

Alves, M. H. & A. G. Henriques (1994). O caudal ecológico como medida de minimização dos impactes nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. *Actas do 6º SILUSB/1º SILUSBA, Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Lisboa, 11 a 14 de Abril de 1994. APRH/ABRH, pp. 177-190.

## O CAUDAL ECOLÓGICO COMO MEDIDA DE MINIMIZAÇÃO. MÉTODOS PARA A SUA DETERMINAÇÃO

Maria Helena ALVES <sup>(1)</sup>; António Gonçalves HENRIQUES <sup>(2)</sup>

### RESUMO

O caudal ecológico pode ser definido como o caudal mínimo necessário a manter no curso de água a jusante de um aproveitamento hidráulico que permita assegurar a conservação e protecção dos ecossistemas dulciaquícolos. Apresentam-se os principais métodos desenvolvidos para a determinação do caudal ecológico, dos quais se salienta a Metodologia Incremental ("Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)", na terminologia anglo-saxónica). Esta metodologia reflecte, de acordo com a bibliografia, o estado actual dos conhecimentos, constituindo uma síntese dos vários métodos desenvolvidos. Apresenta-se a aplicação de alguns métodos, entre os quais a Metodologia Incremental, a um caso estudado em Portugal: o aproveitamento hidroeléctrico do Torga, no rio Tuela (Vinhais). Discute-se a possibilidade de aplicação da Metodologia Incremental no nosso país, tendo em consideração o estado actual dos conhecimentos sobre a biologia das populações piscícolas, assim como a aplicação de métodos alternativos.

**Palavras-Chave:** caudal ecológico, IFIM, ecossistemas dulciaquícolos, impactes ambientais de barragens.

---

<sup>(1)</sup> Eng<sup>a</sup> do Ambiente (UNL), Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos (IST), DEA-Instituto da Água (INAG), Lisboa, Portugal.

<sup>(2)</sup> Doutor em Eng<sup>a</sup> Civil, Professor (IST), Consultor da Hidroquatro, Lisboa, Portugal.

## **1 - INTRODUÇÃO**

A modificação do regime hidrológico dos cursos de água é uma das mais importantes alterações antropogénicas no ambiente.

Em Portugal, o crescimento da população e o desenvolvimento económico e social têm conduzido ao incremento do consumo da água e à diversificação das suas utilizações, sendo de prever um aumento do número de aproveitamentos hidráulicos, para abastecimento público, rega e produção de energia eléctrica. Face à crescente utilização dos recursos hídricos superficiais e ao agravamento dos riscos de perturbação dos ecossistemas lóticos que a mesma acarreta, a manutenção de caudais ecológicos é uma questão de primordial importância na gestão dos recursos hídricos.

A obrigatoriedade de manter um caudal que permita a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos não está prevista na legislação portuguesa de forma explícita, estando incluída no articulado da Lei de Bases do Ambiente (Lei nº 11/87 de 7 de Abril) e no Decreto Lei nº 70/92 de 2 de Março, em que é referida a necessidade de tomar em consideração a protecção e conservação do ambiente no processo de planeamento, administração e utilização do domínio hídrico. Esta legislação constitui a base legal que tem permitido, desde 1989, a obrigação de manter um caudal mínimo no curso de água a jusante de um aproveitamento hidráulico para a minimização dos impactes negativos nos ecossistemas aquáticos. O valor deste caudal é independente do caudal reservado que tem de ser sempre garantido a jusante dos aproveitamentos hidráulicos, para a manutenção de usos já existentes, como sejam a rega e o abastecimento público.

O método correntemente utilizado em Portugal para a determinação do caudal ecológico baseia-se baseia-se na análise dos caudais. É definido como um valor não inferior a 2,5 a 5% do caudal modular do curso de água, a manter ao longo de todo ano, sempre que o caudal instantâneo que ocorre em regime natural o permita. O critério adoptado não toma em consideração as características do regime hidrológico do curso de água e dos ecossistemas a ele associados, pelo que os objectivos de qualidade ambiental poderão não ser atingidos.

## **2 - IMPACTES AMBIENTAIS**

O caudal desempenha um papel fundamental na ecologia dos ecossistemas lóticos, constituindo um factor determinante na estrutura e diversidade das comunidades bióticas.

