al., 2022; Tomasella et al., 2022), potencialmente acarretando impactos diretos oriundos de atividades antrópicas, como abastecimento público, irrigação, indústria, geração de energia, turismo etc. Muitas dessas atividades dependem da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, instrumento central da Política Nacional de Recursos Hídricos (Cruz & Tucci, 2005). No entanto, na maior parte do país, as outorgas são concedidas por meio de processos estabelecidos pelos órgãos gestores de recursos

Recebido: Agosto 12, 2024. Revisado: Outubro 03, 2024. Aceito: Outubro 25, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

hídricos, que, em geral, não consideram adequadamente os efeitos da sazonalidade das bacias hidrográficas. Esses processos tendem a se limitar ao uso da vazão de referência, um indicador de vazões mínimas que contempla a sazonalidade apenas de forma indireta por meio do seu processo de cálculo. Isso ocorre porque a vazão de referência, ao utilizar o critério de permanência, considera indiretamente a sazonalidade ao se basear nos períodos da série com os menores valores de vazão. No entanto, esses períodos não necessariamente correspondem a um mesmo intervalo de tempo (especialmente em regiões com sazonalidade menos acentuada), desconsiderando, assim, as variações intra-anuais da sazonalidade.

Atrelado a isso, há certas atividades que possuem necessidades periódicas, maiores em uma determinada época do ano, ou ainda, poderiam ser programadas para captar água e armazená-la em períodos com maior disponibilidade hídrica, sendo utilizada ao longo do ano, como o caso de culturas irrigáveis. Apesar dessa necessidade de considerar a sazonalidade local para irrigação (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019), estas atividades sazonais têm sido limitadas por um referencial de vazão mínima que considera a menor vazão ao longo do ano, desconsiderando sua sazonalidade de fornecimento (Catalunha, 2004), ou ainda, sua demanda é considerada como contínua, quando de fato ocorre em apenas uma época do ano. Exemplos são irrigação de culturas anuais, como de grãos, os quais permitem pousios, conforme exposto no documento de Coeficientes Técnicos de Uso da Água para a agricultura irrigada (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019).

A vazão de referência adotada no Brasil para estabelecer critérios de outorga de uso da água é baseada em vazões mínimas como a Q95, Q90 e Q7,10, calculada sobre toda a série de dados e comumente regionalizada. A vazão de referência sazonal tem como princípio o mesmo processo de cálculo, no entanto, segregando a série para períodos definidos. O resultado são vazões de referência distintos para cada período do ano. Esta estratégia tem como potencial maximizar o aproveitamento da água durante os períodos de maior disponibilidade. Neste contexto, vários pesquisadores propuseram metodologias para estabelecer uma outorga de direitos de recursos hídricos baseadas em vazões de referência sazonal, que consideram a variação ao longo do ano dessa vazão (Medeiros & Naghettini, 2001; Maia, 2003; Catalunha, 2004; Euclides et al., 2006; Silva et al., 2011, 2015; Marques et al., 2009; Bof et al., 2013; Oliveira et al., 2013; Amorim Júnior, 2014; Mendes & Schneider, 2015; Ramos, 2016; Bazzo et al., 2017; Ribeiro et al., 2017; Arai et al., 2020; Moreira et al., 2020). Adicionalmente, a outorga sazonal já foi apresentada como uma necessidade antiga do setor de recursos hídricos (Minas Gerais, 2019). No entanto, há uma aparente lacuna na literatura e no debate sobre vazões sazonais. Tampouco o tema ganha destaque em resoluções, exceto nas Resoluções CNRH nº 140/2012 e nº 141/2012 da ANA (Brasil, 2012a, 2012b). Diante da relevância atual e futura da outorga, especialmente considerando os impactos potenciais das mudanças climáticas com riscos de secas mais severas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023; Laureanti et al., 2024), a outorga sazonal surge como uma solução promissora e parcimoniosa para o gerenciamento de crises, conflitos e o aprimoramento da gestão de recursos hídricos. Isso será detalhado na seção sobre vazão de referência sazonal, que abordará os estudos relacionados a esse instrumento e o consequente aumento da vazão outorgável nos períodos de maior disponibilidade hídrica. Diante do potencial uso desta estratégia de análise no que concerne a outorga de recursos hídricos, o objetivo deste estudo é estabelecer uma síntese dos resultados e estudos já realizados sobre vazão de referência sazonal no âmbito nacional, legislações federais/estaduais/regionais que permitem sua utilização, bem como mapear bacias hidrográficas nas quais sua aplicação já é uma realidade. O artigo é estruturado em quatro seções: a primeira apresenta um panorama das vazões mínimas de referência no contexto brasileiro; a segunda seção aborda os estudos científicos sobre vazão de referência sazonal; a terceira explora o contexto legal e normativo no Brasil; e a quarta seção traz as conclusões do artigo.

VAZÃO MÍNIMA DE REFERÊNCIA NO BRASIL

A vazão de referência pode ser definida como um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, como supracitado, um dos principais critérios à implementação de um sistema de outorga (Silva et al., 2006). A vazão de referência pode ser expressa de diferentes maneiras: como um valor único para todos os meses do ano e todos os anos, ou como 12 valores distintos, um para cada mês, o que torna a implementação e a fiscalização mais complexas (Camara, 2003).

As vazões mínimas de referência são utilizadas para determinar a vazão máxima outorgável, a qual pode ser calculada a partir de um percentual das vazões mínimas, na forma

$$Q_{out} = \alpha \cdot Q_{min}, \tag{1}$$

em que Q_{out} é a vazão passível a ser outorgada, Q_{min} é a vazão mínima de referência e α define uma fração de Q_{min} que pode ser outorgada. O valor do percentual α varia de 20 a 90% da vazão Q_{min} . De modo geral, duas abordagens têm sido usadas nacionalmente como critério para definição de vazões mínimas de referência: vazões mínimas com determinado tempo de recorrência e vazões de curva de permanência (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019). É importante destacar que, como supracitado, a vazão de referência é um conceito e, que em geral, não considera diretamente os efeitos de sazonalidade. Em rios perenes ou rios de regime permanentes, a outorga é usualmente feita com base na Q_{90} e Q_{95} , que são vazões de referência baseadas nas curvas de permanência de rios (pelo menos 90% e 95% do tempo o corpo hídrico terá uma vazão igual ou superior a estas, respectivamente) ou na $Q_{7,10}$, que é a média das vazões de 7 dias consecutivos da estiagem com tempo de retorno de 10 anos.

De acordo com a jurisdição do domínio do curso d'água a ser analisado, os Estados ou a União têm autonomia para definir qual deverá ser a vazão de referência para balizar o ato da outorga (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019). A Figura 1 ilustra as vazões mínimas de referência adotadas em todos os estados brasileiros. Observa-se uma predominância do uso dos Estados que usam as vazões de permanência (70,4%) em relação ao uso da $Q_{7,10}$ (11,1%). Ao todo, nove Estados utilizam somente da Q_{90} , nove Estados usam somente da Q_{95} , e apenas Santa Catarina faz uso da Q_{98} . Em contraste, apenas três Estados utilizam a $Q_{7,10}$. Em contrapartida, alguns estados adotam mais de uma vazão de referência, que é o caso do Amapá (AP), Rondônia (RR) e Distrito Federal (DF).

Na Figura 1, destacam-se dois estados que não apresentam uma vazão de referência definida de acordo com a Equação 1. O Estado do Acre, por meio da Resolução CEMACT n° 4 de 17/08/2010 (Acre, 2010), determina, sem especificar critérios bem definidos, que o cálculo da vazão de referência se dá a partir de estudos de regionalização disponíveis que contemplem a análise estatística de séries históricas de vazão do curso d'água em causa, quando estas existirem. No caso do Estado do Pernambuco, a Resolução APAC n° 2 de 23/11/2012 aborda a captação de água em surgências e nascentes, limitando a outorga a 60% da vazão determinada por técnicas hidrométricas aprovadas. Segundo a revisão bibliográfica do presente trabalho, não há legislação, decreto ou resolução que defina a vazão outorgável no Estado do Pernambuco, embora, na prática de gerenciamento de recursos hídricos, a Q_{90} seja frequentemente adotada como vazão de referência.

