

## RESULTADOS PRELIMINARES DA INICIATIVA NACIONAL DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ETA E ETAR URBANAS «PAsT21»

Catarina SILVA (1); Pedro RAMALHO (2); Maria João ROSA (3);  
Paula VIEIRA (4); Sílvia QUADROS (5); Helena ALEGRE (6)

### RESUMO

A Iniciativa Nacional de Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) urbanas «PAsT21» é um projecto de I&DT que tem por objectivo desenvolver e testar, em 27 instalações de tratamento exploradas por doze entidades gestoras, a segunda geração dos sistemas de avaliação de desempenho destas infraestruturas. Visa ainda promover a avaliação de desempenho e o *benchmarking* de ETA e ETAR urbanas de uma forma sistemática, com base em dados coerentes e fiáveis.

Nesta comunicação apresenta-se a segunda geração da componente de avaliação de desempenho global de ETA e ETAR urbanas e a relação entre os domínios dos indicadores de desempenho (PI) e as categorias das variáveis. Apresentam-se também os resultados da primeira fase de cálculo dos indicadores de desempenho global, expressos em termos de nível de carregamento de variáveis e de PI calculados, e de valores obtidos para vários PI.

### PALAVRAS-CHAVE:

ETA, ETAR, indicadores de desempenho, sistemas de avaliação de desempenho.

---

<sup>1</sup> Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, Mestre em Engenharia do Ambiente, Bolseira de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, csilva@Inec.pt

<sup>2</sup> Eng.<sup>o</sup> do Ambiente, Bolseiro de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, pramalho@Inec.pt

<sup>3</sup> Eng.<sup>a</sup> Química, Doutorada em Engenharia Química, Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, mjrosa@Inec.pt

<sup>4</sup> Eng.<sup>a</sup> Química, Doutorada em Ciências e Tecnologias do Ambiente, Investigadora Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, pvieira@Inec.pt

<sup>5</sup> Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, Mestre em Engenharia Sanitária, Assistente da Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, *Campus* de Angra do Heroísmo, 9701-851 Angra do Heroísmo, squadros@uac.pt

<sup>6</sup> Eng.<sup>a</sup> Civil, Doutorada em Engenharia Civil, Investigadora Principal Habilitada do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Engenharia Sanitária, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, halegre@Inec.pt

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria dos sistemas de avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e de águas residuais estão direccionados numa perspectiva de gestão, e não se aplicam especificamente às estações de tratamento, elementos nucleares destes serviços (Alegre *et al.*, 2000, 2006; Stahre and Adamsson, 2001; Matos *et al.*, 2003; OfWat, 2004; World Bank, 2006; Stahre *et al.*, 2008; DWA, 2008).

Com vista a colmatar esta situação e a promover a avaliação de desempenho e o *benchmarking* de uma forma sistemática, com base em dados coerentes e fiáveis, foram recentemente desenvolvidos sob coordenação do LNEC sistemas de avaliação de desempenho de estações de tratamento de água (ETA) e de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) urbanas.

A Iniciativa Nacional de Avaliação de Desempenho de ETA e ETAR urbanas «PAST21» (<http://past21.lnec.pt/>) é um projecto de I&DT que tem como objectivos: i) melhorar a primeira geração dos sistemas desenvolvidos para ETA (PAS\_WTP<sup>a</sup>) e para ETAR urbanas (PAS\_WWTP<sup>b</sup>) (Alegre *et al.*, 2009; Vieira, 2009; Quadros, 2010), e ii) testar a segunda geração em 27 instalações (Quadros *et al.*, 2010a; Rosa *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2010a).

Os referidos sistemas são orientados por objectivos, normalizados e quantitativos e destinam-se a apoiar a tomada de decisão no âmbito da operação e da reabilitação das instalações. Têm uma estrutura comum, que inclui uma componente de *avaliação de desempenho global* – objecto da presente comunicação – e uma componente de *avaliação de desempenho operacional*, desenvolvida em Vieira *et al.* (2009 e 2010a) e Quadros *et al.* (2009b). A avaliação de desempenho global baseia-se em indicadores de desempenho (PI), usa dados históricos e a informação produzida é agregada ao nível da estação.

Na presente comunicação apresenta-se sumariamente: i) a segunda geração da componente de avaliação de desempenho global, em particular, a relação entre os domínios dos PI e as categorias das variáveis; ii) a caracterização dos casos de estudo do projecto PAST21 e iii) os resultados da primeira fase de cálculo dos indicadores de desempenho global, expressos em termos de nível de carregamento de variáveis e de PI calculados, bem como de valores obtidos (médias, medianas, percentis 25 e 75, máximos e mínimos) para vários PI – objectivos principais do 1.º ano de bolsa de investigação da primeira autora desta comunicação, no seguimento de contributos anteriores (Silva, 2008; Alegre *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2009, 2010b; Quadros *et al.*, 2010a, b, c; Rosa *et al.*, 2010).

O cálculo e visualização destes resultados são efectuados utilizando a ferramenta de cálculo automático *PASStool* também desenvolvida no âmbito do PAST21 (Ramalho *et al.*, 2010).