Os aproveitamentos hidráulicos alteram o regime hidrológico a jusante, reduzindo o caudal médio anual, diminuindo a variação sazonal do caudal, alterando a época de ocorrência dos caudais extremos, reduzindo a magnitude das cheias e/ou impondo descargas não naturais (Ward & Stanford, 1987). A modificação do regime hidrológico conduz à alteração da velocidade e da profundidade do escoamento, do regime de transporte sólido e da morfologia do leito, da temperatura e da qualidade da água. O habitat das espécies dulciaquícolas é consequentemente afectado, induzindo impactes nas comunidades bióticas, nomeadamente na composição específica, estrutura e relações inter e intraespecíficas (Sale, 1985; Ward & Stanford, 1987)-

Petts (1989) considera três ordens de impactes nos ecossistemas dulciaquícolas, devido à construção de aproveitamentos hidráulicos: i) os impactes de primeira ordem, que ocorrem após a construção do aproveitamento e incluem alterações no regime hidrológico, no transporte sólido, no fluxo de energia, na qualidade da água e temperatura; ii) os impactes de segunda ordem, que ocorrem como resultado dos impactes de primeira ordem e verificam-se ao nível da estrutura do habitat (morfologia do leito e composição do substrato), da vegetação ripícola, das fontes de matéria orgânica e das comunidades do perifiton e de macrófitas; iii) os

impactes de terceira ordem ocorrem ao nível das comunidades piscícolas e de macroinvertebrados e são uma consequência dos impactes de primeira e segunda ordem. Os impactes de segunda ordem podem ser sensíveis a prazos mais ou menos longos, da ordem das dezenas de anos, em alguns casos, o que, por sua vez, se reflecte no tempo necessário para que se manifestem os impactes de terceira ordem e no tempo necessário para que o ecossistema atinja um novo estado de equilíbrio.

### **3 - CONCEITO DE CAUDAL ECOLÓGICO**

O caudal ecológico, em sentido lato, pode ser definido como o caudal que permite assegurar a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como, a conservação e manutenção dos ecossistemas ripícolas e os aspectos estéticos da paisagem ou outros de interesse científico ou cultural (Wesche & Rechard, 1980; Gordon *et al.*, 1992).

Alguns autores referem-se ao caudal ecológico num sentido mais restrito, considerando unicamente os recursos piscícolas, assumindo-se, no entanto que esse caudal permitirá a manutenção e conservação dos ecossistemas (Annear & Conder, 1984; Belaud *et al.*, 1989).

O caudal ecológico é definido como uma série temporal de valores de caudal, que consideram as necessidades das espécies ao longo dos seus ciclos de vida, flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam em cada ano (Gore, 1989; Stalnaker, 1990; Gordon *et al.*, 1992).

A recomendação de valores para o caudal ecológico poderá ainda incluir caudais de limpeza para a remoção de materiais finos depositados, e de caudais para a manutenção da estrutura do leito e da capacidade de transporte (Gordon *et al.*, 1992; Reiser *et al.*, 1989).

A principal dificuldade na definição de valores para o caudal ecológico consiste na decisão dos níveis de alteração do regime hidrológico natural que se consideram aceitáveis, face aos impactes nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos que essa alteração induzirá, particularmente se se atender ao nível de incerteza que ainda existe neste domínio, em especial nos aspectos quantitativos. Esta limitação torna-se particularmente crítica quando estão em jogo outros interesses de uso da água, em que o valor económico, a curto e médio prazo, é facilmente quantificável, e em que, de um modo geral, a tomada de decisões não se compadece com a morosidade dos estudos ecológicos que são necessários realizar para uma correcta avaliação dos impactes e para a definição dos caudais mínimos a manter no curso de água. O processo de definição do caudal ecológico envolve assim, de um modo geral, uma forte componente negocial, entre os vários utilizadores da água (Stalnaker, 1990; Gordon *et al.*, 1992).

### **4 - MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO**

Os métodos actualmente disponíveis para a definição do caudal ecológico podem classificar-se em três grupos: i) métodos baseados em registos de caudais; ii) métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal; iii) métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal (Loar & Sale, 1981; Gordon *et al.*, 1992).

#### **4.1 - Métodos baseados em registos de caudais**

Estes métodos baseiam-se em estatísticas e registos históricos de caudais para a definição dos caudais ecológicos a manter nos cursos de água (Gordon *et al.*, 1992).

Um dos métodos mais frequentemente utilizados é o método de Tennant (ou de Montana), em que o caudal ecológico recomendado é calculado com base no caudal médio anual, calculado para o local do aproveitamento hidráulico, em que são utilizadas diferentes percentagens para o período Outubro-Março e para o período Abril-Setembro (Quadro 1) (Tennant, 1976; Gordon *et al.*, 1992).

