

# AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO APLICADA AO PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Rosa Coelho

Escola Superior Agrária de Santarém, Instituto Politécnico de Santarém;  
CENSE – *Center for Environmental and Sustainability Research*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

## RESUMO

A natureza dos problemas sócio económicos e ambientais atuais não se ajusta a tomadas de decisão baseadas na utilização de um único indicador, uma dimensão, uma escala de análise, um objetivo e um horizonte temporal. As metodologias de avaliação multicritério constituem ferramentas poderosas para promover tomadas de decisão sustentadas quando advém a necessidade de serem analisadas várias alternativas e serem ponderados vários critérios.

O planeamento e gestão de recursos hídricos constituem um sub-domínio da gestão dos recursos naturais, em que as decisões são caracterizadas por múltiplos objetivos e diversos grupos de interesses, sendo avaliadas em unidades monetárias e não monetárias. Estas características inerentes a decisões sobre o planeamento de recursos hídricos conduzem a que as metodologias de avaliação multicritério constituam uma abordagem atraente, proporcionando ferramentas eficazes para a gestão da água.

A análise da aplicação de metodologias de apoio à decisão, suportadas na avaliação multicritério, ao Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), constitui o objetivo deste trabalho.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos; Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico; Avaliação Multicritério; Processo Analítico Hierárquico; Apoio à Decisão

## ABSTRACT

Economic, social and environmental problems do not permit the decision making based on the use of a single index, dimension, scale of analysis, goal or time frame. Multicriteria evaluation methodologies are powerful tools to promote sustainable decisions when several alternatives and several criteria will be analysed and weighted.

The planning and management of water resources is a field in which decisions are characterized by multiple objectives, includes various interested groups and is evaluated in monetary and non-monetary units. These attributes inherent to water resources planning decisions determine that the methodologies of multicriteria evaluation constitute an attractive approach, providing effective tools for water management.

The objective of this work is the analyse of National Programme for Dams with High Hydropower Potential in order to realize the importance of the multicriteria evaluation in decision making support.

**Keywords:** Water resources; National Programme of Dams with High Hydroelectric Potential; Multicriteria evaluation; Analytical Hierarchy Process; Decision support.

## INTRODUÇÃO

A emergência dos movimentos ambientalistas e os choques petrolíferos das décadas de 1960 e 1970 determinaram transformações na consciência ambiental a nível global. Estas mudanças conduziram a críticas ao modelo de desenvolvimento económico vigente, apontando para conflitos ou mesmo incompatibilidades, entre crescimento económico e preservação dos recursos ambientais (Salvado e Marques (2005). Em várias publicações de referência da época (*Scarcity and Growth* de Barnett e Morse, *Silent Spring* de Rachel Carson, *The Limits to Growth* ou Relatório *Meadows* de Donella H. Meadows, *et. al.*), foi referenciado que esses conflitos iriam impor limites à continuidade do próprio crescimento económico. Essa preocupação, surgiu inicialmente nos meios científicos, mas foi progressivamente transposta para o campo da ciência económica (Costanza, 1989).

Em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, Sachs formulou o conceito de Eco Desenvolvimento que viria a dar origem ao conceito de Desenvolvimento Sustentável. A sua conceção assenta no pressuposto de que o desenvolvimento económico e a preservação ambiental não são incompatíveis, mas sim interdependentes, no sentido

de um desenvolvimento real e eficaz que deve ser apoiado na eficiência económica, no equilíbrio ambiental e na equidade social.

A natureza dos problemas sócio económicos e ambientais atuais não se ajusta a tomadas de decisão baseadas na utilização de um único indicador, uma dimensão, uma escala de análise, um objetivo e um horizonte temporal, uma vez que se sabe que os pressupostos são incertos e complexos, os recursos são disputados, dada a sua escassez, os patamares de avaliação são elevados e as decisões são ambíguas (Martinez-Alier *et al.*, 1998). As escolhas / decisões não se devem apoiar, apenas, em critérios monetários e nem sempre são sustentadas por critérios quantificáveis. Os decisores recorrem, frequentemente, à ciência e à tecnologia para as tomadas de decisão, como forma de promoção de decisões fundamentadas, que nem sempre se resumem a uma única decisão possível, ou a uma “melhor decisão”, podendo, nesta ótica, haver a necessidade de analisar várias alternativas e vários critérios. As metodologias de avaliação multicritério constituem ferramentas poderosas sempre que esta situação surge, e são extremamente importantes no âmbito da economia ecológica (Communities and Local Government, 2009).

O fulcro deste trabalho consiste na análise da aplicação de metodologias de apoio à decisão, suportadas na avaliação multicritério, ao Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH).

## **AValiação multicritério**

As tomadas de decisão referentes a sistemas complexos não se devem apoiar, apenas, em avaliações monetárias, tais como a análise financeira, análise custo-eficácia (CEA), e análise custo-benefício (CBA), devendo ser complementadas com metodologias de avaliação que permitam apresentar e contabilizar impactes pecuniários e não pecuniários de projetos de desenvolvimento.

As metodologias de avaliação, complementares às avaliações monetárias, para apoiar as tomadas de decisão em sistemas ambientais, enquadram-se nas metodologias de avaliação multicritério (AMC).

A avaliação multicritério surgiu nos anos 60 do século XX como um instrumento de apoio à decisão. Aplica-se na análise comparativa de projetos alternativos ou de medidas heterogéneas, considerando diversos critérios na análise de uma situação complexa. O método destina-se a ajudar os decisores a integrarem diferentes alternativas nas suas ações, refletindo sobre as opiniões dos diversos agentes envolvidos. A participação dos decisores no processo de avaliação é um dos elementos centrais da abordagem.

