

Guia metodológico para a determinação de regimes de caudais ecológicos em Portugal

Methodological guide for the determination of ecological flow regimes in Portugal

Francisco Godinho¹, Ana Telhado², Paulo Pinheiro^{3*}, Verónica Pinto⁴, Filipa Reis⁵, Felisbina Quadrado⁶, Bernardo Oliveira⁷ e António Pinheiro⁸

* Autor para a correspondência: ppinheiro@aqualogus.pt

¹ Doutor em Engenharia Florestal, AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda., Associado da APRH n.º 1522.

² Engenheira do Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente

³ Mestre em Gestão de Recursos Naturais, AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda.

⁴ Mestre em Ecologia Aplicada, Agência Portuguesa do Ambiente

⁵ Engenheira do Ambiente, AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda.

⁶ Engenheira do Ambiente, Diretora do Departamento de Recursos Hídricos da Agência Portuguesa do Ambiente

⁷ Engenheiro Civil, AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda.

⁸ Professor Catedrático. CERIS - Civil Engineering for Research and Innovation for Sustainability, Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa, Associado da APRH n.º 484.

RESUMO: É hoje consensual que a alteração dos regimes naturais de caudais promovida pela ação do homem é uma das principais pressões sobre os ecossistemas fluviais a nível mundial. Por esse motivo, e para mitigar os impactos dessas pressões sobre os ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, têm vindo a ser desenvolvidos esforços continuados no sentido de quantificar os regimes de caudais mínimos a manter a jusante das infraestruturas hidráulicas, denominados por caudais ambientais ou ecológicos.

As características ecohidrológicas dos rios da Península Ibérica, dependentes das grandes variações dos caudais naturais, condicionam a utilização direta de muitos dos métodos existentes para determinação de regimes de caudais ecológicos (RCE), sendo por isso necessário identificar e adotar abordagens adequadas às condições existentes nas massas de água portuguesas. Por outro lado, muitos rios portugueses são impactados por infraestruturas hidráulicas, sendo necessário, naquelas que ainda não os possuem, implementar RCE eficazes, incluindo, se necessário, a instalação dos dispositivos hidráulicos requeridos para descarga desses caudais. Com esse propósito, foi desenvolvida uma abordagem hierárquica para determinação de RCE em Portugal Continental, apresentada na forma de um Guia Metodológico.

A abordagem hierárquica desenvolvida engloba as seguintes três etapas sequenciais: aplicação do método hidrológico desenvolvido no âmbito do PNA 2002 (primeiro nível); aplicação do método do Perímetro Molhado e/ou da metodologia IFIM (segundo nível); e aplicação de um método holístico (terceiro nível).

A aplicação do primeiro nível deve ocorrer no decurso do licenciamento de projetos de barragens/açudes em fase de Estudo Prévio, enquanto os níveis superiores podem ser aplicados em fases posteriores do projeto, na sequência de avaliações ambientais favoráveis. Nos casos de maior complexidade, a aplicação do terceiro nível da abordagem proposta permitirá um maior suporte à decisão sobre o RCE a implementar.

Integram ainda o Guia Metodológico, a estrutura base e o conteúdo dos programas de monitorização necessários para avaliar a eficácia de cada RCE, e a metodologia de caracterização hidromorfológica das massas de água alvo desta medida.

Espera-se que a implementação da abordagem hierárquica contribua para alcançar os objetivos ambientais das massas de água portuguesas, através do estabelecimento de RCE adequados à manutenção dos valores ecológicos dos sistemas fluviais existentes, contribuindo ainda para um licenciamento mais claro e célere de novas infraestruturas hidráulicas transversais.

Palavras-chave: regime de caudais ecológicos; DQA; metodologia hierárquica; restauro ambiental; Portugal

ABSTRACT: It is currently consensual that the alteration of the natural flow regimes promoted by human action is one of the main pressures on river ecosystems worldwide, and continued efforts have been made to quantify minimum flows to be maintained downstream of hydraulic infrastructures with the purpose of mitigating the impacts resulting from these pressures, known as ecological or environmental flows.

The ecohydrological characteristics of the rivers of the Iberian Peninsula, dependent on large natural discharge variability, restrict the direct use of many of the existing methods for determining ecological flow regimes (EFR), which is why it is necessary to identify and adopt appropriate approaches to the conditions present in Portuguese water bodies. On the other hand, many Portuguese rivers are impacted by hydraulic infrastructures, making it necessary, in those that do not yet have them, to implement effective EFR, including, if necessary, the installation of the hydraulic devices required to discharge these flows. For this purpose, a hierarchical approach to EFR determination in Mainland Portugal was developed and presented in the form of a Methodological Guide.

The hierarchical approach developed encompasses the following three sequential steps: application of the hydrological method developed within the PNA 2002 (first level); application of the Wet Perimeter method and/or the IFIM methodology (second level); and application of a holistic method (third level).