---

<sup>a</sup> *Performance Assessment System – Water Treatment Plant*

<sup>b</sup> *Performance Assessment System – WasteWater Treatment Plant*

## **2 A COMPONENTE DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO GLOBAL DOS SISTEMAS PAS\_WTP e PAS\_WWTP**

Os sistemas de avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas desenvolvidos nos últimos 5 anos, no LNEC, assumiram como objectivos gerais da entidade gestora de instalações: garantir o tratamento eficaz da água/água residual bruta, de forma a cumprir os requisitos da legislação no ponto de consumo/licença de descarga, utilizando os recursos (naturais, tecnológicos, materiais, energéticos, humanos, económico-financeiros) disponíveis de forma eficiente e causando o menor impacto ambiental.

Em face destes objectivos, foram propostos indicadores de desempenho global em oito domínios de avaliação de desempenho: *qualidade da água/água residual tratada; eficiência e fiabilidade; utilização de água, energia e materiais; gestão de subprodutos; segurança; recursos humanos, recursos económico-financeiros e apoio ao planeamento e projecto* (este ultimo só aplicável a ETAR) (Vieira *et al.*, 2008; Alegre *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2009; Quadros *et al.*, 2010a).

No âmbito do PAST21, identificaram-se oportunidades de melhoria na formulação e clareza dos indicadores propostos e suas variáveis, bem como de novos indicadores, dando origem à segunda geração dos PI globais para ETA e ETAR urbanas. Esta segunda geração integra, respectivamente, um total de 94 e 121 PI.

Os PI são identificados por um código composto por oito campos, em que os primeiros seis campos são obrigatoriamente preenchidos – os dois primeiros identificam o sistema (t para ETA e wt para ETAR), os dois seguintes o domínio e os dois últimos o número do PI, *e.g.*, wtWQ01 para o primeiro indicador (01) do domínio de Qualidade da Água Residual (WQ) do PAS de tratamento (*t – treatment*) de águas residuais (*w – wastewater*). Os dois campos secundários (*i.e.*, após o ponto) são opcionais, o primeiro corresponde a expressões de cálculo alternativas e é preenchido com caracteres numéricos, e o segundo utiliza-se nos casos em que se pretende individualizar o PI por diferentes espécies (*e.g.*, reagentes) identificadas por caracteres alfabéticos de “a” a “z”.

Para cada indicador foi desenvolvida uma ficha de caracterização detalhada, da qual consta a seguinte informação: código e designação do PI, domínio de avaliação de desempenho, objectivo, expressão de cálculo, unidades, interpretação de resultados e observações (para clarificação de variáveis e outros aspectos relevantes ao cálculo do PI) (Quadros *et al.*, 2010c; Vieira *et al.*, 2010b).

O carregamento de dados e variáveis, e o cálculo e visualização dos resultados dos PI são efectuados utilizando a ferramenta de cálculo automático *PAStool* que implementa a segunda geração dos sistemas PAS\_WTP e PAS\_WWTP em Microsoft Excel® com programação em VBA (Ramalho *et al.*, 2010).

Na secção 4, após caracterização sumária dos casos de estudo (secção 3), apresenta-se o número de PI por domínio de avaliação, o número de variáveis por categoria e a relação entre domínios de PI e categorias de variáveis, e discute-se o nível de carregamento de variáveis e de cálculo de PI nesta fase do projecto.

### 3 OS CASOS DE ESTUDO DO PROJECTO PAST21

As 27 instalações de tratamento que constituem os casos de estudo do projecto PAST21 (10 ETA e 17 ETAR) são exploradas por doze entidades gestoras: dez empresas do grupo Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A.; AGS, S.A. e SMAS de Almada (<http://past21.Inec.pt/>).

Os casos de estudo distribuem-se pelo território nacional conforme se ilustra na Figura 1 e abrangem uma gama alargada de capacidades instaladas de tratamento e sequências de tratamento. As 10 ETA são de média a grande dimensão (3.000 - 400.000 m<sup>3</sup>/d), correspondem a uma capacidade total de tratamento de 1.160.000 m<sup>3</sup>/d e possuem diferentes origens de água e operações/processos unitários (OPU) de tratamento (e.g., pré-oxidação (com ozono, cloro ou dióxido de cloro), adsorção, floculação e filtração) (Figura 2). As 17 ETAR abrangem diferentes capacidades instaladas (2.300 - 220.000 e.p.), correspondem a uma capacidade total de tratamento de 305.000 m<sup>3</sup>/d e incluem diversos tipos de tratamento (e.g., lamas activadas de diferentes tipologias, leitos percoladores e biofiltros) e destinos finais (descarga e/ou reutilização) (Figura 2).