A avaliação multicritério utiliza, geralmente, uma sequência de procedimentos para produzir informação de apoio a tomadas de decisão, que consistem, essencialmente, na identificação dos objetivos, das opções para atingir os objetivos, dos critérios a utilizar para comparação das opções, na análise das opções, na elaboração de escolhas e na recolha de experiência para futuras avaliações (Communities and Local Government, 2009).

Um problema de avaliação multicritério pode, segundo Munda (2003), ser formulado com base nos pressupostos:

Seja  $A$  um conjunto finito de  $n$  ações ou alternativas possíveis;

Seja  $G$  o conjunto de  $m$  pontos de vista ou critérios de avaliação diferentes, considerados relevantes para a decisão sobre o problema;

e conduzir a conclusões:

$g_i(a_1) > g_i(a_{n-1})$ , ou seja, a ação ou alternativa  $a_1$  é melhor do que a ação ou alternativa  $a_{n-1}$  de acordo com o critério  $g_i$ .

As conclusões sobre as possíveis soluções do problema podem ser apresentadas sob a forma de uma matriz, denominada matriz de impacto ou de desempenho. Cada linha da matriz descreve um dos critérios considerados relevantes para a comparação das diferentes alternativas e cada coluna descreve uma das alternativas consideradas. As células da matriz avaliam o desempenho de cada alternativa face a cada critério (Munda, 2003).

A análise multicritério requer a avaliação de todas as alternativas relativamente a todos os critérios, mas não requer que todas as avaliações sejam feitas da mesma forma. A metodologia de avaliação pode suportar uma combinação de critérios quantitativos expressos por indicadores, critérios qualitativos expressos por descritores e critérios intermédios expressos por pontuações. Assim, os dados associados à matriz de impacto podem ser qualitativos, quantitativos ou apresentar ambas as tipologias de informação (Munda, 2003).

De um modo geral, um problema multicritério não apresenta uma solução única que otimize, simultaneamente, todos os critérios.

Os decisores transferem a sua tarefa analítica para os resultados expressos na matriz, se os objetivos da avaliação tiverem sido cumpridos. Os resultados são orientados para decisões de natureza operacional ou para a apresentação de recomendações para futuras atividades. A avaliação multicritério pode ser organizada para produzir uma conclusão sintética e simples, no final da avaliação, ou para permitir conclusões adaptadas às preferências e prioridades de diferentes

parceiros. Pode ser aplicada a vários níveis de tomada de decisão, tendo cada um destes níveis legitimidade para estabelecer as suas próprias prioridades e expressar as suas próprias preferências entre os critérios (Communities and Local Government, 2009).

A aplicação integral de um processo de avaliação multicritério engloba, normalmente, oito passos ou fases de implementação estruturados no estabelecimento do contexto de decisão, na identificação das alternativas mais relevantes e dos possíveis critérios e indicadores, na avaliação dos níveis de desempenho de cada alternativa contra cada critério, na definição de coeficientes de ponderação, na obtenção do valor global de cada alternativa, na análise dos resultados da matriz de impacto ou de desempenho e na análise de sensibilidade dos resultados (Communities and Local Government, 2009).

As metodologias de avaliação multicritério permitem, de acordo com Martinez-Alier *et al.* (1998), ter em consideração, num processo de avaliação e de decisão, conflitos de interesses, multidimensionalidade, incomensurabilidade e incerteza nas decisões, sendo por isso consideradas um quadro de avaliação promissor no âmbito da economia ecológica, que assenta nos conceitos de sustentabilidade forte, de multidimensionalidade e de incomensurabilidade (Goodland, 1995, Costanza *et al.*, 1997, Antunes *et al.*, 2002).

Existem vários métodos de avaliação multicritério. Este facto é determinado quer por existirem diferentes tipologias de decisão, quer pela variabilidade na quantidade ou na natureza dos dados disponíveis para apoiar a análise, quer ainda pelas variantes associadas à capacidade analítica dos decisores, bem como pelas variações na cultura administrativa e nas exigências das organizações. Não existe um modelo normativo de escolhas, baseado em avaliação multicritério, que não seja criticável, sendo que os vários métodos estudados e referenciados na literatura da especialidade podem apresentar um melhor desempenho e promover a um melhor apoio à decisão em determinadas áreas específicas e face a determinados problemas concretos (Levy, 2005, Hajkowicz e Collins, 2007, Communities and Local Government, 2009).

Um dos métodos de AMC utilizado para suporte a tomadas de decisão, que promove a desagregação de uma situação complexa e não-estruturada nos seus componentes segundo uma estrutura hierárquica consiste no Processo Analítico Hierárquico (PAH). O Processo Analítico Hierárquico vai ser objeto de maior detalhe relativamente aos métodos possíveis, dado ser o método de avaliação utilizado na análise do Caso de Estudo.

