



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NUMA BACIA HIDROGRÁFICA

Rita OLIVEIRA

Engenheira Biológica, Direcção de Engenharia, Águas do Ave, S. A., Guimarães, Portugal, tel: 351+253520770, rita.o@aguasdoave.pt

Maria Manuela C. L. LIMA

Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, tel: 351+2535103207, mmlima@civil.uminho.pt

José M. P. VIEIRA

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal, tel: 351+253604722, jvieira@civil.uminho.pt

RESUMO

A Directiva-Quadro da Água estabelece uma plataforma comum para a gestão integrada e sustentável das águas naturais. Isto implica a necessidade das entidades gestoras se equiparem com instrumentos de análise para suporte à decisão. A avaliação da interacção pressão-estado-resposta pode ser facilitada com a ajuda de ferramentas de indicadores ambientais. Estes indicadores são parâmetros ou valores derivados que descrevem ou dão informação sobre um fenómeno natural e podem revestir-se de grande utilidade para a avaliação da qualidade da água.

O presente trabalho descreve a metodologia desenvolvida na implementação de um sistema de indicadores de qualidade de águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Ave. Esta ferramenta baseia-se no modelo conceptual de Pressão-Estado-Resposta e pode ser aplicada na avaliação de três tipos de variáveis de qualidade: biológica, química e hidromorfológica.

Caracterizou-se um subconjunto do sistema de indicadores de estado. Para o estabelecimento dos indicadores, foram utilizados dados da Rede Nacional de Qualidade da Água relativos ao ano de 2002. Após normalização, aplicando operadores algébricos, o sistema de indicadores de estado foi avaliado e utilizado na análise de conformidade dos dados obtidos em monitorização extensiva com objectivos de qualidade da água especificados em instrumentos legais.

Palavras-chave: Directiva Quadro da Água, Modelo PSR, Indicadores de Qualidade da Água, Rio Ave.

1 – INTRODUÇÃO

O enquadramento teórico da DQA – Directiva Quadro da Água (UE, 2000) aponta claramente para uma visão moderna da gestão integrada dos recursos naturais, o que implica a necessidade das entidades gestoras se equiparem com modernos instrumentos de análise para suporte à decisão (VIEIRA, 2003).

Uma das grandes “novidades” introduzidas pela DQA é o conceito de qualidade ecológica. A adopção deste conceito advém da necessidade de desenvolver um quadro de avaliação da qualidade da água mais abrangente, devido principalmente ao facto de as águas de superfície se manterem com níveis de poluição relativamente elevados, apesar das medidas tomadas por força da aplicação da legislação em vigor relativa à protecção das águas. Deste modo, e no quadro de aplicação da DQA, os programas de monitorização, enquanto base para a gestão das águas, deverão ser passíveis de fornecer informações acerca de: caudais e nível das águas superficiais; qualidade ecológica e química das águas superficiais e quantidade e qualidade das águas subterrâneas. Os objectivos estabelecidos pela DQA, associados aos programas de monitorização, são os exercícios de intercalibração das condições de referência, a definição dos critérios de qualidade e standardização de métodos de recolha e análises. O exercício de intercalibração das condições de referência, ao qual corresponde o “estado ecológico excelente” permite em associação com os valores resultantes da monitorização da qualidade da água interpretar os “rácios de qualidade ecológica”, avaliando e quantificando a relação entre os valores observados e os verificados em condições de referência, para o mesmo meio hídrico (NÖGES, 2003).

A definição de instrumentos de gestão dos recursos hídricos é baseada em sistemas de informação ambiental, resultantes de programas de monitorização. A implementação de programas de monitorização, cumprindo uma das exigências da DQA, tem como principal objectivo uma análise coerente e exhaustiva do estado das águas, funcionando como ferramentas de suporte à tomada de decisão no processo de gestão dos recursos hídricos.

Os objectivos propostos pela DQA, as actuais exigências de quantidade e qualidade da água, assim como os problemas de poluição da água, numa bacia hidrográfica, conduziram à necessidade de construir um sistema de indicadores de qualidade das águas superficiais. Esta ferramenta de gestão e de apoio à decisão permite avaliar a pressão-estado-impacto das actividades humanas na qualidade da água.

De facto, as águas superficiais de uma bacia hidrográfica são normalmente submetidas a inúmeras pressões e alterações ambientais resultantes principalmente das actividades humanas. À escala de uma bacia hidrográfica existe a necessidade de se estabelecerem metodologias que permitam a monitorização sistemática da qualidade da água para a posterior caracterização do seu estado, através de uma análise correcta dos dados recolhidos, para que as actuais e futuras pressões existentes possam ser identificadas e compreendidas. A avaliação da interacção pressão-estado-impacto poderá ser facilitada recorrendo a sistemas de indicadores ambientais.

O presente trabalho descreve a metodologia baseada no modelo conceptual PSR (da designação original *Pressure, State, Response*), tendo como principal objectivo a definição de valores finais para os indicadores ambientais. A metodologia proposta foi aplicada na Bacia Hidrográfica do Rio Ave e centrou-se na adequada selecção de um sistema de indicadores. Devido à inexistência de dados com vista a avaliação de elementos de qualidade biológica, a descrição ambiental desta bacia hidrográfica baseou-se unicamente em dois elementos de qualidade: físico-químicos e hidromorfológicos.

A organização do trabalho é a seguinte: Uma revisão bibliográfica sobre sistemas de indicadores é apresentada na secção seguinte; a Secção 3 descreve a metodologia utilizada na construção do

sistema de indicadores e o caso de estudo; os resultados obtidos poderão ser encontrados na Secção 4; a Secção 5 é a secção final, onde são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

2 – SISTEMAS DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS. ESTADO DA ARTE

A caracterização do estado do ambiente e, em particular, dos efeitos e grau de poluição em rios, foi iniciada com base em índices biológicos, no início do século XX (SILVA, 2002).

Os Sistemas de Indicadores Ambientais, como ferramenta de caracterização, constituem actualmente, objecto de investigação e são, entre os instrumentos de apoio à gestão, os que merecem particular atenção no quadro da aplicação da DQA.

