

DEFINIÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE SERVIÇO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

António A. L. S. DUARTE

Professor Auxiliar, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, aduarte@civil.uminho.pt

Gisela M. C. RODRIGUES

Eng.ª Civil, Mestre em Eng.ª Municipal, Câmara Municipal de Felgueiras, Praça da República – Margaride, 4610-116 Felgueiras, giselaamcr@gmail.com

Rui A. R. RAMOS

Professor Associado, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, rui.ramos@civil.uminho.pt

Isabel BENTES

Professora Associada, UTAD, Departamento de Engenharias, Quinta de Prados. 5001-801 Vila Real, ibentes@utad.pt

RESUMO

A prestação de um serviço como o abastecimento de água, um bem público essencial á vida, deve reger-se por um conjunto de princípios de onde se destacam a universalidade de acesso, a continuidade e qualidade de serviço, a eficiência e a equidade de preços. Para garantir a salvaguarda destes princípios e o uso sustentável da água, houve a necessidade introduzir mecanismos de regulação desse, que apresenta a particularidade de ser um monopólio natural.

A Entidade Reguladora dos Sistemas de Águas e Resíduos (ERSAR) implementou um sistema de avaliação de desempenho das entidades gestoras (EG) baseado em indicadores relativos à defesa do interesse dos utilizadores, sustentabilidade da entidade gestora e sustentabilidade ambiental. Desde 2004, o ERSAR tem vindo a atribuir classificações qualitativas relativas ao desempenho das EG reguladas, de acordo com intervalos quantitativos pré-definidos para cada indicador de desempenho.

O trabalho aqui apresentado tem como principal objectivo contribuir para a melhoria do modelo de avaliação de desempenho existente, através do desenvolvimento e aplicação dum método quantitativo e agregador. Para esse efeito, procedeu-se à definição e cálculo de índices (sectoriais e global) de qualidade de serviço em sistemas de abastecimento de água, com base numa metodologia de análise multicritério, resultando o valor desses índices numa criteriosa combinação das pontuações normalizadas de cada indicador de desempenho considerado no actual sistema da ERSAR.

Além de esses índices facilitarem a aplicação de estratégias de *benchmarking*, a sua desejável integração em sistemas de suporte à decisão, associados à gestão patrimonial de infra-estruturas de saneamento básico poderá, ser um instrumento muito útil para as EG na identificação dos seus desempenhos mais críticos e/ou a melhorar, bem como na definição das suas prioridades de investimento e de planos operacionais de reabilitação.

Palavras-chave: sistemas de abastecimento de água, indicadores de desempenho, análise multicritério, índice global de qualidade de serviço, gestão patrimonial.

1 - INTRODUÇÃO

A gestão holística da água como recurso vulnerável e finito requer uma integração de planos e programas sectoriais, que enquadrem as políticas económicas e sociais nacionais, e deve basear-se na percepção da água como parte integrante dos ecossistemas aquáticos a preservar, património natural e um bem público, cuja quantidade e qualidade determina a natureza da sua utilização. No caso concreto do abastecimento público, a prestação desse serviço deve reger-se por princípios de universalidade de acesso, continuidade, equidade e qualidade de serviço.

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II) é um instrumento de planeamento que visa contribuir para o cumprimento, em Portugal, das directivas europeias nos domínios de águas e resíduos, em termos de objectivos ambientais e de saúde pública, através quer da criação de condições para se atingirem as desejadas taxas globais de atendimento da população (95% em água potável e 90% ligada a sistemas de tratamento de águas residuais), quer da obtenção de níveis adequados de qualidade do serviço (VIEIRA e BAPTISTA, 2007), avaliada através de sistemas de indicadores de desempenho credíveis.

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), enquanto entidade responsável pela regulação económica e da qualidade do serviço nestes sectores, estabeleceu, para o abastecimento público de água, uma metodologia de avaliação dos serviços prestados por entidades gestoras (EG) sujeitas a regulação, baseada na pontuação obtida para um conjunto de vinte indicadores de desempenho (ERSAR, 2004), agrupados em três categorias: *defesa do interesse dos utilizadores*, *sustentabilidade da entidade gestora* e *sustentabilidade ambiental* (Quadro 1).

Quadro 1 Indicadores de desempenho dos serviços de abastecimento de água (metodologia ERSAR)

DEFESA DO INTERESSE DOS UTILIZADORES (IS1)
AA 01 - Cobertura do serviço (%)
AA 02 - Preço médio do serviço (€/m ³)
AA 03 - Falhas no abastecimento (n.º/ponto de entrega/ano)
AA 04 - Análises de água realizadas (%)
AA 04 - Análises de água realizadas (%)
AA 05 - Qualidade da água fornecida (%)
AA 06 - Resposta a reclamações escritas (%)
SUSTENTABILIDADE DA ENTIDADE GESTORA (IS2)
AA 07 - Rácio de cobertura dos custos operacionais (-)
AA 08 - Custos operacionais unitários (€/m ³)
AA 09 - Rácio de solvabilidade (-)
AA 10 - Água não facturada (%)
AA 11 - Cumprimento do licenciamento das captações de água (%)
AA 12 - Utilização das estações de tratamento (%)
AA 13 - Capacidade de reserva de água tratada (dias)
AA 14 - Reabilitação de condutas (%/ano)
AA 15 - Reabilitação de ramais (%/ano) (*)
AA 16 - Avarias em condutas (n.º/100 km/ano)
AA 17 - Recursos humanos (n.º/106 m ³ /ano)
SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL (IS3)
AA 18 - Ineficiência da utilização de recursos hídricos (%)
AA 19 - Eficiência energética de instalações elevatórias (kWh/m ³ /100 m)
AA 20 - Destino final de lamas do tratamento (%)

(*) – Não aplicável nos sistemas de abastecimento de água "em alta".

Nos seus relatórios anuais, a ERSAR tem vindo a publicar, desde 2004, os resultados dessa avaliação, classificando apenas qualitativamente (*bom, mediano* ou *insatisfatório*) o desempenho das EG relativo a cada um desses indicadores. Este sistema de avaliação, ao não permitir a atribuição de um valor quantitativo global ao desempenho dum EG e a agregação de informação de diferentes indicadores, restringe o estabelecimento de um *ranking* claro entre as EG reguladas, dificultando, desse modo, um procedimento efectivo de *benchmarking* que poderá ser benéfico ao incremento da concorrência e do nível de qualidade de serviço.