The application of the first level must occur during the licensing of dam/weir projects in the Preliminary Study phase, while the higher levels can be applied in later phases of the project, following favourable environmental assessments. In cases of greater complexity, the application of the third level of the proposed approach will provide greater support for the decision on the EFR to be implemented.

The Methodological Guide, the basic structure and content of the monitoring programs necessary to assess the effectiveness of each EFR, and the methodology for the hydromorphological characterization of the water bodies targeted by this measure also form part of the Methodological Guide.

It is expected that the implementation of the hierarchical approach will contribute to achieving the environmental objectives of the Portuguese water bodies, through the establishment of EFR suitable for maintaining the ecological values of the existing river systems, also contributing to a clearer and faster licensing of new transversal hydraulic infrastructures.

Keywords: Environmental flow; WFD; hierarchical approach; ecological restoration; Portugal

Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 44, N.º 1, 39-46 - março de 2023.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh44n1-cti3

1. INTRODUÇÃO

Os regimes hidrológicos naturais apresentam padrões de variação específicos em cada secção da rede hidrográfica, que podem ser caracterizados quanto à sua magnitude, frequência, taxa de variação, sazonalidade e duração (Poff *et al.*, 1997), sendo fundamentais em termos ecológicos por estruturarem os ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, as suas comunidades e os processos fluviais (Richter *et al.*, 1996). Consequentemente, modificações no regime hidrológico natural de uma massa de água podem degradar os ecossistemas fluviais.

Várias necessidades humanas, como a defesa contra cheias, a produção de energia elétrica e o armazenamento de água para consumo humano e agrícola, conduziram à construção de infraestruturas hidráulicas, como açudes e barragens, que visam regularizar o regime natural de caudais e assegurar as utilizações que fazemos dos recursos hídricos. Embora algumas barragens ainda em operação tenham milhares de anos (*e.g.*, a barragem romana de Proserpina, em Mérida), a construção de infraestruturas hidráulicas intensificou-se globalmente a partir de meados do século XX, fazendo com que atualmente apenas 23% dos grandes rios mundiais escoem continuamente até ao mar (Grill *et al.*, 2019).

É hoje consensual que a alteração dos regimes naturais de escoamento promovida pela ação do homem é uma das principais pressões sobre os ecossistemas fluviais mundiais (EC, 2015). Em Portugal, o regime natural de caudais está hoje modificado em muitas linhas de água pela presença de múltiplas infraestruturas hidráulicas, dificultando a reabilitação e o restauro dos ecossistemas aquáticos, e o cumprimento dos objetivos ambientais estabelecidos na legislação.

Para mitigar os efeitos negativos das alterações antrópicas do escoamento fluvial, têm sido desenvolvidos esforços continuados no sentido de quantificar regimes de caudais a manter a jusante das infraestruturas hidráulicas, denominados por regimes de caudais ambientais ou ecológicos (RCE), que permitam satisfazer as necessidades essenciais dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Os RCE podem ser definidos como regimes de caudais a manter no curso de água, variáveis ao longo do ano, por forma a assegurar a conservação dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos naturais, a produção de espécies aquícolas com interesse desportivo ou comercial, assim como a manutenção de outros serviços associados a estes ecossistemas (adaptado de Alves e Bernardo, 2003).

No universo dos Aproveitamentos Hidráulicos (AH) existentes em Portugal, a variabilidade de cenários no que respeita à sua antiguidade, condições estabelecidas nas licenças de utilização dos recursos hídricos, dimensões, localização, presença (ou ausência) de dispositivos próprios para libertar RCE, entre outros, faz com que seja relevante sistematizar os procedimentos a aplicar, para que a determinação e implementação de RCE seja facilitada, uniformizada e mais célere. Para atender a esta necessidade, foi desenvolvido o “Guia Metodológico para a Definição de Regimes de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidráulicos de Portugal Continental”, publicado como documento autónomo dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) para o 3.º ciclo de planeamento (2022-2027). Este Guia é destinado a todos os envolvidos na definição, aprovação e implementação de RCE e, além da descrição da abordagem e da forma de proceder na implementação de RCE consoante a especificidade de cada situação, detalha os programas de monitorização para avaliar a eficácia dos RCE implementados, ferramenta determinante para permitir a gestão adaptativa dos valores de caudal propostos e descarregados, assegurando o bom funcionamento dos ecossistemas fluviais a longo prazo.

O presente artigo apresenta os aspetos essenciais do Guia Metodológico e do seu processo de elaboração, em particular da abordagem hierárquica desenvolvida especificamente para a realidade portuguesa.

