

## ESTUÁRIOS – CRITÉRIOS PARA UMA CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL

**Margarida Cardoso da Silva**

APRH – Av. do Brasil, 101  
1700-066 Lisboa, Portugal  
[aprh@aprh.pt](mailto:aprh@aprh.pt)

### RESUMO

O presente trabalho procura rever as definições de estuário que têm sido propostas na literatura, bem como os respectivos sistemas de classificação. São analisadas as classificações que se baseiam em critérios morfológicos, hidrodinâmicos e de salinidade, identificando-se diversos sistemas de classificação que, em alguns casos, permitem prever, com base em parâmetros adimensionais, qual a estrutura salina provável da coluna de água. Uma classificação de cariz morfológico, que relaciona esses aspectos com os processos hidrodinâmicos mais relevantes, é também apresentada.

São apresentados critérios de classificação ambiental. Neste contexto, é proposta uma abordagem que cobre os aspectos referentes à qualidade estética, sanitária, ao estado trófico e à poluição por substâncias perigosas.

Salientam-se as dependências das características ambientais das características físicas e a necessidade de as conhecer para sustentar medidas de gestão destinadas a proteger ou melhorar características ambientais atualmente presentes nos estuários de interesse.

Finalmente refere-se o interesse em testar a operacionalidade dos sistemas identificados a um conjunto de estuários, em particular aos estuários Portugueses.

### INTRODUÇÃO

É geralmente aceite que a zona costeira tem um elevado valor ecológico, social e económico. Dentre os sistemas costeiros, os estuários têm um interesse especial. Tradicionalmente, funcionam como pólos de atração da atividade humana e, nas suas margens, desenvolveram-se algumas das maiores áreas metropolitanas do mundo.

A pressão populacional sobre os estuários, em conjunto com as suas características naturais, nomeadamente a grande diversidade dos seus recursos naturais e o fato de constituírem zonas de abrigo à navegação, proporcionando a criação de zonas portuárias, permitem uma grande diversidade

de de atividades a que correspondem conflitos potenciais.

A importância dos problemas que afetam os estuários é bem reconhecida, como o é a necessidade e a urgência de criar mecanismos que procurem harmonizar o desenvolvimento económico e social que suportam com a preservação dos seus valores e recursos naturais. Tais mecanismos, os sistemas de gestão, assentam sobre o conhecimento dos estuários, em particular, na compreensão dos processos que condicionam as variáveis ambientais, para assim ser possível atuar de modo a garantir a preservação das situações desejáveis ou a modificá-las no sentido adequado.

### CONCEITO DE ESTUÁRIO

#### Definições

O problema de definir um estuário e de delimitar a respectiva área tem sido abordado por numerosos autores, variando os conceitos que estão subjacentes às respectivas definições.

Pritchard (1967) & Fairbridge (1980) reuniram um conjunto das definições correntes que, porém, nem sempre englobam as características encontradas em diferentes sistemas costeiros tradicionalmente designados como estuários. Cameron e Pritchard (1963) propuseram a seguinte definição de estuários, de grande generalidade, e que é frequentemente adotada:

*Estuários são corpos de água costeiros semi-fechados que têm uma ligação livre com o mar e nos quais a água do mar se dilui, de forma mensurável, com água doce proveniente da drenagem terrestre.*

A definição proposta contém um conjunto de atributos cuja relevância é de reter quando se propõe efetuar um estudo sobre estuários, já que esses mesmos atributos condicionam, ou explicam, os processos a estudar e as características observadas. Condicionam, em particular, os processos que determinam a qualidade da água.

Do ponto de vista físico, a definição reconhece semelhanças básicas na distribuição e gradientes de densidade e de salinidade, no padrão

de circulação e dos processos de mistura. O tipo de circulação é condicionado, de forma decisiva, pelas fronteiras laterais do sistema. A existência da ligação permanente com o mar permite a propagação da maré e a entrada de água salgada. A água do mar dilui-se com a água doce proveniente da respectiva bacia drenante, sendo responsável pelos gradientes de salinidade que condicionam os tipos de circulação tipicamente estuariais. Tais gradientes são, também, responsáveis pelas características químicas e bióticas típicas e únicas dos estuários.

Porém, como é salientado por Fairbridge (1980), esta definição não implica a existência de duas características cruciais dos sistemas normalmente considerados estuários - a presença de um rio afluente e da maré.

De acordo com Caspers (1967), do ponto de vista biológico, para um sistema costeiro ser considerado um estuário deverá:

- ser zona terminal de um rio que desagua num mar com maré;
- ter zonas de água salgada, variando a respectiva extensão com o caudal fluvial de montante;
- poderem as correntes de maré estender-se para montante do limite de intrusão salina, propagando-se em zonas de água doce; nestes casos, o limite montante de estuário corresponde ao limite de influência da maré.

Uma definição alternativa, que colmata as deficiências notadas na definição clássica de Cameron & Pritchard (1963), é a proposta por Fairbridge (1980):

*“Um estuário é uma reentrância de mar num vale fluvial, estendendo-se até ao limite da propagação da maré dinâmica, e divisível em três setores (Figura 1): a) o baixo estuário, ou zona marítima, com ligação aberta com o mar; b) o estuário médio, onde ocorre mistura intensa de água doce e salgada; e c) o estuário superior ou fluvio-marítimo, com água doce, mas sujeito à influência da maré dinâmica.”*

Na zona marítima, a água é predominantemente salgada, embora possa ter variações associadas a diferentes caudais fluviais já que é ainda uma zona de mistura que se pode estender em pluma para a zona costeira adjacente. No estuário médio, dá-se a transição entre a água de características oceânicas até água de salinidade < 0.5‰. Na zona fluvio-marítima a composi-

ção química da água é condicionada pelas afluências de montante. Os limites entre estes setores são variáveis, em função das variações de caudal e do tipo de maré.