Face a esta limitação, realizou-se um trabalho de investigação (RODRIGUES, 2009) com o objectivo de contribuir para o aperfeiçoamento do actual sistema de avaliação de desempenho adoptado pelo ERSAR, complementando-o através do desenvolvimento e da aplicação dum método de avaliação multicritério que permite quantificar o desempenho dum universo de EG. Essa avaliação quantitativa é efectuada através da definição e cálculo de um índice global e/ou sectorial de qualidade de serviço, que resulta dum agregação e normalização criteriosas das pontuações obtidas em cada indicador de desempenho, por uma dada EG. Esclarece-se que a proposta de alterações ao actual sistema de avaliação (ERSAR e LNEC 2009) foi apresentada posteriormente à conclusão deste trabalho, não sendo por isso aqui considerada.

Neste artigo, além da descrição da metodologia adoptada, apresentam-se como resultados, quer os valores obtidos para cada um desses índices, considerando as pontuações obtidas pelas EG reguladas, no ano de 2007 (ERSAR, 2008), quer a influência do método de ponderação dos critérios no posicionamento relativo das entidades analisadas.

2 - METODOLOGIA

A análise multicritério é uma metodologia de apoio à decisão frequentemente utilizada em processos de planeamento que permite efectuar uma combinação estruturada de vários critérios seleccionados pela sua relevância na avaliação e comparação de alternativas.

No trabalho de investigação desenvolvido, decidiu-se utilizar esta metodologia, dum forma inovadora, adaptando-a à avaliação de desempenho de entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água (EGSAA), seleccionando como *critérios* relevantes a ponderar todos os indicadores de desempenho adoptados pelo ERSAR

Na avaliação efectuada a cada critério foi atribuído um grau de importância específico, designado por *peso*. A obtenção desses pesos teve origem na consulta de um painel de peritos em Hidráulica Urbana e em Planeamento, englobando académicos, administradores e técnicos qualificados de empresas do sector do abastecimento de água. Nessa consulta, efectuada através dum inquérito *on-line*, solicitou-se a cada inquirido (que mantinha o anonimato) que atribuísse o grau de importância de cada indicador de desempenho, numa escala de 1 (insignificante) a 7 (extremamente importante), relativamente à sua categoria e ainda a importância de cada categoria para a avaliação global da qualidade de serviço das EGSAA.

A avaliação quantitativa do desempenho das EGSAA foi efectuada para cada ano, apresentando-se neste artigo os procedimentos referentes a 2007, ano em que a implementação do sistema de avaliação do ERSAR estava numa fase de estabilização, com a realização de auditorias gerais aos dados fornecidos pelas entidades reguladas.

Os dados de base referentes às pontuações (não normalizadas) de cada indicador de desempenho foram obtidos por consulta do respectivo Relatório Anual do ERSAR e encontram-se sintetizados em DUARTE *et al.* (2009a).

Nesses dados, constata-se que ainda ocorreram situações em que, para alguns indicadores de desempenho, se verificou a ausência de pontuação, ou por não resposta ("n.r.") da entidade ou por não ser aplicável a essa entidade ("n.a.").

Esta ocorrência restringe a comparabilidade dos resultados obtidos na aplicação desta metodologia, ao não permitir seleccionar um conjunto de critérios “comum” a todas as entidades em análise. Tal facto implicou a definição de três universos de análise distintos (U1, U2 e U3), com as características referidas no Quadro 2.

Quadro 2 Universos de análise adoptados na avaliação multicritério

Universo	Entidade gestoras	Indicadores de desempenho
U1	Todas (15)	Todos (19)
U2	Parte (9)	Todos (19)
U3	Todas (15)	Parte (12)

Os universos que permitem uma plena comparabilidade dos resultados obtidos são o U2, que integra apenas as EGSAA com pontuação em todos os indicadores de desempenho, e o U3 que integra apenas os indicadores de desempenho em que todas as EGSAA têm pontuação conhecida.

2.1 – Definição dos índices de qualidade de serviço

O conjunto de critérios seleccionados deve ser estruturado de forma hierárquica de modo a obter uma integração coerente da pontuação correspondente a cada indicador de desempenho (critério).

Na metodologia proposta, a agregação de indicadores fez-se de acordo com o organograma representado na Figura 1, que, ao reflectir as três categorias consideradas no sistema de avaliação do ERSAR (*defesa dos interesses dos utilizadores, sustentabilidade da entidade gestora e sustentabilidade ambiental*) permite avaliar áreas específicas do desempenho de cada EGSAA, através de sub-índices aqui designados como *índices sectoriais* (IS), cuja combinação permite, por sua vez, a definição de um índice global de desempenho, designado por GISEQ (*global index of service quality*).



Figura 1 Modelo hierárquico adoptado na definição do índice global (GISEQ)

Com base nesta estrutura hierárquica, os valores dos três índices sectoriais (IS) resultam duma combinação linear ponderada da pontuação normalizada de cada indicador de desempenho, expressa pelas Eq. 1, 2 e 3. Por sua vez, o valor do índice global (GISEQ) resulta duma combinação semelhante dos três índices sectoriais, expressa através da Eq. 4.

$$IS\ 1_j = \sum_{i=1}^6 AA_{ij} \times W_{AA_i} \quad (1)$$

$$IS\ 2_j = \sum_{i=7}^{17} AA_{ij} \times W_{AA_i} \quad (2)$$

$$IS\ 3_j = \sum_{i=18}^{20} AA_{ij} \times W_{AA_i} \quad (3)$$

$$GISEQ_j = \sum_{k=1}^3 ISk_j \times W_{ISk} \quad (4)$$

em que:

IS_{kj} - índice sectorial *k*, da entidade *j*; (-)

AA_{ij} - pontuação normalizada do indicador de desempenho *i*, da entidade *j*; (-)

W_{AA_i} - peso atribuído ao indicador de desempenho *i*; (-)

GISEQ_j - índice global de desempenho da entidade *j*; (-)

W_{IS_k} - peso atribuído ao índice sectorial *k*; (-)

De realçar que o método adoptado (combinação linear ponderada) permite compensação total entre critérios. Deste modo, um critério mal classificado, que se traduz num valor baixo da sua contribuição para o índice, pode ser compensado por um conjunto de critérios bem classificados, que representam uma significativa contribuição para valorizar o respectivo índice.