Os Sistemas de Indicadores Ambientais, são um conjunto de variáveis associadas a determinado intervalo de tempo e domínio espacial, cujo significado é passível de julgamento com recurso a critérios de referência e objectivos, constituindo uma forma organizada de caracterizar um determinado sistema em estudo. Segundo a OCDE, um indicador deve ser caracterizado pela sua relevância, consistência e mensurabilidade (DROTRH, 2001).

Na DQA é estabelecido um conjunto de objectivos e metas, no sentido de se atingir o “bom estado” de todas as águas até 2015. O “bom estado” exige que sejam alcançados o “bom estado químico” e o “bom estado ecológico” de todas as águas, nomeadamente das águas superficiais. O “bom estado ecológico” significa o estado ecológico atingido por uma determinada massa de água superficial demonstrado como sendo não significativamente influenciado pelas actividades humanas, mas também, como sendo um ecossistema rico, equilibrado e sustentável (LOIGU & LEISK, 2001).

2.1 Casos de Aplicação

Vários autores e organizações internacionais têm proposto diferentes modelos conceptuais de sistemas de indicadores para a caracterização da qualidade ambiental. Ao nível de cada país, em particular dos países industrializados, têm sido adoptados sistemas de indicadores diversificados, destinados a estruturar os respectivos relatórios do estado do ambiente (SILVA, 2002).

Em Portugal, têm sido desenvolvidos vários estudos na área dos indicadores e índices ambientais. Destaca-se a aplicação por MANO (1989) de critérios de classificação da qualidade da água dos rios Portugueses, anterior à publicação da DQA, que consistiu no desenvolvimento de um sistema de índices para avaliação de qualidade da água superficial nas bacias hidrográficas dos rios Minho e Ave.

A metodologia proposta por MANO (1989) consistiu na aplicação de um Índice de Qualidade da Água (IQA) e baseou-se na metodologia utilizada em Inglaterra e Escócia, proposta pelo *Scottish Development Department* (SDD), em 1976, 1981 e 1983. Esta metodologia, que utiliza funções de qualidade para transformar as concentrações das variáveis em valores de qualidade, baseia-se em: vectores de qualidade (variáveis que “melhor” descrevem a qualidade da água superficial), funções de qualidade, factores de ponderação, funções de agregação e numa escala de qualidade do índice geral de qualidade proposta por House, em 1986. Depois de testadas seis funções de agregação, o autor concluiu que a formulação aritmética ponderada modificada – APM – (Eq. (1)), é a que melhor reproduz uma determinada qualidade da água.

$$IQA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Subíndice}_i \times P_i \right)^2 \quad (1)$$

Na Eq. (1) as funções de qualidade são utilizadas para o cálculo de cada *Subíndice_i*, sendo *P_i* o factor de ponderação correspondente a cada vector de qualidade *n*.

Mano testou e simulou a introdução de variáveis alternativas, assim como o efeito das ponderações na formulação utilizada e concluiu que os IQA's permitem, para um conjunto de dados, avaliar a qualidade da água com maior representatividade, i.e., detectar situações que são mascaradas por outros sistemas de classificação.

O trabalho desenvolvido por este autor, no quadro dos estudos efectuados para a elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica, resultou numa metodologia de caracterização das águas superficiais interiores (rios e albufeiras), em que se recorre à agregação de parâmetros de qualidade da água seleccionados de acordo com os usos pretendidos para o meio em estudo, de modo a construir índices que permitem definir a classe de qualidade em que se enquadra o trecho aquático em estudo.

BARROS et al. (1992) testaram a aplicabilidade dos sistemas de indicadores de qualidade da água, comparando a metodologia proposta pelo SDD com a metodologia utilizada em Espanha, na altura. Nesta última, a selecção das variáveis analíticas que intervêm no cálculo do índice, distingue dois tipos de variáveis: X e Y. As variáveis X são consideradas variáveis básicas, de concentração sempre significativa para caracterizar a qualidade, qualquer que seja o seu valor. As variáveis Y, consideradas complementares, afectam apenas o potencial de utilização da água condicionado pela sua qualidade a partir de determinada concentração, e para concentrações menores ou nulas não têm significado para caracterizar a qualidade. Tal como o SDD, esta metodologia é baseada em: vectores de qualidade (variáveis X e Y), funções de qualidade (utilizadas no cálculo de cada Valor de Qualidade (Q_i), factores de ponderação (P_i , definidos de acordo com o tipo de variável e calculados de acordo com a Eq. (2)), funções de agregação (Eq.(3)) e numa escala de qualidade (baseada na proposta de PROVENCHER & LAMONTAGNE, 1977, referidos em MANO,1989).

$$P_i = \frac{(1/a_{ij})}{\sum_{j=1}^4 (1/a_{ij})} \quad (2)$$

Uma vez que o índice de qualidade da água oscila entre zero e cem, a soma dos coeficientes de ponderação será igual a um. Para o cálculo da ponderação, P_i é atribuído a cada variável um coeficiente a_{ij} , em que j varia entre 1 (variável muito importante) e 4 (variável pouco significativa), consoante a influência relativa de cada Q_i .

A expressão matemática simplificada para o cálculo do índice de qualidade da água, utilizada em Espanha, é uma função multiplicativa e descrita na equação seguinte:

$$IQA = \sum (Q_i \times P_i) \quad (3)$$

Depois de testadas as duas metodologias na Bacia Hidrográfica do Rio Cávado, os autores concluíram que embora os resultados obtidos não fossem directamente comparáveis, em termos tendenciais conduziram a idênticas classificações de qualidade, não se verificando diferenças acentuadas. As diferenças evidenciadas, deveram-se essencialmente às diferentes funções de agregação que lhes estão subjacentes, uma vez que as funções de qualidade e a ponderação atribuída nas duas metodologias não apresentam diferenças significativas. Na primeira metodologia, trata-se de uma função aditiva, Eq. (1). No segundo caso, a função de agregação é uma função multiplicativa, Eq. (3). A primeira situação, parece ter conduzido ao mascaramento dos valores de qualidade mais baixos tributáveis a qualquer das variáveis que constituíram o vector de qualidade utilizado, enquanto que na segunda situação verifica-se o acentuar da tendência para o decréscimo da qualidade da água com o aumento da distância à nascente, situação típica da generalidade dos cursos de água em Portugal,

devido ao aumento da densidade populacional e ao desenvolvimento das zonas costeiras (BARROS *et al.*, 1992).