## Características dos estuários

Os estuários são caracterizados por grande variabilidade na salinidade e pela instabilidade dos seus fatores ambientais.

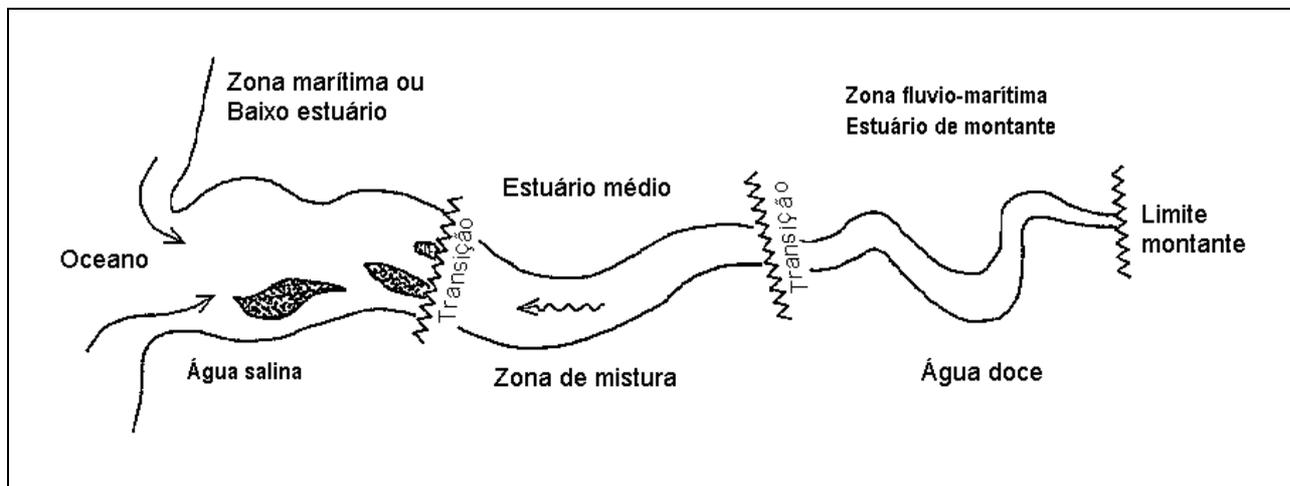
Uma propriedade importante dos estuários traduz-se pelo fato de, embora havendo variações importantes das afluências de água doce, não terem tendência para acumular a correspondente água doce no próprio estuário. As variações na quantidade total de sal não são apenas dependentes da taxa de variação dos caudais da água doce afluentes. Um aumento no caudal de água doce dá origem a uma translação transiente para jusante das isolinhas de salinidade à superfície e alguma diminuição de salinidade a todas as profundidades. Ao mesmo tempo, ocorre uma reação, que resulta num fluxo acrescido de água salgada nas camadas mais fundas, que pode originar estratificação vertical.

Assim, nos estuários, tende a estabelecer-se um equilíbrio dinâmico, quasi-estacionário e que resulta das interações entre o caudal fluvial permanente do rio para o estuário e a pressão para montante da água salgada. Do equilíbrio das forças associado àquelas interações resultam as características observadas no estuário.

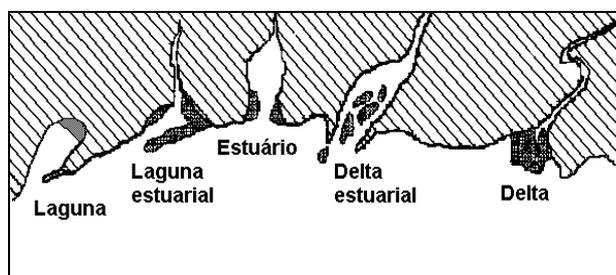
A Figura 2 (adaptada de Day et al., 1989) mostra diversos tipos de sistemas aquáticos costeiros que correspondem ao conceito genérico de estuário.

As diferenças observadas resultam, em grande parte, dos processos que estiveram na gênese de cada um desses sistemas. Num extremo, e sem que mereça ainda a denominação de estuário, pela ausência de afluência significativa de água doce e de um rio, têm-se as lagunas costeiras, produzidas pela ação da agitação marítima e onde os sedimentos são predominantemente marinhos e arenosos. No lado oposto do espectro, encontram-se os deltas, formados na foz de um rio, em geral em costas de pequena amplitude de maré e de fraca agitação, devidos, principalmente, a processos fluviais que criam uma zona de deposição de sedimentos finos, espreada na bacia costeira adjacente.

As lagunas estuariais, os estuários típicos e os deltas são formações devidas ao efeito combinado dos processos marinhos e fluviais, sendo uns ou outros predominantes, em maior ou menor grau.