O PAH é um método simples, flexível, confiável e constitui uma poderosa ferramenta de tomada de decisão, que auxilia na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, quando são

considerados aspectos qualitativos e quantitativos mensuráveis, sendo estes tangíveis ou intangíveis, na análise de critérios e de alternativas (Saaty, 2006). Promove a desagregação de uma situação complexa e não-estruturada nos seus componentes, segundo uma estrutura hierárquica. A sua estrutura e a forma de aplicação permitem refletir a forma como os intervenientes pensam, identificando objetivos, alternativas e critérios, e também as relações entre eles, com o propósito de decompor a complexidade do sistema ou do processo (Anagnostopoulos, Petalas e Pisinaras, 2005). Os elementos que formam a hierarquia devem ser organizados em vários níveis, sendo que o objetivo principal deve estar no primeiro nível da hierarquia, os sub-objetivos, num nível inferior, depois os critérios e sub-critérios e, finalmente, as alternativas (Figura 1.).

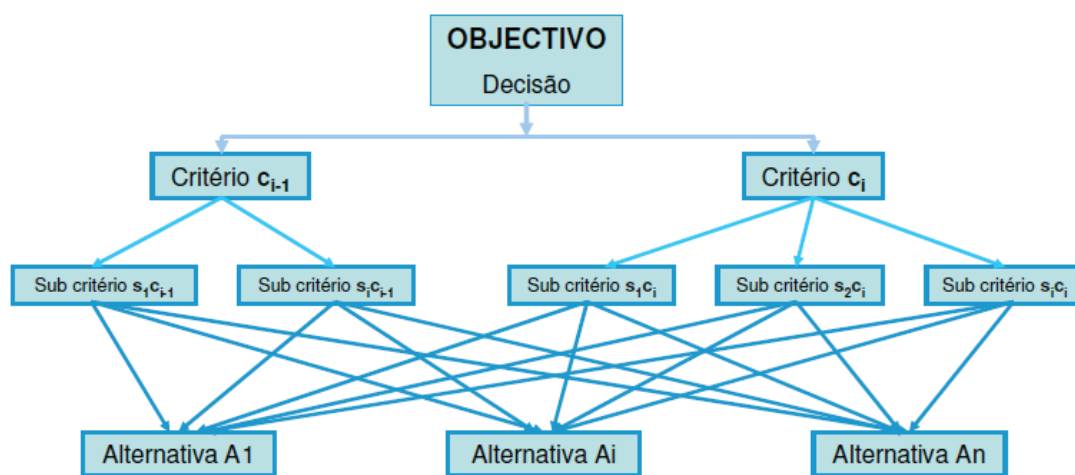


Figura 1. Estrutura Hierárquica PAH  
Adaptado de Saaty (1980)

De acordo com Saaty (2006), existem dois tipos de estruturação: “*bottom-up*” e “*top-down*”. A estruturação “*bottom-up*” é muito útil quando as alternativas são mais facilmente compreendidas pelos decisores do que os objetivos. A estruturação “*top-down*” é mais adaptada a decisões de natureza estratégica quando os objetivos são apreendidos de uma forma mais clara e objetiva face às alternativas.

Na fase de julgamentos é necessário avaliar os efeitos dos componentes do nível mais baixo sobre os objetivos gerais ou seja, encontrar a influência que cada alternativa exerce sobre cada um dos critérios utilizados e a influência que cada critério exerce sobre o objetivo geral. Para promover as avaliações referenciadas, entre níveis subsequentes e do nível mais baixo relativamente ao objetivo geral, comparam-se os pares de alternativas disponíveis, em relação a cada critério utilizado e comparam-se também os critérios dois a dois, de acordo com sua importância, pertinência ou preferência, para atingir o objetivo geral. Tal comparação pode ser fundamentada numa escala de

intensidade de importância, com valores variando entre 1 e 9<sup>1</sup>. (Saaty, (1990), Anagnostopoulos, Petalas e Pinaras, (2005), Communities and Local Government, (2009)).

Os pontos fortes e fracos desta abordagem têm sido objeto de vários debates entre os especialistas em avaliação multicritério. O método analítico hierárquico é bastante apropriado para grupos nos quais existem interesses em conflito, uma vez que todas as partes são estimuladas a declarar explicitamente as suas preferências através de um processo estruturado. Têm sido apresentadas várias dúvidas sobre os fundamentos teóricos e algumas sobre as propriedades da metodologia, em particular o processo de inversão de posição que consiste na possibilidade de alterações na ordenação de duas alternativas em avaliação, com a introdução de uma nova alternativa não relacionada com as anteriores.

O planeamento e gestão de recursos hídricos constituem um sub-domínio da gestão dos recursos naturais, em que as decisões são caracterizadas por múltiplos objetivos e diversos grupos de interesses, sendo avaliadas em unidades monetárias e não monetárias. Muitas vezes, os resultados são altamente intangíveis e podem incluir itens tais como a biodiversidade, o recreio, a paisagem e a saúde humana. Estas características inerentes a decisões sobre o planeamento de recursos hídricos conduzem a que as metodologias de avaliação multicritério constituam uma abordagem muito mais atraente do que a análise convencional de custo / benefício, proporcionando ferramentas eficazes para a gestão da água, nomeadamente, auditabilidade, transparência, robustez e rigor das decisões (Alipour *et al.*, 2010).

## **CASO DE ESTUDO**

As informações e os dados que se apresentam sustentam-se em vários documentos que integram o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (COBA e PROCESL, 2007a, COBA e PROCESL, 2007b, COBA e PROCESL, 2007c). O PNBEPH constitui o caso de estudo relativamente ao qual se pretende analisar e validar o PAH como ferramenta de apoio à decisão.