SILVA (2002), posteriormente à publicação da DQA, propôs uma metodologia baseada na utilização de instrumentos de gestão, os sistemas de indicadores ambientais, para a caracterização da qualidade da água. O modelo de enquadramento adoptado foi o modelo PSR, Pressão – Estado – Resposta, ensaiado no estuário do Tejo. A metodologia adoptada para o processo de desenvolvimento de indicadores comporta um conjunto de passos que incluem, além da informação de contexto, a identificação das zonas homogéneas no estuário em estudo, definidas com base em critérios morfológicos, de salinidade e de gestão, e das escalas de tempo relevantes, para definir os domínios de integração espacial e temporal das variáveis observadas, que conduzem aos valores significativos (variáveis observadas após integração). A estes é removida a dimensão, sendo normalizados por aplicação de operadores algébricos (transformada hiperbólica) e operadores gráficos (funções de qualidade), inferindo-se a conformidade com a qualidade ambiental (valores de referência e valores objectivo) a partir dos valores dos indicadores normalizados. A metodologia inclui a definição de classes de qualidade, cumprindo as exigências da DQA, definidas no Quadro 1.

Quadro 1 Definição de classes de estado de qualidade, com base nos indicadores de estado normalizados (SILVA, 2002)

CLASSES DE QUALIDADE	ESTADO DE QUALIDADE
Todos os Indicadores de Estado = 100	Excelente
Mais do que ½ dos Indicadores de Estado = 100 e todos ≥ 50	Bom
Menos do que ½ dos Indicadores de Estado = 100 e todos ≥ 50	Degradado
Um (ou mais) Indicadores de Estado ≤ 50	Mau

Igualmente, após a publicação da DQA, a avaliação do estado ecológico dos rios Estónios baseada na classificação, entre outros, do estado químico, tem vindo a ser trabalhada ao longo de vários anos, tendo em consideração os dados de monitorização dos rios, ao longo de um largo período de tempo. Outras referências relativas a diferentes métodos para avaliar o estado geral da qualidade da água dos rios podem ser encontradas em NÖGES (2003).

A metodologia para a construção de um Sistema de Indicadores de Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Lago Peipsi (Estónia), baseado no estado químico, utiliza as classes de qualidade (Quadro 2) em detrimento dos índices de qualidade da água. Para a caracterização do estado químico, é baseada nas variáveis que “melhor” descrevem a qualidade das águas superficiais (oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, amónia, azoto total e fósforo total), em funções de qualidade e factores de ponderação, tal como as metodologias descritas anteriormente.

A função de agregação, Eq. (4) foi construída, combinando os factores de ponderação (P_i) e os subíndices das variáveis (S_i), calculados através das funções de qualidade, num único valor adimensional, para caracterizar o estado geral (EG) da qualidade da água (NÖGES, 2003).

$$EG = (SI_{O_2\%})^{P_1} \times (SI_{CBO_7\%})^{P_2} \times (SI_{NH_4\%})^{P_3} \times (SI_{N_{tot}\%})^{P_4} \times (SI_{P_{tot}\%})^{P_5} \quad (4)$$

As classes de qualidade da água, definidas de acordo com as exigências da DQA, oscilam entre zero e 100, à semelhança das metodologias descritas anteriormente e foram definidas, de acordo com a descrição apresentada no Quadro 2, com vista à classificação do estado geral da qualidade da água dos rios Estónios (NÖGES, 2003).

Quadro 2 Classes de qualidade da água adoptadas no sistema utilizado na Estónia para a caracterização do estado químico dos rios (NÖGES, 2003)

EG	CLASSE DE QUALIDADE	ESTADO QUÍMICO
[100 – 90]	Classe I	Elevado
[90 – 75]	Classe II	Bom
[75 – 55]	Classe III	Razoável
[55 – 35]	Classe IV	Pobre
[35 – 0]	Classe V	Mau

2.2 O Modelo Conceptual

A classificação de massas de água, tendo por base a qualidade da água, presume, antes de mais a escolha de indicadores representativos da qualidade da água e posteriormente a selecção de parâmetros mensuráveis e representativos desses indicadores (LOIGU & LEISK, 2001).

A escolha de um indicador deverá resultar da aplicação de uma série de critérios descritos em OLIVEIRA *et al.* (2005). Deverá apresentar-se como quantitativo, abrangente, facilmente mensurável e passível de ser monitorizado regularmente a um custo não excessivo.

A classificação de massas de água baseada na qualidade da água deverá ter em conta parâmetros facilmente mensuráveis em diferentes programas de monitorização e aceites como sendo bons indicadores da qualidade da água. Do mesmo modo, os indicadores do estado químico deverão caracterizar o estado da qualidade da água e os principais tipos de poluição de um determinado sistema em estudo.

A maioria dos modelos conceptuais para a construção de sistemas de indicadores baseia-se no modelo PSR (NÖGES, 2002), actualmente adoptado pela OCDE e pelo EUROSTAT e utilizado no contexto das caracterizações do estado do ambiente realizadas por estas instituições (OCDE, 2003).

O modelo conceptual PSR (Figura 1) pretende desenvolver indicadores capazes de demonstrar e explicar as relações causa-efeito entre as actividades humanas susceptíveis de exercerem pressões negativas no ambiente e as consequentes alterações sobre e no estado do ambiente, derivadas dessas pressões e a respectiva resposta da sociedade a essas alterações (LAMMERS & GILBERT, 1999).

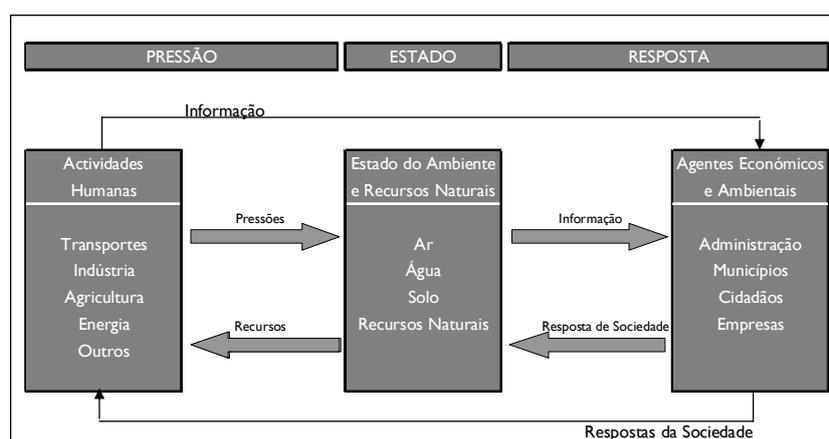


Figura 1 Modelo Pressão – Estado – Resposta (adaptado de OCDE, 2003)

Este modelo é composto por três tipos de indicadores: os indicadores de pressão, de estado e de resposta. Os indicadores de pressão pretendem descrever as pressões das actividades humanas sobre o meio ambiente e que se traduzem em alterações na qualidade do ambiente e na quantidade dos recursos naturais. Os indicadores de estado pretendem caracterizar a qualidade do ambiente, a qualidade e quantidade dos recursos naturais, permitindo uma visão global e imediata do seu estado.