**Figura 1. Representação esquemática de um estuário e dos seus setores (adaptado de Fairbridge, 1980).**



**Figura 2. Sistemas aquáticos costeiros.**

## CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DE ESTUÁRIOS

### Considerações gerais

A procura de uma classificação de estuários decorre, como refere Jay et al. (1998), não apenas da tendência para a sistematização inerente a todo o processo científico, mas de uma necessidade prática, em particular, relacionada com os processos de gestão. De fato, a classificação de estuários poderá ser útil na caracterização de cada um e na identificação dos processos que controlam essas mesmas características, facilitando, assim, generalizações nos processos de gestão.

Para ser útil, um sistema de classificação de estuários deverá ter como base as características fisiográficas e hidrodinâmicas, mas não se limitar a este tipo de características.

As classificações morfológicas são de natureza qualitativa, embora seja possível, recorrendo a parâmetros adimensionais que caracterizam as variáveis morfológicas (comprimento, largura e

profundidade) esboçar classes morfológicas definidas por gamas de valores desses mesmos parâmetros.

Sendo certo que os padrões de circulação e a estrutura salina da coluna de água dependem, não só da morfologia, mas também da importância relativa das ações hidrodinâmicas, em particular do caudal fluvial e da maré, as classificações baseadas na hidrodinâmica são determinadas por valores de parâmetros adimensionais associados a esses processos.

A classificação ambiental, embora tenha como ponto de partida os critérios morfodinâmicos, que condicionam os processos bioquímicos presentes, deve considerar, explicitamente, as pressões antrópicas exercidas sobre os estuários e os aspectos de qualidade da água e ecológicos que, em geral, constituem um foco de preocupação dos gestores e do público.

Sendo a qualidade ambiental um conceito que não é passível de definição, em termos absolutos, e que cobre aspectos de natureza diversa, será sempre difícil definir um critério que classifique os estuários ou os seus troços em várias categorias, entre a boa e a má qualidade ambiental. Será, assim, sempre necessário identificar um conjunto de critérios, associados a diversas preocupações ou características ambientais. Tais critérios serão função das utilizações pretendidas e podem incluir, além da qualidade da água e dos recursos vivos, aspectos relativos à conservação da natureza e dos valores da paisagem, bem como à capacidade do estuário em servir de suporte a atividades como o recreio e a aquacultura.

Centrando a presente análise no meio aquático, resultam, como temas de maior relevância para a classificação de estuários quanto à qualidade ambiental, os seguintes:

- *qualidade estética*, relacionada com a presença de resíduos visíveis;
- *qualidade sanitária*, relacionada com a presença de micro-organismos patogênicos;
- *estado trófico*, relacionado com o excesso ou o desequilíbrio de concentrações de azoto e fósforo e efeitos associados;
- *poluição por tóxicos*, relacionada com a presença de substâncias nocivas para os organismos aquáticos.

Em relação a cada um destes temas, há que estabelecer critérios quantitativos, que permitam definir qual a posição do estuário numa hierarquia qualitativa que pode incluir as classificações de excelente, boa, aceitável e má.

Tais critérios, baseiam-se no conceito dos *indicadores ambientais* (Cardoso da Silva, 1997; Ten Brink et al., 1991), que não são mais do que variáveis ambientais selecionadas, às quais é possível atribuir um valor de referência em face do qual se avaliam os valores presentes, respeitantes ao estuário e à situação de interesse.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma revisão dos critérios de classificação morfodinâmica e salina dos estuários, procurando identificar os pontos comuns às diferentes metodologias de classificação.

Os aspectos relativos à classificação baseada em parâmetros de qualidade, pela respectiva especificidade, serão tratados em seguida.

## **Critérios de classificação morfodinâmicos**

Diversos autores têm proposto diferentes classificações de estuários com base em critérios morfológicos, de salinidade e hidrodinâmicos (Tabelas 1, 2, 3 e 4).

Combinando as classificações propostas por Pritchard (1967) e por Fairbridge (1980), usando, de acordo com este último autor, o relevo relativo e o grau de fecho, como critérios de classificação, é possível, com base nas características morfológicas, propor uma definição de tipos de estuários como indicado na Tabela 1.

Pritchard (1967) propõe uma classificação de estuários (Tabela 2) de acordo com a comparação da respectiva salinidade com a da água do mar onde o estuário desagua.

Como referido por Bowden (1980), o padrão de circulação observado num estuário é, em grande parte, condicionado pela importância relativa da energia de maré, traduzida pela respectiva

amplitude e prisma, e do caudal fluvial, sendo ainda condicionado pela topografia do estuário. Uma quantificação para este tipo de classificação tinha sido anteriormente proposta (Hansen & Ratray, 1966) com base na razão  $R_T/P$ , sendo  $R_T$  o volume de água doce afluente ao estuário durante um ciclo de maré e  $P$  o prisma de maré. Se  $R_T/P > 1$  observa-se, no geral, cunha salina. Se  $R_T/P \cong 0.25$ , o estuário é, provavelmente, parcialmente misturado e quando  $R_T/P < 0.1$  o estuário tende a ser bem misturado.

Na Tabela 3 resumem-se as características provavelmente presentes num estuário para as diferentes ordens de grandeza de  $R_T/P$ .

