XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

CLASSIFICAÇÃO DO ESTÁGIO DE USO DA VAZÃO ECOLÓGICA NOS PROCESSOS DE REGULAÇÃO DA ÁGUA

Fernanda Abreu Oliveira de Souza; Conceição de Maria Albuquerque Alves; Ricardo Tezini Minoti

RESUMO – A incorporação da vazão ecológica nos processos de regulação da água representa um dos principais desafios contemporâneos da gestão hídrica. Apesar dos avanços científicos e conceituais observados internacionalmente, a tradução desses avanços em instrumentos normativos e operacionais permanece limitada. Este trabalho tem como objetivo identificar, com base em revisão bibliográfica sistemática, critérios que permitem classificar o estágio de evolução do uso da vazão ecológica nos processos de regulação da água. A análise da literatura especializada, aliada ao exame de experiências internacionais na África do Sul, Austrália, União Europeia, Portugal, Espanha e Chile, permitiu identificar seis critérios-chave: (i) previsão normativa, (ii) grau de incorporação, (iii) natureza da adoção (passiva ou ativa), (iv) consideração da sazonalidade, (v) especificidade hídrica local e (vi) adaptação às condições hidrológicas anuais. Esses critérios refletem as dimensões analíticas recorrentes na literatura e configuram uma trajetória de evolução institucional que vai da ausência de mecanismos de proteção ecológica a modelos de regulação adaptativa. Os resultados evidenciam o potencial da vazão ecológica como instrumento essencial para conciliar demandas socioeconômicas e sustentabilidade dos ecossistemas, embora ainda incipiente em sua operacionalização.

ABSTRACT – The incorporation of ecological flows into water regulation processes represents one of the main contemporary challenges in water governance worldwide. Despite scientific and conceptual advances observed internationally, the translation of these advances into normative and operational instruments remains limited. This study aims to identify, based on a systematic literature review, the main criteria that allow the classification of the stage of evolution in the use of ecological flows within water regulation processes. The analysis of specialized literature, combined with the examination of international experiences in South Africa, Australia, the European Union, Portugal, Spain, and Chile, allowed the identification of six key criteria: (i) normative provision, (ii) degree of incorporation, (iii) nature of adoption (passive or active), (iv) consideration of seasonality, (v) local hydrological specificity, and (vi) adaptation to annual hydrological conditions. These criteria reflect the recurring analytical dimensions in the literature and configure an institutional evolution trajectory ranging from the absence of ecological protection mechanisms to adaptive regulation models. The results demonstrated the potential of environmental flows as a key instrument for balancing socioeconomic demands and ecosystems sustainability.

Palavras-Chave – Vazão ecológica; Regulação; Gestão adaptativa.

1. INTRODUÇÃO

A relação do ser humano com a água tem se transformado significativamente ao longo da história. Inicialmente, caracterizava-se por uma convivência predominantemente dependente e reativa, em que as sociedades se ajustavam às dinâmicas naturais dos sistemas hídricos. Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento econômico, essa relação passou a assumir um caráter de controle e exploração, marcado pela intensificação dos usos da água para fins produtivos e pela regulação dos fluxos naturais. Mais recentemente, observa-se a emergência de uma abordagem orientada ao equilíbrio, que busca conciliar as demandas humanas com a preservação dos ecossistemas, reconhecendo a água em sua multiplicidade de valores e funções socioecológicas (Rockström *et al.*, 2014; UN Water, 2021).

No século XX, a intensificação das intervenções humanas sobre os sistemas hídricos resultou em alterações significativas dos regimes naturais de vazão, contribuindo para a degradação de ecossistemas aquáticos e para a perda de serviços ecossistêmicos (Poff *et al.*, 1997; Acreman *et al.*, 2014). Como desdobramento desse processo, emergiu uma preocupação global com a preservação do meio ambiente, traduzida na Conferência de Estocolmo (1972), na Declaração de Dublin (1992) e, mais recentemente, na Agenda 2030 e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que consolidaram a necessidade de uma melhor governança da água e da preservação dos serviços ecossistêmicos.

A deterioração das condições dos ecossistemas fluviais, bem como a perda de biodiversidade de água doce decorrentes dos impactos de infraestruturas hídricas e da alteração dos regimes de vazão, levaram ao desenvolvimento do campo das vazões ecológicas (Arthington *et al.*, 2018). A vazão ecológica pode ser compreendida como a quantidade de água necessária à manutenção de rios ou corpos hídricos para atender às necessidades do ecossistema em situações de múltiplos usos (Montezuma *et al.*, 2025).