Os indicadores de resposta pretendem evidenciar os esforços efectuados pela sociedade, em resposta a alterações no estado do ambiente.

O modelo PSR pretende demonstrar estas relações causa-efeito, e auxiliar os decisores e público em geral, a reconhecer os factores ambientais, económicos e outros como interligados. Este modelo é considerado um modelo neutro, dado que apenas considera e tenta perceber as inter-relações existentes e nunca se estas exercem impacto positivo ou negativo sobre o ambiente, tendo a vantagem de ser um modelo mais fácil de ser compreendido e usado. No entanto, não devem ser descuradas as relações mais complexas que existem nos ecossistemas, nas relações ambiente-economia e ambiente-sociedade.

O modelo PSR constituiu a base inicial para o desenvolvimento de outros modelos, mais sofisticados, como seja o caso do modelo DPSIR (da designação original *Driving force, Pressure, State, Impact, Response*), actualmente utilizado pela Agência Europeia do Ambiente (AEA) e que constitui a base dos actuais Relatórios sobre o Estado do Ambiente (REKOLAINEN *et al.*, 2003).

Este modelo de avaliação ambiental integrada tem em consideração os sectores de actividade humana geradores das pressões (as *driving forces*), e considera elementos de impacto sobre o ambiente que requerem respostas materializadas em diversos tipos e níveis de política macro-económicas ou sectoriais. Este modelo conceptual procura, em especial, evidenciar as interações entre o ambiente e o desenvolvimento sócio-económico, sendo, ainda, particularmente, útil na estruturação da recolha de informação, evidenciando o facto de que o estado do ambiente não pode ser interpretado sem ter em consideração as pressões a que está submetido.

3 – METODOLOGIA ADOPTADA

Neste trabalho apresenta-se uma parte da metodologia desenvolvida na implementação de um sistema de indicadores na bacia hidrográfica do rio Ave, baseada no modelo conceptual Pressão-Estado-Resposta e aplicada aos parâmetros químicos e hidromorfológicos caracterizadores da qualidade da água. Apenas se inclui, no presente trabalho, a caracterização de um sub-conjunto do sistema de indicadores de estado, estando fora do contexto deste estudo os indicadores de pressão e resposta.

Para a construção do sub-conjunto dos indicadores de estado, foram estudados dois processos de cálculo: Abordagens A e B.

Na Abordagem A, o processo foi aplicado aos indicadores mais pertinentes, associados a cada IQA. Como resultado, pretende-se através desta abordagem, a obtenção de uma classificação desagregada por item, informação sobre a qualidade da água, assim como perceber as diferenças entre o estado real da qualidade da água e o estado expectável. Esta abordagem permite associar o estado real da qualidade da água de parte da bacia hidrográfica do rio Ave à respectiva classe de qualidade da água, baseada nos indicadores de estado.

Através da aplicação da abordagem B, pretende-se obter a classificação geral da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ave, através da agregação de todos os itens seleccionados em conformidade com a legislação Portuguesa vigente sobre a matéria.

3.1 Definição da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Ave (Figura 2), localizada no norte de Portugal, ocupa uma área de cerca de 1390 km², dos quais cerca de 247 Km² e 340 Km², correspondem respectivamente, às áreas das bacias dos seus dois afluentes mais importantes – os rios Este e Vizela.

Nos últimos trinta anos, a bacia hidrográfica do Ave, com excepção das zonas a montante, contíguas à nascente, tem sido sujeita a um ritmo de descargas de efluentes, sem qualquer tipo de

tratamento prévio, provenientes da actividade industrial, nomeadamente a relativa à do sector têxtil, fortemente implantado nesta região. Toda esta situação contribuiu de forma determinante para a deterioração da qualidade da água, resultando em água imprópria para vários usos: consumo humano, utilização industrial, usos recreativos, pesca e irrigação, representado, deste modo, um perigo grave para a saúde pública.

A parte nordeste, considerada a “Zona de referência” e a parte central, a “Zona mais poluída” da bacia hidrográfica do rio Ave, foram seleccionadas como área de estudo do presente trabalho, representada por estações de qualidade da água, referenciadas na Figura 2.