No cálculo dos índices sectoriais relativos ao universo de análise U1 optou-se por atribuir uma pontuação normalizada de 0 às situações de não resposta. Para além desse valor nulo, entendeu-se que deveria ainda haver uma penalização do valor desse índice sectorial em 0,1 por cada não resposta, de modo a evitar/penalizar situações de não comunicação, pelas EGSAAs, de pontuações de indicadores que prejudiquem substancialmente a sua avaliação de desempenho.

Já no caso de indicadores com registo de "não aplicável", não se procedeu a nenhuma penalização da EGSAA, tendo sido retirado esse indicador (parcela) do processo de agregação, facto que implicou um cálculo suplementar para redistribuição dos pesos dos indicadores a adoptar apenas para essas entidades. Este procedimento origina alguma distorção nos resultados obtidos para o universo de análise U1, afectando, apenas neste caso, a comparabilidade dos valores dos respectivos índices.

2.2 - Ponderação dos indicadores de desempenho

A obtenção dos pesos que estabelecem a importância relativa de cada indicador de desempenho no respectivo índice sectorial e a destes no índice global teve origem na já referida consulta de um painel de peritos nacionais, através da realização de um inquérito de preenchimento *on-line*, apenas se identificando se o inquirido pertencia ou não aos quadros de uma EGSAA.

Foram obtidas vinte e três respostas ao questionário, a maioria das quais provenientes de pessoas ligadas a uma entidade gestora. As pontuações obtidas para os indicadores de desempenho e o seu tratamento estatístico estão sintetizados no Quadro 3.

Da sua análise verifica-se que o indicador AA5 (qualidade da água fornecida) foi considerado o mais importante e AA14 (reabilitação de condutas) o menos relevante, embora, neste caso, de forma menos consensual. Por outro lado, constata-se que três dos inquiridos não estabeleceram qualquer distinção na importância relativa dos indicadores, pontuando-os todos com o valor máximo (7).

Quadro 3 Resultados do inquérito efectuado ao painel de peritos na valoração dos indicadores

AA01	AA02	AA03	AA04	AA05	AA06	AA07	AA08	AA09	AA10	AA11	AA12	AA13	AA14	AA16	AA17	AA18	AA19	AA20	Média	Desvio Padrão
7	7	5	6	7	4	7	7	7	6	6	6	6	5	6	7	6	6	6	6.2	0.83
5	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	5	7	5	5	5	6	6	6	6.3	0.87
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7.0	0.00
2	2	5	6	7	7	5	5	5	5	7	5	3	4	4	3	4	6	7	4.8	1.61
5	6	7	5	7	5	7	4	7	6	4	5	5	4	5	4	7	7	7	5.6	1.21
5	7	7	7	7	6	6	6	4	6	4	6	4	4	6	5	6	7	4	5.6	1.16
6	6	5	4	7	3	6	5	4	5	4	5	3	5	4	4	6	3	4	4.7	1.16
5	7	7	7	7	4	5	5	4	7	4	6	5	5	5	4	7	6	5	5.5	1.17
7	6	6	6	7	6	6	6	6	7	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6.0	0.58
6	7	6	6	7	5	6	7	6	6	5	5	5	5	5	6	6	7	5	5.8	0.79
6	3	7	5	7	5	6	7	4	6	7	6	5	5	6	5	7	6	6	5.7	1.10
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7.0	0.00
6	6	7	5	7	4	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5.6	0.77
7	7	6	4	7	4	7	6	6	7	5	6	6	5	6	6	7	7	6	6.1	0.97
6	6	6	6	6	4	6	4	5	5	3	3	3	3	4	5	6	6	5	4.8	1.21
7	6	6	5	7	4	5	6	5	7	6	4	4	2	6	4	7	6	7	5.5	1.39
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7.0	0.00
5	7	6	6	7	6	6	7	6	6	1	5	5	3	6	6	5	6	6	5.5	1.43
7	7	7	5	7	7	7	7	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6.8	0.63
7	6	6	5	7	5	4	6	4	6	5	4	4	4	4	5	6	6	6	5.3	1.05
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	5	4	6	4	2	5	5	5.3	1.11
4	6	5	7	7	3	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	4	4	3	5.3	1.20
7	7	5	6	7	4	7	7	6	7	6	4	5	6	6	6	6	7	7	6.1	0.99
6.0	6.2	6.2	5.9	6.9	5.2	6.1	6.1	5.6	6.2	5.4	5.4	5.3	4.9	5.6	5.3	6.0	6.1	5.8	Média	
1.26	1.28	0.80	0.97	0.29	1.38	0.90	0.95	1.12	0.80	1.56	1.12	1.32	1.35	0.99	1.19	1.24	1.01	1.15	Desvio padrão	

O tratamento destes dados serviu de suporte à definição dos pesos necessários ao cálculo dos índices de qualidade de serviço, tendo-se utilizado, para esse efeito, três métodos distintos (Quadro 4), dois dos quais (métodos B e C) constituem abordagens inovadoras de ponderação de critérios em análise multicritério.

Quadro 4 Métodos utilizados na ponderação de indicadores e índices sectoriais

A	escala de pontos
B	comparação par a par
C	escala de pontos modificada (complementada com <i>ranking</i>)

Com este procedimento foi possível efectuar uma análise de sensibilidade da variação dos índices de qualidade de serviço com o método de ponderação de modo a avaliar a sua influência no posicionamento das EGSAAs no *ranking* que esta nova metodologia permite estabelecer.

Referem-se, de seguida, as principais características dos métodos de ponderação utilizados nessa análise (para descrição mais detalhada consultar DUARTE *et al.*, 2009b).

O método A (escala de pontos) consiste na atribuição de pesos em função das médias dos valores atribuídos, no inquérito, à importância relativa de cada indicador. Este procedimento foi aplicado do mesmo modo para o cálculo de índices sectoriais e globais.

Este método produz pesos muito próximos quando o número de indicadores a ponderar é reduzido, caso que se verifica para o índice de sustentabilidade ambiental (com AA18, AA19 e AA20), em claro contraste com a dimensão das categorias dos outros índices sectoriais que com ele integram o cálculo do índice global.