2. RCE NO MUNDO E EM PORTUGAL

O conceito de RCE começou a ser desenvolvido por especialistas norte-americanos em meados do século XX, sendo inicialmente focado na manutenção de espécies piscícolas com elevado valor haliêutico (*e.g.*, Leathe e Nelson, 1986; Williams *et al.*, 2019); desde então, o conceito foi-se expandindo, tanto em termos de cobertura geográfica quanto dos próprios princípios conceptuais, e foram desenvolvidos centenas de métodos para o cálculo de RCE, com distintos objetivos, princípios orientadores, níveis de exigência em termos de informação e de detalhe metodológico (*e.g.*, Tharme, 2003; Williams *et al.*, 2019).

Em Portugal, a libertação de caudais para assegurar a vida aquática, preocupação que constava já na Lei da Água portuguesa de 1919, carecia de especificação e de aplicabilidade no licenciamento dos AH.

No seguimento da publicação do Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de maio, as licenças relativas aos AH passaram a incluir a obrigatoriedade de serem mantidos caudais ecológicos nos troços fluviais a jusante. Entretanto, foram sendo publicados diversos outros diplomas legais e documentos que enquadram e requerem, explicitamente, a implementação deste tipo de medida, como o Regime Jurídico sobre as Utilizações dos Recursos Hídricos, o Regime Jurídico da Pesca em Águas Interiores, o Plano Nacional da Água (PNA) e os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH).

Igualmente, a avaliação de impactes ambientais de barragens, que passou a ser obrigatória na UE, impulsionou o desenvolvimento de estudos e de metodologias que suportassem a proposta e definição de caudais ecológicos como medida de minimização para os impactes negativos significativos que fossem identificados.

A libertação de caudais ecológicos nas infraestruturas hidráulicas existentes em Portugal continental tem registado progressos relevantes, mas é necessário alargar a sua operacionalização, sendo que atualmente os RCE são sobretudo assegurados nas infraestruturas mais recentes, construídas após 1990, e em algumas mais antigas em que foram instalados dispositivos específicos para a libertação destes caudais.

Anível comunitário, eno contexto da implementação da Diretiva Quadro da Água (DQA), este tema ganhou também destaque ao longo das últimas décadas, reconhecendo-se que, embora a DQA não requeira explicitamente este tipo de medida, os RCE podem ser essenciais para que os objetivos de qualidade associados às massas de água possam ser alcançados, em particular nos casos em que o regime de caudais sofreu alterações significativas. O Documento-Guia n.º 31 da Estratégia Comum de Implementação da DQA (*Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31*, 2015) identifica alguns métodos preferenciais a adotar na determinação dos caudais ecológicos, mas as especificidades ecohidráulicas dos rios da Península Ibérica (*i.e.*, elevado número de cursos de água com regime de escoamento temporário e comunidades bióticas, sobretudo piscícolas, com alta taxa de endemismo) podem condicionar a utilização direta de muitas das metodologias existentes para determinação de RCE (*e.g.* Moyle *et al.*, 2011; Acuña *et al.*, 2020).

3. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE RCE

Os métodos para a determinação de RCE podem ser genericamente classificados em quatro grandes

grupos (Tharme, 2003): métodos hidrológicos, hidráulicos, ecohidráulicos e holísticos.

Os métodos hidrológicos para determinação de RCE foram dos primeiros a ser concebidos e continuam a ser bastante utilizados, muito graças à simplicidade da sua aplicação (Leathe e Nelson, 1986). Nestes métodos, que assumem a existência de uma relação entre determinados valores de caudal e a resposta das comunidades bióticas, os RCE são calculados a partir de dados relativos aos regimes hidrológicos naturais, sendo frequente que as análises sejam efetuadas sem reconhecimento *in situ* das condições existentes.

Os primeiros métodos hidrológicos começaram por definir o caudal ecológico, numa base anual, como uma percentagem fixa do caudal modular, tendo evoluído para métodos que produzem estimativas de RCE com base sazonal ou mensal. Os valores de RCE gerados através de métodos hidrológicos são frequentemente conservadores, para acautelar a incerteza associada à não consideração de dados referentes às características geomorfológicas e ecológicas dos segmentos fluviais.

À semelhança do verificado a nível mundial, também em Portugal os métodos hidrológicos foram os primeiros a serem utilizados quando, na sequência da publicação do Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de maio, os primeiros RCE foram definidos como uma proporção anual fixa do caudal modular (geralmente entre 3% e 5%).

Neste grupo metodológico merece destaque o método hidrológico desenvolvido para o território nacional no âmbito do Plano Nacional da Água (PNA) de 2002 (Alves e Bernardo, 2003), já que o seu desenvolvimento teve em consideração aspetos ecológicos específicos do funcionamento dos sistemas fluviais portugueses, gerando RCE que mimetizam o regime hidrológico natural através da manutenção das suas principais características. Este método é aplicado com base em curvas de duração média mensal dos caudais médios diários em regime natural, gerando valores mensais de RCE que são determinados através da utilização de quantis diferenciados consoante o mês e a região hidrológica a que a secção fluvial em estudo pertence. Atualmente verifica-se que muitos dos RCE que se encontram implementados a nível nacional resultam sobretudo da aplicação de métodos hidrológicos, apesar de outros tipos de métodos terem também sido aplicados em diversos casos, sobretudo para efeitos de estudo de valores alternativos.