Uma classificação clássica de estuários é a que se baseia no diagrama de estratificação-circulação, desenvolvida por Hansen & Ratray (Hansen & Ratray, 1966; Dyer, 1977 e Ibañez et al., 1997). Baseia-se em dois parâmetros adimensionais cujo cálculo requer medições de velocidade e de salinidade. O de estratificação  $\partial S/S_x$ , que representa a razão entre o diferencial de salinidade entre a superfície e o fundo ( $\partial S$ ) e a salinidade média ( $S_x$ ) na mesma seção  $x$ , e o de circulação  $u_s/u_x$ , que exprime a razão entre a corrente à superfície e a corrente média na seção. Este parâmetro de circulação representa a razão entre o caudal médio de água doce afluente mais a água misturada por arrastamento, ou por difusão turbulenta, e o caudal fluvial de água doce.

O diagrama da Figura 3 apresenta o critério de classificação dos estuários de acordo com os parâmetros de estratificação salina e de circulação. As características das zonas 1, 2, 3 e 4, identificadas na figura, apresentam-se na Tabela 4.

Sendo a salinidade e a velocidade variáveis com a zona do estuário e, em cada zona, com o caudal fluvial, a cada estuário, corresponderá, no diagrama de Hansen & Ratray, não um ponto, mas um conjunto de pontos característicos de cada zona e de cada situação hidrológica. Esta é, pois, mais do que uma classificação de um estuário, uma classificação de cada troço e da situação hidrológica respeitante ao momento em que as observações foram efetuadas.

Jay & Smith (1988) propuseram uma classificação baseada em dois parâmetros adimensionais, os números de Froude barotrópico  $F_T$  ( $F_T = \xi_M/h$ , sendo  $\xi_M$  a amplitude média de maré e  $h$  a profundidade média do estuário), e interno  $F_B$  ( $F_B = d/D(\Delta\rho_H/\Delta\rho_V)^{-1/2}$ , com  $d/D$  a razão da espessura das camadas de diferente densidade,  $\Delta\rho_H$  a diferença de densidade entre os extremos do estuário e  $\Delta\rho_V$  a diferença de densidade vertical na zona média do estuário) (Dyer, 1997). Assim,  $F_B$  terá valores próximos de zero quando o estuário tem

**Tabela 1. Tipos de estuários - critério de morfologia.**

Critério	Tipos		Características distintivas
Morfologia (adaptado de Pritchard, 1967 e Fairbridge, 1980)	Alto relevo	Fiorde	Estuários de seção em U, em geral originados por glaciares, caracterizados por grandes profundidades e estratificação.
	Relevo médio	Rias ou de Vale inundado	Estuários com seção em V em que a parte terminal do vale tem uma cota abaixo do nível do mar.
	Baixo relevo	Planície costeira	De configuração em funil, com ou sem barra na ligação com o mar.
		De restinga ou <i>Bar built</i>	Estuários gerados quando uma cadeia de ilhas-barreira delimita uma zona de costa onde deságuam cursos de água doce, com restinga paralela à costa.
		Cego	Com ligação ao mar temporária.
	Delta estuarial		Com braços efêmeros fora do canal principal.
Composto	De origem tectônica	Originados por movimentos tectônicos como falhas ou subsidência local. Com canal de ligação ao mar e estuário de planície costeira no interior.	

**Tabela 2. Tipos de estuários - critério de salinidade.**

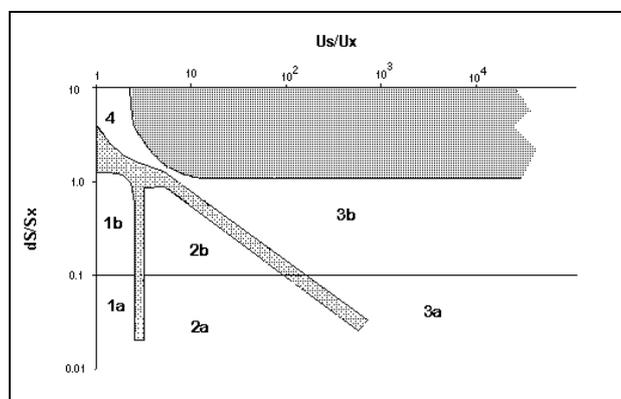
Critério	Tipos	Características distintivas
Salinidade (Pritchard, 1967)	Positivos	Onde o escoamento superficial e a precipitação excedem a evaporação, sendo a salinidade inferior à da água do mar.
	Inversos	Quando a evaporação excede a precipitação e o escoamento superficial de água doce, tornando-se hipersalinos.
	Neutros	Quando há equilíbrio entre as afluições de água doce e a evaporação.

**Tabela 3. Tipos de estuários - critério dos padrões de circulação.**

Critério	Tipos	Características distintivas
Padrões de circulação (adaptado de Hansen and Rattray, 1966 e de Bowden, 1980)	Estratificados com cunha salina	Quando há haloclina separando a camada superficial de água doce da profunda de água salgada; ocorre quando a razão entre o caudal de água doce afluente e o prisma de maré é grande e a razão entre a largura e a profundidade é pequena. $R_T / P > 1$
	Semi-estratificado ou parcialmente estratificado	Quando se observa um gradiente crescente de salinidade na vertical e para jusante. A distribuição de salinidade é governada cinematicamente pela advecção horizontal e vertical e pelo fluxo vertical não advectivo. $R_T / P \cong 0.25$
	Bem misturado ou verticalmente homogêneo	Quando o gradiente de salinidade é apenas longitudinal; ocorre quando há maré muito intensa. $R_T / P < 0.1$