Por esse motivo e face ao modo "estratégico" como as questões foram formuladas no inquérito (RODRIGUES, 2009), foi possível, com a informação recolhida no questionário, transformar, de forma inovadora, as pontuações atribuídas por cada inquirido num processo de comparação de critérios par a par (método B), conhecido por *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1977).

Da comparação indirecta efectuada por cada "perito/inquirido" que permitiu estabelecer um grau de relação entre cada par de indicadores, resulta uma matriz $n \times n$, simétrica, para a qual se calculam os seguintes parâmetros preconizados neste método de determinação de pesos: o vector próprio (*eigenvector*) principal, o máximo valor próprio (*eigenvalue*), o índice de consistência (CI), o índice de

aleatoriedade (RI) e o grau de consistência (CR) (SILVA *et al.*, 2004). Quando este último parâmetro atinge valores superiores a 0,1 é necessário proceder à reformulação da matriz para eliminar inconsistências na comparação cruzada do valor relativo atribuído aos vários indicadores.

SAATY mostrou que o vector próprio resultante do maior valor próprio da matriz de comparação par a par traduz a prioridade dos critérios e preserva a preferência ordinal entre alternativas. Os valores do vector próprio podem ser obtidos através da Eq. 5.

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n [(\prod_{j=1}^n a_{kj})^{\frac{1}{n}}]} \quad (5)$$

em que:

w_i – vector de pesos (pretendido para a ponderação dos critérios);

a_{ij} – matriz de comparação par a par.

A informação retirada da pontuação atribuída pelos vários inquiridos permitiu estabelecer 23 matrizes, para cada um dos índices calculados, que serviram de base à obtenção dos respectivos vectores com os pesos utilizados nesse cálculo (Quadro 5).

Quadro 5 Matrizes de comparação para a par utilizadas

N.º matrizes	Dimensão (n×n)	Índice calculado	Indicadores / índices ponderados
23	6 × 6	IS 1	AA 01 a AA 06
23	10 × 10	IS 2	AA 07 a AA 17 (*)
23	3 × 3	IS 3	AA 18 a AA 20
23	3 × 3	GISEQ	IS 1 a IS 3

(*) Excepto o indicador AA 15

Face à escala utilizada no formulário do inquérito (1 a 7), distinta da usada no método AHP que varia entre 1e 9, foi necessário estabelecer, de forma inovadora, um processo de conversão de escalas (DUARTE *et al.*, 2009b) que se encontra sistematizado no Quadro 6. Esse processo baseia-se no cálculo da diferença de pontuações do indicador da linha i em relação à do indicador da coluna j e na sua correspondência com a “nova” pontuação a introduzir na respectiva matriz de comparação para a par.

Quadro 6 Metodologia de conversão de escalas desenvolvida no método de ponderação B

Inquérito	Escala	Diferença de pontuação do indicador da linha i em relação à do indicador da coluna j												
	1 a 7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Nova pontuação	1 a 9	1/9	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1	3	4	5	6	7	9

Para além dos dois métodos de ponderação anteriormente referidos, foi criado um novo método (híbrido), designado por *escala de pontos modificada* (método C), desenvolvido e baseado nos valores dos pesos obtidos no método A, atribuindo-lhes uma pontuação decrescente correspondente ao seu *ranking*.

Ao maior peso obtido para cada índice sectorial (IS 1, IS 2 e IS 3) atribuiu-se a pontuação máxima correspondente ao número de indicadores pertencentes ao grupo em questão. Para valores de pesos idênticos correspondiam pontuações idênticas, facto que implica a redução da pontuação do peso seguinte em 1 valor.

2.3 - Normalização de critérios

Dado que os critérios representam os indicadores de desempenho cujas pontuações são expressas em unidades heterogéneas, para se calcular o valor dos diferentes índices é imprescindível convertê-las numa mesma escala, processo designado por normalização.

Em análise multicritério é usual recorrer-se a funções *fuzzy* (JIANG e EASTMAN, 2000), do tipo linear, sigmoidal (*S-shaped*), *J-shaped* e complexa (SILVA *et al.*, 2004), para converter, indicador a indicador, as respectivas pontuações numa escala contínua de 0,0 (muito mau) a 1,0 (muito bom).

Função linear

A normalização das pontuações efectuada através de funções lineares crescentes ou decrescentes foi aplicada a dez indicadores de desempenho, definindo-se criteriosamente os parâmetros (valor das abcissas) que definem o intervalo de transição entre o valor mínimo (0) e máximo (1) a atribuir à pontuação normalizada de cada um desses indicadores. Esta informação encontra-se sistematizada na Figura 2.

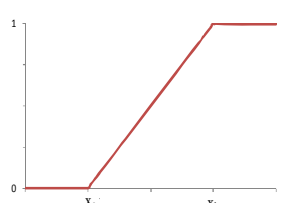
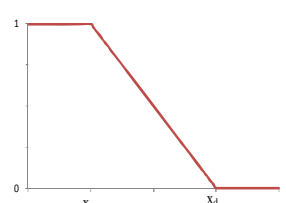
Função linear		Indicador – Parâmetros de normalização	
<u>Crescente</u>	<u>Decrescente</u>	AA01	Crescente: $x_a=90\%$ e $x_b=95\%$ (2007)
		AA05	Crescente: $x_a=97,5\%$ e $x_b=99\%$
$y = 0, x \leq x_a$	$y = 1, x \leq x_c$	AA06	Crescente: $x_a=97\%$ e $x_b=100\%$
$y = (x-x_a)/(x_b-x_a), x > x_a \text{ e } x < x_b$	$y = s(x-x_d)/(x_c-x_d), x > x_c \text{ e } x < x_d$	AA10	Decrescente: $x_c=5\%$ e $x_d=10\%$
$y = 1, x \geq x_b$	$y = 0, x \geq x_d$	AA11	Crescente: $x_a=90\%$ e $x_b=100\%$
		AA 12	Crescente: $x_a=50\%$ e $x_b=70\%$
			Decrescente: $x_c=90\%$ e $x_d=100\%$
		AA13	$x_a=x_b=1(\text{dia})$
		AA14	Sistemas consolidados
			Crescente: $x_a=0,8\%$ e $x_b=1\%$
			Sistemas recentes
			Decrescente: $x_a=0,8\%$ e $x_b=1\%$
		AA 18	Decrescente: $x_c=4\%$ e $x_d=8\%$
		AA 20	Crescente: $x_a=90\%$ e $x_b=95\%$

Figura 2 Parâmetros utilizados na normalização de pontuações por função linear

No caso dos indicadores AA01 e AA05, os valores adoptados para os parâmetros da função linear crescente tiveram em consideração as respectivas metas estabelecidas nos PEAASAR I e II, a classificação qualitativa atribuída pela ERSAR e o facto de uma diferença de 1% representar uma variação significativa na qualidade de desempenho da entidade gestora.