A implementação efetiva de regimes de vazões ecológicas permanece um desafio em diversas regiões do mundo, especialmente em bacias hidrográficas submetidas a elevados níveis de comprometimento hídrico (Tickner *et al.*, 2020). Apesar dos avanços científicos e conceituais, a tradução desses avanços em instrumentos normativos e operacionais permanece limitada (Acreman *et al.*, 2014; Arthington *et al.*, 2018; Kampa *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo propor, por meio de revisão bibliográfica sistemática, critérios que podem auxiliar na identificação da evolução do uso da vazão ecológica nos processos de regulação da água. Como resultado, apresenta-se um conjunto de critérios

fundamentados na literatura especializada, que refletem a trajetória de evolução institucional e poderiam constituir subsídios para a elaboração de metodologia de comparação entre sistemas regulatórios em diferentes estágios de maturidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

2.1 Evolução Conceitual das Vazões Ecológicas

Há uma evolução significativa nos métodos de definição de vazões ecológicas ao longo das últimas décadas, refletindo a ampliação da compreensão científica sobre a complexidade dos sistemas fluviais. Inicialmente, predominavam abordagens simplificadas, baseadas em regras empíricas ou estatísticas hidrológicas, como percentuais da vazão média ou indicadores de permanência, que buscavam garantir uma vazão mínima para a manutenção dos ecossistemas, a exemplo do Método Tennant, baseado em percentuais da vazão média anual para estimar condições ecológicas dos rios (Tennant, 1976).

Mais recentemente, surgiram métodos holísticos e baseados em ecossistemas, que consideram o regime completo de vazões, incluindo variabilidade temporal, magnitude, frequência e duração, e suas interações com processos ecológicos e sociais. Adicionalmente, têm emergido abordagens integradas e adaptativas, que incorporam cenários de mudança climática, análise de risco e participação de stakeholders (Pastor *et al.*, 2014; Poff *et al.*, 1997; Arthington *et al.*, 2018; Poff, 2018).

Dessa forma, o conceito de vazões ecológicas tem evoluído bastante, passando da visão tradicional baseada em quantidades mínimas de água para uma compreensão mais abrangente e holística, que considera todos os aspectos de um sistema hídrico em fluxo — os diferentes elementos do regime de vazões (quantidade, frequência, duração, sazonalidade e taxa de variação), a natureza dinâmica dos rios e os aspectos relacionados à qualidade da água (Poff *et al.*, 1997; Acreman e Dunbar, 2004; Arthington *et al.*, 2018).

Portanto, a tendência amplamente recomendada é que a definição das vazões ecológicas adote uma abordagem mais holística, incorporando variáveis culturais, ecológicas, econômicas e sociais, além das demandas humanas pelo uso da água (Chavarría-Pizarro *et al.*, 2024), de modo a equilibrar a integridade dos ecossistemas aquáticos com as crescentes demandas socioeconômicas por água.

2.2 Vazões Ecológicas nos Marcos Regulatórios: Experiências Internacionais

O próximo passo vislumbrado pelo estado da arte é a integração efetiva das vazões ecológicas nos sistemas regulatórios e de governança da água, de forma estruturante. A tradução e implementação da vazão ecológica em instrumentos normativos e operacionais permanece limitada, especialmente no que se refere à integração com a regulação e à governança institucional (Acreman *et al.*, 2014; Arthington *et al.*, 2018; Kampa *et al.*, 2024).

A África do Sul apresenta uma das experiências mais avançadas do mundo na institucionalização das vazões ecológicas. A *National Water Act* de 1998 introduziu o conceito de *Ecological Reserve* (Reserva Ecológica), estabelecendo que uma parcela da água disponível deve ser reservada para assegurar a manutenção dos ecossistemas aquáticos e o atendimento das necessidades humanas básicas antes da alocação para outros usos econômicos (South Africa, 1998; King *et al.*, 2008).

Na Europa, a implementação das vazões ecológicas foi fortemente impulsionada pela Diretiva-Quadro da Água da União Europeia, que estabeleceu como objetivo central alcançar o bom estado ecológico dos corpos hídricos. Em Portugal e Espanha, as vazões ecológicas foram incorporadas aos instrumentos de planejamento hidrológico como requisito obrigatório para o alcance dos objetivos ambientais, assumindo papel de condicionante à alocação dos recursos hídricos (European Commission, 2015; Kampa e Schmidt, 2023).

No Chile, a incorporação das vazões ecológicas ao sistema regulatório ocorreu inicialmente por meio da reforma do Código de Águas de 2005, que introduziu a vazão ecológica mínima como requisito para a concessão de novos direitos de aproveitamento de água. A reforma de 2022 fortaleceu a proteção ambiental e ampliou os poderes da *Dirección General de Aguas* (DGA), órgão gestor de recursos hídricos, incorporando de forma mais explícita objetivos de sustentabilidade e segurança hídrica (Chile, 2022).