---

<sup>1</sup> As razões para o limite superior da escala ser igual a 9 relaciona-se com: as distinções qualitativas serem significativas na prática e apresentarem uma característica de precisão, quando os itens comparados apresentam a mesma magnitude ou estão próximos no que diz respeito ao critério usado para fazer a comparação; com a habilidade para fazer distinções qualitativas ser bem representada por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Contudo, quando for necessária uma maior precisão podem estabelecer-se atributos adjacentes. A totalidade requererá 9; com a finalidade de reforçar o item anterior, um método prático e frequentemente usado para avaliar itens, tem sido a classificação de estímulos discriminados em rejeição, indiferença e aceitação. Cada um deles pode ser subdividido em baixo, médio e alto.

O PNBEPH e o correspondente Relatório Ambiental foram elaborados pelo consórcio constituído pelas empresas COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, e PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda. O acompanhamento dos estudos foi realizado por uma comissão que integrou a REN - Redes Energéticas Nacionais (entidade adjudicatária do estudo), o Instituto da Água – INAG e a Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG.

A elaboração do PNBEPH compreendeu um conjunto de estudos e procedimentos desenvolvidos em duas fases sequenciais: a Fase A correspondeu à elaboração de um “Projeto de Programa”, bem como do correspondente “Relatório Ambiental”; na Fase B foi estruturado o processo de consulta pública, com vista à integração dos respetivos resultados nos documentos finais – “Programa” e “Declaração Ambiental”.

### **Objetivos e Metas do PNBEPH**

O PNBEPH tem como objetivo identificar e definir prioridades para os investimentos a realizar em aproveitamentos hidroelétricos, no horizonte 2007 – 2020.

O PNBEPH tem como meta atingir uma capacidade hidroelétrica instalada a nível nacional superior a 7 000 MW em 2020. Novos aproveitamentos hidroelétricos a implementar deverão assegurar valores de potência instalada adicional da ordem de 2 000 MW, contribuindo desta forma para o cumprimento do objetivo estabelecido pelo Governo em termos de produção de energia com origem em fontes renováveis para o ano 2020, redução da dependência energética nacional essencialmente de combustíveis fósseis e redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

Uma vez que os aproveitamentos existentes, mesmo acrescidos dos reforços de potência previstos, não permitem atingir as metas estabelecidas pela Diretiva 2001/77/CE, de 27 de setembro, relativa à promoção da eletricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da eletricidade, concluiu-se que seria necessário construir novos aproveitamentos que, para além da energia que poderão produzir, permitirão ainda otimizar a energia obtida por outras fontes renováveis, nomeadamente a eólica.

A decisão de construção de novos empreendimentos hidroelétricos ao abrigo do PNBEPH baseou-se em três aspetos fundamentais: a questão energética, a questão ambiental e a questão socio-económica.

Relativamente à valia energética a decisão baseia-se no aproveitamento de recursos endógenos em substituição dos combustíveis fósseis, na redução da dependência energética externa e na possibilidade de complementaridade com a energia eólica.

A valia ambiental do PNBEPH baseia-se na redução de emissões de GEE, na criação de reserva estratégica da água para abastecimento, combate a incêndios e outros usos e na regularização de caudais e controlo de cheias.

A importância económica e social do PNBEPH prende-se com a criação de emprego e com o desenvolvimento a nível regional.

### **Seleção dos locais**

A seleção dos aproveitamentos hidroelétricos a implementar, de entre um universo de 25 potenciais empreendimentos que integram o *Inventário Nacional de Sítios com Elevado Potencial Hidroelétrico*, baseou-se numa análise dos benefícios e dos eventuais aspetos negativos associados à construção e operação de cada aproveitamento. Para esta análise foram definidos um conjunto de critérios de avaliação de natureza técnica, económica, social e ambiental. Com base nesses critérios, foram definidas quatro opções / alternativas estratégicas relativamente às quais foi avaliado o interesse da construção de cada aproveitamento.

#### **Opção Estratégica A:** Potencial hidroelétrico do aproveitamento.

Esta opção representa os objetivos fundamentais do Programa, em que são avaliados os aspetos técnicos e económicos considerados relevantes para a determinação da valia hidroelétrica de cada aproveitamento.

Face a esta opção os objetivos do Programa podem ser atingidos com a execução dos seguintes aproveitamentos: Alvarenga; Assureira; Foz Tua; Fridão; Gouvães; Rebordelo e Sampaio.

#### **Opção Estratégica B:** Otimização do potencial hídrico da bacia hidrográfica.

Esta opção representa os aspetos socio-económicos associados à implementação do aproveitamento, que podem aumentar o interesse da sua execução para satisfação de outras utilizações. Contudo os aspetos socio-económicos não são, por si só, determinantes para a definição da viabilidade do empreendimento.

Os objetivos do Programa considerando a otimização do potencial hídrico da bacia, podem ser atingidos com a execução dos seguintes aproveitamentos: Alvarenga; Alvito; Atalaia; Foz Tua; Pero Martins; Rebordelo e Sampaio

#### **Opção Estratégica C:** Conflitos / Condicionantes ambientais.

Nesta opção são ponderados os aspetos ambientais que poderão ser determinantes para a viabilidade, ou inviabilidade, de determinado aproveitamento, designadamente: presença de significativas condicionantes relacionadas com a biodiversidade; afetação de elementos de

património classificado e restrições territoriais existentes, designadamente a ocupação de áreas classificadas ou de áreas agrícolas de grande relevo.