Para o indicador AA06, e tendo por princípio que todas as reclamações dos utilizadores devem ter resposta, admitiu-se que apenas 3% de reclamações pudessem não ser analisadas, optando-se por agravar o critério usado pela ERSAR na sua avaliação qualitativa.

Já no caso do indicador AA10, mantiveram-se os limites adoptados pela ERSAR, que classifica como *insatisfatório* uma percentagem de água não facturada superior a 10% e como *médio* um valor entre 5 e 10%, entendendo-se que a variação de 1% pode representar uma diferença significativa na qualidade do desempenho da entidade gestora.

Sabendo-se que alguns dos sistemas de abastecimento são novos, considerou-se admissível que estes possam não ter ainda obtido as licenças exigidas ao abrigo da legislação em vigor, pelo que para o indicador AA11 foram mantidos os limites utilizados pela ERSAR.

O mesmo procedimento foi adoptado para os indicadores AA12, AA18 e AA20, em que se consideraram os intervalos de variação definidos na avaliação da ERSAR.

Pelo facto da capacidade de reserva de água, no caso das entidades em alta, estar ligado às responsabilidades contratuais, o ERSAR não qualifica o indicador AA13. Na metodologia apresentada, estimou-se que a capacidade de reserva deve ser pelo menos igual ao volume diário de água que alimenta o sistema de abastecimento.

Em relação ao indicador AA14, a ERSAR classifica valores compreendidos entre 1 e 2% como *bom* e abaixo de 0,8% como *insatisfatório*. Neste trabalho, julgou-se necessário fazer uma diferenciação entre reabilitação em sistemas recentes e sistemas antigos. Por esse motivo, se o número de reabilitações for elevado num sistema recente a avaliação deve ser negativa, pelo contrário, num sistema antigo, esse mesmo número de reabilitações é favorável à avaliação da entidade até determinado limite. Assim, no intervalo entre 0,8 e 1% a função de normalização é linear, crescente se o sistema for existente e decrescente se for recente.

Função sigmoidal

A normalização das pontuações efectuada através de funções sigmoidais crescentes ou decrescentes foi aplicada a cinco indicadores de desempenho, definindo-se criteriosamente os parâmetros que definem o intervalo de transição entre o valor mínimo (0) e máximo (1) a atribuir à pontuação normalizada de cada um desses indicadores. Esta informação encontra-se sistematizada na Figura 3.

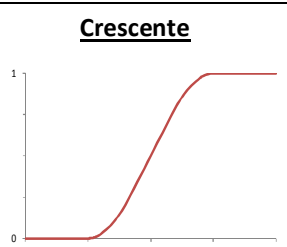
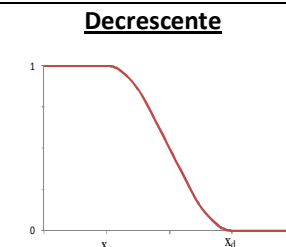
Função sigmoidal		Indicador – Parâmetros de normalização	
Crescente	Decrescente	AA03	Decrescente: $x_c=0$ e $x_d=0,2$
		AA07	Crescente: $x_a=0,9$ e $x_b=1,5$
$y = 0, x \leq x_a$	$y = 1, x \leq x_c$	AA16	Decrescente: $x_c=15$ e $x_d=20$
$y = \text{sen}^2[(x-x_a)/(x_b-x_a)*\pi/2]$, se $x > x_a$ e $x < x_b$	$y = \text{sen}^2[(x-x_d)/(x_c-x_d)*\pi/2]$, se $x > x_c$ e $x < x_d$	AA17	Crescente: $x_a=0,5$ e $x_b=1$ Decrescente: $x_c=1,75$ e $x_d=2,5$
$y = 1, x \geq x_b$	$y = 0, x \geq x_d$	AA19	Decrescente: $x_c=0,4$ e $x_d=0,8$

Figura 3 Parâmetros utilizados na normalização de pontuações por função sigmoidal

Para os indicadores AA03, AA07, AA17 e AA19 mantiveram-se os intervalos de variação definidos na avaliação da ERSAR por esta dispor dum histórico de dados que podem ajudar a validar esses limites. No caso do indicador AA16 complementou-se o critério de avaliação mantendo-se os limites estabelecidos. Ou seja, se o indicador tiver um valor compreendido entre 15 e 20 e for inferior ao obtido no ano anterior então corresponde-lhe um valor calculado pela função sigmoidal decrescente, se for inferior a 15 e tiver melhor desempenho relativamente ao ano anterior é 1, caso contrário é 0.

Função J-shaped

A normalização das pontuações efectuada através de funções do tipo *J-shaped* crescentes ou decrescentes foi aplicada a três indicadores de desempenho, definindo-se criteriosamente os parâmetros que definem o intervalo de transição entre o valor mínimo (0) e máximo (1) a atribuir à pontuação normalizada de cada um desses indicadores (Figura 4).

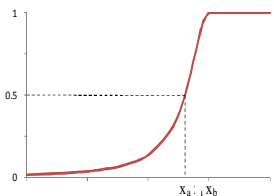
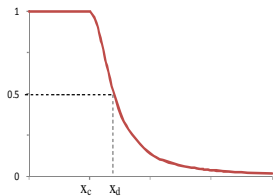
Função <i>J-shaped</i>		Indicador – Parâmetros de normalização	
<u>Crescente</u>	<u>Decrescente</u>	AA02	Decrescente: $x_c = \text{média} - \text{desvio-padrão}$ $x_d = \text{média} + \text{desvio-padrão}$
		AA08	Decrescente: $x_c = \text{média} - \text{desvio-padrão}$ $x_d = \text{média} + \text{desvio-padrão}$
$y = 1 / (1 + (((x - x_b) / (x_b - x_a))^2)), x < x_b$ com $y = 0,5, x = x_c$ $y = 1, x \geq x_b$	$y = 1, x \leq x_c$ com $y = 0,5, x = x_d$ $y = 1 / (1 + (((x - x_c) / (x_c - x_d))^2)), x < x_c$	AA09	Crescente: $x_a = 0,15$ e $x_b = 0,20$

Figura 4 Parâmetros utilizados na normalização de pontuações por função *J-shaped*

Não sendo possível definir um valor óptimo para o preço médio do serviço (indicador AA02), entendeu-se necessário efectuar a sua comparação com os valores obtidos para as diferentes entidades, salvaguardando o facto de nenhum dos preços ser considerado totalmente nulo. Atendendo a este facto e verificando que quanto mais elevado é o preço mais este indicador prejudica a avaliação, considerou-se que a função *J-shaped* decrescente é a mais adequada. Para valores inferiores à diferença entre a média e o desvio-padrão atribui-se o valor 1 e para valores superiores à soma da média com o desvio-padrão corresponde a um valor próximo de 0.