A Austrália é reconhecida internacionalmente como uma das principais referências na integração das necessidades ecológicas aos processos de alocação da água. As reformas implementadas na Bacia *Murray-Darling*, especialmente a partir do *Water Act* de 2007 e do *Murray-Darling Basin Plan* de 2012, estabeleceram limites sustentáveis de captação com base no conceito de nível ecologicamente sustentável de retirada de água, incorporando explicitamente objetivos ambientais à gestão quantitativa dos recursos hídricos (Australia, 2007; MDBA, 2012). Gawne e Thompson (2023) destacam que a experiência australiana evoluiu para uma abordagem de gestão adaptativa, baseada em monitoramento contínuo e revisão periódica das regras de alocação em resposta às mudanças nas condições hidrológicas e climáticas.

2.3 Dimensões Analíticas para Classificação Regulatória

A revisão bibliográfica identificou que os estudos sobre integração de vazões ecológicas aos marcos regulatórios organizam seus diagnósticos em torno de dimensões recorrentes: (i) existência de base normativa; (ii) grau de operacionalização institucional; (iii) sofisticação técnico-metodológica; e (iv) capacidade adaptativa do sistema regulatório (Acreman *et al.*, 2014; Arthington *et al.*, 2018; Kampa *et al.*, 2024).

Kampa *et al.* (2024) apontam que a dificuldade para priorizar as necessidades ecológicas advém, principalmente, de desafios estruturais relevantes, como a insuficiência de dados ecológicos e hidrológicos integrados, limitações de capacidade institucional, dificuldades de articulação entre níveis de governança e, sobretudo, tensões com usos econômicos da água. Arthington *et al.* (2024) argumentam que a implementação efetiva de vazões ecológicas requer abordagens integradas de governança capazes de lidar explicitamente com os conflitos entre objetivos ecológicos e demandas humanas.

A análise comparada das experiências internacionais permite identificar os atributos que distinguem sistemas regulatórios mais avançados dos menos avançados em termos de incorporação das vazões ecológicas. Os atributos recorrentemente associados a sistemas mais maduros são: previsão normativa, integração aos instrumentos de outorga e planejamento, participação ativa do órgão gestor, reconhecimento da variabilidade sazonal, adequação às especificidades locais e capacidade de resposta a condições hidrológicas variáveis.

3. METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica sistemática. O levantamento bibliográfico compreendeu a consulta a artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, relatórios técnicos de organismos multilaterais e instituições de pesquisa, legislação e documentos institucionais de países de referência na temática.

A definição dos critérios foi conduzida por meio de um processo sistemático em três etapas: (i) mapeamento das dimensões analíticas recorrentes na literatura; (ii) extração dos atributos regulatórios a partir das experiências internacionais selecionadas; e (iii) organização dos atributos em critérios sequenciais, dispostos em complexidade crescente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na revisão bibliográfica e na análise comparada das experiências internacionais, foram identificados seis critérios-chave para a classificação do estágio de evolução do uso da vazão ecológica nos processos de regulação da água, descritos a seguir.

Critério 1 — Previsão normativa. A existência de base legal é condição inaugural e indispensável para qualquer análise de incorporação institucional. Sem reconhecimento normativo, os demais critérios perdem sustentação. Essa prioridade está alinhada ao entendimento de Kampa *et al.* (2024), para quem a institucionalização das vazões ecológicas pressupõe, em primeiro lugar, ancoragem no ordenamento jurídico.

Critério 2 — Grau de incorporação. A distinção entre adoção pontual e disseminada reflete a diferença entre sistemas em que a vazão ecológica é um instrumento marginal, restrito a tipologias específicas de uso, e sistemas em que ela constitui princípio transversal à regulação hídrica. Arthington *et al.* (2018) diferenciam abordagens *project-by-project* de abordagens *basin-scale*, e Poff (2018) aponta a generalização da aplicação como indicador de maturidade regulatória.

Critério 3 — Natureza da adoção (passiva ou ativa). A distinção entre modelos passivos e ativos corresponde, na literatura, à diferença entre proteção ambiental como externalidade do processo regulatório e proteção ambiental como componente intrínseco da gestão hídrica. Kampa e Schmidt (2023) e Arthington *et al.* (2024) destacam que a incorporação efetiva das vazões ecológicas exige que o órgão gestor de recursos hídricos assuma papel protagonista. Sistemas passivos — nos quais a proteção ambiental é delegada ao licenciamento ambiental — tendem a apresentar lacunas de cobertura e baixa integração com os instrumentos de alocação da água.