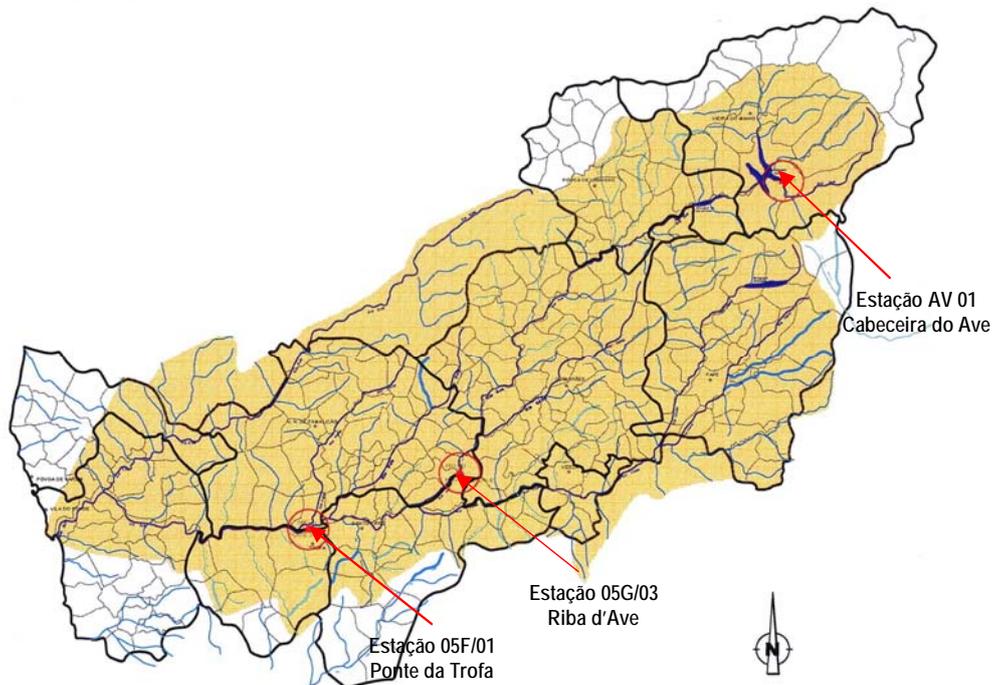


Figura 2 Bacia hidrográfica do rio Ave e localização de 3 estações de qualidade da água

3.2 Índice de qualidade da água

A definição e identificação dos IQA's obedecem a um determinado número de critérios relacionados com existência de uma obrigação legal e a relação de equilíbrio entre o estado ecológico, a vida aquática e a saúde pública. A sua selecção está também relacionada com os principais problemas de poluição existentes, tendo igualmente em consideração a disponibilidade de dados, pois a ausência de dados limita a possibilidade de construção de indicadores.

De acordo com os critérios definidos em OLIVEIRA *et al.* (2005) e com os dados disponíveis para o rio Ave, a questões mais relevantes para o caso de estudo são: eutrofização, contaminação por bactérias, presença de matéria orgânica, balanço de oxigénio e emissão de metais pesados. Posteriormente à identificação dos IQA's a considerar e tendo em mente o modelo conceptual PSR, foi possível construir o Quadro 3, onde estão representadas as variáveis seleccionadas e respectivos indicadores.

3.3 Dados disponíveis

A monitorização ambiental da bacia hidrográfica do rio Ave, através da rede de monitorização de recursos hídricos superficiais desenvolvida pelo INAG/SNIRH, é constituída por 24 estações de

Quadro 3 Variáveis e indicadores propostos

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA		INDICADORES PROPOSTOS		
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA
Eutrofização e Nível Trófico	Carga de nutrientes: azoto (N) e fósforo (P) (origem doméstica e industrial)	Nutrientes: Azoto total (N) Fósforo total (P)	Oxigénio Dissolvido (mg O ₂ /l) Nitratos (mg NO ₃ /l) Nitritos (mg NO ₂ /l) Azoto amoniacal (mg NH ₄ /l) Fosfatos (mg P ₂ O ₅ /l) Clorofila a (µg/l) Fitopigmentos (µg/l)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais; • Melhoria da relação água residual drenada e recolhida / água residual tratada; • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais de origem industrial; • Implantação de “boas” práticas na aplicação de pesticidas e fertilizantes na agricultura.
Contaminação por Bactérias	Qualidade da água para consumo humano: obrigação legal e protecção da saúde pública.	Carga de Coliformes Totais e Fecais	Coliformes Totais (n.º/100 ml) Coliformes Fecais (n.º /100 ml)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais; • Melhoria da eficiência de tratamento.
Balanco de Oxigénio	O excesso e o défice de oxigénio têm influência significativa nos ecossistemas. CBO ₅ permite “avaliar” o efeito da descarga de águas residuais no balanço de oxigénio.	Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	CBO ₅ (mg O ₂ /l) Oxigénio Dissolvido (% Sat) Oxigénio Dissolvido (mg O ₂ /L)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais; • Melhoria da eficiência de tratamento.
Metais pesados	Descarga de metais pesados nos cursos de água (e.g. chumbo, crómio, mercúrio, cádmio, zinco, arsénio) de várias origens (indústria, agricultura e doméstica).	Concentração de Metais Pesados	Pb Cr Hg Cd Zn As	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento das águas residuais de origem industrial; • Adopção de “tecnologia limpas” nos processos industriais.
Matéria Orgânica	Descargas de matéria orgânica resultantes das várias actividades humanas (domésticas, industriais e agricultura).	Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅) Carência Química de Oxigénio (CQO)	Matéria Orgânica Oxidável	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais; • Melhoria da eficiência de tratamento.
Qualidade Estética (Cor)	Presença de cor	Cor	Presença de Cor (Não visível da diluição 1:20)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da taxa de tratamento de águas residuais de origem industrial; • Adopção de “tecnologia limpas” nos processos industriais.
Regime Hidrológico	Hidromorfológico	---	Caudal mínimo: caudal, caudal natural e caudal artificial	---
Condições Morfológicas	Hidromorfológico	---	Varição da profundidade e largura do leito; Estrutura e substrato do leito; Estrutura / Estado de conservação da zona ribeirinha.	---

qualidade da água, 8 estações hidrométricas automáticas e 20 estações meteorológicas. Até Janeiro de 2005, apenas se encontravam disponíveis dados de qualidade da água, provenientes de 9 estações.

Os indicadores de estado apresentados no presente trabalho foram calculados com base nos dados recolhidos em 3 estações da Rede Nacional de Qualidade da Água, durante o ano de 2002 (Quadro 4).

Quadro 4 Caracterização das Estações de Qualidade da Água localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Ave, em Dezembro de 2005 (SHIRH, 2005)

CARACTERÍSTICAS	ESTAÇÃO (CÓDIGO E DESIGNAÇÃO)		
	AV 01 CABECEIRA DO AVE	05G/03 PONTE DE RIBA D'AVE	05F/01 PONTE DA TROFA
Curso de Água	Ave	Ave	Ave
Altitude (m)	---	101	52
Coordenadas	M (m)	178000	164400
	P (m)	491100	486300
Area da Bacia (km ²)	---	476	979
Distância em relação à Foz (km)	---	40	22,5
Objectivo	Referência, Piscícola	Impacto	Impacto, Fluxo
Tipo	Convencional	Convencional	Convencional
Período de Operação	Mar 00 – Mai 05	Mai 98 – Mai 05	Mai 98 – Dez 04

Estas estações foram seleccionadas considerando a hipótese simplificativa de que cada estação de amostragem define qualitativamente o troço que lhe está a montante (MANO, 1989). A estação AV01 é a estação mais próxima da nascente do rio Ave. É uma estação de referência e piscícola, que permite avaliar as características naturais básicas e a recolha de informação prévia à influência antropogénica, assim como avaliar a aptidão de um determinado curso de água para a vida piscícola. As estações 05G/01 e 05F/01, são estações de impacto, localizadas numa área da bacia hidrográfica com forte influência antropogénica. A estação 05F/01 é igualmente uma estação de fluxo, que permite avaliar a evolução espacial da qualidade da água de um curso de água.