**QUADRO 1**  
Regimes de caudais recomendados segundo o Método de Tennant.

Caudal	Regime de caudais recomendado <sup>a)</sup>	
	Outubro-Março	Abril-Setembro
Descarga ou máximo	200%	
Gama de variação óptima	60 - 100%	
Excelente	40%	60%
Muito bom	30%	50%
Bom	20%	40%
Fraco ou degradante	10%	30%
Pobre ou mínimo	10%	10%
Degradação elevada	0 - 10% do caudal médio	

(a) percentagem do caudal médio anual

Fonte: Tennant, 1976

Estes métodos apresentam, no entanto, grande especificidade relativamente ao local e às espécies para os quais foram desenvolvidos, pelo que uma das principais limitações à sua aplicação é que só devem ser aplicados a cursos de água morfologicamente semelhantes àqueles a partir dos quais foram desenvolvidos e, em que a relação entre o caudal e o habitat é semelhante. São métodos bastante limitados, com um nível de precisão baixo, dado que não tomam em consideração a variação diária, mensal ou sazonal do caudal e não exigem o conhecimento do ecossistema para o qual o caudal mínimo é recomendado. Estes métodos não permitem uma análise específica das alterações no habitat ou da resposta biológica a alterações no regime hidrológico (Gordon *et al.*, 1992).

A aplicação destes métodos, que requerem pouco ou nenhum trabalho de campo deve restringir-se à gestão dos recursos hídricos ao nível da bacia hidrográfica ou à fase inicial dos projectos (Sale & Loar, 1981).

## 4.2 - Métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal

Os métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal, consistem no estabelecimento de uma relação entre o caudal e as características físicas do curso de água, nomeadamente o perímetro molhado, a velocidade e a profundidade do escoamento, com base em uma ou mais secções transversais do curso de água.

Um dos aspectos mais importantes deste tipo de métodos é a selecção das variáveis que sejam directamente afectadas pela variação do caudal e que constituam um factor limitante para as espécies piscícolas ou outras espécies aquáticas. Admite-se que a garantia de um valor mínimo para estas variáveis permitirá a manutenção da integridade do ecossistema. A aplicação destes métodos envolve a definição de secções transversais em zonas em que as

variáveis seleccionadas são particularmente sensíveis a variações do caudal, sendo de um modo geral definidas em locais representativos dos vários tipos de habitat existentes ou locais considerados críticos para uma determinada espécie (Sale & Loar, 1981; Gordon *et al.*, 1992).

A recomendação de caudais mínimos é feita, a partir das curvas de variação da variável ou variáveis hidráulicas em função do caudal, segundo dois critérios: i) Critérios de manutenção das características físicas do habitat, tendo em consideração as diferenças existentes entre as características do habitat para o caudal em análise e para o caudal de referência, caudal para o qual se considera existirem condições favoráveis para as espécies aquáticas; ii) Critério do ponto de inflexão, que consiste em encontrar o ponto na curva de resposta da variável hidráulica em função do caudal onde se verifica uma variação acentuada do declive. O caudal correspondente a este ponto é considerado como o caudal acima do qual a qualidade de habitat é significativamente degradada (Sale & Loar, 1981).

Um destes métodos é o método do Perímetro Molhado. Neste método admite-se que existe uma relação directa entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para as espécies piscícolas. São definidas secções transversais em uma ou mais zonas de rápidos e realizadas medições de velocidade e profundidade do escoamento. É definido um gráfico do perímetro molhado em função do caudal e identificado o principal ponto de inflexão da curva, a partir do qual o aumento de caudal se traduz num aumento pouco significativo do perímetro molhado e numa rápida deterioração das condições do habitat. O caudal correspondente ao ponto de inflexão é o caudal recomendado (Spear & Currier, 1983).

Os métodos baseados na relação entre os parâmetros hidráulicos e o caudal consideram os requisitos em termos de habitat das espécies, utilizável ou não utilizável, e a disponibilidade de habitat para diferentes caudais (Loar & Sale, 1981; Gordon *et al.*, 1992).

#### **4.3 - Métodos baseados na relação entre o habitat e o caudal**

Estes métodos recorrem a critérios de aptidão do habitat para uma espécie, numa determinada fase do seu ciclo de vida, para estimar a variação do habitat disponível em função do caudal. A Metodologia Incremental ("IFIM-Instream Flow Incremental Methodology") constitui uma síntese dos vários métodos desenvolvidos para a determinação do caudal ecológico, sendo considerada por vários autores, nomeadamente Stalnaker (1990) e Gordon *et al.* (1992), o reflexo do estado actual dos conhecimentos.