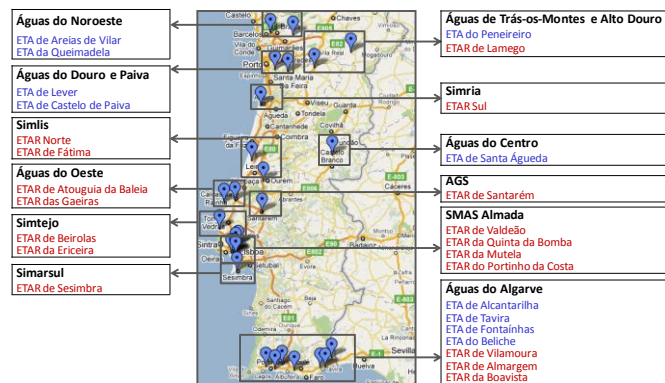


Figura 1. Distribuição geográfica dos casos de estudo do projecto PAST21.

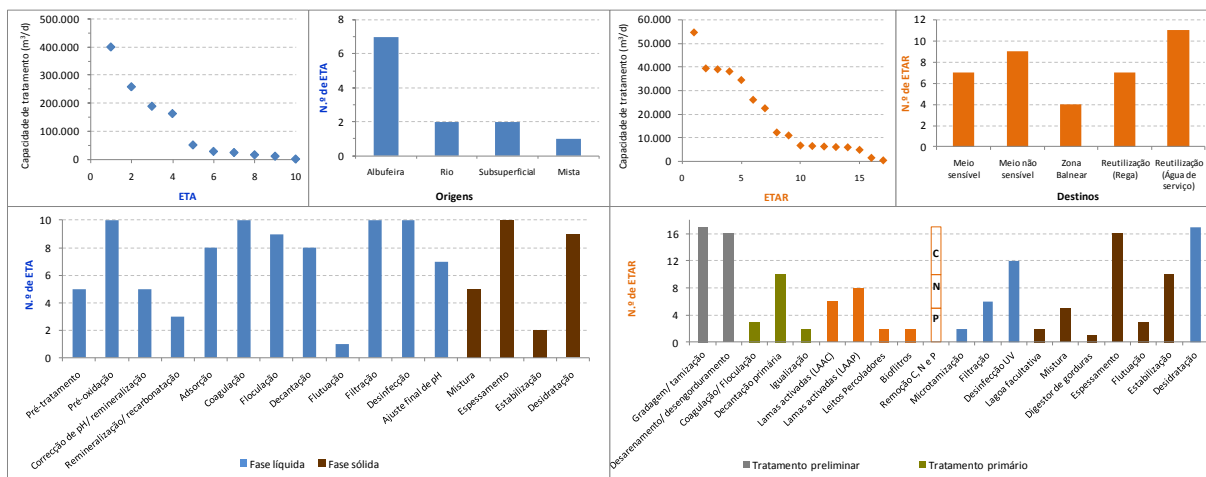


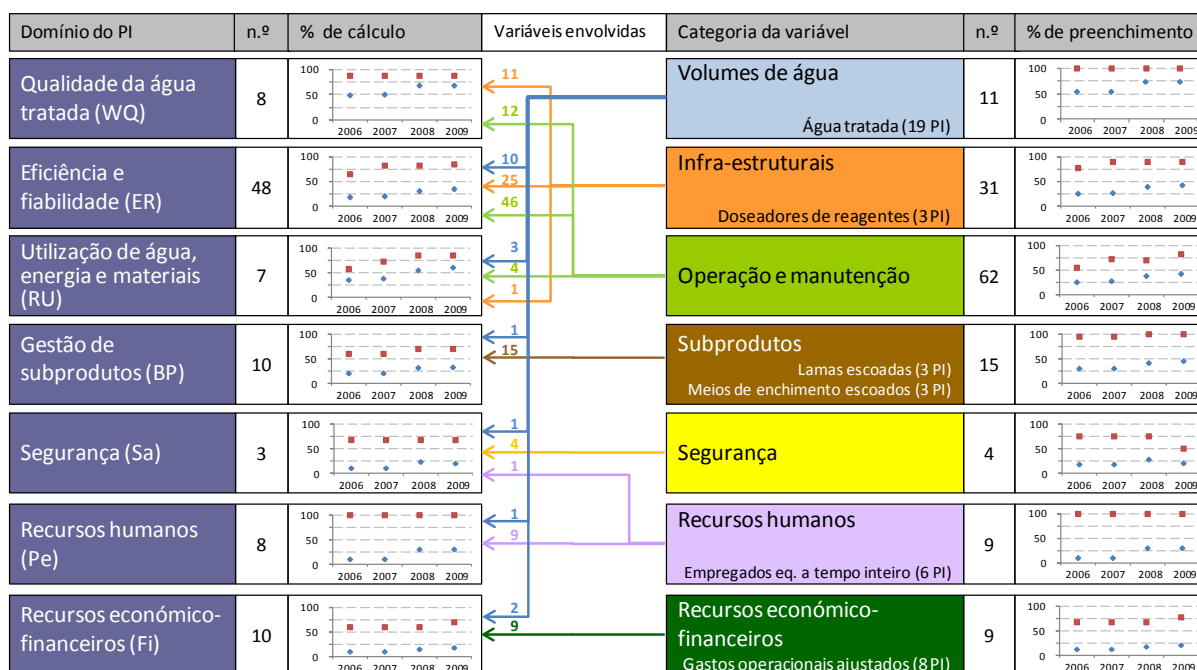
Figura 2. Capacidades de tratamento, origens de água (ETA), destinos finais (ETAR) e operações/processos de tratamento das 10 ETA e 17 ETAR estudadas.