Os objetivos do Programa, podem ser atingidos com a execução dos seguintes aproveitamentos: Alvito; Daivões; Foz Tua; Fridão; Girabolhos; Gouvães; Padroselos; Pinhosão; Póvoa e Vidago

**Opção Estratégica D** : Ponderação energética, socio-económica e ambiental.

Esta opção estratégica define a valia global de cada aproveitamento, através da ponderação quantitativa do potencial de produção de energia, da possibilidade de utilização para fins múltiplos e da consideração dos aspetos ambientais mais relevantes.

Suportados nesta opção os objetivos do Programa, podem ser atingidos com a execução dos seguintes aproveitamentos: Almourol; Alvito; Daivões; Foz Tua; Fridão; Girabolhos; Gouvães; Padroselos; Pinhosão e Vidago.

### **Fatores Críticos**

Os critérios de análise para a aplicação do Processo Analítico Hierárquico ao PNBEPH consistem nos fatores críticos identificados para o desenvolvimento da Avaliação Ambiental Estratégica inerente ao Programa Nacional.

A seleção dos fatores críticos resultou da análise dos fatores ambientais patentes no Decreto-Lei n.º 232/2007, de 17 de julho, sobre os quais foi considerada a possibilidade de ocorrência de efeitos significativos, bem como dos fatores do Quadro de Referência Estratégico Ambiental (QREA).

Os fatores críticos e respetivos objetivos, sobre os quais foi efetuada a Avaliação Ambiental são:

**Alterações Climáticas** - Capacidade do programa contribuir para a redução de emissões de GEE e para o cumprimento das metas de Quioto.

**Biodiversidade** - Riscos e oportunidades numa perspetiva de manutenção, e eventual promoção, da biodiversidade, evidenciando-se a avaliação de áreas classificadas, fragmentação de habitats e ictiofauna.

**Recursos naturais e culturais** - Riscos e oportunidades para a manutenção e valorização dos recursos naturais e culturais, com destaque para aspetos de património cultural, recursos hídricos, recursos minerais e paisagem.

**Riscos naturais e tecnológicos** - Riscos que incidem sobre os aproveitamentos, bem como os riscos induzidos pelos mesmos; integra a avaliação da capacidade do programa contribuir para a redução e controlo de riscos, como sejam cheias, secas, incêndio, erosão costeira, entre outros.

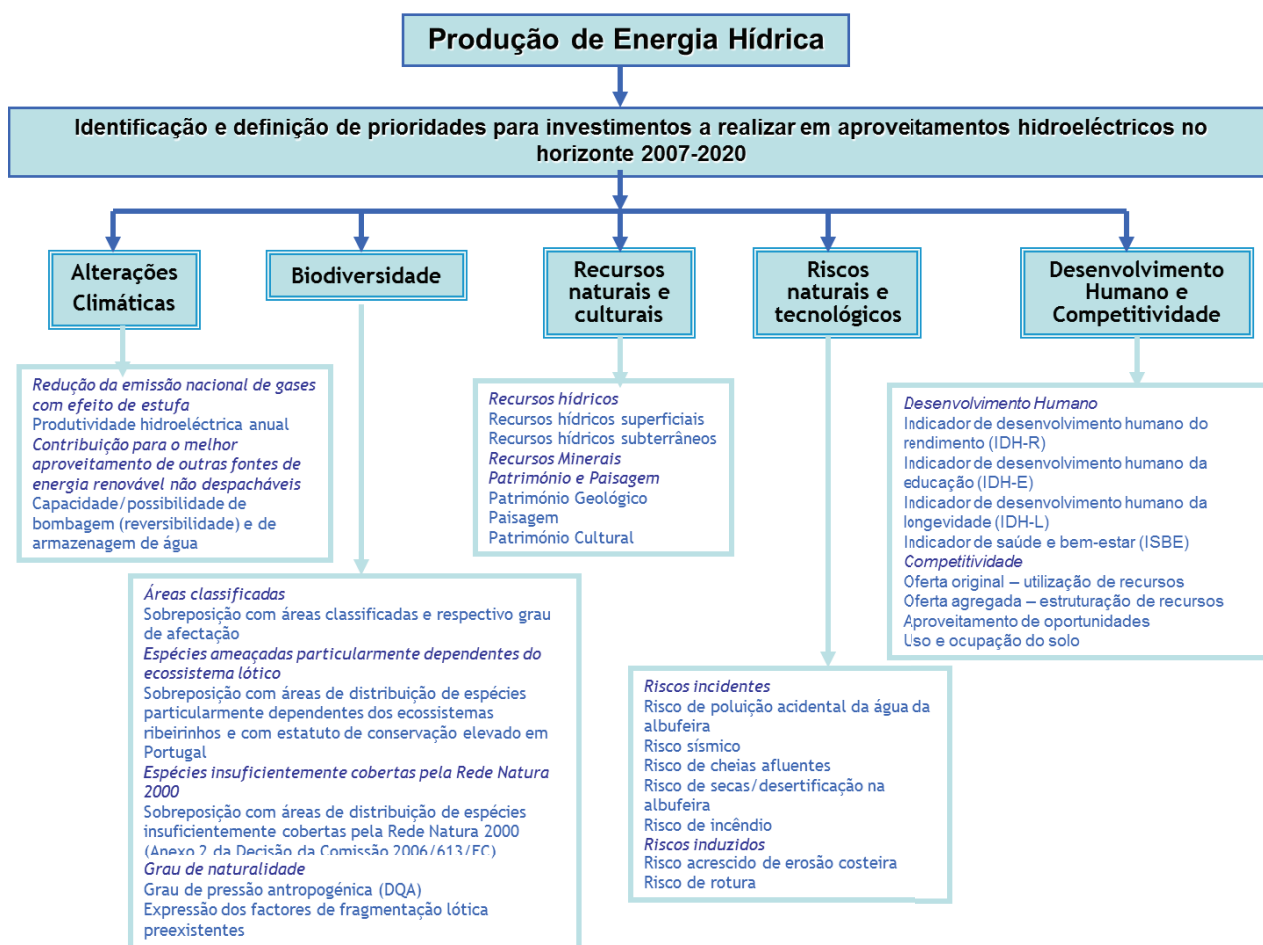
**Desenvolvimento Humano e Competitividade** - Contributo do programa para a valorização do potencial humano, para a redução da pobreza e melhoria das condições globais de saúde, bem como para o desenvolvimento regional ou a redução da dependência energética.