Os métodos hidráulicos utilizam a relação entre o caudal escoado e variáveis hidráulicas medidas em secções transversais (*e.g.*, o perímetro molhado

e a altura do escoamento), que são utilizadas como indicadores de características dos habitats consideradas relevantes para a fauna aquática. Assim, neste grupo de métodos estão inseridos todos os que tomam em consideração as características hidráulicas do leito para estabelecer relações gerais entre o habitat e os caudais escoados, mas que não consideram explicitamente as preferências de habitat das espécies presentes.

O método do Perímetro Molhado é um dos métodos hidráulicos mais utilizados a nível mundial, baseando-se no pressuposto de que existe uma relação crescente entre o perímetro molhado (comprimento do contorno sólido de uma secção transversal fluvial em contacto com a água) e a capacidade ecológica do rio (Leathe e Nelson, 1986). O valor de caudal associado ao primeiro ponto de inflexão da relação entre o perímetro molhado e o caudal, é geralmente tomado como o caudal ecológico recomendado pelo método, podendo depois este caudal ser transposto para os períodos hidrológicos homogéneos estabelecidos. O método é aplicável em troços com características de rápidos e, preferencialmente, em locais com perfis do leito não muito diferentes de uma secção retangular. Este método foi já aplicado em diversos estudos realizados a nível nacional, embora com limitações relevantes em algumas configurações fluviais devido à dificuldade em selecionar secções transversais adequadas à identificação de pontos de inflexão, nomeadamente em: i) rio de montanha com quedas e poucas zonas de rápidos; ou ii) rios de planície. De qualquer modo, é um auxiliar importante na avaliação da configuração hidráulica de secções fluviais para diferentes valores de caudal que se possam considerar sempre que não se efetuam simulações mais detalhadas.

Os métodos ecohidráulicos, ou de simulação de habitat como inicialmente foram designados, são baseados em relações explícitas entre o habitat e o caudal (Bovee et al., 1998), sendo mais complexos que os métodos hidrológicos e hidráulicos. Neste caso, a partir de requisitos de habitat de uma ou mais espécies aquáticas chave, e tendo por base as características hidráulicas do troço em análise, são realizadas simulações que permitem obter estimativas das variações que o habitat utilizável pode sofrer em função do caudal escoado.

A aplicação da metodologia IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*), um dos métodos ecohidráulicos mais aplicado no mundo (e.g., Operacz et al., 2018), recorre a critérios de aptidão ou preferência de habitat, de uma ou mais espécies, para simular a variação do habitat disponível em função dos vários regimes de caudal avaliados (Gan

e McMahon, 1990). A Superfície Ponderada Útil (SPU), que corresponde à área molhada gerada por um determinado caudal no troço fluvial em estudo, ponderada pela sua adequação para utilização por um determinado organismo, é utilizada como variável decisória na determinação de cada RCE.

Os métodos ecohidráulicos têm uma aceitação bastante generalizada, por serem baseados nas espécies presentes no troço fluvial em avaliação e por serem mais flexíveis e detalhados que a generalidade dos métodos alternativos.

A metodologia IFIM foi já utilizada em Portugal no âmbito da definição do RCE de vários AH, sendo aplicável à generalidade das massas de água lóticicas existentes em Portugal continental, desde que considerados os vários requisitos e limitações da metodologia (AQUALOGUS, 2017).

Os métodos holísticos foram desenvolvidos inicialmente na Austrália e na África do Sul e ganharam reconhecimento por permitirem a integração das componentes bióticas e abióticas dos sistemas aquáticos, bem como as valências sociais dos ecossistemas (Arthington, 1998; King et al., 2008). Estes métodos incluem frequentemente fóruns de discussão, nos quais podem participar diferentes grupos, tais como peritos, legisladores, utilizadores e outras partes interessadas.

Este grupo de métodos considera como premissa que os RCE devem mimetizar todas as componentes dos regimes hidrológicos naturais (paradigma do regime natural de caudais), sendo estas indispensáveis para sustentar a morfologia dos cursos de água, os habitats, as componentes bióticas existentes e suas interações, assegurando assim a integridade ecológica do sistema fluvial (King et al., 2003).

Os métodos holísticos propõem a construção sistemática de um RCE através de um processo *bottom-up* ou *top-down*. O processo *bottom-up* gera um RCE que, numa base mensal, adiciona componentes de caudal destinados a atingir determinados objetivos ecológicos no sistema modificado (e.g., caudal para inundação de leitos de desova), geomorfológicos (e.g., caudal para controle de vegetação), de qualidade da água (e.g., caudal mínimo em estiagem), sociais (acesso a cais de embarque), ou outros (Tharme, 2003). O processo *top-down* define o RCE a partir do regime hidrológico natural, relativamente ao qual são estabelecidos graus de desvio aceitáveis, geralmente numa base mensal, face a diferentes cenários de utilização dos recursos hídricos que são avaliados.