## 4 RESULTADOS PRELIMINARES DO PROJECTO PAST21

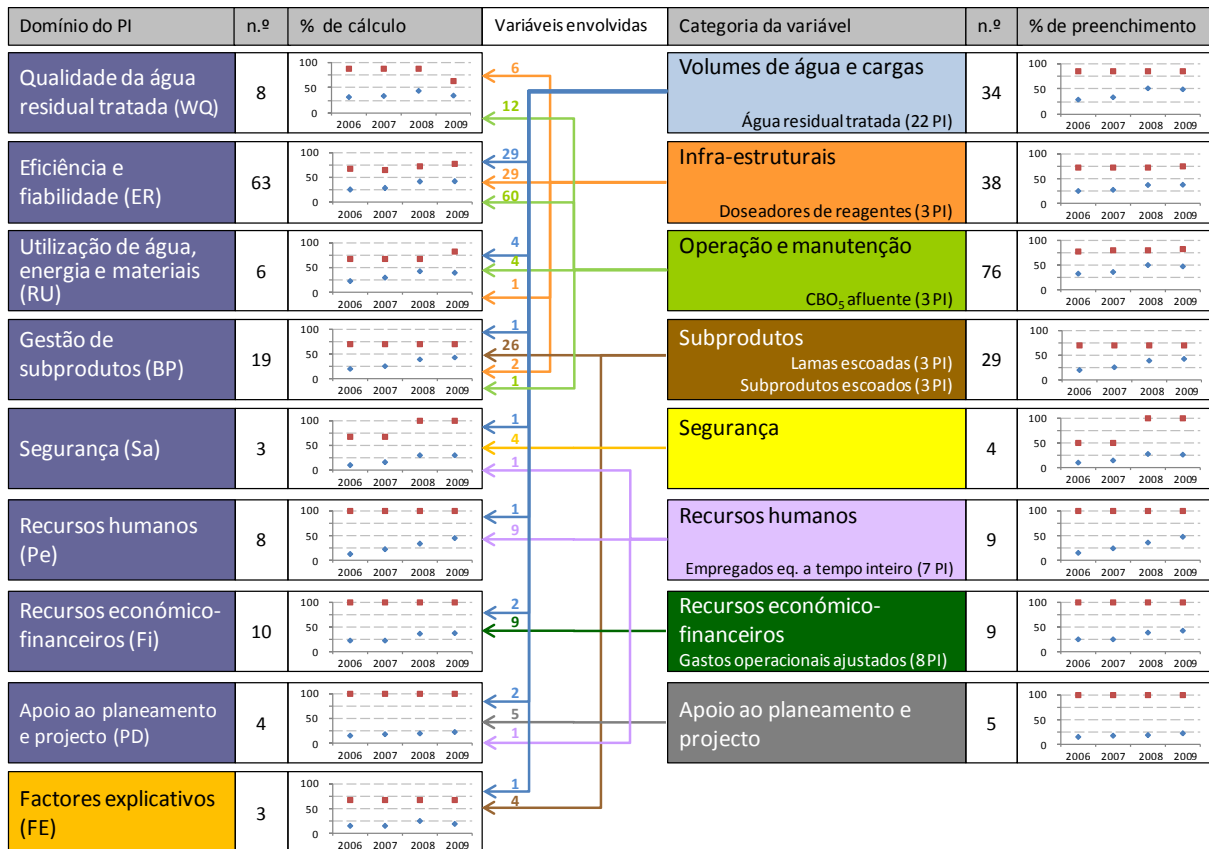
### 4.1 Níveis de carregamento de variáveis e de cálculo de PI

Nas Figuras 3 e 4 apresenta-se o número de PI por domínio de avaliação, o número de variáveis por categoria e a relação entre domínios de PI e categorias de variáveis. Por categoria apresenta-se a variável (ou variáveis, na categoria “Subprodutos”) utilizada no cálculo de maior número de PI, nomeadamente *Água (Água residual) tratada*, *Doseadores de reagentes*, *CBO<sub>5</sub> afluente* (ETAR), *Lamas e Meios de enchimento escoados*, *Empregados equivalentes a tempo inteiro* e *Gastos operacionais ajustados*.

Os resultados da primeira fase de cálculo dos PI, também sistematizados nas Figuras 3 e 4, mostraram que, globalmente, a maioria dos indicadores contemplados nos sistemas de ETA e ETAR foram calculados, embora a disponibilidade e acessibilidade de dados fiáveis tenha limitado o cálculo de alguns PI nalgumas instalações. A categoria de variáveis “Volumes de água (e cargas)” foi a que obteve, em média, maiores percentagens de preenchimento, seguida das categorias “Infra-estruturais”, “Operação e manutenção” e “Subprodutos”. O domínio “Qualidade da água tratada” foi o que apresentou, em média, maiores percentagens de PI calculados, seguido dos domínios “Eficiência e fiabilidade”, “Utilização de água, energia e materiais” e “Gestão de subprodutos”.