**Tabela 4. Tipos de estuários - classificação de Hansen & Ratray.**

Critério	Tipos	Características distintivas
Circulação estratificação, de Hansen Ratray (Adaptado de Hansen and Ratray, 1966; Dyer, 1977; Bowden, 1980; Ibañez et al., 1997; e Dyer, 1997)	Tipo1 – estuário bem misturado	Quando ocorre fluxo para jusante e transporte de sal para montante apenas por difusão. É lateralmente homogêneo com ligeira estratificação vertical. $F_B > 1$
	Tipo 2 – estuário parcialmente misturado	Quando há inversão de corrente em profundidade. A advecção e a difusão contribuem para o fluxo salino para montante. $F_B \cong 1$
	Tipo 3	Quando há fluxo em duas camadas e a transferência de sal para montante é principalmente advectiva.
	Tipo 4 – estuário de cunha salina	Quando há uma haloclina e o fluxo de água doce se dá sobre uma superfície quase estacionária, com ocorrência de cunha salina. $F_B \cong 0$

**Figura 3. Diagrama de Hansen & Ratray.**

cunha salina, será próximo da unidade quando há mistura parcial, e os seus valores serão tipicamente superiores à unidade quando há mistura completa. Este critério de classificação pode ser combinado com o de Hansen & Ratray, e também consta da Tabela 4.

A relevância da classificação quanto à estrutura salina da coluna de água decorre do fato de o tipo de estuário ser condicionante dos esquemas de amostragem a adotar para estudos de caracterização de qualidade da água, bem como dos tipos de modelos matemáticos que são adequados à respectiva representação. É, assim, uma caracterização a ter em consideração quando o estudo do estuário tem por fim a respectiva gestão.

Sorensen (1993) propõe, quando o objetivo do estudo é a respectiva gestão, que os diferentes estuários sejam agrupados em classes semelhantes com base na salinidade, no tempo de varrimen-

to ou de retenção (*flushing*)  $T_f$  e no grau de fecho da embocadura.

O tempo de varrimento ou de retenção, definido como o tempo necessário para renovar totalmente a água de uma determinada zona do estuário, ou, por outras palavras, o tempo que, no seu movimento de vai e vem, uma partícula de água doce demora a sair do estuário, desde uma seção de montante especificada, fornece uma medida da sensibilidade do estuário a cargas poluentes.

O critério de “fecho” pelas margens ou pelas ilhas barreira é uma variável de difícil definição, embora haja uma definição jurídica de *baía fechada*, como sendo a pertencente às águas interiores de um estado costeiro. Essa definição (Tratado da Lei do Mar, Organização das Nações Unidas), baseia-se na comparação entre a área da “baía” e a de um semicírculo hipotético cujo diâmetro é a distância entre as margens na fronteira marítima dessa mesma baía. Serão águas interiores quando a área do semicírculo for inferior à da baía/estuário em questão. Dará outra medida da facilidade de renovação das águas do estuário.

Porém, o referido autor (Sorensen, 1993), não propõe quais as classes a considerar nem as gamas de valores, para cada critério, que as deveriam limitar.

Mais recentemente, foi proposta por Jay et al. (1998) uma metodologia que procura unificar as abordagens morfológica e hidrodinâmica anteriormente referidas, que têm em comum o fato de se basearem em processos físicos.

Tal sistema de classificação inclui, como variáveis independentes, a morfologia (parâmetros

caracterizadores da largura, do comprimento e da profundidade do estuário), as funções forçadoras da circulação e parâmetros adimensionais correspondentes, e os conceitos de tempo de residência e de varrimento.

Sob o ponto de vista morfológico, tal classificação baseia-se na desenvolvida para rios por Montgomery e Buffington (1993) (obra citada por Jay et al., 1998) que consiste na identificação das características de cada troço que determinam quais os processos de transporte (em particular de sedimentos) dominantes, que podem enumerar-se como segue:

- Caudal fluvial ( $Q_r$ ).
- Fluxos oscilatórios de maré ( $Q_T$ ).
- Fluxos devidos à circulação interna, associadas à presença de água de diferentes densidades ( $Q_i$ ).
- Fluxos forçados pelos processos atmosféricos ( $Q_A$ ).
- Fluxos devidos à agitação marítima ( $Q_W$ ).
- Transporte pelo gelo ( $Q_H$ ) (relevantes apenas nas grandes latitudes).

Dado que há um número elevado de combinações possíveis, entre os processos dominantes e as características morfológicas, a classificação apresenta alguma complexidade e afasta-se, substancialmente, da classificação para rios em que se inspira.

A maior parte dos estuários contém, em si mesmos, vários tipos, que vão desde o estuário fluvio-marítimo até ao que se pode designar de estuário de plataforma, onde as características estuárias se evidenciam pela presença da pluma de diluição da água menos salina e mais turbida.

Na Figura 4 apresenta-se uma proposta de classificação desenvolvida com base em Jay et al. (1998), que parte da distinção entre a presença ou a ausência de água salina e que, com base em características morfológicas, associa, a cada estuário ou troço de estuário, os processos hidrodinâmicos de transporte dominantes em cada caso.

### **Critérios de classificação da qualidade da água**

Os diversos critérios de classificação morfodinâmicos e de salinidade anteriormente apresentados não abordam aspectos relacionados com a qualidade da água e o equilíbrio dos ecossistemas, nem tomam em consideração as pressões antrópicas que os estuários suportam.