Critério 4 — Sazonalidade. A consideração da variabilidade intra-anual do regime de vazões é reconhecida pela literatura como um dos principais avanços metodológicos no campo das vazões ecológicas (Poff *et al.*, 1997; Arthington *et al.*, 2018). Sistemas que adotam um valor único de vazão ecológica ao longo do ano desconsideram a dinâmica natural dos ecossistemas aquáticos, que dependem de pulsos sazonais de cheia e estiagem para completar ciclos biológicos essenciais.

Critério 5 — Especificidade hídrica local. A aplicação de parâmetros uniformes em contextos hidrológica e ecologicamente distintos é amplamente criticada na literatura como insuficiente para garantir a manutenção dos ecossistemas (Acreman e Dunbar, 2004; Poff, 2018). A diferenciação por especificidade local, considerando o tipo de ecossistema, regime hídrico regional e usos prioritários, representa um salto qualitativo em relação a abordagens baseadas em percentuais fixos da vazão média.

Critério 6 — Adaptação às condições hidrológicas interanuais. Este critério traduz, no plano regulatório, os princípios da gestão adaptativa dos recursos hídricos (Pahl-Wostl, 2007; Gawne e Thompson, 2023). A capacidade de ajustar os regimes de vazão ecológica em resposta às condições hidrológicas vigentes (anos secos, normais ou úmidos) é apontada por Salinas-Rodríguez *et al.* (2022) como um estágio avançado da evolução metodológica no campo.

Tabela 1 – Critérios identificados para classificação do estágio de uso da vazão ecológica na regulação da água

#	**Critério**	Descrição
1	Previsão normativa do uso da vazão ecológica	Existência ou não de previsão normativa para o uso da vazão ecológica
2	Grau de incorporação da vazão ecológica	Pontual em que a vazão ecológica é adotada em apenas uma ou duas finalidades de uso. Disseminada em que a vazão ecológica é aplicada de forma ampla, atendendo a mais de duas finalidades ou de forma geral
3	Natureza da adoção da vazão ecológica	Passiva em que a proteção ambiental decorre de exigências externas ao processo regulatório (ex.: licenciamento ambiental). Ativa em que a autoridade gestora de recursos hídricos incorpora diretamente as vazões ecológicas aos instrumentos regulatórios
4	Adoção da sazonalidade	Considera a variação intra-anual do regime de vazões ao longo do ano
5	Especificidade hídrica local	Os parâmetros variam conforme o ecossistema, regime regional e usos prioritários
6	Adaptação às condições hidrológicas anuais	É realizado o ajuste do regime de vazão ecológica conforme anos secos, normais ou úmidos, promovendo uma gestão adaptativa

Os critérios identificados estão dispostos em ordem crescente de complexidade, refletindo uma trajetória de evolução institucional que parte do estágio mais elementar, que é a existência de norma até o mais sofisticado, em que se considera a adaptação dinâmica a mudanças do clima e à variabilidade do regime hidrológico.

De forma geral, as experiências internacionais evidenciam uma mudança de paradigma na gestão das águas, na qual as vazões ecológicas deixam de ser tratadas apenas como condicionantes ambientais complementares e passam a integrar o núcleo dos processos de planejamento e regulação. Essa tendência reflete o reconhecimento de que a manutenção dos ecossistemas constitui requisito indispensável para a segurança hídrica de longo prazo, para a resiliência frente às mudanças climáticas e para a sustentabilidade dos próprios usos econômicos da água.

5. CONCLUSÕES

É notória a evolução da gestão dos recursos hídricos ao longo dos anos, passando de modelos centrados no controle e na exploração da água para abordagens adaptativas que reconhecem a necessidade de conciliar desenvolvimento econômico e humano com a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Nesse contexto, as vazões ecológicas têm se consolidado como instrumento essencial para assegurar a sustentabilidade dos múltiplos usos da água.

Com base na revisão bibliográfica sistemática e na análise das experiências internacionais, foram identificados seis critérios fundamentais para a classificação do estágio de evolução do uso da vazão ecológica nos processos de regulação da água: (i) previsão normativa, (ii) grau de incorporação, (iii) natureza da adoção, (iv) sazonalidade, (v) especificidade hídrica local e (vi) adaptação às condições hidrológicas anuais.