A nível nacional foi desenvolvida uma metodologia holística do tipo *bottom-up*, que gera um RCE de

base mensal a partir da concertação dos resultados obtidos por diferentes métodos (Godinho *et al.*, 2014). O aspeto central desta metodologia é a ponderação, *in situ*, de vários caudais, constituindo-se para tal equipas multidisciplinares que devem incluir peritos em temáticas como a hidrologia, a geomorfologia, a flora aquática, os macroinvertebrados bentónicos e a fauna piscícola. Em termos práticos, os diferentes RCE são avaliados em pormenor, durante visitas de campo, em cada secção transversal e ao longo do troço fluvial em apreço, sendo observadas as zonas inundadas e os níveis originados com os caudais obtidos através dos diferentes métodos de determinação de RCE, bem como os resultantes do regime natural de caudais.

Apesar da evolução registada na determinação de RCE em Portugal, nomeadamente através da inclusão e desenvolvimento de algumas metodologias específicas, existe ainda um caminho a percorrer, em particular no que diz respeito à implementação dos valores de RCE estabelecidos para diferentes AH e à recolha de dados, através de monitorização, que permitam consubstanciar a sua adequação e eficácia. Para que tal seja possível é necessário alargar a operacionalização deste tipo de medida e agilizar a sua otimização, tal como identificado nos Programas de Medidas dos PGRH do 3.º ciclo de planeamento

4. A ABORDAGEM HIERÁRQUICA

A abordagem hierárquica a utilizar na determinação de RCE para AH, apresentada no Guia Metodológico, foi desenvolvida com base numa avaliação crítica dos métodos disponíveis para determinação de RCE, em particular considerando os já aplicados em Portugal, e do conhecimento adquirido ao

longo das últimas décadas nos AH em que os RCE já estão a ser implementados e monitorizados. Esta abordagem terá aplicação não apenas a projetos futuros de AH, mas também às infraestruturas existentes.

As abordagens hierárquicas são recomendadas no Documento-Guia n.º 31 da Comissão Europeia (EC, 2015) e têm vindo a ser implementadas em diversos países europeus [e.g., Espanha (Orden ARM/2656/2008) e Inglaterra (UK TAG, 2007)], por permitirem acomodar diferentes abordagens em função das especificidades da situação a avaliar.

A abordagem desenvolvida para Portugal continental tem como objetivo central o estabelecimento de um RCE de base mensal para condições médias de escoamento e compreende três níveis sequenciais, com complexidade crescente, onde são utilizados os métodos em cada nível conforme indicado na Figura 1.

O primeiro nível prevê a aplicação do método hidrológico desenvolvido no âmbito do PNA 2002, que, embora conservativo, permite gerar um RCE que reproduz bem a variabilidade dos regimes de caudais naturais. A aplicação deste nível é recomendada durante o processo de Licenciamento de novos projetos em fase de Estudo Prévio, já que permite avaliar com segurança a viabilidade técnico-económica da utilização pretendida. Os valores de caudal máximo obtidos com este método deverão também ser utilizados para dimensionar os Dispositivos de Libertação de Caudal Ecológico (DLCE) a construir nos futuros AH, mas também nos existentes e que não disponham de dispositivo específico para o efeito.

O segundo nível propõe a aplicação do método do Perímetro Molhado e/ou da metodologia IFIM, enquanto o terceiro nível considera a utilização do método holístico desenvolvido para Portugal. Em

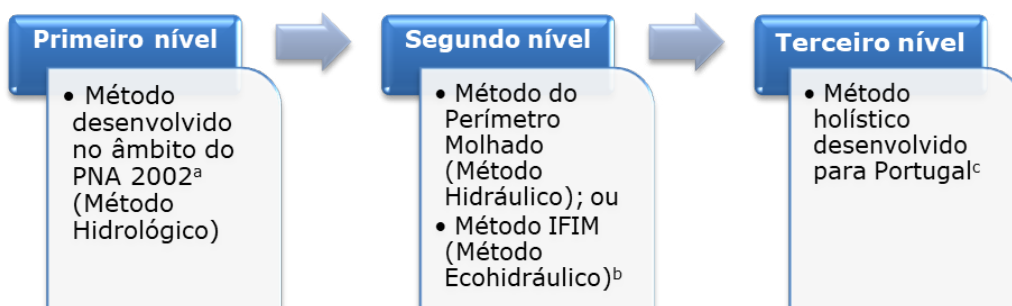


Figura 1. Representação esquemática da abordagem hierárquica desenvolvida para rios portugueses. a) excluindo a tipologia dos Grandes Rios (INAG, 2008), em que poderão ser aplicadas variações do método de Tennant ou o método do caudal base. b) A escolha do método a aplicar é efetuada com base na complexidade de cada situação, de acordo com os critérios definidos no Guia Metodológico. c) É sugerida a consideração deste método no 3.º nível, atendendo a que foi conceptualizado para a realidade nacional; contudo, poderão ser adotados métodos alternativos que se considerem adequados à situação em análise.