Como referido, a qualidade ambiental decorre de diferentes aspectos da qualidade da água, conduzindo, cada um de per si, a uma proposta de classificação numa classe de qualidade. A classificação ambiental de um estuário poderá ser inferida, finalmente, pela análise do resultado das classificações decorrentes de cada critério, tendo presente o tipo morfodinâmico e de estrutura salina presente na situação em apreço.

Nos parágrafos seguintes apresentam-se os diversos critérios de classificação respeitantes à qualidade da água.

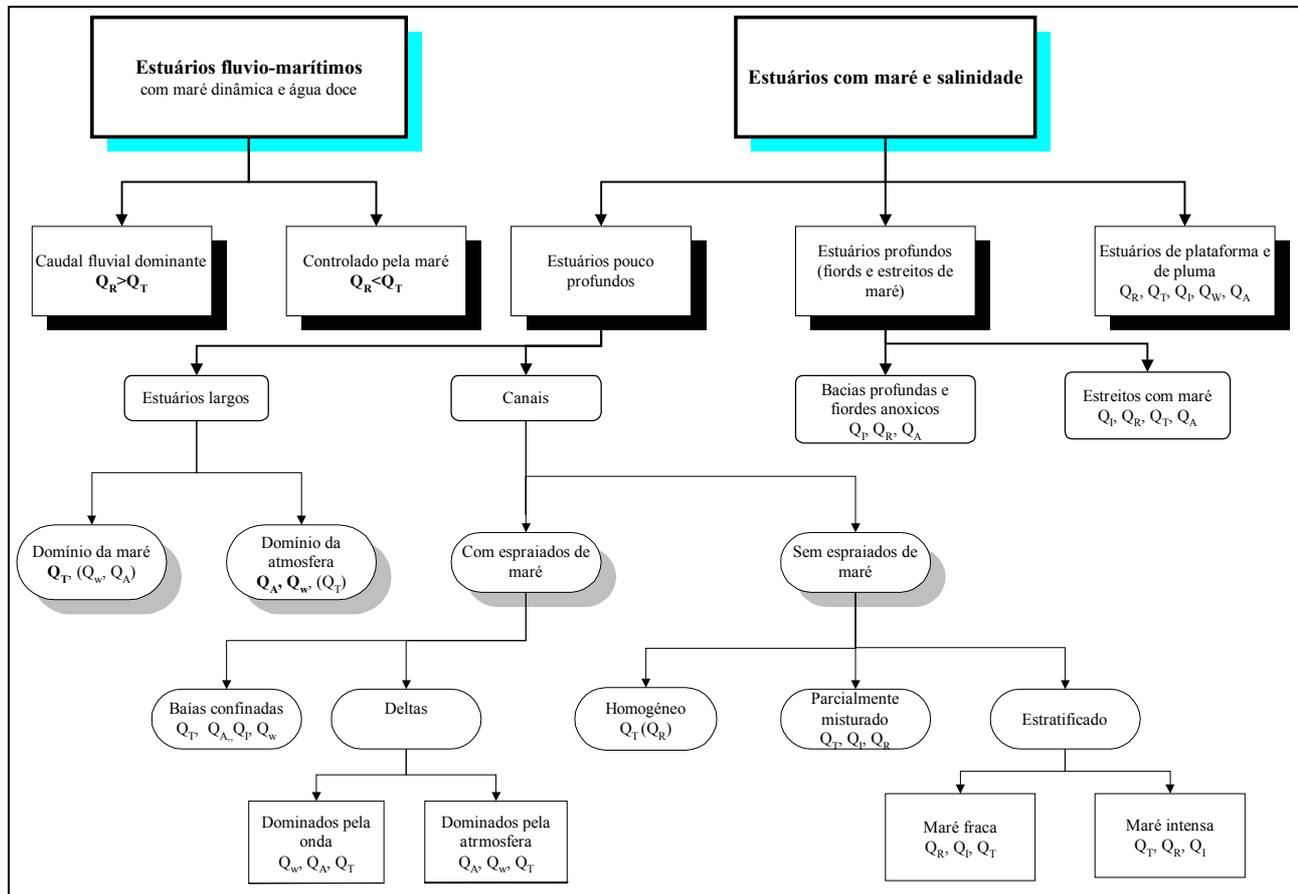
**Qualidade estética** - o critério de qualidade estética baseia-se na frequência com que são visíveis quaisquer substâncias causadoras de aspecto desagradável. Na Tabela 5 resume-se o critério adotado tal como definido na legislação nacional e comunitária (Dec. Lei 74/90 e Dir. 76/160/CEE)

**Critério sanitário** - na Tabela 6 apresenta-se uma classificação baseada em critérios sanitários que, à semelhança da qualidade estética, segue o preceituado em diplomas legais. A ideia subjacente a esta classificação é a da salvaguarda da saúde pública. Porém, a definição das gamas de concentrações dos organismos indicadores da presença de patogênicos e a seleção destes mesmos organismos, não é isenta de controvérsia já que as concentrações selecionadas não têm como suporte estudos estatísticos ou epidemiológicos.

**Estado trófico** - do ponto de vista ambiental, pela influência que pode ter na manutenção de ecossistemas estuários equilibrados e numa boa qualidade estética, o estado trófico de um estuário reveste-se da maior relevância.