Embora o ERSAR estabeleça valores de referência dos custos operacionais unitários (indicador AA08) entre os 0,22 e os 0,43 €/m³, considera-se que a avaliação deste indicador deve ser comparada com a média da pontuação de todas as entidades e do respectivo desvio-padrão. Tendo em conta ainda que as pontuações nunca devem ser nulos, optou-se por este tipo de função. Para o indicador AA09 mantiveram-se os intervalos de variação definidos na avaliação da ERSAR.

Função complexa

Em relação à percentagem de análises de água realizadas (indicador AA04), a ERSAR classifica como mediano um desempenho entre 95 e 100%. Neste trabalho, considera-se que, actualmente, as AGSAA já deveriam dispor dos meios laboratoriais e financeiros necessários para efectuar as análises requeridas por lei admitindo, no entanto, uma margem de falha até 2% resultante de eventuais imprevistos.

Assim, abaixo dessa margem foi atribuída uma pontuação de 0. Para valores entre os 98 e 100%, foi adoptada a função linear crescente fazendo variar a pontuação normalizada entre 0,5 e 0,90. Como actualmente várias EG já realizam um número de análises superior ao limite imposto por lei, entendeu-se premiar esse procedimento até ao limite de 10%. Essa normalização de pontuações até se atingir o valor 1, para os 110%, pode ser efectuada com uma função linear ou uma função sigmoideal.

3 – RESULTADOS

Na Figura 5 apresenta-se uma síntese da análise de sensibilidade dos resultados obtidos para os pesos dos indicadores de desempenho e dos índices sectoriais ao método de ponderação efectuado. Em termos globais, verifica-se uma variação significativa nos valores dos pesos obtidos para indicadores e índices sectoriais resultante da aplicação de cada um dos três modelos adoptados.

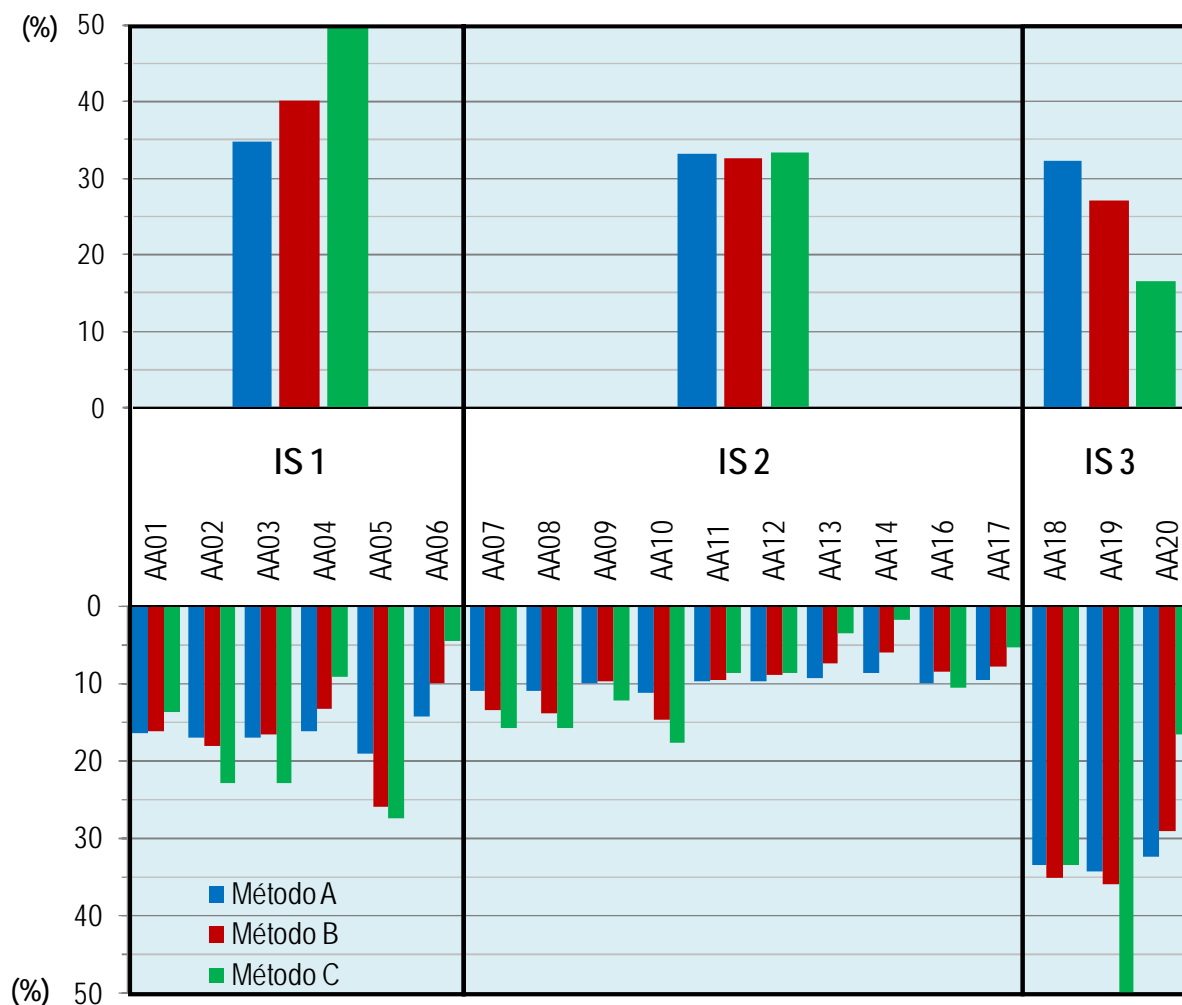


Figura 5 Pesos atribuídos aos índices sectoriais (IS1, IS2 e IS3) e aos indicadores de desempenho (AA01 a AA20) em função do método de ponderação aplicado

O método A produz pesos muito próximos quando o número de indicadores é reduzido e a diferença entre as avaliações é pequena. O aumento do número de indicadores a ponderar amplia a diferença entre o peso do indicador mais relevante e o peso do indicador menos relevante. Por sua vez, o método C agrava a amplitude dos pesos dos indicadores, reduzindo a importância dos menos importantes e exacerbando a dos mais importantes. Para os indicadores intermédios a variação dos pesos é pouco significativa.