### **5 - A METODOLOGIA INCREMENTAL**

A Metodologia Incremental (IFIM) foi desenvolvida pelo "United States Fish and Wildlife Service" para a resolução de problemas de gestão de recursos hídricos que envolvam a definição e implementação de um regime hidrológico que permita diminuir ou limitar o stress nos ecossistemas. A IFIM é um conjunto de processos analíticos e de modelos de computador elaborados para prever mudanças nos habitats dulciaquícolas devido a alterações do caudal do curso de água. O carácter incremental desta metodologia prende-se com o modo como cada problema é encarado, permitindo que a solução seja encontrada a partir de variações incrementais do caudal, a partir de uma solução inicial, considerando várias alternativas, o que é adequado à resolução de problemas que envolvam utilizações conflituais, com múltiplas soluções (Bovee, 1982; Gore *et al.*, 1992).

A IFIM permite considerar o caudal necessário para a manutenção dos ecossistemas como um uso da água, ao mesmo nível que as outras utilizações, nomeadamente o

abastecimento doméstico e industrial, a rega e a produção de energia (Bovee, 1982). Segundo Gore & Nestler (1988), a IFIM é adequada para a resolução de conflitos de uso de água, permitindo incluir no processo de decisão uma estimativa do ganho ou perda de habitats.

A IFIM baseia-se no princípio de que a distribuição longitudinal e lateral dos organismos lóticos, assim como certas fases do seus ciclos de vida são determinadas, entre outros factores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas do curso de água. Cada organismo tende a seleccionar no curso de água as condições que lhe são mais adequadas, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (Gore *et al.*, 1991).

A variável de decisão gerada pela IFIM é a área de habitat total disponível para as espécies piscícolas definida como uma função do caudal, em que são estimadas as alterações na área de habitat disponível para cada fase do ciclo de vida ou actividade particular (reprodução, alimentação, repouso), devido a alterações no regime hidrológico do curso de água. O conceito de habitat incorpora os conceitos de macrohabitat e de microhabitat. As características do macrohabitat determinam a distribuição longitudinal das espécies dulciaquícolas no curso de água, sendo as principais variáveis que o definem a temperatura e a qualidade da água. Outras características do macrohabitat, como sejam a geologia, o declive e o regime hidrológico, estão na origem de alterações longitudinais das características do leito, que são, por sua vez, os principais factores determinantes do tipo de microhabitat que ocorre localmente no curso de água. As espécies não respondem directamente às características do macrohabitat, mas sim às condições do microhabitat associadas ao macrohabitat. As características hidráulicas mais importantes para definição do microhabitat para as espécies piscícolas são a geomorfologia do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento. Entre as características geomorfológicas do leito, referem-se a configuração do leito, a composição granulométrica do material aluvionar e a cobertura (Bovee, 1982). O caudal ecológico recomendado corresponde de um modo geral ao valor mais alto de um conjunto de caudais mínimos calculados para várias espécies piscícolas e que, por isso, será em princípio suficiente para a manutenção das populações piscícolas existentes (Bovee, 1982; Bovee *et al.*, 1978 in Gore *et al.*, 1991).

## **6. DETERMINAÇÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO A MANTER A JUSANTE DE UM PEQUENO APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO**

O caudal ecológico a manter no troço a jusante de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico, em que há derivação de água para produção de energia hidroeléctrica foi calculado por métodos diferentes: o método de Tennant, o método do Perímetro Molhado e pela aplicação da IFIM. A aplicação da IFIM foi limitada pela impossibilidade de aplicar o software relacionado com a IFIM, devido à falta de dados de campo.

### **6.1 - Localização e características do pequeno aproveitamento hidroeléctrico**

O pequeno aproveitamento hidroeléctrico do Torga está localizado no rio Tuela, na bacia do rio Douro (Fig. 1).

Fig. 1 - Localização do pequeno aproveitamento hidroeléctrico do Torga.

É um aproveitamento a fio de água com albufeira com pequena capacidade de armazenamento. A principal alteração do regime hidrológico deve-se à derivação de caudais entre o açude e a central hidroeléctrica afectando um troço do rio com cerca de 2,4 Km. Por outro lado, verifica-se a modificação do regime de caudais, no trecho ajustante do açude, dado que a produção de energia e consequentemente o funcionamento da central, está concentrado durante as horas de ponta.

O objectivo é a determinação do caudal ecológico no troço do rio Tuela entre a captação e a restituição, junto à central.