### **Análise do Processo de Avaliação Multicritério no âmbito do PNBEPH**

Os empreendimentos que constam do Inventário Nacional de Sítios com Elevado Potencial Hidroelétrico foram avaliados e seriados para cada fator crítico, através da aplicação do Processo Analítico Hierárquico, metodologia de AMC.

A estruturação do problema para decisão seguiu uma abordagem “*top down*”. Consistiu na definição de um objetivo geral (**produção de energia hídrica**), e para a concretização do objetivo geral foi definido o objetivo específico de **identificação e definição de prioridades para investimentos a realizar em aproveitamentos hidroelétricos no horizonte 2007-2020**.

A Figura 2. esquematiza os níveis da hierarquia considerada na avaliação.



**Figura 2. Níveis hierárquicos no PAH do Caso de Estudo**

## **Alterações Climáticas (FCD 1)**

*Redução da emissão nacional de gases com efeito de estufa (SC11)*

Produtividade hidroelétrica anual (I111)

*Contribuição para o melhor aproveitamento de outras fontes de energia renovável não acumuláveis/armazenáveis (SC12)*

Capacidade/possibilidade de bombagem (reversibilidade) e de armazenamento de água (I121)

## **Biodiversidade (FCD 2)**

*Áreas classificadas (SC21)*

Sobreposição com áreas classificadas e respetivo grau de afetação (I211)

*Espécies ameaçadas particularmente dependentes do ecossistema lótico (SC22)*

Sobreposição com áreas de distribuição de espécies particularmente dependentes dos ecossistemas ribeirinhos e com estatuto de conservação elevado em Portugal (I221)

*Espécies insuficientemente cobertas pela Rede Natura 2000 (SC23)*

Sobreposição com áreas de distribuição de espécies insuficientemente cobertas pela Rede Natura 2000 (Anexo 2 da Decisão da Comissão 2006/613/EC) (I231)

*Grau de naturalidade (SC24)*

Grau de pressão antropogénica (DQA – Diretiva Quadro da Água) (I241)

Expressão dos fatores de fragmentação lótica pré-existentes (I242)

## **Recursos naturais e culturais (FCD 3)**

*Recursos hídricos (SC31)*

Recursos hídricos superficiais

Recursos hídricos subterrâneos

*Recursos Minerais (SC32)*

*Património e Paisagem (SC33)*

Património Geológico (I331)

Paisagem (I332)

Património Cultural (I333)

## **Riscos naturais e tecnológicos (FCD 4)**

### *Riscos incidentes (SC41)*

Risco de poluição accidental da água da albufeira

Presença de unidades potencialmente poluentes e de áreas agrícolas na bacia hidrográfica (I411)

Risco sísmico

Ação dinâmica sobre a barragem. Indicador do risco em relação ao zonamento sísmico de Portugal Continental e à Neotectónica (I412)

Risco de cheias afluentes

Indicador de capacidade de controlo de cheias. Relação entre a capacidade total da albufeira e o volume de uma cheia de referência afluente (I413)

Risco de secas/desertificação na albufeira

Indicador de capacidade de mitigação de secas. Relação entre a capacidade total da albufeira e a capacidade total das principais albufeiras da bacia hidrográfica (I414)

Risco de incêndio

Indicador de capacidade de mitigação de incêndios. Relaciona a capacidade que cada albufeira terá na mitigação de incêndios em função da classificação do risco de incêndio na faixa de 5 km envolvente da albufeira (I415)

### *Riscos induzidos (SC42)*

Risco acrescido de erosão costeira

Indicador de risco acrescido de erosão costeira em função de um índice composto, resultante de: índice de relação de área, índice de artificialização a jusante e índice de artificialização na bacia hidrográfica (I421)

Risco de rotura

Indicador de intensidade de cheia induzida. Corresponde ao produto da capacidade total da albufeira pela altura da barragem (I422)

## **Desenvolvimento Humano e Competitividade (FCD 5)**

### *Desenvolvimento Humano (SC51)*

Indicador de desenvolvimento humano do rendimento (IDH-R) (I511)

Indicador de desenvolvimento humano da educação (IDH-E) (I512)

Indicador de desenvolvimento humano da longevidade (IDH-L) (I513)

Indicador de saúde e bem-estar (ISBE) (I514)

#### *Competitividade (SC52)*

Oferta original – utilização de recursos (I521)

Perspetiva económica da valia elétrica

Perspetiva económica da valia hídrica

Oferta agregada – estruturação de recursos (I522)

Perspetiva económica da valia ambiental

Perspetiva económica da valia mobilidade humana

Aproveitamento de oportunidades (I523)

Valia económica

Valia turística

Uso e ocupação do solo (I524)

As alternativas em estudo configuraram as quatro opções estratégicas referenciadas:

**Opção Estratégica A:** Potencial hidroelétrico do aproveitamento.

**Opção Estratégica B:** Otimização do potencial hídrico da bacia hidrográfica.

**Opção Estratégica C:** Conflitos / Condicionantes ambientais.

**Opção Estratégica D:** Ponderação energética, socio-económica e ambiental.

Esta análise permitiu a seriação dos 25 empreendimentos para cada FCD.