3.4 Avaliação dos parâmetros e critérios adoptados

Os indicadores de estado foram construídos com o recurso aos principais parâmetros referidos na literatura e no caso da abordagem A, de acordo com os temas expostos no Quadro 5.

Os valores observados são transformados em indicadores de estado, recorrendo aos valores de referência definidos na legislação Portuguesa e Europeia: VMA (Valor Máximo Admissível); e VMR (Valor Máximo Recomendado).

No presente trabalho, os indicadores de estado foram construídos, tendo em consideração, os valores objectivo (VMA), no caso de existirem. Caso contrário, recorreu-se aos valores de referência (VMR).

No Quadro 5 estão indicados os valores adoptados como valores objectivo para os valores observados. Os valores objectivo, especificados em instrumentos legais, foram definidos de acordo com os principais usos da água da área de estudo, caracterizados no Quadro 4.

3.5 Metodologia de definição dos indicadores de estado

Os indicadores de estado para as duas abordagens referidas anteriormente foram calculados através da normalização dos valores observados, aplicando a transformada hiperbólica como operador algébrico, de acordo com a metodologia representada na Figura 3.

Quadro 5 Valores objectivo adoptados

IQA	PARÂMETRO	ESTAÇÃO AV01 VALORES OBJECTIVO (Anexo X, Decreto-Lei N.º 236/98)	ESTAÇÕES:05G/03 E 05F/01 VALORES OBJECTIVO (Anexo XXI, Decreto-Lei N.º 236/98)
Eutrofização e Nível Trófico	OD (% Sat)	50 (VMA)	50 (VMA)
	Nitritos (mg NO ₂ /L)	0,03 (VMR)	---
	Amónia (mg NH ₄ /L)	1 (VMA)	1 (VMA)
	Fósforo (mg P/L)	---	1 (VMA)
	SST (mg /L)	25 (VMA)	---
Balanço de Oxigénio	OD (% Sat)	50 (VMA)	50 (VMA)
	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	6 (VMR)	5 (VMA)
Matéria Orgânica	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	6 (VMR)	5 (VMA)
Variável Auxiliar	pH (Sorensen)	6,0 – 9,0 (VMA)	5,0 – 9,0 (VMA)

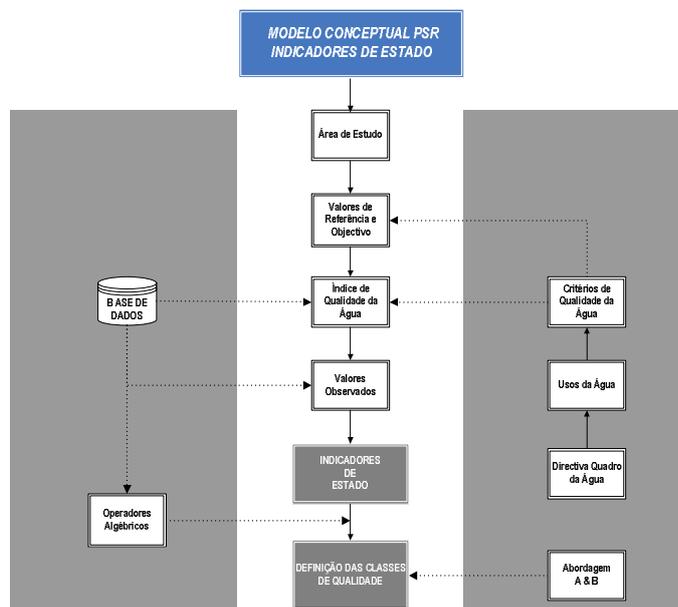


Figura 3 Metodologia adoptada no cálculo dos indicadores de estado

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos através das abordagens A e B.

4.1 Resultados obtidos por aplicação da abordagem A

A abordagem A consistiu em avaliar, para cada uma das estações estudadas, os Indicadores Mensais (IM) e os Indicadores Anuais (IA), relativos ao ano civil de 2002, para cada IQA definido no Quadro 5.

No caso da temática “Eutrofização”, foi calculado um indicador parcial – IEM_{Parcial}, calculado apenas com base em algumas das variáveis indicadas para a temática “Eutrofização e Nível Trófico”, descritas no Quadro 3. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 10.

É importante referir a particularidade do indicador de estado relativo à temática “Balanço de Oxigénio”. Este indicador foi calculado em função de duas variáveis – OD e CBO₅. Deste modo, ao aplicar a classificação descrita no Quadro 1, corre-se o risco de obter para um mesmo valor de

indicador normalizado, dois estados de qualidade diferentes (aplicável no caso dos estados de qualidade “Bom” e Degradoado”). Nestas circunstâncias o estado final considerado é o “pioir” dos dois estados.

4.2 Resultados obtidos por aplicação da abordagem B

A abordagem B consistiu em avaliar, para cada uma das estações estudadas e para o ano civil de 2002, os Indicadores Globais Mensais (IGM) e o Indicador Global Anual (IGA). Os respectivos estados de qualidade foram calculados, com base na metodologia proposta por SILVA (2002) e na classificação descrita no Quadro 1. Os resultados relacionados com os IGM’s são apresentados no Quadro 6.

Relativamente ao Indicador Global Anual, foram calculados dois tipos de indicadores: o Indicador Global Anual Individual (IGA_i), i.e., um indicador anual para cada uma dos parâmetros avaliados (Quadro 7) e o Indicador Global Anual Total (IGA_T), baseado na média anual (Quadro 8), ambos calculados para cada uma das três estações.