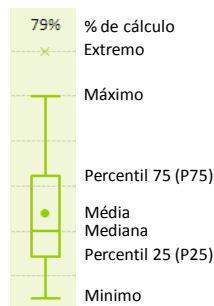


**Figura 3.** Domínios e percentagem de PI de ETA calculados, categorias e nível de carregamento de variáveis (♦ média, ■ máximo).



**Figura 4.** Domínios e percentagem de PI de ETAR calculados, categorias e nível de carregamento de variáveis (♦ média, ■ máximo).

Nas secções seguintes apresentam-se os resultados organizados por domínio de avaliação de desempenho. Os valores obtidos para cada PI, e para cada ano, são representados em caixas de bigodes (Figura 5) onde constam média, mediana, percentis 25 e 75, máximos e mínimos, extremos e percentagem de cálculo (corresponde à % de casos de estudo que entraram para o cálculo do PI).



**Figura 5.** Caixa de bigodes.

Nesta comunicação apresentam-se resultados de somente alguns dos PI calculados, seleccionados pelo seu interesse, variação temporal e/ou maior percentagem de cálculo. As

evoluções temporais devem ser analisadas com as reservas devido à diferença das percentagens de cálculo entre os vários anos, uma vez que na maioria dos PI as maiores percentagens de cálculo correspondem a 2008. A interpretação de resultados de cada PI é feita no próprio quadro dos resultados.

## 4.2 Qualidade da água/água residual tratada

O domínio de *Qualidade da água/água residual tratada* tem por objectivo avaliar o desempenho da estação em termos do cumprimento dos critérios de qualidade da água/água residual à saída da instalação e no ponto de entrega/consumo.

O cumprimento de requisitos de qualidade da água à saída da ETA é avaliado em termos da conformidade dos resultados das análises com valores limite estabelecidos pela EG para todos os parâmetros e para sete parâmetros-chave (tWQ02, Quadro 1) e em termos de parâmetros analisados. Os valores do PI tWQ02 revelam, em média, níveis elevados de conformidade para estes parâmetros. A preservação da qualidade após tratamento também é avaliada na ETA a partir da qualidade da água em cloro residual mínimo, em cloro residual máximo (tWQ06, Quadro 1), em THM e qualidade microbiológica no(s) ponto(s) de entrega/consumo. O PI tWQ06 mostra que nos pontos de entrega/consumo de algumas ETA existe cloro residual acima do valor máximo recomendado para distribuição em alta (1 mg/L), situação que aconselha a uma análise mais aprofundada da desinfecção/formação de subprodutos e desinfecção na ETA/recloragens na rede.

Nas ETAR, a conformidade da água para descarga é avaliada relativamente a três aspectos: número de análises realizadas, parâmetros analisados e qualidade da água face aos parâmetros legalmente estabelecidos. No Quadro 1 apresentam-se os resultados relativos ao primeiro e terceiro aspectos, requeridos no DL 152/97 (PI wtWQ1.2 e wtWQ3.2, Quadro 1). Estes resultados evidenciaram uma melhoria significativa do desempenho. Não obstante, relativamente à qualidade, em 2009 existem ainda parâmetros para os quais a água residual não é conforme com o DL 152/97. A avaliação da água para reutilização é feita adoptando a mesma metodologia da água para descarga.

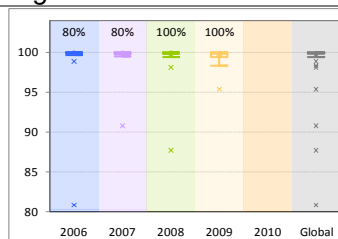
**Quadro 1. Resultados de alguns PI do domínio *Qualidade da água/água residual tratada*.**

**tWQ02 – Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave [%] =**

(Análises dos parâmetros-chave conformes com os valores-limite (n.º) / Análises realizadas aos parâmetros-chave (n.º)) x 100

Parâmetros-chave: Fe, Mn, Al, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes

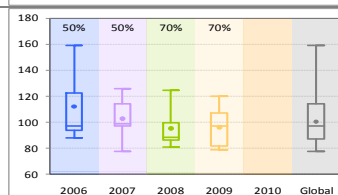
Valores superiores a 80% variando, em média, de 99,6% a 99,9%. No período 2006-2009, P25-P75 é 99,8-100%. Algumas ETA apresentaram valores abaixo da média que foram considerados extremos.



**tWQ06 – Qualidade da água em cloro residual máximo no(s) ponto(s) de entrega/consumo [%] =**

(Média dos 10% de valores mais elevados de cloro residual livre (mg/L) / VL máximo de cloro residual livre (mg/L)) x 100

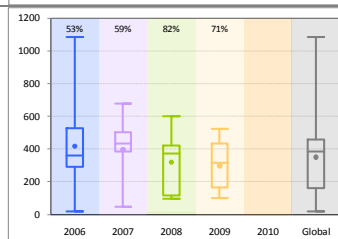
A mediana mais baixa foi obtida em 2008, com 88,2%. Apesar de se verificarem alguns valores abaixo de 100%, em 2006-2009, a média é ca. 101% e P25-P75 é 87-114%.