## 6.2 - Caracterização da área de estudo

A área da bacia de hidrográfica do rio Tuela no local do açude é de 659 Km<sup>2</sup>, sendo a precipitação média anual de 987 mm. O rio Tuela é de regime torrencial, com ocorrência de caudais baixos durante o período estival. O caudal modular na secção do açude é de 12,5 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. A bacia hidrográfica é de características marcadamente rurais, em que não se encontram fontes de poluição importantes. A qualidade da água do rio Tuela no troço em estudo é de boa qualidade (AIA, 1991).

O troço do rio Tuela em estudo pode ser considerado um ecótono, uma zona de transição entre duas zonas ecologicamente diferentes, zona salmonícola e zona cíprinícola (Cortes, 1989 *in* AIA, 1991).

## 6.3 - Aplicação da Metodologia Incremental

A determinação do caudal ecológico pela IFIM envolve as seguintes etapas:

### 1. Selecção das variáveis ambientais.

Considerou-se que as variáveis determinantes do macrohabitat: qualidade da água, temperatura e estrutura do leito não serão significativamente afectadas pela modificação do regime hidrológico e, consequentemente, não haverá alteração significativa da área de habitat disponível para as espécies piscícolas, em termos de macrohabitat. Ao nível do microhabitat, seleccionou-se a profundidade e velocidade do escoamento e o substrato, de acordo com o proposto por Sabaton (Electricité de France, EDF, 1991).

### 2. Selecção das espécies piscícolas

Tendo em consideração os critérios de selecção das espécies da IFIM, nomeadamente o interesse económico das espécies piscícolas, seleccionou-se a *Salmo trutta fario*. Por outro lado, teve-se também em consideração de que se dispunha para as populações de *Salmo trutta fario* em França curvas de preferência de habitat (Sabaton, 1991), que poderiam ser utilizadas para as populações portuguesas (Valente, Universidade do Porto, *com. pess.*).

### 3. Selecção dos locais de amostragem

Para a selecção dos locais de amostragem teve-se unicamente em vista a caracterização das variáveis profundidade, velocidade e substrato, que definem o microhabitat. O método utilizado baseou-se na abordagem proposta pela "EDF- Electricité de France" (Sabaton, 1991), que se baseia na definição de fácies de escoamento: sectores do curso de água, de comprimento variável, que apresentam uma certa homogeneidade quanto à profundidade, velocidade e substrato. Foi assim definida uma tipologia de fácies com base nos trabalhos desenvolvidos por de White & Brynildson (1967 in Fragnoud 1987), Fragnoud (1987), Malavoi (1989), e Sabaton (1991). Para cada um dos sectores do curso de água foi definida uma secção transversal para a caracterização do microhabitat.

#### 4. Descrição das características do habitat

Para a descrição das características do habitat, o troço do rio Tuela em estudo foi subdividido em células, cujas dimensões são definidas pela distância entre as secções transversais e pela largura dos intervalos estabelecidos. Utilizou-se um modelo de simulação hidráulica para caracterização a distribuição da profundidade e da velocidade. Os caudais considerados foram os caudais médios mensais (Stalnaker, 1979).

O substrato foi caracterizado em cada intervalo definido na secção transversal, assumindo-se que não variava significativamente com o caudal.

#### 5. Determinação da área total de habitat disponível

A área total de habitat disponível para *Salmo trutta fario* foi calculada a partir das características do habitat e das curvas de preferência de habitat para cada variável, considerando diferentes fases do seu ciclo de vida: adulto, juvenil e alevim. A aptidão do troço em estudo, para cada estágio do ciclo de vida da truta fário é dado Superfície Ponderada Útil (SPU), a qual é dada pela soma da Superfície Ponderada Útil para cada célula ( $SPU_k$ ) determinada pela seguinte expressão (Bovee, 1982):

$$SPU_k = A_k \cdot f_1(v_k) \cdot f_2(p_k) \cdot f_3(s_k) \quad (1)$$

$f_1(v_k), f_2(p_k), f_3(s_k)$  - factores de preferência para a velocidade, profundidade e substrato  
 $SPU_k$  (m<sup>2</sup>/s) - Superfície ponderada útil para a célula  $k$

A curva da disponibilidade de habitat, a Superfície Ponderada Útil em função do caudal para o troço em estudo é dado na Fig.2.

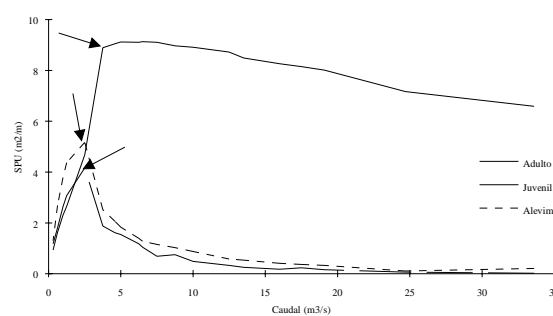


Fig. 2 - Variação da superfície ponderada utilizável (SPU) em função do caudal, para o adulto, juvenil e alevim de *Salmo trutta fario*.