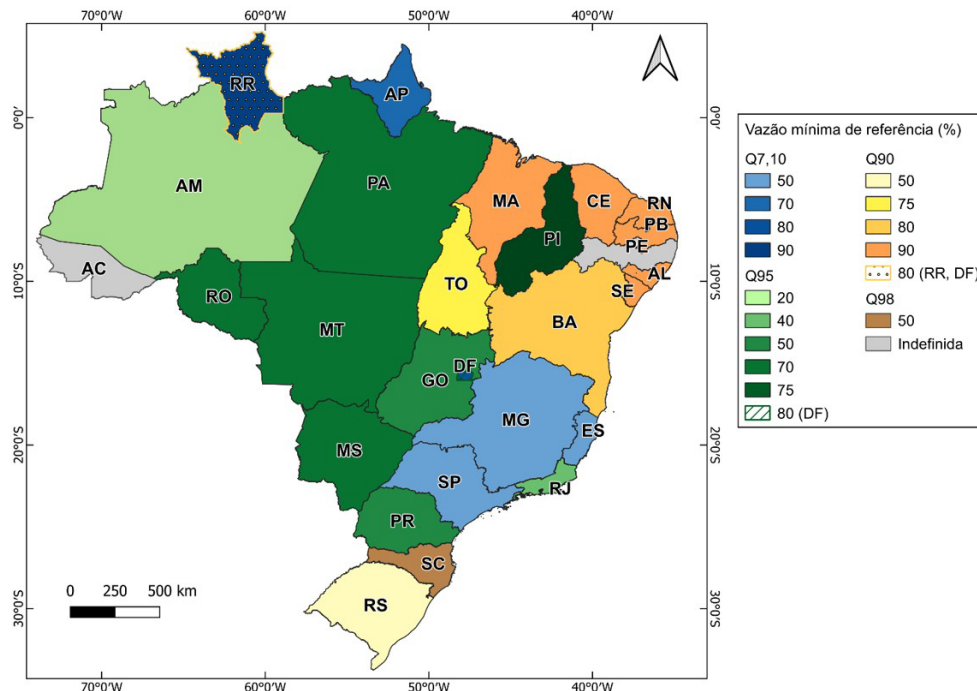


Figura 1 – Critérios de vazão máxima outorgável, com as vazões de referências utilizadas, para os estados brasileiros. A cor de cada classe se refere a uma vazão de referência (Q_{90} , Q_{95} , Q_{98} e $Q_{7,10}$) enquanto a saturação de cada cor representa o parâmetro α que representa o percentual outorgável das vazões de referência. Ressalta-se, que os estados Acre (AC) e Pernambuco (PE) não possuem um critério de vazão máxima outorgável estabelecido com base na vazão de referência na forma geral da Equação 1 válido para todo o estado. Desta forma, as regiões são demarcadas como não especificadas (na cor cinza), por não se encontrar fundamentada em uma vazão com uma determinada garantia. Adicionalmente, Distrito Federal (DF) e Roraima (RR) apresentam mais de uma vazão de referência para outorga.

Além da evidente correlação já discutida entre a porcentagem legal outorgável com disponibilidade hídrica média de cada região, é possível associar ainda a flexibilidade de cada estado, representada pela porcentagem outorgável, com a permanência de vazões permitida. Para isso, foram considerados os estados que se utilizam de vazões de referência baseadas em curvas de permanência e os respectivos valores de porcentagem outorgável α , resultando no cálculo do “Fator αp ”, definido como

$$\text{Fator } \alpha p = \alpha \cdot (1 - p), \tag{2}$$

em que ‘ α ’ é o percentual outorgável, variando de 0,2 a 0,9, e a p é a permanência é o valor limite utilizado por cada estado, considerando vazões de permanência como critério de outorga, variando de 0,9 a 0,98. Dessa forma, conforme a Figura 3, foram obtidos 21 valores de Fator αp , apresentando uma correlação de Spearman de $-0,892$, ficando ainda mais evidente essa tendência de flexibilidade de outorga inversamente proporcional à disponibilidade hídrica de cada região, pois quanto maior a disponibilidade hídrica, menor o Fator αp .

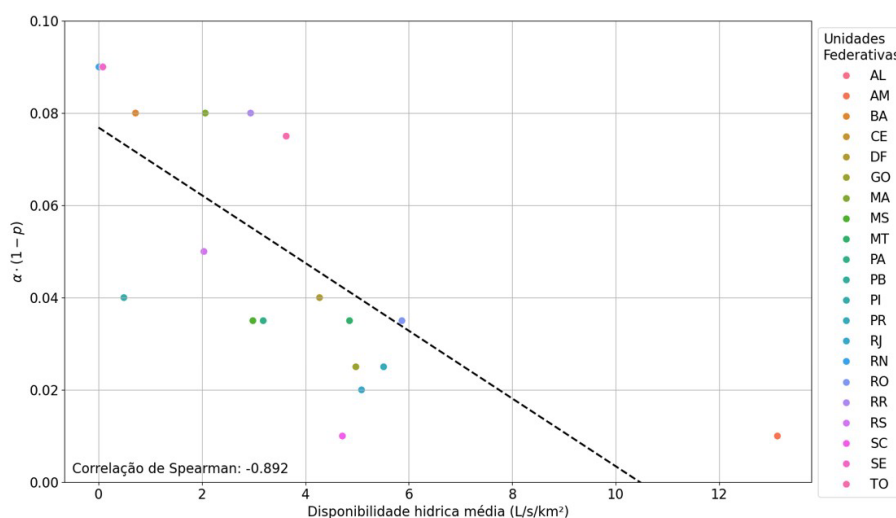


Figura 3 – Relação do Fator αp com a disponibilidade hídrica média ($L/s/km^2$) para cada estado. Fator αp : produto entre a porcentagem legal outorgável com a uma diferença entre a unidade e a permanência utilizada, para cada estado.

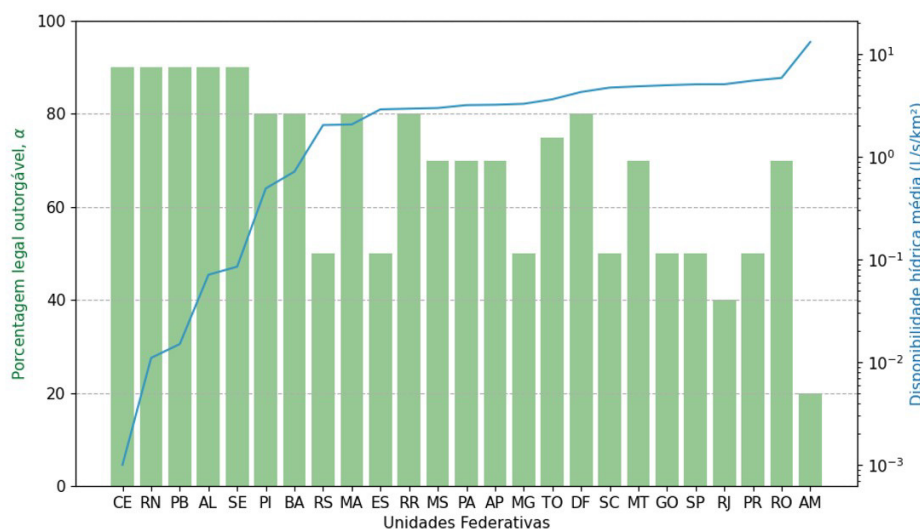


Figura 4 – Relação da porcentagem legal outorgável com respectivos valores médios de disponibilidade hídrica ($L/s/km^2$) por Estado. As barras representam a porcentagem legal outorgável por unidade federativa, enquanto a linha representa a disponibilidade hídrica média por unidade federativa.

O conceito de vazão de referência no gerenciamento de recursos hídricos envolve dois aspectos implícitos e fundamentais: a definição prévia de um determinado nível de garantia ou risco e a suposição de estacionariedade. Quando se supõe que o processo é estacionário, considera-se que uma determinada vazão de referência manterá a mesma garantia ao longo do tempo. Por exemplo, ao utilizar a Q95 como critério, supõe-se que a mesma garantia de 95% estará disponível no futuro, cumulativamente, a definição a priori do risco, como o risco de 5%, presume que todos os usuários compartilham a mesma tolerância ao risco de não atendimento de sua demanda hídrica. Conforme discutido anteriormente, este modelo é amplamente adotado em vários estados brasileiros.

Este modelo de vazão de referência é particularmente eficaz para outorgas relacionadas ao lançamento de efluentes, em que a definição de uma situação crítica, com base em garantia e risco, é essencial para avaliar o potencial déficit de oxigênio dissolvido. Neste contexto, o risco é um risco assumido focado na preservação da qualidade do corpo hídrico, com uma garantia de qualidade para todos os usuários. Desta forma, é um risco que não pode ser assumido individualmente, como poderia ser tratado um uso de captação em que um usuário poderia assumir um risco maior de ficar sem água.