termos gerais, os níveis superiores da abordagem hierárquica podem ser aplicados em fases posteriores do projeto de novos aproveitamentos (e.g., Projeto de Execução), na sequência de avaliações ambientais favoráveis. Nos casos de maior complexidade (e.g., infraestruturas de grandes dimensões, afetação de zonas sensíveis do ponto de vista ecológico ou quando estão identificados usos da água que podem concorrer entre si), a aplicação do terceiro nível da abordagem proposta será desejável por permitir um mais amplo suporte à decisão sobre o RCE a estabelecer.

Os RCE gerados para novos projetos através da aplicação de qualquer dos métodos integrantes da abordagem hierárquica (ou outros) não deverão ser inferiores a 10% do caudal médio anual, com distribuição mensal proporcional à variação natural, enquanto em AH já existentes este valor mínimo não deverá ser inferior a 7%. Valores desta ordem de grandeza são considerados por diferentes metodologias (e.g., método de Tennant, metodologia constante da legislação francesa) como limiar mínimo de caudal a implementar para evitar a degradação, severa, das condições ecológicas nos sistemas fluviais.

No Guia Metodológico são também descritas as metodologias para determinar os fatores de redução para anos secos, bem como os caudais de limpeza, que poderão ser descarregados periodicamente na ausência de cheias naturais.

5. APLICABILIDADE DA ABORDAGEM E DIFICULDADES

A aplicação da abordagem hierárquica é bastante direta para projetos de novas infraestruturas, mas no caso das infraestruturas existentes a situação é mais complexa, uma vez que as condições do meio já foram alteradas e nem todos os AH possuem DLCE e RCE definido e/ou libertado.

A ausência de DLCE ou a sua inadequada conceção (e.g., cota de captação) são muitas vezes o motivo para o não cumprimento da libertação dos caudais ecológicos estabelecidos. A existência e o correto funcionamento dos DLCE são condições fundamentais para que seja possível garantir a libertação de caudais ecológicos com valores adequados a cada situação, variáveis ao longo do ano e passíveis de ajuste (caso os resultados obtidos na monitorização da sua eficácia indiquem a inadequação do RCE implementado). Nos termos estabelecidos no Guia Metodológico, o dimensionamento dos DLCE, seja de infraestruturas hidráulicas novas ou antigas, deverá ser executado considerando a gama de caudais determinados

pelo método hidrológico desenvolvido no âmbito do PNA 2002.

A Figura 2 detalha a sequência das várias etapas necessárias ao estabelecimento de RCE em aproveitamentos existentes, tenham estes um RCE definido, ou não. Para os AH que libertam RCE, deverá em primeiro lugar ser avaliada a respetiva eficácia através da realização de um programa de monitorização dirigido, conforme descrito no Guia Metodológico. Se o RCE que está a ser libertado permitir atingir os objetivos ambientais estabelecidos para as massas de água superficiais, este poderá ser mantido, mas se o incumprimento desses objetivos resultar da inadequação do RCE, o mesmo deverá ser revisto, caso o dimensionamento do DLCE assim o permita.

Sempre que for identificada a necessidade de definir um novo RCE e não existir DLCE ou, existindo, este não for capaz de acomodar os valores de caudal em causa, será avaliada a viabilidade técnica e económica de alterar, substituir ou complementar o dispositivo existente. Sempre que a instalação de um DLCE em infraestruturas já existentes se revele tecnicamente inviável e/ou os custos sejam desproporcionais, será necessário acompanhar a qualidade ecológica das massas de água afetadas através de um programa de monitorização e, face aos resultados, ponderar a implementação de medidas de mitigação complementares.

A implementação cuidada dos programas de monitorização para avaliação da eficácia dos RCE é uma peça fundamental na gestão e adaptação das condições de operacionalização deste tipo de medida. Um dos elementos integrantes da estrutura dos programas de monitorização corresponde à avaliação das condições hidromorfológicas dos troços fluviais influenciados pelos RCE, tendo sido estabelecido no Guia Metodológico uma metodologia orientadora para a sua concretização; esta última é particularmente relevante para identificar possíveis fatores limitantes, independentes do RCE, que possam influenciar o cumprimento dos objetivos ambientais e que deverão ser corrigidos.

6. DISCUSSÃO

As dificuldades sentidas ao longo dos anos na determinação de RCE para as infraestruturas hidráulicas existentes em Portugal continental justificaram a avaliação dos resultados obtidos até então, e a inventariação e caracterização dos principais métodos e metodologias existentes a nível mundial, tendo-se considerado necessário a sistematização e divulgação de diretrizes a aplicar nos diferentes cenários.