Sempre que cada FCD apresentava mais do que um critério/sub-critério foi definida uma ponderação que estimou o seu contributo para a avaliação global do FCD.

Para cada fator crítico foi elaborado um quadro resumo que reuniu o resultado da avaliação dos aproveitamentos. A avaliação global implementada para cada fator crítico foi uma avaliação qualitativa segundo a grelha que se apresenta (Quadro 1.) e que possibilitou a comparação e a definição de vantagens e desvantagens das quatro opções estratégicas. A síntese da avaliação ambiental das opções estratégicas permitiu a elaboração do Quadro 2.

Quadro 1. Grelha de avaliação das opções estratégicas; COBA (2007a,b,c)

Escala	Descrição
++	Contribui muito para o alcance das metas estratégicas
+	Contribui para o alcance das metas estratégicas
0	Não contribui mas também não conflitua com as metas estratégicas
-	Conflitua com o alcance das metas estratégicas
--	Conflitua muito com o alcance das metas estratégicas

Quadro 2. Síntese da Avaliação Ambiental das Opções Estratégicas; COBA (2007a,b,c)

Fator Crítico	Opção A	Opção B	Opção C	Opção D
Alterações Climáticas	++	+	+	++
Biodiversidade	--	--	-	-
Recursos Naturais e Culturais	--	0	0	+
Riscos Naturais e Tecnológicos	-	--	0	-
Desenvolvimento Humano e Competitividade	+	+	++	++
<b>Avaliação global:</b>	--	-	+	++

Pode constatar-se que a opção A se revela mais desfavorável e que a opção D se apresenta como a mais favorável. Esta Opção compreende os seguintes aproveitamentos: Almourol, Alvito, Daivões, Foz Tua, Fridão, Girabolhos, Gouvães, Padroselos, Pinhosão e Alto Tâmega (Vidago).

A conclusão final do processo foi resumida na tabela que se apresenta na Figura 3 e que consiste na agregação da informação reunida para cada fator crítico e aplicada a cada aproveitamento.

Este processo de análise, face aos múltiplos objetivos e aos critérios utilizados na avaliação, traduz-se em resultados de avaliações qualitativas e quantitativas, representadas através de unidades monetárias e não monetárias. Trata-se, efetivamente, de uma situação passível de ser analisada com sucesso, através de uma avaliação multicritério.

No estudo efetuado são referenciados os fatores de ponderação dos vários sub-critérios face a cada critério de análise. Não são apresentados os resultados das preferências dos “*stakeholders*” nas várias comparações binárias entre componentes do processo, apesar de ser referenciada que as mesmas recorrem à escala de Saaty. Assim, os resultados obtidos não se traduziram nas particularidades de auditabilidade, transparência, robustez e rigor, que deverão ser inerentes a estas metodologias.

FACTOR CRITICO		APROVEITAMENTOS																								
		Assureira	Atalaia	Sra. de Monforte	Piçó Martins	Sampaio	Mente	Rebordelo	Foz Tua	Castro Daire	Alvaranga	Castelo de Paiva	Padroeiros	Alto Tâmega (Vilago)	Daiçães	Fridão	Gonçães	Póvoa	Pinheiro	Assesdase	Girabolhos	Milhões	Almoural	Santaém	Erges	Abito
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
BACIA HIDROGRÁFICA/CENTRAL	Bacia hidrográfica	Lima	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Douro	Vouga	Vouga	Mondego	Mondego	Mondego	Tejo	Tejo	Tejo	Tejo
	Linha de água	Castro Laboriz	Côa	Côa	Côa	Sabor	Mente	Rabaçal	Tua	Paiva	Paiva	Paiva	Beça / Tâmega	Tâmega	Tâmega	Tâmega	Louredo / Tâmega	Vouga	Vouga	Mondego	Mondego	Mondego	Tejo	Tejo	Erges	Ocreza
	Área da bacia hidrográfica (km²)	56	946	1.404	2.140	2.435	616	1.322	3.822	364	610	775	315	1.557	1.984	2.630	100	257	401	189	980	1.423	67.323	67.838	1.155	968
	Potência instalada (MW)	88	50	81	218	150	48	252	234	134	175	80	113	90	109	163	112	41	77	185	72	54	78	85	42	48
	Energia produzida (GWh/ano)	119	82	121	297	186	41	364	340	180	257	80	102	114	148	299	153	57	106	232	99	72	209	269	45	62
Alterações Climáticas																										
Biodiversidade																										
Recursos Naturais e Culturais																										
Riscos Naturais e Tecnológicos																										
Desenvolvimento Humano																										
Competitividade																										



Figura 3. Resultados da avaliação ambiental desenvolvida para a totalidade dos fatores críticos de decisão; COBA (2007a,b,c)

## CONCLUSÕES

As metodologias de avaliação multicritério são concebidas para ajudar a superar as limitações referentes às simplificações que são consideradas pelos decisores e pelo público em geral, na análise de problemas complexos. Apresentam a possibilidade de considerar um problema como um todo e de analisar a interação simultânea dos componentes que constituem a sua hierarquia. Impõem uma estrutura disciplinada, que direciona a reflexão para os critérios, em proporção ao peso que eles assumem. O desenvolvimento de uma matriz de desempenho é um passo importante face a essa circunstância.