Para as outorgas de recursos hídricos de maneira geral, o procedimento segue essencialmente uma análise de disponibilidade hídrica pré-determinada, a vazão de referência, e de um grau de comprometimento tolerável, expresso pela fração (α) definida na Equação 1. O indicador que subsidia a tomada de decisão sobre a concessão da outorga se resume, portanto, a uma comparação entre a demanda acumulada das outorgas à montante com a disponibilidade hídrica definida (conforme a Equação 1). A partir desta comparação, o pedido de outorga é deferido ou indeferido.

O modelo de gestão de recursos hídricos baseado na vazão de referência proporciona ao poder outorgante, tomador de decisão, uma segurança em relação à manutenção dos ecossistemas e jurídica atrelada, ainda que essa segurança seja, em certa medida, arbitrariamente fundamentada nas propriedades estatísticas da série histórica. Contudo, esta abordagem acarreta um potencial subaproveitamento da água durante os períodos de maior disponibilidade. Isso ocorre porque, quando a vazão real é superior à vazão com a garantia definida, a água disponível pode não ser plenamente utilizada. Além disso, pode haver o indeferimento de novos pedidos de outorga quando toda a vazão outorgável já tiver sido alocada, conforme estipulado pela Equação 1. Outros aspectos práticos também podem aumentar a quantidade de água efetivamente disponível. Entre eles destaca-se a intermitência horária na captação, que é influenciada pelo regime de operação de um empreendimento ou estimulada por regras tarifárias, e a intermitência sazonal, notadamente representada pela irrigação que é influenciada pelo tipo de cultura, início do plantio, precipitação e evapotranspiração locais e períodos de pousio.

Neste contexto, a adoção de vazões de referência sazonais— com valores maiores durante o período de chuvas e menores no período de estiagem— pode representar uma alternativa eficiente para bacias hidrográficas com predominância de usuários que demandam água para irrigação de culturas anuais. Essa abordagem permitiria uma gestão mais flexível e adaptada à variabilidade sazonal dos recursos hídricos, maximizando o uso da água disponível de acordo com as necessidades reais ao longo do ano.

Rios intermitentes ou efêmeros estão presentes em grande parte da região do semiárido. Rios intermitentes são corpos d'água que possuem escoamento superficial nulo, ou muito próximos de zero, em determinado(s) período(s) do ano (Datry et al., 2014). Essa intermitência pode ser derivada de diversos fatores, como a ausência de precipitação (como parte natural do ciclo hidrológico regional), mudanças climáticas (acarretando na alteração do ciclo hidrológico), captações de águas para diversos usos (irrigação, consumo humano, industrial), ou construções de barramentos (Datry et al., 2014). Conforme estabelecido pela própria Política Nacional de Recursos Hídricos, para rios intermitentes fica também estabelecido que cada estado tem autonomia para definir suas próprias vazões de referência. Por exemplo, para o Espírito Santo (Espírito Santo, 2005), utilizam-se da Q90 para rios intermitentes e Q7,10 para rios perenes. Para o Paraná, a utilização de água em rios intermitentes é vista como uma localização crítica, resultando em uma infração gravíssima, levando a multa (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006). Nesse sentido cabe a cada órgão gestor local, gerir e definir os critérios de outorga considerando as particularidades dos rios intermitentes em cada região. Ainda, para esse estudo, as análises não foram direcionadas para casos tão específicos de gestão como a de rios intermitentes, em bacias menores com características únicas, e sim com o objetivo de estabelecer uma síntese dos resultados e estudos já realizados no âmbito de vazão de referência sazonal no âmbito nacional, legislações federais/estaduais/regionais que permitem sua utilização de forma global nas bacias.

VAZÃO DE REFERÊNCIA SAZONAL

As séries temporais, em geral, possuem componentes estocásticos e determinísticos (Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021). As flutuações naturais, como aquelas observadas no escoamento em rios, precipitações, evapotranspiração, níveis piezométricos de águas subterrâneas, umidade de solo, e outras variáveis hidrológicas – geralmente anuais – são devido às sazonalidades, ou seja, de componentes periódicos (Cruz, 2001), havendo também componentes interanuais e interdecenais.

A sazonalidade refere-se, portanto, a padrões repetitivos e previsíveis que ocorrem em intervalos de tempo específicos, como estações do ano, meses ou dias. No contexto de corpos hídricos, a sazonalidade desempenha um papel importante na influência dos fluxos de água e nas condições hidrológicas ao longo do tempo. Essa distribuição natural da quantidade de água e a sazonalidade dos eventos pluviais são fatores responsáveis por problemas como inundações, impactos na biodiversidade, qualidade da água, e principalmente, escassez hídrica (Moreira et al., 2020).

Para avaliar as características da sazonalidade das vazões de rios e sua relação com os instrumentos de gestão de recursos hídricos diversos autores como Medeiros & Naghettini (2001), Maia (2003), Catalunha (2004), Euclides et al. (2006), Silva et al. (2011, 2015), Marques et al. (2009), Bof et al. (2013), Oliveira et al. (2013), Amorim Júnior (2014), Mendes & Schneider (2015), Ramos (2016), Bazzo et al. (2017), Ribeiro et al. (2017), Arai et al. (2020), Moreira et al. (2020) desenvolveram estudos e propostas com a finalidade de melhorar a gestão e a distribuição desse recurso. Uma das propostas centrais é a adoção de uma outorga dos direitos de uso de recursos hídricos baseada em uma vazão de referência sazonal, como Q95, Q90 ou Q7,10, ajustada para diferentes períodos do ano, ao invés de um valor fixo anual. Estes estudos compararam as bases de vazão de referência anual adotada pelos órgãos reguladores, com a vazão sazonal proposta, utilizando um desvio percentual, conforme a equação

$$DR = \left(\frac{Q_{sazonal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} \right) \times 100, \quad (3)$$

no qual DR é uma diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica (%); $Q_{sazonal}$ é a vazão estimada em base sazonal (m^3/s); Q_{anual} é a vazão estimada em base anual (m^3/s). Após calcular a relação entre as vazões sazonais e as vazões anuais por meio da DR , os resultados que são geralmente apresentados em gráficos para possibilitar uma análise mais ilustrativa.

O conceito de vazão sazonal aplicado às vazões mínimas (como Q95, Q90, Q7,10) difere apenas no que concerne à restrição da série de vazões a um período inferior (mensal, bimestral, trimestral ou semestral). Esse conceito é mais claramente ilustrado na Figura 5. A Figura 5A apresenta o hidrograma para a estação Porto Velho (15400000), em que uma clara sazonalidade periódica é observada. Essa sazonalidade é ainda mais evidente na Figura 5B, que mostra as diferentes curvas de permanências para distintos períodos sazonais, em que são apresentadas as curvas para o período de: janeiro – abril, maio – agosto, e setembro – dezembro. A vazão de outorga sazonal é estabelecida com base na variabilidade intra-anual das vazões e quantificada para cada mês, bimestre, trimestre, quadrimestre ou semestre.

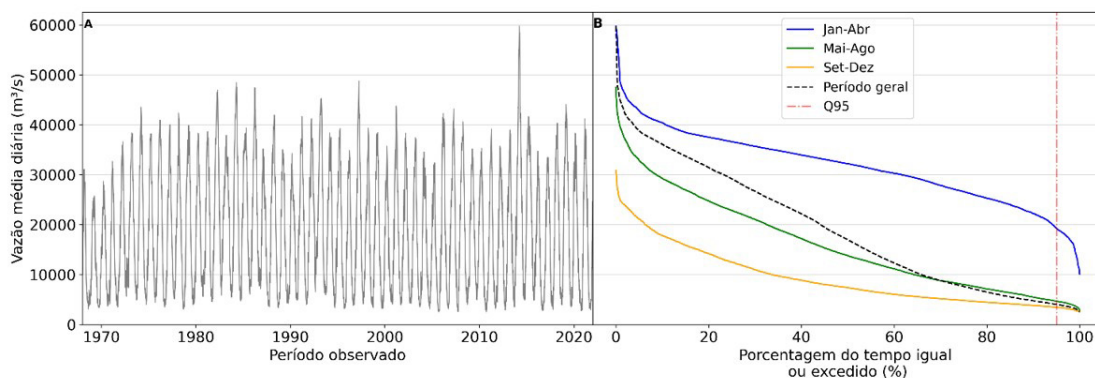


Figura 5 – Exemplo do efeito da elaboração de curvas de permanência para uma série de dados e para períodos específicos da série. A) Hidrograma e B) Curvas de permanências, para a estação 15400000 (1968 – 2021), ilustrando a série de dados completa e séries segregadas sazonalmente, indicando diferentes valores de Q95 como referência.