**wtWQ01.2 – Conformidade da água para descarga em número de análises realizadas (DL 152/97) [%] =**

(Análises realizadas face ao DL 152/97 (n.º) / Análises requeridas no DL 152/97 (n.º)) x 100

Em média, o número de análises realizadas em cada ano analisado foi ca. 3 a 4 vezes superior ao número de análises requeridas no DL 152/97. O mínimo aumentou ao longo do período analisado, chegando, em 2009, a 100%, o que corresponde, para estes casos de estudo, ao cumprimento do número de análises requerido no DL 152/97.

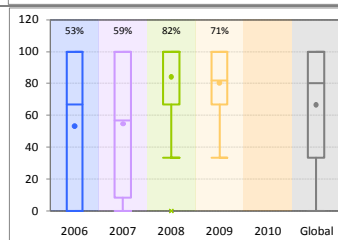


**wtWQ03.2a – Conformidade da água para descarga relativamente à qualidade (DL 152/97) [%] =**

$$\frac{\sum_{i=1}^m J_i}{m} \times 100$$

m = parâmetros requeridos (com VP) analisados (DL 152/97)  
 J<sub>i</sub> = conformidade da água para descarga relativamente à qualidade estabelecida para o parâmetro 'i' (0 = não conforme; 1 = conforme)

Melhoria do desempenho ao longo do período estudado: a média aumentou de 53% em 2006 para 84% em 2008 (ano com maior representatividade); P25 também aumentou consideravelmente, resultando numa gama P25-P75 mais estreita em 2008 e 2009.



**4.3 Eficiência e fiabilidade**

No domínio de *Eficiência e fiabilidade* avalia-se o desempenho da estação em termos de eficiência de remoção e fiabilidade do tratamento.

A utilização dos recursos hídricos disponíveis para abastecer as ETA foi avaliada pelo PI tER01 (Quadro 2) e permitiu identificar, em algumas ETA, situações de total utilização desses recursos. Na ETA avaliam-se os aspectos relacionados com a capacidade da infraestrutura em termos de volume, bombeamento e doseamento de reagentes. Em termos de adequação da capacidade de tratamento (tER04, Quadro 2) verificou-se que a maior parte das ETA estão em subutilização. Esta subutilização, além de outras causas, pode estar relacionada com a falta de recursos hídricos (tER01).

Uma vez que a fiabilidade da ETA é maior se estiver prevista a possibilidade de dosear reagentes alternativos, este aspecto foi avaliado através do PI tER19 (Quadro 2) demonstrando que, em média, as ETA utilizam pontualmente cerca de um quarto do número de reagentes usados em normal operação.

A calibração dos equipamentos deve ser efectuada periodicamente como forma de validar os resultados das medições efectuadas. Os PI tER34 a tER38 avaliam a frequência de



calibração de doseadores de reagentes, medidores de caudal, medidores de nível da água/lamas, medidores de pressão e medidores em linha da qualidade da água/lamas. Em termos globais (*i.e.*, integrando os resultados do período 2006-2009), estes PI demonstraram que alguns equipamentos não foram calibrados, como se verifica no PI tER34 que a média é inferior a uma calibração por doseador (Quadro 2).

Passando para os resultados das ETAR, a eficiência mássica da estação é avaliada por um conjunto de cinco indicadores relativos à estabilização de CBO<sub>5</sub> e à remoção de CBO<sub>5</sub>, CQO, SST e nutrientes (P-total, N-total e/ou azoto amoniacal). Os resultados do ID wtER03 (Quadro 2) mostram que, em todos os anos, P25-P75 encontra-se dentro da gama típica bibliográfica para um tratamento secundário convencional, 86-91% (Qasim, 1999) e 85-97% (Metcalf & Eddy, 2003) e acima da gama do DL 152/97 que indica como percentagem mínima de remoção de CBO<sub>5</sub> valores entre 70-90%. Este indicador parece ter uma relação com o indicador de conformidade da água para descarga relativamente à qualidade (wtWQ3.2a), uma vez que eficiências de remoção inferiores a 90% estão associados a valores mais baixos de conformidade (Quadro 2).

Os PI wtER09 a wtER19 avaliam os aspectos relacionados com a capacidade da infraestrutura em termos volúmicos (igualização do caudal, capacidade de reserva e adequação da capacidade instalada). Em termos de adequação da capacidade instalada, além das capacidades volúmicas, nas ETAR avalia-se, também, as capacidades mássicas de CBO<sub>5</sub>, CQO, SST, nutrientes e arejamento. Os resultados destes PI mostram que grande parte dos casos de estudo estão em subutilização volúmica e mássica, como ilustrado pelo PI wtER15 no Quadro 2. Analisando estes indicadores com os de remoção dos respectivos parâmetros (*e.g.*, wtER03, Quadro 2) e com o de conformidade da qualidade da água (wtWQ03.2a, Quadro 1) não se encontra nenhuma relação, verificando-se que os casos de estudo com 0% de adequação da capacidade conseguiram obter bons resultados de remoção e de qualidade da água (Quadro 2).