Esses critérios, fundamentados na literatura especializada e nas experiências de países como África do Sul, Austrália, Portugal, Espanha e Chile, refletem as dimensões analíticas recorrentes nos estudos sobre integração de vazões ecológicas aos marcos regulatórios e configuram uma trajetória de evolução institucional. A principal contribuição desta revisão de literatura consiste em sistematizar e justificar individualmente cada critério, transformando características frequentemente tratadas de forma qualitativa em parâmetros identificáveis e comparáveis entre diferentes sistemas regulatórios.

Recomenda-se, como desdobramento desta pesquisa, o desenvolvimento de uma metodologia de classificação estruturada com base nesses critérios, bem como sua aplicação comparada a diferentes países e contextos subnacionais, incluindo o Brasil, de modo a orientar processos de modernização regulatória e aproximar a gestão da água dos princípios contemporâneos de sustentabilidade, segurança hídrica e governança adaptativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACREMAN, M. C.; DUNBAR, M. J. Defining environmental river flow requirements: a review. Hydrology and Earth System Sciences, v. 8, n. 5, p. 861–876, 2004.

ACREMAN, M.; ARTHINGTON, A. H.; COLLOFF, M. J. *et al.* Environmental flows for natural, hybrid, and novel riverine ecosystems in a changing world. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 12, n. 8, p. 466–473, 2014.

ARTHINGTON, A. H.; BUNN, S. E.; POFF, N. L.; NAIMAN, R. J. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows (2018). Frontiers in Environmental Science, v. 6, art. 45, 2018.

ARTHINGTON, A. H.; TICKNER, D.; MCCLAIN, M. E. *et al.* Accelerating environmental flow implementation to bend the curve of global freshwater biodiversity loss. Environmental Reviews, v. 32, n. 3, p. 387–413, 2024.

AUSTRALIA. Water Act 2007. Canberra: Federal Register of Legislation, 2007.

CHAVARRÍA-PIZARRO, L. *et al.* Determination of Environmental Flow Using a Holistic Methodology in Three River Paths in the Tempisque River Basin, Costa Rica. Hydrology, v. 11, n. 10, art. 159, 2024.

CHILE. Ley n.º 21.435, de 6 de abril de 2022. Reforma el Código de Aguas. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022.

EUROPEAN COMMISSION. Ecological Flows in the Implementation of the Water Framework Directive: Guidance Document No. 31. Brussels: European Commission, 2015.

GAWNE, B.; THOMPSON, R. Adaptive water management in response to climate change: the case of the southern Murray-Darling Basin. Australasian Journal of Water Resources, v. 27, n. 2, p. 271–288, 2023.

KAMPA, E.; SCHMIDT, G. Implementation of e-flows in the EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023.

KAMPA, E.; SCHMIDT, G.; RODRIGUES, J.; SCHULZ, C.; DÖRFLER, T. Towards Improved Implementation of Environmental Flows in the EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024.

KING, J. M.; THARME, R. E.; DE VILLIERS, M. S. (ed.). Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology. Updated Edition. Gezina: Water Research Commission, 2008.

MONTEZUMA, T. F. P. F. *et al.* Vazão ecológica: implicações conceituais, metodológicas e regulatórias para a gestão hídrica brasileira. Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 15, n. 2, 2025.

MURRAY-DARLING BASIN AUTHORITY (MDBA). Murray-Darling Basin Plan 2012. Canberra: MDBA, 2012.

PASTOR, A. V.; LUDWIG, F.; BIEMANS, H.; HOFF, H.; KABAT, P. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, p. 5041–5059, 2014.

POFF, N. L. *et al.* The Natural Flow Regime. BioScience, v. 47, n. 11, p. 769–784, 1997.

POFF, N. L. Beyond the natural flow regime? Freshwater Biology, v. 63, n. 8, p. 1011–1021, 2018.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. Ecohydrology, v. 7, n. 5, p. 1249–1261, 2014.

SALINAS-RODRÍGUEZ, S. A.; VAN DE GIESEN, N. C.; MCCLAIN, M. E. Inter-Annual and Seasonal Variability of Flows: Delivering Climate-Smart Environmental Flow Reference Values. Water, v. 14, n. 9, art. 1489, 2022.

SARMENTO, R. Estado da Arte da Vazão Ecológica no Brasil e no Mundo. Brasília: UNESCO; ANA; CBHSF, 2007.

SOUTH AFRICA. National Water Act, 1998 (Act No. 36 of 1998). Pretoria: Government of South Africa, 1998.

TENNANT, D. L. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. Fisheries, v. 1, n. 4, p. 6–10, 1976.

TICKNER, D. *et al.* Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss: An Emergency Recovery Plan. BioScience, v. 70, n. 4, p. 330–342, 2020.

UN-WATER. The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. Paris: UNESCO, 2021.