Uma síntese dos principais estudos nacionais sobre vazões de referências sazonais, é apresentada na Tabela 1. No total, foram identificados apenas 16 estudos com relevância regional, que, de maneira geral, buscaram apresentar as diferenças, em termos de aumento ou diminuição da vazão de referência, caso uma outorga sazonal fosse adotada. Estes estudos apresentam uma característica de exercício numérico, focando no cálculo de parâmetros clássicos da hidrologia, sem necessariamente estabelecer uma conexão direta com as demandas específicas de regiões ou bacias hidrográficas onde há conflitos pelo uso da água, apresentando um potencial genérico ao se adotar o critério. No entanto, esse aspecto também destaca o potencial de aplicação das vazões sazonais como estratégia complementar para pacificar e normatizar os usos em regiões de conflito. A Tabela 1 também revela que há um predomínio de estudos na região Sudeste do Brasil, com destaque para rios no Estado de Minas Gerais. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que essa região apresenta uma sazonalidade bem-marcada e abriga fortes vocações agrícolas, onde a adoção de uma outorga sazonal pode trazer benefícios significativos. Os estudos analisaram majoritariamente as vazões de referência Q95 e Q7,10, embora existam outras vazões mínimas de referência que poderiam ser consideradas. Em geral, os estudos adotaram períodos mensais, bimestrais, trimestrais e semestrais para realizar suas análises.

Tabela 1 – Estudos sobre vazões de referência sazonais, e seus principais resultados.

<i>UF</i>	<i>Autores</i>	<i>Período analisado</i>	<i>Síntese dos resultados dos estudos</i>
MG	Medeiros & Naghettini (2001)	Mensal	Propõe-se a implementação de um fator de correção sazonal (FC) para otimizar a utilização do critério de outorga em MG, fundamentado em análises estatísticas de características hidrológicas das bacias. Essa abordagem permite um aumento significativo na vazão outorgada durante períodos de maior disponibilidade hídrica.
MG e SP	Maia (2003)	Mensal	Utilizando-se de uma análise das vazões mínimas médias mensais, foi calculado um “Fator de correção de sazonalidade”. Esse fator possibilitou uma flexibilidade no critério de outorga, permitindo um maior volume captado em todas as estações, no período de maior disponibilidade hídrica.
MG, SP e RJ	Catalunha (2004)	Mensal, bimestral, trimestral e semestral	Dos períodos analisados, o trimestral apresentou melhores características em relação aos valores mínimos de vazão, podendo ser adotado como referência no processo de outorga.
MG	Euclides et al. (2006)	Semestral	Utilizando-se o critério da outorga sazonal, foi possível aumentar a vazão a ser outorgada em até 61,8%.
MG	Silva et al. (2011)	Trimestral	A consideração da sazonalidade da disponibilidade hídrica implicou (na média) aumento da vazão outorgável de 379%, no primeiro trimestre, 174,5%, no segundo trimestre, 36,1%, no terceiro trimestre e 14,7%, no quarto trimestre
MG	Marques et al. (2009)	Trimestral	Avaliando o período trimestral (para Q7.10. Q90 e Q95) houve um aumento nos períodos de maior disponibilidade hídrica (segundo e terceiro), e restrição no período de seca, menos para a Q7,10, que registrou flexibilidade positiva em todos os trimestres
MG	Bof et al. (2013)	Mensal	Analisando pelo critério do IGAM, observou-se que houve um aumento que variou entre 91,0% e 168,6%. Enquanto pelo critério da ANA, o aumento do volume captado foi de 26,7% a 67,1%
MG	Oliveira et al. (2013)	Mensal	Quantificando a disponibilidade hídrica, avaliou-se o impacto do uso de diferentes

Tabela 1 – Continuação...

<i>UF</i>	<i>Autores</i>	<i>Período analisado</i>	<i>Síntese dos resultados dos estudos</i>
			critérios de outorga com a outorga sazonal, proporcionando aumentos de até 209% na vazão outorgável.
BR	Amorim Júnior (2014)	Mensal	Compara-se a Q90 e Q95 mensal com a anual para 76 estações fluviométricas, cobrindo as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, e observa-se um ganho significativo de vazão outorgável ao utilizar-se do critério mensal ao invés do anual.
SE	Mendes & Schneider (2015)	Mensal	Estimando-se a disponibilidade hídrica anual e sazonal, observou-se um ganho significativo de vazão ao longo do ano devido ao próprio comportamento hidrológico do corpo hídrico.
MG	Silva et al. (2015)	Quadrimestral e semestral	Não houve diferença relativa da Q7,10 no semestre e quadrimestre secos em relação a base anual, enquanto as vazões Q90 e Q95 nestes dois períodos sazonais foram menores comparadas ao período anual.
MG, GO, e DF	Ramos (2016)	Mensal	Utilizando-se da análise das razões entre a vazão mínima mensal com as anuais, foi obtido um coeficiente (RVM). Posteriormente, esse coeficiente foi utilizado de base para calcular “Fatores de sazonalidade”, para ajuste de valores de vazões unitárias necessárias para plantios, e cobranças pela água, nas distribuições anuais de diferentes culturas irrigáveis.
RO	Bazzo et al. (2017)	Semestral e Anual	A adoção de vazões mínimas sazonais ofereceu um ganho expressivo no período chuvoso, de 367% na média, e uma redução média de 17% no período seco.
AM	Ribeiro et al. (2017)	Semestral e anual	A adoção das vazões mínimas no período chuvoso Q7,10, Q95 e Q90, em substituição às vazões mínimas de referência considerando período anual, permite aumentos percentuais de 145,3%, 132,4%, e 138,7% respectivamente.
MS	Arai et al. (2020)	Mensal	A substituição do critério anual (que é padrão no Brasil) para concessão de água, pelo critério mensal, aumentaria potencialmente o uso e aproveitamento na gestão de recursos hídricos.
MG e SP	Moreira et al. (2020)	Mensal	Tanto para Q7,10 mensais, quanto para Q90 e Q95 mensais, implicam em alterações significativas para uso potencial de recursos hídricos. Variando de valores de cerca de 10% (meses com menor disponibilidade de água) a valores superiores a 393% (meses com maior disponibilidade), para a Q7,10. Para Q90 e Q95 há desde reduções de 33% (meses com menor disponibilidade de água) até aumentos superiores a 100% (meses com maior disponibilidade).

Na região sudeste, na qual se concentra boa parte dos estudos citados, o período chuvoso coincide com o verão, época em que o meio urbano necessita de maior quantidade de água para sua manutenção (Catalunha, 2004). Portanto, torna-se essencial realizar estudos que integrem a sazonalidade no fornecimento de água, considerando as demandas atuais de cada região, tanto para uso agrícola, urbano e industrial.

Muitas das bacias hidrográficas estudadas são caracterizadas por áreas com uma significativa atividade agrícola. Nesse contexto, a busca pela compreensão da sazonalidade das vazões mínimas de referência ganha ainda mais relevância, especialmente em bacias hidrográficas com predominância de demandas para irrigação.

Nos estudos sintetizados na Tabela 1, principalmente aqueles que avaliaram períodos sazonais semestrais, a análise envolveu a identificação dos períodos chuvosos e secos, agrupando meses com comportamento hidrológico semelhante para avaliar a disponibilidade hídrica. Com a determinação desses períodos, foi possível propor a otimização o critério da outorga durante as estações chuvosas, permitindo a concessão de valores maiores de vazão devido à maior disponibilidade hídrica. No entanto, em alguns casos, a adoção da vazão sazonal tende a restringir o uso durante os períodos mais secos. Os estudos estão descritos conforme os respectivos períodos de sazonalidade analisados pelos autores.

Catalunha (2004) e Euclides et al. (2006) buscaram desenvolver critérios de vazão sazonal com o objetivo principal de otimizar o uso da água para resolução de conflitos hídricos devido a irrigação, considerando as diferentes disponibilidades hídricas ao longo do ano. Catalunha (2004) concluiu que a adoção de período mensal como referência para estimar a vazão disponível para outorga não é uma escolha muito sensata, devido às fortes variações observadas. O autor sugere que a vazão mínima trimestral parece ser uma opção mais razoável, pois as informações apresentadas no estudo permitem uma melhor distribuição da outorga, considerando a capacidade sazonal de fornecimento de água.

Euclides et al. (2006) observaram um aumento significativo na adoção do critério da outorga sazonal para captação a fio d'água, com o aumento da vazão outorgada de até 61,8%. Eles também elaboraram recomendações para o plantio, visando garantir que a vazão mínima prevista esteja disponível em mais de 90% do tempo durante o período seco. Adicionalmente, recomendaram a aplicação dessa metodologia em regiões já afetadas por conflitos relacionados ao uso da água, especialmente em função da escassez hídrica nas épocas de estiagens.