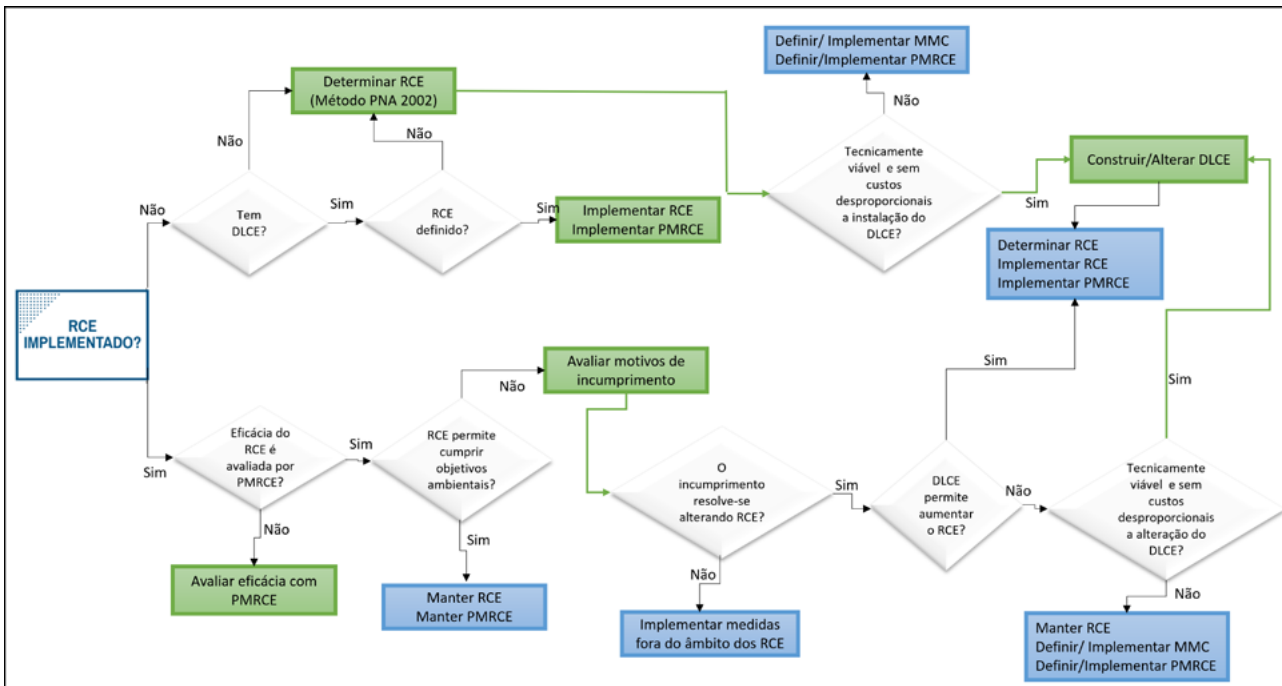


Figura 2. Fluxograma decisório relativamente às ações a desenvolver para implementação de RCE em AH existentes (DLCE – Dispositivo de Libertação de Caudal Ecológico; PMRCE – Programa de monitorização para avaliar a eficácia dos RCE; RCE – Regime de Caudais Ecológicos; PNA 2002 – Método hidrológico desenvolvido no âmbito do Plano Nacional da Água; MMC – Medidas de mitigação complementares).

Com base nessa avaliação, foi possível identificar os métodos que mais se adequam à determinação de RCE nos AH portugueses e propor uma abordagem hierárquica a seguir no desenvolvimento dos projetos e processos de licenciamento. A abordagem proposta, assim como as orientações para o desenvolvimento dos programas de monitorização, incluindo a caracterização hidromorfológica, integram o Guia Metodológico para a Definição de Regimes de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidráulicos de Portugal Continental.

A abordagem hierárquica para determinação de RCE sucintamente descrita neste artigo integrou as recomendações do Documento-Guia n.º 31 da Comissão Europeia (EC, 2015). Como sugerido naquele documento europeu, o primeiro nível integra um método hidrológico, o segundo um método hidráulico e/ou ecoidráulico, e o último um método holístico.

A aplicação da abordagem é bastante direta para projetos de novos AH, mas apresenta maior complexidade nos AH existentes, uma vez que existem mais condicionalismos técnicos e económicos. A considerável diversidade de situações existentes e as dificuldades que se identificam para descarga de RCE em infraestruturas onde estes caudais não são ainda descarregados, bem como para aumentar os valores de RCE quando estes

se revelem insuficientes, é um desafio que requer muita discussão entre as partes interessadas, tendo em vista o desenvolvimento da melhor solução.