A área total de habitat para *Salmo trutta fario* para um dado caudal é simplesmente o produto da SPU por unidade de comprimento pelo comprimento total do troço da linha de água com condições adequadas de qualidade da água e temperatura:

$$AH = SPU \cdot L \quad (2)$$

$AH$  (m<sup>2</sup>) - área de habitat total do trecho do curso de água

$L$  (m) - comprimento total do trecho do curso de água

$SPU$  (m<sup>2</sup>/m) - superfície ponderada utilizável por unidade de comprimento

Na Fig.3 é apresentada a série temporal de habitat para *Salmo trutta fario*.

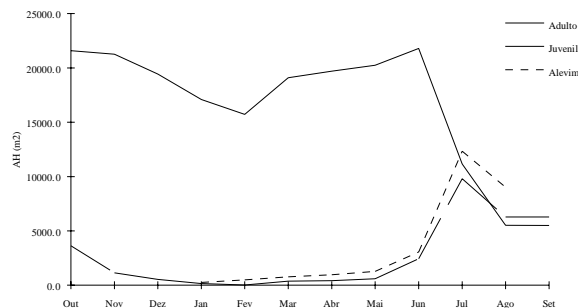


Fig. 3 - Série temporal de habitat mensal para o adulto, juvenil e alevim de *Salmo trutta fario*.

### 5. Determinação do caudal ecológico

Para a determinação do caudal ecológico foi considerado o caudal médio anual e várias percentagens deste valor (70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5% e 2,5%) (Gore *et. al.*, 1991). O caudal ecológico foi calculado por três técnicas diferentes: i) São determinados os pontos de inflexão das curvas de SPU em função do caudal (Fig. 3), correspondendo caudal mais elevado ao caudal ecológico (Gore, 1989). ii) É calculado o índice Valor de Habitat (VH) definido pela EDF, dividindo o valor de SPU total pela área total do trecho. O caudal ecológico é o caudal que permite a manutenção de um valor de VH entre 50 a 80% para qualquer fase do ciclo de vida de *Salmo trutta fario*. iii) Elaboração de uma matrix de optimização com os valores de SPU considerando as várias fases do ciclo de vida de *Salmo trutta fario*. O caudal ecológico corresponde ao valor mais alto de SPU entre os valores mais baixos de SPU obtidos para cada caudal (Bove, 1982; Annear & Conder, 1984). Os valores obtidos para o caudal ecológico encontram-se no Quadro 2.

### QUADRO 2

Valores calculados para o caudal ecológico pela aplicação de diferentes técnicas

Técnicas aplicadas	Caudal ecológico recomendado
Ponto de inflexão da curva de SPU em função do caudal	30% do caudal modular
"EDF- Electricité de France"	entre 12 a 24 % do caudal modular
Optimização	20% do caudal modular

### 7. Propostas para o caudal ecológico

Para a elaboração das proposta de caudal ecológico considerou-se unicamente a fase crítica do ciclo de vida da *Salmo trutta fario*, a fase em que área de habitat disponível é mais sensível a variações de caudal, que corresponde ao adulto. Estas propostas consideram que o aproveitamento não funciona durante os meses de Julho, Agosto e Setembro, sendo o caudal ecológico a manter durante esses meses o caudal natural. durante o ano. Os impactes mais significativos, ocorrerão durante os meses de Abril a Junho e de Outubro e Novembro, meses críticos, quando o caudal turbinado é próximo o caudal médio mensal. As propostas elaboradas são: redução de 50% do habitat durante os meses críticos e o valor do caudal ecológico óptimo é calculado pela técnica do ponto de inflexão (Proposta I); redução de 50%

do habitat durante os meses críticos e o valor do caudal ecológico é calculado pela matriz de optimização (Proposta II); redução de 10% do valor de caudal ecológico calculado pela técnica do ponto de inflexão durante os meses críticos e 10% de redução do caudal ecológico calculado pela matriz de optimização para os meses de Dezembro a Março. Nenhuma das propostas considerou caudais de limpeza já que a pequena capacidade de armazenamento da albufeira permitirá a ocorrência de caudais de cheia. Para cada proposta do caudal ecológico foram elaboradas séries temporais de habitat, as quais foram comparadas com as séries temporais obtidas para a situação sem projecto. A comparação das séries temporais permite visualizar o ganho e a perda em termos da área total de habitat disponível para cada proposta do caudal ecológico.