Nesse sentido, uma forma eficaz de identificar as regiões de uma bacia hidrográfica que merecem atenção devido a conflitos e estresse hídrico é a aplicação do Indicador de Comprometimento de Bacia (ICB) – que é a razão entre a vazão outorgada pela vazão disponível a ser outorgada – (Stingham et al., 2022), ou indicadores similares, como o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH), proposto pela European Environment Agency e adotado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2013). Esses indicadores simplificam a identificação dos níveis de criticidade, permitindo uma visualização clara e direcionada dos problemas e excepcionalidades das bacias, auxiliando na gestão de regiões com conflitos (Stingham et al., 2022).

Marques et al. (2009) aplicaram três diferentes vazões mínimas (Q7,10, Q90 e Q95) utilizando o período trimestral como referência. Esta abordagem permitiu obter as vazões mínimas para atender cada trimestre, de modo que a vazão do período mais seco não limitasse a outorga durante os períodos mais chuvosos. Os autores concluíram que a adoção do período trimestral representou um aumento médio de 89% na Q7,10 no segundo trimestre e uma redução de 15% na Q90 do quarto trimestre. No primeiro e no quarto trimestres, houve uma diminuição nas vazões associadas às permanências de 90 e 95% devido às menores vazões observadas, enquanto a Q7,10 aumentou em todos os trimestres com a consideração da sazonalidade.

De maneira semelhante, Silva et al. (2015) determinaram vazões mínimas de referência, com base em períodos trimestrais, o que resultou em um aumento considerável na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga de uso de água, principalmente durante os períodos mais chuvosos do ano. Ao considerarem a sazonalidade, obtiveram um aumento em comparação à Q7,10 anual, com aumentos de 379,2% no primeiro trimestre, 174,5% no segundo trimestre, 36,1% no terceiro e 14,7% no quarto trimestre.

Ribeiro et al. (2017) concluíram que a adoção da Q95 e da Q90 como vazão de referência, ao invés da Q7,10, pode aumentar a vazão passiva a ser outorgada em 74% e 122,2%, respectivamente, na bacia do rio Branco (RR). No mesmo posto fluviométrico, a substituição das vazões mínimas de referência anuais por Q7,10, Q90 e Q95 durante o período chuvoso resultou em aumentos percentuais de 145,3%, 132,4% e 138,7%, respectivamente.

Bazzo et al. (2017) utilizaram a vazão de referência semestral, uma para o período úmido (definido de janeiro a junho) e outra para o período mais seco (definido de julho a dezembro). O estudo revelou um ganho expressivo de vazão no período úmido, com DR variando de 32 a 1124%. No período seco, as DR variaram de -3 a -33%, com apenas 5 das 30 estações analisadas, apresentando DR inferiores a -20%. Os autores destacam um ponto de atenção: embora a Q95 sazonal possa flexibilizar a disponibilidade de água, a demanda hídrica de setores como a agricultura é frequentemente maior durante períodos de seca, o que pode complicar a adaptação dos usuários aos novos critérios de outorga propostos.

Arai et al. (2020) também analisaram o período sazonal semestral, e concluíram que a Q7,10 mensal é o melhor critério. Apesar de ser mais restritivo, permite maiores outorgas quando há excesso de água, e menores outorgas em meses de baixa disponibilidade hídrica. Esse cenário foi observado com aumentos de até 47% de DR com relação a anual em uma estação na bacia do rio Ivinhema (MS).

Bof et al. (2013) apresentaram resultados que indicam que as diferenças entre a vazão de referência (seja Q7,10 ou Q95) e o percentual da vazão admissível tendem a ser menos significativas quando se utilizam vazões mensais. A aplicação do critério mensal possibilita o uso de um percentual maior da vazão mínima (α na equação a vazão de referência), valorizando as atividades econômicas e reduzindo o risco ambiental da bacia hidrográfica durante os períodos mais secos.

Na mesma linha, Amorim Júnior (2014) também comparou dados de vazões mínimas mensais com vazões mínimas anuais, adotando a Q90 e Q95 em 76 estações de todo o Brasil. Verificou-se a ocorrência de diferentes características de sazonalidade para as diferentes estações fluviométricas, com destaque para aquelas localizadas na Região Sul. O autor concluiu que substituir o critério anual por critérios mensais nas análises de outorgas de captação de água pode aumentar a disponibilidade hídrica para os usuários, especialmente durante os períodos de maior disponibilidade. Neste contexto, Amorim Júnior (2014) sugere a adoção de critérios e vazões de referência semelhantes entre os estados brasileiros para garantir uma análise hidrológica consistente e uniforme.

Moreira et al. (2020) obtiveram vazões Q90 e Q95 mensais que revelam mudanças significativas no uso potencial de recursos hídricos quando comparadas às vazões anuais de referência. Essas alterações resultam em reduções de até 33% em meses com menor disponibilidade hídrica, enquanto em meses com maior disponibilidade hídrica, podem ocorrer aumentos superiores a 100%. Conforme destacado por Moreira et al. (2020), essa variação não deve ser vista necessariamente como uma limitação, mas como um mecanismo de garantia ambiental e suprimento das demandas hídricas.

Mendes & Schneider (2015) avaliaram a disponibilidade hídrica anual (90% da Q90) mensalmente para as bacias hidrográficas dos rios Piauí, Real e Sergipe, no Estado de Sergipe, utilizando a técnica de regionalização de vazões. Além de destacar a baixa qualidade das estações fluviométricas e a carência no monitoramento, concluíram que a outorga sazonal deveria ser empregada no estado. Eles sugerem que o estado adote métodos que possibilitem estimar a vazão outorgável mensalmente nas bacias com cobertura insuficiente de estações fluviométricas.

Oliveira (2011), ao realizar o balanço hídrico na bacia Entre Ribeiros (MG) e comparar o critério atual de outorga anual com o uso das vazões mínimas de referência mensais (Q7,10 mensal), constatou que o critério anual (30% da Q710 anual) resulta em balanço hídrico negativo na maioria dos trechos com outorgas a montante, onde a soma das vazões demandadas supera a vazão outorgável. Esse desequilíbrio foi observado em todos os meses, sendo fevereiro o mais crítico (77% dos trechos com excedência) e outubro o menos crítico (40% dos trechos com excedência). A flexibilização para 30% da Q7,10 mensal resultou em aumentos nas vazões ao longo do ano, chegando a até 209%.

Ramos (2016) utilizou as vazões mínimas mensais para o calcular um coeficiente base (RVM), que representa a razão entre a mínima mensal e a anual, aplicado ao "Fator de Sazonalidade" na Bacia do rio Paracatu (MG, GO, DF). Esse fator visa maximizar a valoração da água no mês de maior escassez, sendo obtido para cada mês um valor, que, como multiplicador, de modo que um desconto proporcional ao aumento de disponibilidade hídrica seja aplicado conforme o mês. A metodologia proposta busca aumentar o custo da água durante os meses de maior demanda para irrigação, especialmente quando coincide com o período de menor disponibilidade hídrica superficial a fio d'água. A autora também apresenta valores unitários de vazão para diferentes culturas e plantios ao longo do ano, baseadas nas variações mensais da disponibilidade hídrica.

Na mesma linha, Medeiros & Naghettini (2001) propõem a implementação de um fator de correção (FC) anual para o critério de vazão de outorga adotado em Minas Gerais. A proposta visa aumentar a vazão outorgada em anos chuvosos, otimizando o uso dos recursos hídricos e atendendo melhor às demandas dos usuários. O estudo sugere que essa metodologia pode ser aplicada em outras bacias hidrográficas com características hidrológicas semelhantes, promovendo um benefício real para os usuários de água e possibilitando a expansão de suas atividades devido ao aumento da oferta hídrica anual.

De forma semelhante à Medeiros & Naghettini (2001), Maia (2003) realizou ajuste nas vazões outorgáveis mensais na bacia do rio Alto Sapucaí (MG e SP), com base em uma análise estatística e regionalização, utilizando o critério do estado de Minas Gerais (30% da Q7,10), o ajuste foi feito com base nos valores de vazões mínimas mensais, "corrigindo" as vazões outorgáveis para a região estudada mês-a-mês, denominando-se "Fator de correção de sazonalidade". O resultado em todos os cenários, foi o aumento quantitativo de vazão durante os meses com maiores disponibilidade hídrica, aproveitando o ciclo hidrológico natural da região.