4.3 Discussão dos resultados

Uma vez que a nível nacional, a classificação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ave, realizada pelo INAG (Instituto da Água), é baseada numa metodologia do tipo índice de qualidade da água, resultante da combinação entre o somatório de parâmetros físico-químicos e factores de ponderação, seria interessante efectuar a comparação entre os resultados obtidos pelo sistema de classificação do INAG (calculada através da aplicação de critério de classificação próprio dos cursos de águas superficiais, de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos) e os resultados obtidos através das duas abordagens apresentadas no presente trabalho. Tal não foi possível. Os resultados disponíveis na base de dados do INAG de 2001 e no caso das estações 05G/03 e 05F/01, são baseados em coliformes totais e fecais e fosfatos, respectivamente. No caso da estação AV01, apesar dos resultados disponíveis serem relativos a 2002, são, contudo, baseados apenas nos parâmetros coliformes fecais e totais.

Os resultados obtidos pelas duas abordagens são apresentados no Quadro 9. Estes aparentam demonstrar, no caso da abordagem B classes de qualidade da água mais elevadas, quando comparadas com as obtidas por aplicação da abordagem A.

Quadro 6 Estados de Qualidade obtidos para as três estações, em cada uma das observações

ESTAÇÃO AV 01 7 (sete) Parâmetros		ESTAÇÃO 05G/03 6 (seis) parâmetros		ESTAÇÃO 05G/03 6 (seis) parâmetros	
DATA DA COLHEITA	ESTADO DE QUALIDADE	DATA DA COLHEITA	ESTADO DE QUALIDADE	DATA DA COLHEITA	ESTADO DE QUALIDADE
09-Jan-02	EXCELENTE	09-Jan-02	EXCELENTE	09-Jan-02	EXCELENTE
06-Fev-02	EXCELENTE	30-Jan-02	BOM	30-Jan-02	EXCELENTE
12-Mar-02	EXCELENTE	06-Fev-02	BOM	06-Fev-02	BOM
08-Abr-02	---	26-Fev-02	---	26-Fev-02	---
13-Mai-02	EXCELENTE	12-Mar-02	BOM	12-Mar-02	BOM
19-Jun-02	BOM	08-Abr-02	EXCELENTE	08-Abr-02	EXCELENTE
16-Jul-02	---	13-Mai-02	BOM	13-Mai-02	BOM
06-Ago-02	---	19-Jun-02	BOM	19-Jun-02	BOM
16-Set-02	---	16-Jul-02	---	16-Jul-02	---
14-Out-02	MAU	06-Ago-02	BOM	06-Ago-02	MAU
13-Nov-02	EXCELENTE	16-Set-02	MAU	16-Set-02	MAU
10-Dez-02	EXCELENTE	14-Out-02	BOM	14-Out-02	BOM
		13-Nov-02	BOM	13-Nov-02	BOM
		10-Dez-02	EXCELENTE	10-Dez-02	EXCELENTE

Quadro 7 IGA_Is obtidos para cada uma das estações

ESTAÇÃO AV 01		ESTAÇÃO 05G/03		ESTAÇÃO 05F/01	
PARÂMETRO	IGA _I	PARÂMETRO	IGA _I	PARÂMETRO	IGA _I
OD (% Sat)	100	OD (% Sat)	100	OD (% Sat)	100
CBO ₅ (mg O ₂ /L)	100	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	92	CBO ₅ (mg O ₂ /L)	96
SST (mg /L)	100	SST (mg /L)	100	SST (mg /L)	100
Amónia (mg NH ₄ /L)	100	Amónia (mg NH ₄ /L)	79	Amónia (mg NH ₄ /L)	82
pH (minV) (Soreesen)	100	pH (minV) (Soreesen)	100	pH (minV) (Soreesen)	100
pH (maxV) (Soreesen)	100	pH (maxV) (Soreesen)	100	pH (maxV) (Soreesen)	100
Nitritos (mg NO ₂ /L)	93	---	---	---	---

Quadro 8 Estados de Qualidade baseados nos IAG_Ts, obtidos para o ano civil de 2002

ESTAÇÃO	AV 01	05G/03	05F/01
ESTADO DE QUALIDADE	BOM	BOM	BOM

Quadro 9 Resultados obtidos pela aplicação das duas diferentes abordagens

ESTAÇÃO	AV 01			05G/03			05F/01		
	IEA _{Parcial}	IBOA	IMOA	IEA _{Parcial}	IBOA I	IMOA	IEA _{Parcial}	IBOA	IMOA
ESTADO DE QUALIDADE Abordagem A	<u>B</u>	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>B</u>	<u>D</u>	<u>D</u>	<u>B</u>	<u>D</u>	<u>D</u>
GAI									
ESTADO DE QUALIDADE Abordagem B	<u>B</u>			<u>B</u>			<u>B</u>		

Legenda:

B – Bom; E – Excelente; D – Degradado

5 – CONCLUSÕES

A classificação final da qualidade da água da bacia hidrográfica do Ave, foi efectuada através dos estados ou classes de qualidade, respeitantes a diferentes graus de agregação da informação, isto é, por temática (abordagem A) e pelo conjunto dos parâmetros – Indicador Global (abordagem B). Este exercício de organização da informação no formato adequado para a construção dos indicadores e para a identificação das classes de qualidade, revelou eficácia e obtenção de classificações mais realistas (e pessimistas) no caso da abordagem A, pelo que se conclui que a informação e posterior definição das classes de qualidade deverá ser agregada por temática.

Perante os resultados obtidos nas duas abordagens, o método aplicado afigura-se pouco restritivo e não revelador do estado real da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Ave, não só pelo reduzido espectro de parâmetros e temáticas abordadas, o que por si só torna o método aplicado limitativo, mas também pelo facto de os valores objectivos considerados, embora definidos por normativo legal nacional, serem pouco restritivos, dado tratarem-se de objectivos de qualidade mínima, essencialmente no caso dos valores objectivos considerados para as estações 05G/03 e 05F/01.