#### 6.4 - Aplicação do método do Perímetro Molhado e do método de Tennant

O caudal ecológico calculado por estes métodos foi 30% do caudal médio anual e as duas propostas elaboradas foram consequentemente iguais, considerando para cada uma que durante os meses de Julho a Setembro o aproveitamento não funciona.

#### 6.5 - Discussão dos resultados

Na fig.4 são apresentadas as várias propostas para o caudal ecológico, considerando igualmente o critério actualmente utilizado no nosso país.

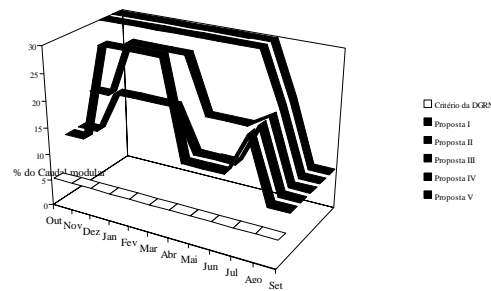


Fig. 4 - Propostas para o caudal ecológico

O valor do caudal óptimo determinado pela aplicação da IFIM (técnica do ponto de inflexão, do Método de Tennant e do Método do Perímetro Molhado) coincidem e correspondem nos três casos a 30% do caudal modular, ou seja  $3,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ( $Q_{227}$ ). No entanto, as propostas I, II, III tomam em consideração as espécies presentes no ecossistema aquático e as perdas ou ganhos em termos de área total de habitat disponível para a espécie seleccionada. As propostas elaboradas com base na IFIM consideram, assim, de uma forma indirecta os impactes no ecossistema devido à alteração do regime hidrológico. Esta quantificação é particularmente importante no processo de gestão e planeamento de recursos hídricos, já que para alguns utilizadores o caudal ecológico constitui uma diminuição da rentabilidade económica do aproveitamento hidráulico.

## 7- CONCLUSÕES

O critério actualmente utilizado em Portugal tem sido alvo de alguma polémica sobre a sua eficácia, quer por parte de especialistas ligados à biologia e ecologia que o criticam por não atender às características ecológicas do curso de água em questão, quer por parte de proponentes para o qual este critério aparece como genérico, pouco consistente e fundamentado, suscitando dúvidas sobre a sua validade e capacidade de atingir os objectivos a que se destina. Por outro lado, a ausência de programas de monitorização, não permitiu, até ao presente, a avaliação, qualitativa ou quantitativa, da eficácia deste critério.

A IFIM apresenta-se, pelas suas características, como o método cuja aplicação em Portugal se afigura como o mais interessante e defensável, embora a sua implementação a curto prazo apresente alguns problemas, nomeadamente no que se refere ao estado actual do conhecimento da biologia das populações piscícolas dos rios portugueses e à necessidade da elaboração de critérios de aptidão de habitat para cada espécie. No entanto, atendendo às conclusões deste trabalho a aplicação da IFIM a cursos de água do norte do País, afigura-se possível, salvaguardando-se a necessidade de proceder à validação dos critérios de aptidão utilizados. A aplicação da IFIM aos rios portugueses não salmonícolas, particularmente no sul do país, apresenta-se mais difícil, exigindo um esforço de investigação científica, no sentido de um maior conhecimento das comunidades piscícolas. Assim, para estes cursos de água o método que se afigura aplicável a curto prazo, é o Método do Perímetro Molhado, até que o estado dos conhecimentos permita a aplicação da IFIM.

## SIMBOLOGIA

$AH$  (m<sup>2</sup>) - área de habitat total do troço do curso de água

$f_1(v_k), f_2(p_k), f_3(s_k)$  - factores de preferência para a velocidade, profundidade e substracto

$L$  (m) - comprimento total do trecho do curso de água

$SPU_k$  (m<sup>2</sup>/s) - Superfície ponderada útil para a célula  $k$

$SPU$  (m<sup>2</sup>/m) - superfície ponderada utilizável por unidade de comprimento

## BIBLIOGRAFIA

AIA (Auditorias e Estudos de Impacte Ambiental) - *Estudo de Impacte Ambiental do Aproveitamento Mini-Hidroeléctrico do Torga (Rio Tuela)*. Auditorias e Estudos de Impacte Ambiental. Lisboa (Portugal). 1991.