Na maioria dos casos de estudo existe um elevado grau de automação das ETAR, tanto em termos de recirculação (wtER28, Quadro 2) como de arejamento ou agitação, doseamento de reagentes, purga de lamas e filtração.

A inspeção de equipamentos pode ser avaliada pelo número total de inspeções efectuadas e/ou pela percentagem de equipamentos inspeccionados. Estas duas formas de cálculo são utilizadas apenas para as motobombas (wtER35.1 e wtER35.2, Quadro 2) e arejadores. Para os restantes equipamentos (válvulas, sistemas de distribuição de caudal de leitos percoladores, equipamentos de transmissão de sinal, medidores de caudal, de nível de água/lamas, de pressão e em linha de qualidade da água/lamas, quadros eléctricos, leitos de enchimento, equipamentos de desidratação e transporte de lamas e outros equipamentos-chave) utiliza-se a segunda forma de cálculo. No período 2006-2009, estes PI demonstraram um aumento da prática de inspeção, procedimento que diminui o risco de falhas destes equipamentos. Estas falhas são avaliadas em indicadores de interrupção do funcionamento (> 30 min) de equipamentos, tais como motobombas (wtER54, Quadro 2), válvulas, arejadores ou agitadores, equipamentos de desidratação e transporte de lamas e de outros equipamentos-chave. Como expectável, existe uma correlação inversa entre os valores do PI wtER35 (inspeção de motobombas) e wtER54 (interrupção do funcionamento de motobombas (> 30 min) (Quadro 2).

#### **4.4 Utilização de água, energia e materiais**

O domínio *Utilização de água, energia e materiais* avalia a eficiência de utilização dos principais *inputs* da estação: água, energia, produtos químicos e meios de enchimento.

Relativamente ao consumo de água nas ETA, tRU01 (Quadro 4) avalia a eficiência deste recurso em todos os usos das ETA e indica um desempenho elevado das estações neste aspecto.

A diminuição do consumo de água doce na ETAR (wtRU01, Quadro 4), ao longo do período analisado, indica menor dependência das ETAR em água da rede pública ou de origem própria e maior sustentabilidade ambiental (em termos de consumo de um recurso natural). Os valores mais elevados de consumo correspondem, na maioria, a ETAR sem reutilização de água (Figura 2).

O consumo de energia na ETAR (wtRU04) aumentou ligeiramente ao longo do período analisado e foi, em média, ca. 4 vezes superior ao consumo de energia nas ETA (tRU04).

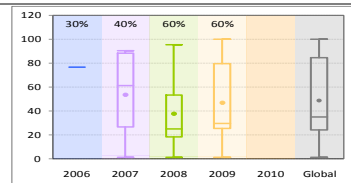
O consumo de ácidos e bases nas ETA (tRU05, Quadro 4) foi ca. 10 vezes mais elevado que nas ETAR (wtRU04), mas ao contrário destas com uma tendência decrescente.

**Quadro 2. Resultados de alguns PI do domínio *Eficiência e fiabilidade*.**

**tER01 – Utilização da origem de água [%] =**

$(\text{Água bruta (m}^3) \times 365(\text{d/ano}) / \text{Período de referência (d)} / \text{Disponibilidade anual do recurso hídrico para captação (m}^3)) \times 100$

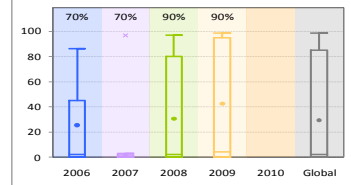
Gama de resultados alargada. Alguns casos de estudo analisados neste PI apresentam valores próximos de 100%. Em 2006-2009 a média é ca. 49% e P25-P75 é 24-85%.



**tER04 – Adequação da capacidade de tratamento [%] =**

$[1 - (\text{Capacidade em sobrecarga} + \text{Capacidade em subutilização (m}^3)) / \text{Capacidade total de tratamento (m}^3)] \times 100$

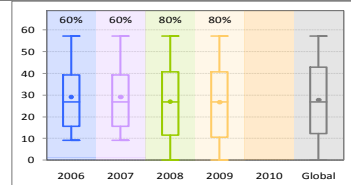
Aumento ao longo do período analisado, com uma gama de resultados muito alargada. Em média, os valores estão abaixo de 70% indicando um desempenho insatisfatório. Os casos de estudo com insatisfatória capacidade da ETA estão em subutilização.



**tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos [%] =**

$(\text{Reagentes utilizados pontualmente (n.º)} / \text{Reagentes utilizados (n.º)}) \times 100$

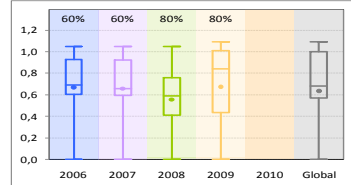
Valores semelhantes ao longo do período analisado, sendo a principal diferença devido à diferentes percentagens de cálculo entre os anos. Em 2008 e 2009, para 80% dos casos de estudo, a média é de ca. 27%. No período 2006-2009, P25-P75 é 12-43%.