Por fim, Cruz & Tucci (2005) argumentam que a implementação eficaz de um programa de outorga sazonal, baseando-se em vazões de referência mensais, pode otimizar a alocação de água, permitindo que os usuários armazenem volumes nos meses anteriores à irrigação para uso durante períodos de menor disponibilidade hídrica natural. Em seu estudo, eles sustentam essa abordagem como vantagem de alocação de vazão nesses períodos tomando como estudo de caso a Bacia do Rio Baixo-Jacuí (RS) e empregando a Q95 como referência. As metodologias apresentadas nos estudos sintetizados na Tabela 1 consideram a elaboração de outorga com base em uma vazão de referência sazonal, determinada a partir de critérios como Q95, Q90 e/ou Q7,10, restringindo a série de dados a períodos mais curtos (mensal, bimestral, trimestral ou semestral). Dois aspectos são relevantes nesse contexto. Primeiro, as vazões mínimas adotadas já incorporam implicitamente a sazonalidade em seu cálculo, uma vez que consideram a série completa de dados. Todavia, o que se entende por vazão de referência sazonal é sua determinação para diferentes períodos. A desvantagem dessa abordagem é que a segregação da série para obter permanências sazonais acaba perdendo dados de vazão e potencialmente comprometer as inferências estatísticas que a própria curva de permanência proporciona.

RESOLUÇÕES E NORMATIVAS APLICADAS A OUTORGAS SAZONAIS

Conforme o Art. 35 da Lei das Águas (Brasil, 1997), compete ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelecer os critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos. Assim, as diretrizes adotadas tanto no âmbito federal quanto estadual devem seguir as resoluções estabelecidas pelo CNRH. No âmbito da sazonalidade e da adoção de vazões sazonais, que consideram a disponibilidade hídrica de cada região, duas importantes Resoluções normativas do CNRH são:

- Resolução CNRH nº 140/2012, que trata dos critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais, estabelece em seu Art. 12 que caberá às autoridades outorgantes adotarem critérios e procedimentos específicos para a outorga, no caso de corpos de água intermitentes ou com regime de vazão que apresente variação sazonal significativa.
- Resolução CNRH nº 141/2012 que estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências. Em seu Art. 4, que as autoridades outorgantes poderão emitir outorga de captação em rios intermitentes, e efêmeros e em reservatórios sem capacidade de regularização plurianual, observando os períodos de disponibilidade hídrica ao longo do ano. Além disso, o Art. 10 discorre que, ao se planejar o aumento da disponibilidade hídrica em rios intermitentes e efêmeros deverão ser realizados estudos que contemplem diferentes alternativas, inclusive a construção e a otimização de infraestruturas hídricas, observando as diretrizes dos Planos de Recursos Hídricos.

Neste contexto, as respectivas resoluções CNRH nº 140/2012 e CNRH nº 141/2012 conferem autonomia às autoridades outorgantes para considerar explicitamente a variação sazonal quando significativamente presente, até o limite extremo de rios intermitentes e efêmeros, por meio de critérios e estudos específicos. Desta forma, as resoluções já contemplam, em certo grau, as propostas observadas na Tabela 1. No entanto, não há um encaminhamento ou diretriz padrão para este tipo de análise.

Adicionalmente, a Resolução ANA nº 1938/2017 estabelece critérios para a avaliação das solicitações de outorga de direito e de outorga preventiva de uso de recursos hídricos encaminhados à ANA. O Art. 10, §4º, dessa resolução determina que, em bacias com sazonalidade hidrológica bem definida, as vazões de permanência devem ser definidas mensalmente (Brasil, 2017). Mesmo partindo de uma definição de vazão natural com alta permanência no tempo (Q95), pode-se, sob justificativas técnicas ou situações de criticidade hídrica, adotar vazões de referência com garantias diferentes. Portanto, no contexto do planejamento de novos empreendimentos por meio da outorga preventiva, há a previsão do uso de instrumentos que incorporam o conceito de vazão de referência sazonal.

REGIÕES QUE ADOTAM A VAZÃO DE REFERÊNCIA SAZONAL

O estado de Goiás oficializou a outorga sazonal por meio do Art. 08 da Resolução CERHí nº 22/2019. A resolução estabelece que a autoridade outorgante pode emitir outorgas sazonais baseadas na variabilidade intra-anual do regime hídrico, utilizando valores derivados de curvas de permanência específicas para cada época do ano (seco, intermediário e chuvoso) ou para cada mês. Dessa forma,

obtem-se um conjunto de valores de disponibilidade hídrica mês-a-mês (Goiás, 2019), alinhando-se com a abordagem dos estudos apresentados na Tabela 1.

Em Minas Gerais, a utilização da vazão de referência sazonal é aplicada apenas na Bacia do Rio Doce, conforme estabelece a Portaria IGAM nº 32/2022. O órgão outorgante, Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), estabeleceu o uso da vazão de referência Q7,10 mensal para esta bacia, compreendendo seis importantes corpos hídricos do estado de MG: Piranga, Piracicaba, Santo Antônio, Suaçuí, Caratinga e Manhuaçu. Conforme IGAM (Minas Gerais, 2022), a implementação da vazão de referência mensal representa um avanço do ponto de vista do melhor aproveitamento dos recursos hídricos em Minas Gerais. Entretanto, nas demais bacias do estado, até que os estudos de regionalização de vazão mensal sejam concluídos, continua-se a utilizar a vazão de referência anual (Q7,10 anual). Isso indica uma perspectiva de implementação da vazão sazonal em todas as bacias do estado.

No Espírito Santo, a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), órgão responsável pela outorga de recursos hídricos, reconhece por meio do Art. 28 da Lei Estadual nº 10.179/2014 que “poderá estabelecer, mediante parecer fundamentado, condicionantes de outorga, incluindo outorga sazonal, a serem cumpridas pelo requerente quando, após avaliação técnica, verificar a necessidade de adequação ou racionalização dos usos requeridos” (Espírito Santo, 2014). Ou seja, reconhece-se a possibilidade atribuir outorgas sazonais no Espírito Santo.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), discorre em seu documento “Outorga com Gestão de Garantia e Prioridade (OGP) – uma proposta para maximização do uso da água” (Brasil, 2022) que a agência já utiliza vazões de referência sazonais para outorgas (maiores nos períodos chuvosos e menores no período de estiagem). Porém, observa-se que a aplicação de vazões sazonais, nos corpos hídricos outorgados pela ANA, acaba sendo uma boa alternativa para usuários com irrigação de culturas anuais, observadas algumas limitações, e inviável para culturas perenes (Brasil, 2022).

Internacionalmente, na Inglaterra e no País de Gales, existem três tipos de outorgas: verão (1 de abril a 31 de outubro), inverno (1 de novembro a 31 de março) e durante o ano todo. As vazões de referência utilizadas são baseadas em curvas de permanência, geralmente aplicando-se a Q95 (Natural Resources Wales, 2024a). Complementarmente, a cobrança para o uso da água, que baseado nas outorgas, é ajustado de acordo com o regime outorgado, com valores mais altos para o regime de verão e menores para o regime de inverno, refletindo a disponibilidade hídrica nestes períodos (Natural Resources Wales, 2024b).

No contexto nacional, além das diversas barreiras operacionais e de recursos humanos, existe a dificuldade em avançar com novas estratégias e na implementação de critérios quando os sistemas de outorgas, informatizados ou não, apresentam dificuldades ou restrições para se adequar à novas normativas. Adicionalmente, as barreiras humanas e o apego a conhecimentos já consolidados e padronizados representam outro desafio. Essas dificuldades acabam restringindo os esforços para estabelecer novas regulamentações. Além disso, são necessárias ferramentas adicionais para auxiliar nos cálculos de demanda e disponibilidade hídrica, apresentando, neste caso, limitações na incorporação do conceito de vazão sazonal.

APLICAÇÕES DA VAZÃO DE REFERÊNCIA SAZONAL

A aplicação de limites de outorga por meio de um fator multiplicativo α de uma vazão mínima de referência (Q7,10, Q95, Q90) pode resultar em restrições de uso bastante restritivos, que não incorporam as especificidades das demandas, como os usos sazonais da água, e os diferentes níveis de garantia de atendimento suportados ou exigidos pelos usuários. A utilização de uma fração da vazão de referência pode agravar ainda mais a situação de escassez, podendo, em casos extremos, resultar em uma disponibilidade hídrica nula, dependendo da distribuição de probabilidade das vazões mínimas.