Annear, T. C. & Conder, A. A. - "Relative bias of several fisheries instream flow methods". *North American Journal of Fisheries Management*, **4**, 1984, pp 451-539.

Belaud, A.; Chaveroche, P.; Lim, P. & Sabaton, C. - Probability-of-use curves applied to brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in rivers of southern France. *Regulated Rivers: Research & Management*, **3**, 1989, pp 321-336.

Bovee, K.D. - *A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology*. Instream Flow Information Paper No. 12, FWS/OBS-82/26, Washington, DC (EUA), U.S. Fish and Wildlife Service, 1982.

Fragnaud, E. - *Preferences d'Habitat de la Truite Fario (*Salmo trutta fario* L., 1758) en Rivière (Quelques Cours d'Eau du Sud-Est de la France)*. Thèse de Doctorat (3ème cycle), Université Claude-Bernard-Lyon I (França), 1987.

Gordon, N. D.; McMahon, T. A. & Finlayson, B. L. - *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Chichester (Inglaterra), John Wiley & Sons, 1992.

Gore, J.A. - "Case histories of instream flow analysis for permitting and environmental impact assessments in the United States". *South African Journal of Aquatic Sciences*, **16**, 1989, pp 194-208.

Gore, J. A. & Nestler, J. M. - "Instream flow studies in perspectives". *Regulated Rivers: Research & Management*, **2**, 1988, pp 93-101.

Gore, J. A.; King, J. M. & Hamman, K. C. D. - "Application of the Instream Flow Incremental Methodology to Southern African rivers: protecting endemic fish of the Olifants river". *Water S. A.*, **17**, 1991, pp 225-236.

Gore, J. A.; Layzer, J. B. & I. A. Russel - "Non-traditional applications of instream flow techniques for conserving habitat of biota in the Sabie River of Southern Africa", in *River Conservation and Management*, editado por P. J. Boon; P. Calow & G. E. Petts, . Chichester (Inglaterra), John Wiley & Sons, 1992, pp. 161-177.

Loar, J. M. & Sale, M. J. - *Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development. V. Instream Flow Needs for Fisheries Resources*. Environmental Sciences Division Publication No. 1829, ONRL/TM-7861. Oak Ridge, Tennessee (EUA), Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 1981.

Malavoi, J. R. - "Typologie des facies d'écoulement ou unites morphodynamiques des cours d'eau a haute energie". *Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, **315**, 1989, pp 189-210.

Petts, G. E. - "Perspectives for ecological management of regulated rivers" in *Alternatives in Regulated River Management*, editado por J. A. Gore & G. E. Petts, . Boca Raton, Florida (EUA), CRC Press, 1989, pp. 3-24.

Reiser, D. W.; Ramey, M. P. & Wesche, T. A. - "Flushing flows", in *Alternatives in Regulated River Management*, editado por J. A. Gore & G. E. Petts, Boca Raton, Florida (EUA), CRC Press, 1989, pp. 91-135.

Sabatón, C. - *Quel Debit Reserver a l'Aval des Ouvrages Hydro-Electriques? La Methode des Microhabitats: Un Outil d'Aide a la Decision*. Rapport EDF, HE31/91-26. Electricité de France. Chatou (França), 1991.

Sale, M. J. "Aquatic ecosystem response to flow modification: an overview of the issues", in *Small Hydropower and Fisheries, Symposium Proceedings*, editado por F. Olson, Bethesda, Maryland (EUA), American Fisheries Society, 1985, pp. 25-31.

Spear, P. W. & Currier, R. A. - "A simplified method for determining fishery impacts at proposed hydroelectric facilities where flow regulation is possible". *Alternative Energy Resources (Hemisphere), 6th International Symposium*. Miami Beach (E.U.A), 1983, pp. 155-161.

Stalnaker, C. B. - "The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimes for maintenance of fish habitat", in *The Ecology of Regulated Streams*, editado por J. V. Ward & J. A. Stanford, New York (EUA), Plenum Press, 1987, pp. 321-337.

Stalnaker, C. B. - "Minimum flow is a myth" in *Ecology and Assessment of Warmwater Streams: Workshop Synopsis*. Editado por M. B. Bain. Washington, DC (EUA), Biological Report 90 (5). U.S. Fish Wildlife Service, 1990, pp. 31-33.

Tennant, D. L. - "Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources". *Fisheries*, **1**, 1976, pp. 6-10.

Wesche, T. A. & Rechar, P. A. - *A Summary of Instream Flow Methods for Fisheries and Related Research Needs*. Eisenhower Consortium Bulletin N° 9. Eisenhower Consortium for Western Environmental Forestry Research. 1980.