Na Tabela 7 apresenta-se uma proposta de classificação baseada em três parâmetros (UN-ESC, 1992; Cardoso da Silva, 1993). Porém, outros critérios são possíveis, com base neste conjunto de parâmetros ou recorrendo a outros, em particular às cargas de nutrientes e às características hidrológicas dos estuários em estudo (Vollenweider et al., 1996). Saliente-se, porém, que esta é uma matéria onde o consenso, tanto na comunidade científica como nos gestores, está longe de ser atingido (OSPARCOM, 1997).

Nos aspectos relacionados com o estado trófico, a ligação com as características morfodinâmicas e com os valores dos parâmetros temporais de cada estuário reveste-se de interesse particular para revelar o significado dos valores das concentrações de azoto, fósforo e de pigmentos presentes.



**Figura 4. Sistema de classificação de estuários baseado na morfologia e processos de transporte (Adaptado de Jay et al., 1998).**

**Tabela 5. Classes de qualidade com base nos indicadores da qualidade estética.**

	Boa I	Aceitável II	Má III
Óleos minerais	<90% das observações com <0,3 mg/l de óleos extractáveis.	>95% das observações não detectam visualmente filme oleoso.	>5% das observações detectam visualmente filme oleoso.
Espumas – agentes tensoactivos	<90% das observações com <0,3 mg/l (lauril sulfato) de agentes tensoactivos.	>95% das observações não detectam visualmente espumas persistentes.	>5% das observações detectam visualmente espumas persistentes.
Alcatrões	<5% das observações detectam a presença visual.		

**Tabela 6. Classes de qualidade com base nos indicadores de poluição orgânica e bacteriológica.**

	Boa I	Aceitável II	Má III
Coliformes totais (NMP/100 ml)	<5000 em 80% das amostras	<10000 em 95% das amostras	>10000 em 5% das amostras
Coliformes fecais, (NMP/100 ml)	<100 em 80% das amostras	<2000 em 95% das amostras	>2000 em 5% das amostras

**Tabela 7. Classes de qualidade com base no estado trófico.**

	Oligotróficas I	Mesotróficas II	Eutrólicas III
N-Total (µg N/l)	<160 (valor médio anual)	160 - 800 (valor médio anual)	>800 (valor médio anual)
P-Total (µg P/l)	<50 (valor médio anual)	50-125 (valor médio anual)	>125 (valor médio anual)
Clorofila <u>a</u> (mg/l)	<2,5 (médias anuais)	2,5-110 (médias anuais)	>110 (médias anuais)

**Substâncias tóxicas** - se a classificação do estado trófico se reveste de dificuldades, a classificação associada à poluição por substâncias tóxicas é ainda mais problemática. De fato, não é possível propor gamas de valores absolutos para as substâncias classificadas como perigosas (por exemplo no âmbito da Convenção de Paris ou da Directiva das Substâncias Perigosas - 76/464/CEE), que conduzam à definição de um estado ambiental bom ou mau.

A avaliação é efetuada com recurso a comparações entre os resultados de observações em locais sujeitos a ações antrópicas potencialmente nocivas com outros obtidos em zonas "não perturbadas", com características morfodinâmicas e climáticas semelhantes e, se possível, em complemento, efetuando análise de tendências, estatisticamente significativas, em séries temporais de resultados respeitantes a zonas em risco.

À semelhança do que acontece para a classificação morfológica da Figura 4, e à de Hansen & Rattray, também cada estuário pode apresentar, em diferentes troços, características que o coloquem em classes de qualidade ambiental diferentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos outros aspectos que podem conduzir à classificação de estuários são ainda suscetíveis de ser tomados em consideração. Em particular, deverão ser tidos em consideração aspectos relacionados com as pressões antrópicas a que os estuários estão sujeitos e que, em grande medida, são os condicionantes dos valores dos indicadores ambientais considerados no capítulo anterior. São exemplos dessas pressões as cargas de poluição.

As classificações propostas não são entre si contraditórias ou incompatíveis. Antes representam formas diferentes de olhar os estuários, refletindo, na sua diversidade, a complexidade que é inerente a estes sistemas.

Para verificar da operacionalidade das metodologias de classificação propostas, há que aplicar os conceitos aqui reunidos a um conjunto de estuários, em particular aos estuários Portugueses, em relação aos quais se disponha de informação suficiente. Uma abordagem preliminar com esse objetivo foi já iniciada com a compilação, em forma sintética das principais características dos estuários (Cardoso da Silva, 1993; Bicudo & Cardoso da Silva, 1993). A informação acessível torna o exercício potencialmente mais exequível para os estuários do Tejo, Sado e Guadiana, e para as rias Formosa e de Aveiro, que têm sido sede de projetos de estudo do seu ecossistema e da respectiva qualidade da água.

A aplicação das metodologias descritas permitirá ajuizar da capacidade em definir classes de semelhança, ou em evidenciar diferenças entre estuários, capacidade essa que, em última análise, poderá ser útil na sustentação de medidas de gestão destinadas a proteger ou a melhorar a qualidade ambiental dos estuários em estudo.

## REFERÊNCIAS

- BICUDO, R. & CARDOSO DA SILVA, M. (1993). *Protecção das Águas Doces Costeiras e Estuarinas contra a Poluição Causada por Nitratos*. Estudo Técnico-Económico. Relatório Síntese. Relatório 42/94 - NHS. LNEC, Lisboa.
- BOWDEN, K. F. (1980). Physical Factors: Salinity, Temperature, Circulation and Mixing Processes. In: *Chemistry and Geochemistry of Estuaries*, E. Olausson & I. Cato (Eds.) 1980. John Wiley and Sons, New York.
- CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. (1963). *Estuaries*. In: *The sea - Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*, M. N. Hill (Ed.) v.2 - The Composition of Sea Water. Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York.