Uma vantagem evidente da outorga sazonal é a possibilidade de conceder uma vazão maior no período úmido, o que é tecnicamente defensável e coerente com a estrutura vigente no Brasil na gestão dos recursos hídricos. Além disso, essa abordagem é compreensível pelos usuários. Neste contexto, a adoção de vazões de referência sazonais pode ser encarada como um esforço parcimonioso para alinhar o modelo de gestão atual no Brasil com práticas adotadas em outros países, que priorizam o uso racional dos recursos hídricos e consideram o risco assumido pelos usuários. A implementação da outorga sazonal pode, de maneira objetiva, viabilizar a concessão de outorgas nos órgãos ambientais que atualmente são indeferidas devido aos critérios vigentes, uma vez que dependeria apenas da alteração da vazão de referência adotada.

Esta estratégia não exige alterações de marcos regulatórios, pois já há previsão legal, conforme estabelecido pelo próprio Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio das resoluções CNRH nº

140/2012 e nº 141/2012, que permitem que as entidades estaduais definam os critérios de vazão de referência (Brasil, 1997).

A outorga sazonal pode ser uma solução eficaz para bacias hidrográficas onde predominam usuários que realizam irrigação de culturas anuais, observadas algumas limitações, embora seja inviável para culturas perenes. Em especial, é recomendável evitar sua aplicação em bacias pequenas que apresentem usuários de abastecimento público, que têm maior aversão ao risco de falha no atendimento.

A adoção de vazões de referência sazonal em bacias de vocação agrícola pode maximizar o uso da água e a produção na bacia, ampliar a área com irrigação, aumentando a segurança na produção agrícola contra as variabilidades climáticas, e estimular a cooperação entre usuários por meio de mecanismos de intercâmbio de água e de estímulo ao armazenamento.

Collischonn (2001) também discute os desafios na definição da vazão de referência, independentemente da garantia adotada (como 95% no caso da Q95), ressaltando que o órgão gestor define arbitrariamente o risco máximo a que os usuários podem estar submetidos, retirando do próprio usuário a decisão sobre o nível de risco que está disposto a tolerar.

Na prática, na maior parte das situações, a garantia é ainda maior do que a definida pela vazão de referência. A ANA, por exemplo, também utiliza vazões de referência sazonais, maiores no período de chuvas e menores no período de estiagem, de modo que a adoção de uma determinada vazão de referência, que possui uma determinada garantia, mantenha a mesma garantia em momentos futuros. Embora essa abordagem ofereça segurança na tomada de decisão, ela pode levar à subutilização da água em outros períodos do ano.

CONCLUSÕES

Diante do exposto, a adoção de vazões de referência sazonal vem ganhando relevância e aplicação, conforme evidenciado pelas recentes legislações e atualizações em diferentes escalas — seja no nível de bacias hidrográficas, como no caso do rio Doce, em âmbito estadual, como em Goiás, ou até mesmo em âmbito Nacional, conduzido pela ANA. A consideração da vazão mínima de referência sazonal é crucial em contextos de escassez hídrica, especialmente em bacias hidrográficas com predominância de culturas agrícolas anuais, e em regiões afetadas por conflitos e estresse hídrico. Tal abordagem visa assegurar a resiliência hídrica e a segurança hídrica da bacia hidrográfica em análise. Adicionalmente, a natureza dos estudos e o potencial de aplicação para otimizar a gestão de recursos hídricos oferece oportunidade para aprimoramento e pesquisas na avaliação da vazão de referência sazonal, da aplicação de índices de sazonalidade para caracterização de bacias hidrológicas sazonalmente semelhantes, como feito por Beskow et al. (2014).

Apesar das recomendações da ANA, estabelecidas pelas resoluções CNRH nº 140/2012 e 141/2012, que sugerem a consideração da sazonalidade quando marcante, ainda falta clareza sobre como quantificar e incorporar esses efeitos no processo de outorga. Todavia, neste contexto, entende-se como um fator desafiador na implementação de estratégias que envolvem vazões sazonais a grande variação da disponibilidade hídrica ao longo do território nacional, a variabilidade espacial da intensidade que o efeito sazonal manifesta em cada região e os indicadores de sazonalidade. Adicionalmente, as vazões de referência são diversas, incluindo as baseadas em permanência (Q98, Q95, Q90), e a Q7,10 com diferentes percentuais de limitação (20-90%) com a quase ausência de consideração da sazonalidade de forma direta (ou seja, ela apenas está implicitamente considerada no cálculo da permanência das vazões mínimas).

Esta diversidade de vazões de referência e percentuais de limitação se estabeleceu de forma orgânica, considerando a disponibilidade hídrica regional, sua sazonalidade e a compatibilidade com as atividades humanas no que tange ao estabelecimento de condições para haver desenvolvimento regional bem como um aspecto histórico da engenharia sanitária no espírito de proteção do corpo hídricos nas situações críticas necessárias à diluição de efluentes. Este aspecto histórico no início da criação dos sistemas de gestão de recursos hídricos, atrelado à proteção da qualidade da água provavelmente induziu e perpetuou um viés conservador de risco da ordem de 5%. Isso pode ter sido potencialmente influenciado por restrições de controle e fiscalização, incipientes imagens de satélites e comunicação lenta, encaminhando para uma definição de risco baixa já no ato da outorga, minimizando conflitos. Com os critérios atuais e sob condições hidrológicas regulares, raramente haverá falta de água para os usuários. Atualmente existem ferramentas, amadurecimento acumulado da gestão, banco de dados/informações sobre os usos existentes e outros fatores que podem permitir essa mudança nos critérios. É uma oportunidade de avanço para a gestão de recursos hídricos, promovendo transições sem alterar necessariamente o risco, mas se adequando à disponibilidade

hídrica. Apesar disso, não é uma tarefa trivial, pois além da regulamentação, são necessárias outras ferramentas para auxiliar nos cálculos de demanda e disponibilidade, que podem ter o sistema vigente como elemento restritivo.

Para avançar na gestão integrada dos recursos hídricos, recomenda-se a realização de estudos voltados para a adoção de critérios e vazões de referência unificados ou harmonizados entre os estados brasileiros, garantindo uma base hidrológica consistente para o estabelecimento de vazões de referência sazonais. Uma estratégia viável é a adaptação do percentual de limitação α das vazões de referência para incorporar as características locais específicas.

Ao considerar os aspectos da probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia tecemos algumas observações que podem ser consideradas para uma unificação das vazões de referência: (1) Avaliar a estacionariedade das séries para determinar o período de vazão sazonal adequado, levando em conta o histórico e as possíveis reduções de vazão ao longo do tempo devido ao aumento dos usos consuntivos, conforme indicado por Detzel et al. (2016); (2) Para mitigar prejuízos nas inferências estatísticas decorrentes da segregação da série de vazões para obter permanências sazonais, sugere-se separar a série em períodos sazonais mais longos como bimestre, trimestre, e semestre; Alternativamente, manter o cálculo considerando a série completa e variar as permanências, ou seja, usar, por exemplo, a Q90 para o período mais seco e a Q95 para o chuvoso, adequando-se à disponibilidade hídrica em cada período. Com o mesmo objetivo, uma alternativa possível é variar o percentual de limitação α do critério de outorga em função do período adotado. Neste contexto, discute-se essas alternativas como um mecanismo para garantir que a curva de permanência seja estabelecida com a série completa de vazões, representando uma amostra maior e aumentando a confiabilidade estatística da informação apresentada. O objetivo, em suma, compreende utilizar uma vazão menos restritiva na época úmida/chuvosa, e uma mais restritiva nos períodos de menor disponibilidade hídrica. Por fim, é preciso destacar a relevância da outorga e da vazão de referência sazonal como instrumentos cruciais para enfrentar os impactos futuros de eventos extremos, como secas severas, garantindo a sustentabilidade e a segurança hídrica das bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- Acre. Instituto de Meio Ambiente do Acre – CEMACT. (2010, 17 de agosto). Resolução CEMACT nº 04, de 17 agosto de 2010. Regulamenta a concessão outorga provisória e de direito de uso dos recursos hídricos no Estado do Acre. *Diário Oficial do Estado do Acre*, Rio Branco.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2013). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013*. Brasília: ANA.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2019). *Coefficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada*. Brasília: ANA.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2021). *Catálogo de metadados da ANA: disponibilidade hídrica superficial (BHO 2017 5K)*. Brasília: ANA. Recuperado em 20 de junho de 2024, de <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7ac42372-3605-44a4-bae4-4dee7af1a2f8>
- Amorim Júnior, J. C. (2014). *Disponibilidade hídrica para outorga de captação: critérios anual e mensal para definição de vazões mínimas de referência* (Dissertação de mestrado). Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Arai, F. K., Ramos, D. D., Inocêncio, H. J., & Santos, F. A. (2020). Seasonality and criteria for concession of water in the Ivinhema basin. *Research, Social Development*, 9(10), e1969108391.
- Azevedo, L. G. T., Porto, R. L. L., & Porto, M. (1998). Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(1), 21-51.
- Bazzo, K. R., Garcia, C. S., Cunha, L. M., Pedroso, A., & Szatkowski, N. D. R. (2017). Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga no Estado de Rondônia – RO. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis. Porto Alegre: ABRHidro.
- Beskow, S., Mello, C. R. D., Faria, L. C., Simões, M. C., Caldeira, T. L., & Nunes, G. S. (2014). Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estagem no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(7), 748-754.
- Bof, L. H. N., Pruski, F. F., Silva, L. M. C., & Justino, F. (2013). Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in Brazil. *Environmental Management*, 51(2), 492-500. PMID:23224035.