Acresce que as previsões futuras de escoamento dos rios ibéricos decorrentes das alterações climáticas revelam reduções, mais ou menos acentuadas (Guerreiro *et al.*, 2017; APA, 2023), o que, em associação com o aumento das necessidades de água (*e.g.*, para uso agrícola), permitem antecipar conflitos crescentes entre os volumes utilizados e os caudais a libertar, tornando a implementação sustentada de RCE a longo prazo particularmente desafiante (Stein *et al.*, 2022).

Não obstante, espera-se que os RCE implementados em observância do proposto na metodologia hierárquica e no Guia Metodológico permitam reduzir os impactos gerados pela regularização dos caudais naturais, contribuindo para que os objetivos ambientais estabelecidos na legislação sejam alcançados nas massas de água portuguesas. Os resultados dos RCE implementados deverão ser rigorosamente monitorizados, sendo esta a única forma de efetivamente avaliar a sua eficácia no cumprimento dos objetivos ambientais. corrigindo, se necessário, os valores descarregados no âmbito de uma gestão adaptativa e participada do processo (Poff *et al.*, 2016).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, V., Jorda-Capdevila, D., Vezza, P., Girolamo, A.M., McClain, M. F., Stubbington, R., Pastor, A.V., Lamouroux, N., Schiller, D. Munné, A. e Datry, T. (2020). Accounting for flow intermittency in environmental flows design. *Journal of Applied Ecology*, 57, 742-753.
- Alves, M.H. e Bernardo, J.M. (2003). *Caudais Ecológicos em Portugal*. INAG, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, Portugal.
- APA (2023). *Planos de Gestão de Região hidrográfica do 3.º ciclo. Parte 2, Volume B*. Maio de 2023.
- AQUALOGUS (2017). *Enquadramento teórico da temática dos caudais ecológicos e análise comparativa dos principais métodos*. Tarefa 1, revisão 2. Relatório Não Publicado. Lisboa, dezembro de 2017.
- Arthington, A.H. (1998). *Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: Review of holistic methodologies*. LWRRDC Occasional Paper 26/98. Canberra, Land and Water Resources Research and Development Corporation.
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.M., Taylor, J. e J. Henriksen (1998). *Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. USGS Biological Resources Division, Fort Collins
- EC (2015). *Ecological Flows in the Implementation of the Water Framework Directive. Documento-Guia n.º 31 da Comissão Europeia*
- Gan, K. e McMahon, T. (1990). Variability of results from the use of PHABSIM in estimating habitat area. *Regulated Rivers: Research & Management*, 5, 233-239.
- Godinho, F., Costa, S., Pinheiro, P., Reis, F. e Pinheiro, A. (2014). Integrated procedure for environmental flow assessment in rivers. *Environmental Processes*, 1(2), 137-147.
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M. et al. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature* 569, 215-221.
- Guerreiro, S., Birkinshaw, S., Kilsby, C, Fowler, H. e Lewis, E. (2017). Dry getting drier - The future of transnational river basins in Iberia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12, 238-252.
- INAG, I.P. (2008). *Tipologia de Rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da Directiva Quadro da Água. I - Caracterização abiótica*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I.P.
- King, J., Tharme, R. e Villiers, M. de (2008). *Environmental Flow Assessments for rivers: Manual for the Building Block Methodology* (Updated Edition). Cape Town: Water Research Commission.
- Leathe, S.A. e Nelson, F.A. (1986). *A literature evaluation of Montana's wetted perimeter inflection point method for deriving instream flow recommendations*. Helena, MT, Department of Fish, Wildlife, and Parks.
- Moyle, P. B., Williams, J. G. e Kiernan, J.D. (2011). *Improving environmental flow methods used in California Federal Energy Regulatory Commission Relicensing*. California Energy Commission, PIER. CEC-500-2011-037.
- Operacz, A., Wałęga, A., Cupak, A., e Tomaszewska, B. (2018). The comparison of environmental flow assessment-the barrier for investment in Poland or river protection?. *Journal of Cleaner Production*, 193, 575-592.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., e Stromberg, J. C., (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Poff, N. L., Brown, C. M., Grantham, T. E., Matthews, J.H., Palmer, M.A., Spence, C.M., Wilby, R.L., Haasnoot, M., Mendoza, G.F., Dominique, K.C., e Baeza, A. (2016). Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*, 6, 25-34.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., e Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163-1174.
- Stein E.D., Horne, A. C., Tharme, R. E. e Tonkin, J. (2022) Editorial: Environmental flows in an uncertain future. *Frontiers in Environmental Science*, 10:1070364.
- Tharme, R.E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19, 397-441.
- UK TAG. (2007). *Guidance on environmental flow releases from impoundments to implement the Water Framework Directive*. Final report.
- Williams, J. G., Moyle, P. B., Webb, J. A e Kondolf, G. M. (2019). *Environmental Flow Assessment: Methods and Applications*. John Wiley & Sons.