Aplicando-se o método B, os pesos obtidos situam-se em valores intermédios entre os propostos pelos métodos A e C, não diferenciando muito os pesos dos indicadores intermédios.

Deste modo, pode-se afirmar que o método A, com menores diferenças entre pesos, é o mais conservativo pois apresenta menor risco de influenciar o resultado final do ranking das entidades gestoras, uma vez que permite uma maior compensação entre bons e maus desempenhos a respeito dos indicadores.

Pelo contrário, o método C é o menos conservativo, pois reduz o nível de compensação, uma vez que o cálculo dos índices está mais directamente dependente dos melhores e piores desempenhos a respeito dos indicadores com maior ou menor importância. Deste modo, o método C cria condições para que sejam introduzidas alterações mais significativas nos valores dos índices, elevando o risco de influenciar o resultado final do *ranking* das entidades gestoras.

Os cenários de análise do desempenho das EGSAA podem ser estabelecidos em função do ano a que se referem as pontuações obtidas nos relatórios anuais da ERSAR (para este trabalho estavam disponíveis os de 2004 a 2007, embora os de 2004 não tivessem sido objecto de confirmação), do método de ponderação de critérios adoptado (neste trabalho analisaram-se três: A, B e C) e/ou dos três universos (U1, U2 e U3) estabelecidos em função do número de EGSAA e do número de indicadores seleccionados para análise.

A combinação de todos estes factores permitiria estabelecer, no limite, um conjunto de 27 cenários de análise de resultados (não usando os dados de 2004), mas para este trabalho de investigação apenas foram seleccionados os 14 apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 Cenários de análise dos resultados (valores dos índices e *ranking*)

Cenário	Ano	Universo	Método de ponderação
1	2007	U 1	A
2			B
3			C
4		U 2	B
5		U 3	B
6	2006	U 1	A
7			B
8			C
9		U 2	B
10		U 3	B
11	2005	U 1	B
12		U 2	C
13		U 3	B
14			C

A comparação dos resultados obtidos para os conjuntos de cenários "1, 2, 3" e "6,7,8", permite verificar, para um mesmo universo (U1), não apenas a sensibilidade do posicionamento relativo das várias EGSAA reguladas a cada um dos métodos de ponderação, num dado ano (2007 ou 2006), como também avaliar a evolução, em anos consecutivos, do desempenho de cada uma delas e do seu posicionamento em relação às demais (*ranking*). Esta evolução da posição duma EGSAA nesses dois anos, considerando cada um dos três métodos de ponderação utilizados e sua influência no valor dos respectivos índices de qualidade de serviço, pode ser consultada em DUARTE *et al.* (2009b).

A comparação dos resultados obtidos para os cenários "2, 7 e 11", permitiria, por exemplo, avaliar a variação inter-anual dos valores dos índices de desempenho, para um mesmo universo (U1) e um mesmo método de ponderação (B).

Na Figura 6 apresenta-se a síntese dos resultados correspondentes aos cenários de análise 2 e 5, que permitem obter, para o ano de 2007, os valores dos índices (sectoriais e global) de qualidade de serviço, aplicando o mesmo método de ponderação (B, neste caso), em dois universos distintos que envolvem a totalidade das EGSAA.

A comparação dos valores destes dois quadros avaliar o efeito quer da redistribuição de pesos devido à presença de indicadores não aplicáveis a algumas das entidades, quer da aplicação de penalizações a entidades que não forneceram os dados necessários ao cálculo da pontuação de alguns indicadores. Esse efeito não origina alterações relevantes para a maioria das entidades, mas pode introduzir algumas distorções significativas como as observadas para as entidades M e H.

Entidade gestora	Universo U1					Universo U3				
	IS 1	IS 2	IS 3	GISEQ	Ordem	IS 1	IS 2	IS 3	GISEQ	Ordem
A	3,92	2,12	2,72	8,76	1	2,11	1,63	1,37	5,11	3
B	2,45	0,80	1,62	4,88	13	1,51	0,67	0,59	2,77	14
C	3,40	2,40	2,72	8,51	3	2,03	1,87	1,37	5,26	2
D	3,00	1,64	1,62	6,26	8	1,92	1,23	0,59	3,73	11
E	2,54	1,60	2,36	6,50	7	1,88	1,22	1,11	4,20	9
F	3,96	1,93	2,72	8,61	2	2,15	1,40	1,37	4,91	5
G	2,56	1,67	1,49	5,72	11	1,89	1,39	0,42	3,69	12
H	2,87	1,31	0,15	4,33	15	2,11	1,49	0,32	3,92	10
I	2,40	0,33	1,63	4,37	14	1,48	0,27	0,60	2,35	15
J	2,49	1,73	2,57	6,80	6	1,84	1,33	1,26	4,43	8
K	2,87	1,75	1,37	5,99	9	1,87	1,60	1,37	4,84	6
L	2,46	1,84	2,72	7,02	5	1,82	1,54	1,37	4,72	7
M	2,15	2,21	1,37	5,72	10	2,15	1,81	1,37	5,32	1
N	2,54	1,75	0,98	5,26	12	1,57	1,22	0,69	3,48	13
O	2,76	2,68	2,36	7,79	4	2,13	1,77	1,11	5,02	4