- Brasil. (1997, 9 de janeiro). 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 e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Seção 1.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2012a, 24 de agosto). Resolução nº 140, de 21 de março de 2012. Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Seção 1.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2012b, 24 de agosto). Resolução nº 141, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios e diretrizes para implementação dos instrumentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos e de enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, em rios intermitentes e efêmeros, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Seção 1.
- Brasil. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2017, 30 de outubro). Resolução nº 1.938, de 30 de outubro de 2017. Dispõe sobre procedimentos para solicitações e critérios de avaliação das outorgas preventivas e direito de uso de recursos hídricos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2022, 2 de setembro). Parecer Técnico nº 3/2022/SRE: Documento nº 02500.047031/2022-32. Outorga com Gestão de Garantia e Prioridade (OGP) – uma proposta para maximização do uso da água. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 12 de agosto de 2024, de https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Parecer_Tecnico_3_2022_SRE-1675339471836.pdf
- Camara, A. C. F. C. (2003). *Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Catalunha, M. J. (2004). *Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q7,10 para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual* (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Chagas, V. B. P., Chaffe, P. L. B., & Blöschl, G. (2022). Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. *Nature Communications*, 13(1), 5136. PMID:36050302.
- Chagas, V. B. P., Chaffe, P. L. B., & Blöschl, G. (2024). Regional low flow hydrology: model development and evaluation. *Water Resources Research*, 60(2), e2023WR035063. <http://doi.org/10.1029/2023WR035063>
- Collischonn, W. (2001). *Simulação hidrológica de grandes bacias* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Cruz, J. C. (2001). *Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais* (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cruz, J. C., & Tucci, C. E. M. (2005). Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(3), 75-91.
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Intermittent rivers: a challenge for freshwater ecology. *Bioscience*, 64(3), 229-235. <http://doi.org/10.1093/biosci/bit027>
- Detzel, D. H. M., Fernandes, C. V. S., & Mine, M. R. M. (2016). Não estacionariedade na construção de curvas de permanência com vistas à outorga de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 80-87.
- Duarte, F. S. L. G., Rios, R. A., Hruschka, E. R., & Mello, R. F. (2019). Decomposing time series into deterministic and stochastic influences: a survey. *Digital Signal Processing*, 95, 102582.
- Espírito Santo. Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2005, 6 de outubro). Instrução Normativa IEMA nº 19, de 4 de outubro de 2005. Estabelece procedimentos administrativos e critérios técnicos referentes à outorga de direito de uso de recursos hídricos em corpos de água do domínio do Estado do Espírito Santo. *Diário Oficial do Estado do Espírito Santo*, Vitória.
- Espírito Santo. Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2014, 10 de março). Lei Estadual nº 10.179/2014. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Vitória.
- Euclides, H. P., Ferreira, P. A., & Faria Filho, R. F. (2006). Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais: estudo de caso. *Revista Item: Irrigação e Tecnologia Moderna*, 71-72, 42-50.

- Ferreira, D. M., Coelho, M., Fernandes, C. V. S., Kaviski, E., & Detzel, D. H. M. (2021). Deterministic and stochastic principles to convert discrete water quality data into continuous time series. *Water Resources Management*, 35(11), 3633-3647.
- Goiás. Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERHi. (2019, 9 de julho). Resolução CERHí nº 22 de 2019. Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Goiânia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2023). Sections. In H. Lee & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35-115). Geneva: IPCC.
- Laerd Statistics. (2018). *Spearman's rank-order correlation*. Recuperado em 12 de junho de 2024, de <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/spearmans-rank-order-correlation-statistical-guide.php>
- Laureanti, N. C., Tavares, P. S., Tavares, M., Rodrigues, D. C., Gomes, J. L., Chou, S. C., & Correia, F. W. S. (2024). Extreme seasonal droughts and floods in the madeira river basin, brazil: diagnosis, causes, and trends. *Climate*, 12(8), 111.
- Maia, J. L. (2003). *Estabelecimento de vazões de outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a utilização de sazonalidade* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- Marques, F. A., Marques, D. D., Silva, M. M., Ramos, F. F., & Pruski, F. F. (2009). AQUORA: sistema multi-usuário para gestão de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(4), 51-69.
- Medeiros, M. J., & Naghettini, M. (2001). Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério de vazão de outorga adotado no estado de Minas Gerais. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracaju. Porto Alegre: ABRH.
- Mendes, L. A., & Schneider, E. H. M. (2015). Avaliação da disponibilidade hídrica sazonal nas bacias dos rios Real, Piauí e Sergipe a partir da regionalização de vazões. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília. Porto Alegre: ABRH.
- Minas Gerais. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. (2019, 21 de setembro). Nova vazão de referência é adotada na bacia do Rio Doce. *Diário do Executivo*, Belo Horizonte. Recuperado em 10 de setembro de 2022, de <http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/2787--nova-medicao-de-vazao-e-adotada-na-bacia-do-rio-doce>
- Minas Gerais. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. (2022, 10 de setembro). Portaria IGAM nº 32, de 06 de setembro de 2022. Institui a Q7,10mensal como base de disponibilidade hídrica oficial do IGAM para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce e dá outras providências. *Diário do Executivo*, Belo Horizonte.
- Moreira, H. S., Moreira, K. S., Sousa, P. E. O., & Oliveira, L. F. C. (2020). Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga: estudo de caso da Bacia Vertentes do Rio Grande, Estados de Minas Gerais e São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(15), 341-350.
- Natural Resources Wales – NRW. (2024a, 5 de abril). *Abstraction rates for hydropower*. Recuperado em 12 de agosto de 2024, de <https://naturalresources.wales/permits-and-permissions/water-abstraction-and-impoundment/hydropower/abstraction-rates-for-hydropower/?lang=en>
- Natural Resources Wales – NRW. (2024b, 2 de abril). Water abstraction charges scheme - april 2024 to april 2025. Recuperado em 12 de agosto de 2024, de <https://naturalresources.wales/about-us/what-we-do/what-we-regulate/our-charges/water-abstraction-charges-scheme-april-2024-to-april-2025/?lang=en>
- Oliveira, J. R. S. D. (2011). *Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do ribeirão Entre Ribeiros* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Oliveira, J. R. S., Pruski, F. F., & Nunes, A. A. (2013). Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(4), 157-172.
- Ramos, M. C. A. (2016). *Critérios de valoração da água com base na sazonalidade das vazões e na efetiva demanda hídrica das culturas* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ribeiro, T. B., Albuquerque, C. C., Lisboa, L., Batista, I. H., & Uliana, E. M. (2017). Estimativa das vazões mínimas de referência (Q7,10, Q95 e Q90) anuais e semestrais para a bacia do Rio Branco. In *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis. Porto Alegre: ABRH.
- Silva, A. M., Oliveira, P. M., Mello, C. R., & Pierangeli, C. (2006). Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 374-380.
- Silva, D. D., Marques, F. A., & Lemos, A. F. (2011). Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. *Revista Engenharia na Agricultura*, 19(3), 244-254.

- Silva, B. M. B., Silva, D. D., & Moreira, M. C. (2015). Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. *Revista Ambiente & Água, 10*, 623-634.
- Stinghen, C. M., Carvalho, J. M., & Mannich, M. (2022). Aplicação de indicador de estresse hídrico na Bacia do Rio Tibagi para a identificação de bacias críticas quanto ao uso dos recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água da América Latina, 19*(1), 2022. <http://doi.org/10.21168/rega.v19e26>
- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. (2006). *Manual técnico de outorgas*. Curitiba: SUDERHSA.
- Tomasella, J., Cunha, A. P. M. A., Simões, P. A., & Zeri, M. (2022). Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019. *Natural Hazards*, PMID:36540868. <http://doi.org/10.1007/s11069-022-05759-0>

Contribuições dos autores:

Alexandre Sokoloski de Azevedo Delduque de Macedo: redação, processamento e análise de dados, elaboração gráfica.

Camila Marin Stinghen: redação, revisão.

Michael Mannich: proposição da pesquisa, redação e revisão do documento, orientação acadêmica.