No desenvolvimento futuro do trabalho serão considerados os parâmetros coliformes totais e fecais, dado serem bons indicadores de poluição doméstica para esta bacia hidrográfica (CARREIRA *et al.*, 2000). A metodologia proposta no presente trabalho será aperfeiçoada, de modo, não só a permitir a construção de um sistema de indicadores da qualidade das águas superficiais, baseado no modelo PSR, permitindo o cálculo dos indicadores de pressão e de resposta, como também, a definição de classes de qualidade de acordo com o preconizado na DQA, numa escala de cinco níveis. Será assim

Quadro 10 Classes de qualidade dos indicadores de estado das temáticas “Eutrofização e Nível Trófico”, “Balanço de Oxigênio” e “Matéria Orgânica”, para a abordagem A

ESTAÇÃO AV 01				ESTAÇÃO 05G/03				ESTAÇÃO 05F/01			
Temática	Eutrofização e Nível Trófico	Balanço de Oxigênio	Matéria Orgânica	Temática	Eutrofização e Nível Trófico	Balanço de Oxigênio	Matéria Orgânica	Temática	Eutrofização e Nível Trófico	Balanço de Oxigênio	Matéria Orgânica
Data da Colheita	IEM _{Parcial}	IBOM	IOMM	Data da Colheita	IEM _{Parcial}	OBMI	OMMI	Data da Colheita	IEM _{Parcial}	OBMI	OMMI
09-Jan-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	09-Jan-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	09-Jan-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
06-Fev-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	30-Jan-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO	30-Jan-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
12-Mar-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	06-Fev-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO	06-Fev-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO
08-Abr-02	EXCELENTE	---	---	26-Fev-02	---	EXCELENTE	EXCELENTE	26-Fev-02	---	EXCELENTE	EXCELENTE
13-Mai-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	12-Mar-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO	12-Mar-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO
19-Jun-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE	08-Abr-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	08-Abr-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
16-Jul-02	---	---	---	13-Mai-02	BOM	DEGRADADO	DEGRADADO	13-Mai-02	BOM	DEGRADADO	DEGRADADO
06-Ago-02	---	---	EXCELENTE	19-Jun-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO	19-Jun-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE
16-Set-02	---	---	EXCELENTE	16-Jul-02	---	---	DEGRADADO	16-Jul-02	---	---	EXCELENTE
14-Out-02	MAU	EXCELENTE	EXCELENTE	06-Ago-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE	06-Ago-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE
13-Nov-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	16-Set-02	MAU	DEGRADADO	DEGRADADO	16-Set-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE
10-Dez-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	14-Out-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE	14-Out-02	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE
				13-Nov-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO	13-Nov-02	EXCELENTE	DEGRADADO	DEGRADADO
				10-Dez-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	10-Dez-02	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
2002	IEA _{Parcial}	IBOA	IMOA	2002	IEA _{Parcial}	IBOA	IMOA	2002	IEA _{Parcial}	IBOA	IMOA
Classificação 2002	BOM	EXCELENTE	EXCELENTE	Classificação 2002	BOM	DEGRADADO	DEGRADADO	Classificação 2002	BOM	DEGRADADO	DEGRADADO

possível obter uma classificação geral da qualidade ecológica, embora apenas baseada em indicadores físico-químicos da qualidade da água. Finalmente, sugere-se que, no trabalho futuro a desenvolver, seja feita a avaliação do estado geral da qualidade da água – EG – na bacia hidrográfica do rio Ave, através da agregação dos principais parâmetros caracterizadores da qualidade da água (índices de qualidade), considerando funções de agregação (funções de qualidade), utilizando operadores gráficos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Águas do Ave, S.A. e à CCDRN – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, a disponibilidade no acesso aos dados da Rede Nacional de Qualidade da Água.

BIBLIOGRAFIA

BARROS, M.C, SANTOS, M.J. & MANO, A.P. (1992) “*Ensaio de Aplicação de Índices de Qualidade da Água*”, Direcção Geral dos Recursos Naturais” – Núcleo de Qualidade da Água, Lisboa, Portugal.

CARREIRA, M.F., AMORIM, M. P. & LAPOLLI, F. R. (2000) “*Qualidade da Água do Rio Ave, antes e após a implementação do Sistema Integrado de Despoluição do Vale do Ave – SIDVA*”. In 5º Congresso da Água: a Água e o Desenvolvimento Sustentável. Desafios para o novo século. 25-29 de Setembro. Lisboa, Portugal.

DROTRH (2001), Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos / Secretaria Regional do Ambiente – “*Plano Regional da Água dos Açores – Relatório Técnico, Versão para Consulta Pública*”, Portugal.

LAMMERS, P.E.M. & GILBERT, A.J. – “*Towards Environmental Pressure Indicators for the EU: Indicator Definition*”, Universiteit Amsterdam, Institute for Environmental Studies, Netherlands, 1999.

LOIGU, E. & LEISK Ü. – “*Classification of chemical status of rivers*”. In Environmental Impact and Water Management in a Catchment Area Perspective. Proceedings of the Symposium dedicated to the 40th Anniversary of Institute of Environmental Engineering at Tallinn Technical University, Estonia, Tallinn, 24-26 September. Tallinn, 2001, pp. 46-53.

MANO, A.P. (1989) “*Contribuição para o Estudo da Aplicabilidade de Índices de Qualidade da Água*”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

NÖGES, T. (2002) “*Literature Review on Indicators and Criteria Applied in Assessment of Ecological Status of Lakes and Rivers*”, Tartu University, Estonia.

NÖGES, T. (2003) “*Final Report on the Relevant System of Indicators and Criteria for Evaluating the Ecological Status a very large Nonstratified Lake and its River Basin in WFD Context*”, Tartu University, Estonia.

OCDE (2003) Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico – “*OECD Environmental Indicators. Development, Measurement and Use – Reference Paper*”, OCDE”, Paris, França.

OLIVEIRA, R.E.S, LIMA, M.M.C.L. & VIEIRA, J.M.P. (2005) “*An Indicator System for Surface Water Quality in River Basins*”, In The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, 11- 14 de Julho, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

REKOLAINEN, S., KÄMÄRIN, J. & HILTUNEN, M. (2003) “*A Conceptual Framework for identifying the need and role of models in the implementation of the Water Framework Directive*”. International Journal of River Basin Management, 1, 4, pp. 347-352.

SILVA, M. M. (2002) “*Instrumentos de Apoio à Gestão de Estuários. Indicadores Ambientais*”. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

SNIRH (2005) Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Rede Nacional de Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ave (dados disponíveis *online*), www.snirh.inag.pt.

UE (2000) “*Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 (DQA, 2000), Estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política da Água*”, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L327, Outubro 2000, pp. 1-72.

VIEIRA, J. M.P. (2003) “*Gestão da Água em Portugal. Os desafios do Plano Nacional da Água*”. *Revista Engenharia Civil*, 16, Universidade do Minho, Portugal, pp. 5-12.