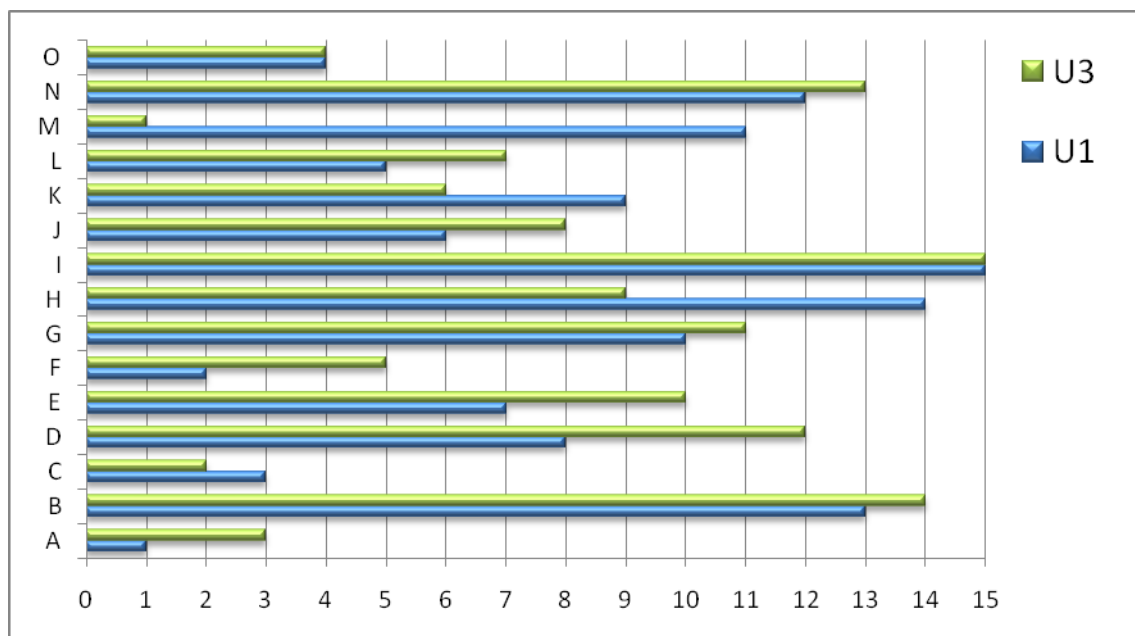


Figura 6 Síntese dos resultados e *ranking* de entidades para os cenários 2 e 5

4 – CONCLUSÕES

O método proposto, baseado em técnicas de análise multicritério, permite tornar a avaliação de desempenho utilizada pelo ERSAR numa avaliação quantitativa, onde cada indicador representa um critério a ponderar, normalizar e agregar em índices sectoriais ou global de qualidade de serviços

No sentido de obter a importância relativa de cada indicador foi efectuado um inquérito a um painel de especialistas, cujo resultado permitiu o estabelecimento de três métodos de ponderação dos indicadores de desempenho, que permitiram efectuar uma análise de sensibilidade dos resultados a este factor de decisão. Dois desses métodos apresentam inovações que podem dar um contributo para o desenvolvimento da teoria na análise multicritério. A consideração de factores de contexto neste tipo de análise é mais um desafio para futuros desenvolvimentos desta metodologia.

Aplicando-se o método B (comparação para a par), os pesos obtidos situam-se em valores intermédios entre os propostos pelos métodos A e C, não diferenciando muito os pesos dos

indicadores intermédios. O método C é o menos conservativo, pois reduz o nível de compensação, uma vez que o cálculo dos índices está mais directamente dependente dos melhores e piores desempenhos a respeito dos indicadores com maior ou menor importância, elevando o risco de influenciar o resultado final do *ranking* das entidades gestoras.

Na ausência de normas legais e de parâmetros objectivos e aferidores dos níveis de desempenho relacionados com cada indicador de desempenho, pode introduzir alguma subjectividade na parametrização das funções *fuzzy* usadas na normalização da pontuação de cada critério e distorcer os resultados finais. O mesmo pode acontecer se continuarem a existir lacunas de informação de algumas entidades, pois isso reduz a comparabilidade e transparência do processo de avaliação.

O presente trabalho pretende dar contributo importante para a melhoria do sistema de regulação do sector da água através do desenvolvimento e aplicação de uma metodologia que permite definir e quantificar índices sectoriais e global de qualidade de serviço. Com este apoio na identificação das debilidades e dos pontos fortes de cada entidade, favorece-se uma gestão patrimonial dos sistemas de abastecimento de água mais eficiente e o desenvolvimento de estratégias de *benchmarking* capazes de potenciar o uso sustentável da água.

BIBLIOGRAFIA

- DUARTE, A.A.L.S.; RODRIGUES, G.M.C.; RAMOS, R.A.R. – “Effect of criteria weighting methods on the ranking of water suppliers' performance”. In *Proceedings of Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development*, WSEAS Press, Atenas, Grécia, 28-30 Setembro de 2009, pp. 350-355.
- DUARTE, A.A.L.S.; RODRIGUES, G.M.C.; RAMOS, R.A.R. – “A global service quality index to evaluate the performance and sustainability in water supply utilities”. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5, 12, 2009, pp. 759-769.
- ERSAR - *Guia Técnico 1: Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Lisboa, 2004.
- ERSAR - *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de água e resíduos prestados aos utilizadores*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2007.
- ERSAR - *Relatório anual do sector de águas e resíduos em Portugal (2007) - Volume 3 - Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Lisboa, 2008.
- ERSAR; LNEC - *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2.ª Geração do sistema de avaliação Versão preliminar*. Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2009.
- JIANG, H.; EASTMAN, J.R. – “Application of Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation in GIS”. *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 2, 2000, pp. 173-184.
- RODRIGUES, G.M.C. - *Desenvolvimento de índices de qualidade de serviço em sistemas de abastecimento de água*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, 2009.
- SAATY, T. - “A scaling method for priorities in hierarchical structures”. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 1977, pp. 234-281.
- SILVA, A.N.R.; RAMOS, R.A.R.; SOUSA, L.C.L.; RODRIGUES, D.S.; MENDES, J.F.G. - *SIG: Uma plataforma para a introdução de técnicas emergentes no planeamento urbano regional e de transportes: uma ferramenta 3 D para a análise ambiental urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais*. Edição da EdUFSCar, São Carlos, SP, Brasil, 2008.
- VIEIRA, J.M.P.; BAPTISTA, J.M. – “Indicadores de desempenho para melhoria dos serviços de saneamento básico”, *Engenharia Civil – UM*, 33, 2008, pp. 87-112.