- CARDOSO DA SILVA, M. (1993). Indicadores do Estado do Ambiente para Águas Costeiras e Estuariais. v.3 do *Estudo Preparatório para a Definição de Projectos Elegíveis no Contexto do Fundo de Coesão*. Relatório 106/93 – NET, LNEC, Lisboa.
- CARDOSO DA SILVA, M. (1997). Caracterização Ambiental de Zonas Costeiras e Estuários. In: *Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*. Edição Eurocoast Portugal, Lisboa.
- CASPERS, H. (1967). Estuaries: Analysis of Definitions and Biological Considerations In: *estuaries*, G. H. Lauff (Ed.), American Association for the Advance of Science, nº83, Washington D. C.
- DAY, J.; HALL, C.; KEMP, M. & YANEZ-ARANCIBIA, A. (1989). *Estuarine Ecology*. Wiley-Interscience Publications. John Wiley and Sons, New York.
- DYER, K. R. (1977). *Estuaries. A Physical Introduction*. Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.
- DYER, K. R. (1997). *Estuaries. A Physical Introduction*. John Wiley and Sons, 2<sup>nd</sup> Edition, New York.
- DYER, K. R. & TAYLOR, P. A. (1973). *A Simple Segmented Prism Model of Tidal Mixing in Well Mixed Estuaries*, *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1, 411-418.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1980). The Estuary: its Definition and Geodynamic Cycle. In: *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*, E. Olausson & I. Cato (Eds.) p1-35, Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- HANSEN, D. V. & RATRAY, M. (1966). *New Dimensions in Estuary Classification*, *Limnol. and Oceanogr.*, jul., v.11 nº3.
- IBAÑEZ, C.; PONT, D. & PRAT, N. (1997). *Characterisation of the Ebre and Rhone Estuaries*. *Limnol. and Oceanogr.*, 42 (1) 89-101.
- JAY, D. A. & SMITH, J. D. (1988). Residual Circulation in and Classification of Shallow Stratified Estuaries. In: *Physical Processes in Estuaries*, J. Dronkers & W. Van Leussen (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, p21-41.
- JAY, D. A.; GEYER, W. R. & MONTGOMERY, D. R. (1998). *An Ecological Approach to Estuarine Classification*. Submitted to Estuarine Synthesis, (Publication of the Scientific Committee on the Problems of the Environment, John Hobbie, (Ed.)).
- MONTGOMERY, D. R. & BUFFINGTON, J. M. (1993). *Channel Classification, Prediction of Channel Response and Assessment of Channel Condition*. Report TFW-SH10-93-002 for the SHAMW Committee of the Washington State Timber/Fish/Wildlife agreement, p84.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Tratado da Lei do Mar*.
- OSPARCOM - OSLO AND PARIS COMMISSIONS (1997). *Draft common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the maritime Area of the Oslo and Paris Conventions*. Environmental Assessment and Monitoring Committee (ASMO), Summary record of the meeting at Copenhagen, 7-11 April.
- PRITCHARD, D. W. (1967). What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: *Estuaries*. G. H. Lauff (Ed.) American Association for the Advancement of Science, nº 83, Washington D. C.
- SORENSEN, J. (1993). The Management of Enclosed Coastal Water Bodies: the Need for a Framework for International Information Exchange. In: *The Management of Coastal Lagoons and Enclosed Bays*, J. Sorensen, F. Gable & F. Bandarin (Eds.), *Coastlines of the World*. ASCE, New York.
- TEN BRINK, B. J. E.; HOSPER, S. H. & COLIJN, F. (1991). *A Quantitative Method for Description and Assessment of Ecosystems: the Amoeba Approach*, *Marine Pollution Bulletin*, 23: 265-270.
- UN-ESC (UNITED NATIONS – ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL) (1992). *Marine Water Quality Statistics*. Statistical Commission and Economic Commission for Europe. Conference of European Statisticians, CES/716, Geneve, 15-19 junho.
- VOLLENWEIDER, R. A.; RINALDI, A.; VIVIANI, R. & TODINI, E. (1996). *Assessment of the State of Eutrophication in the Mediterranean Sea*. MEDPOL – FAO – UNEP, Athens.

## **Estuaries - Criteria for an Environmental Classification**

### **ABSTRACT**

*This work reviews the definitions of estuary that have been proposed in the literature, as well as the systems for their classification. Classifications based on morphologic, hydrodynamic and salinity distribution criteria are analysed. Some of these systems are able to identify the vertical salinity structure of the water column that can be expected as a function of dimensionless parameters. A classification based on morphological considerations, relating these aspects to the more relevant hydrodynamic processes, is also described.*

*Criteria pertaining to environmental quality are identified. In this context, the proposed approach takes into account issues referring to aesthetic and health quality, trophic state and pollution by toxic substances.*

*The dependence of the environmental conditions on the physical characteristics is mentioned. The need to base management measures on a thorough knowledge of the physical characteristics of the estuary is also stressed.*

*Finally, it is stated that the different classification systems must be tested in a number of Portuguese estuaries.*