Um dos pontos fortes da análise multicritério assenta no facto de permitir ter em consideração os valores e as opiniões individuais dos vários intervenientes, uma vez que apresenta um enquadramento em que todos os agentes podem participar no processo de tomada de decisão e na resolução de problemas, e processar, de forma quantitativa, as relações funcionais dentro de uma rede complexa.

A metodologia ajusta-se bem ao desenvolvimento de parcerias, na medida em define áreas de consenso (os parceiros chegam a um acordo quanto à classificação das medidas) e áreas de divergência (revelam as medidas consideradas eficazes para uns e ineficazes para outros). Permite também identificar os problemas críticos, definir a sua estrutura, detetar e resolver conflitos.

Na gestão dos recursos hídricos a metodologia é de utilização generalizada e tem vindo a crescer ao longo do tempo. Esta realidade prende-se com o facto da gestão da água ser, tipicamente, um problema multi-objetivo, o que torna a AMC uma ferramenta potente e eficaz de apoio à decisão. É uma metodologia promovida para melhorar a auditabilidade, a transparência e o rigor analítico das decisões a nível da gestão da água.

Relativamente ao processo analítico hierárquico aplicado ao PNBEPH, pode referir-se que os níveis de transparência não foram muito significativos, uma vez que os resultados das comparações binárias entre os componentes em avaliação não são diretamente referenciados e dificilmente serão identificados. A par deste facto, verificou-se também que o quadro resumo da análise efetuada é pouco explícito e pouco rigoroso, no sentido de permitir decisões objetivas.

Considera-se relevante que a implementação deste tipo de metodologias seja validada pelos intervenientes no processo, ou seja, que possa ser demonstrada a sua relevância no processo de decisão no sentido de consistir uma “mais valia” para futuros desenvolvimentos.

## **BIBLIOGRAFIA**

Anagnostopoulos, K.P.; Petalas, C.; Pisinaras V. (2005). "Water Resources Planning Using The Ahp And Promethee Multicriteria Methods: The Case Of Nestos River - Greece," The 7th Balkan Conference on Operational Research, Romania.

Alipour, Mohammad; Shamsai, Abolfazl; Ahmady, Nazanin (2010). A new fuzzy multicriteria decision making method and its application in diversion of water. Expert Systems with Applications, doi:10.1016/j.eswa.2010.06.023

Antunes, P., Santos, R., Martinho, S., Lobo, G. (2002). Estudo sobre Setor Elétrico e Ambiente, 3.º Relatório, Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente; Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente; FCT/UNL; Lisboa.

COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, PROCESL Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda, (2007a). Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), Relatório Ambiental.

COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, PROCESL Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda, (2007b). Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), Relatório de Consulta no âmbito da Avaliação Ambiental.

COBA Consultores de Engenharia e Ambiente, PROCESL Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda, (2007c). Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), Memória.

Communities and Local Government (2009). Multi-criteria analysis: a manual; Department for Communities and Local Government, London; ISBN: 978-1-4098-1023-0.

Costanza, Robert; Cumberland, John H.; Daly, Herman; Goodland, Robert; Norgaard, Richard B. (1997). An Introduction to Ecological Economics (e-book); St. Lucie Press and International Society for Ecological Economics; ISBN: 1884015727.

Costanza, Robert (1989). What is Ecological Economics?; Ecological Economics; 1, 1-7; Elsevier Science Publishers B.V.; Amsterdam; Netherlands.

- Goodland, Robert (1995). The Concept of Environmental Sustainability; *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1995.26:1-24.
- Hajkowicz, S.; Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resource Management*, 21, 1553–1566.
- Levy, Jason (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management; *Stoch Environ Res Risk Assess* 19: 438–447; DOI 10.1007/s00477-005-0009-2
- Martinez-Alier, Joan; Munda, Giuseppe; O’Neill, John (1998). ANALYSIS, Weak comparability of values as a foundation for ecological economics; *Ecological Economics* 26; pp 277–286.
- Mourão, Y. (2006). Priorização de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria do Petróleo: Uma Aplicação da Teoria dos Prospeitos; *Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Administração; Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração e Economia; Faculdade de Economia e Finanças IBMEC; Orientador: Luiz Monteiro Gomes; Rio de Janeiro, dezembro de 2006; pp 66.*
- Munda, Giuseppe (2003). Multicriteria Assessment; *International Society for Ecological Economics; Internet Encyclopaedia of Ecological Economics.*
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill International.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process; *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, 5 September 1990, Pages 9-26.
- Saaty, T., Peniwati, K., Shanga, S. (2007). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process; *Mathematical and Computer Modelling*; Volume 46, Issues 7-8, October 2007, Pages 1041-1053.
- Sachs, I. (2004). *Desenvolvimento includente, sustentável, sustentado*. Editora Garamond.
- Salvador, R.; Marques, B. P. (2005). Geopolítica do Petróleo: de Estrabão à (s) Guerra (s) do Iraque. *Revista da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas*, 18, 191-200.
- WCSD - World Commission on Environment and Development (1987). *Our common future*; Gro Harlem Brundtland; Oxford University Press; p. 8, 44.