**tER34 – Calibração de doseadores de reagentes [n.º/(doseador.ano)] =**

$(\text{Calibração de doseadores de reagentes (n.º)} \times 365 (\text{d/ano}) / \text{Período de referência (d)}) / \text{Doseadores de reagentes (n.º)}$

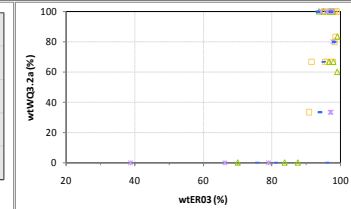
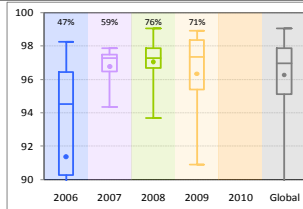
Gama de resultados alargada, variando de 0 a 1,1 calibrações por doseador. Em 2006-2009, a média é 0,64 n.º/(doseador.ano) e P25-P75 é 0,57-1 n.º/(doseador.ano).



**wtER03 – Eficiência mássica de remoção de CBO<sub>5</sub> [%] =**

$[(\text{CBO}_5 \text{ afluente} - \text{CBO}_5 \text{ descarregada (efluente} + \text{bypass)}) / \text{CBO}_5 \text{ afluente (kg)}] \times 100$

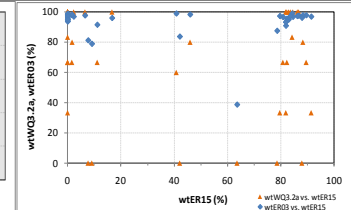
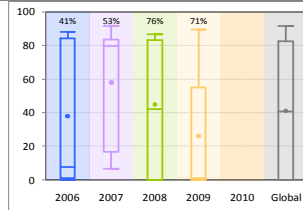
P25 encontra-se acima de 90%. Em 2006-2009 P25-P75 é 95-98%. Valores abaixo dos 90% (não representados): valor mínimo de 2006 (76%), 3 extremos em 2007 (39, 66 e 79%) e 3 em 2008 (70, 84 e 88%).



**wtER15 – Adequação da capacidade mássica em CBO<sub>5</sub> [%] =**

$[1 - (\text{Capacidade mássica em CBO}_5 \text{ em sobrecarga} + \text{Capacidade mássica em CBO}_5 \text{ em subutilização (kg)}) / \text{Capacidade mássica total em CBO}_5 \text{ (kg)}] \times 100$

Gama de resultados muito alargada. À excepção de um, os casos de estudo com insatisfatória capacidade da ETAR estão em subutilização.

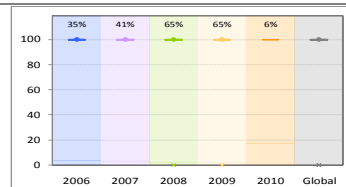


**Quadro 3 (cont).** Resultados de alguns PI do domínio *Eficiência e fiabilidade*.

**wtER28 – Controlo da recirculação [%] =**

$(\text{Motobombas de recirculação com comandos automáticos (n.º)} / \text{Motobombas de recirculação (n.º)}) \times 100$

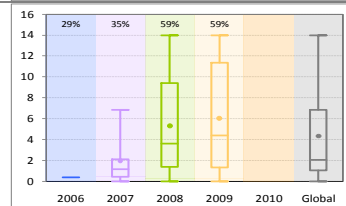
Na maioria dos casos de estudo analisados neste PI todas as motobombas de recirculação possuem controlo automático, indicando elevado grau de automação da ETAR em termos de recirculação.



**wtER35.1 – Inspeção de motobombas [n.º/(motobomba.ano)] =**

$\text{Inspeções de motobombas (n.º)} \times 365 \text{ (d/ano)} / \text{Período de referência (d)} / \text{Motobombas (contabilizando as de reserva) (n.º)}$

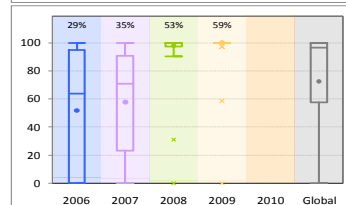
Aumento significativo do PI, no período analisado, variando em termos médios, de 2 inspeções por motobomba em 2007 a 6 inspeções em 2009. Estes resultados superiores à unidade não significam que todas as motobombas foram inspeccionadas no período de referência, aspecto avaliado por wtER35.2.



**wtER35.2 – Motobombas inspeccionadas [%] =**

$(\text{Motobombas inspeccionadas (n.º/ano)} / \text{Motobombas (contabilizando as de reserva) (n.º)}) \times 100$

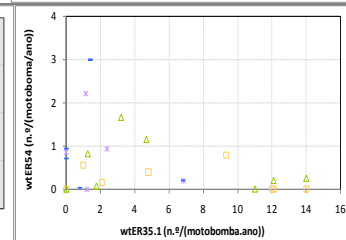
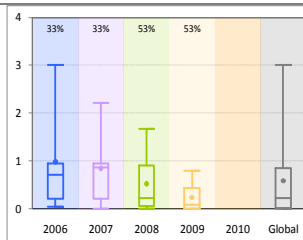
Esta opção de cálculo também evidencia um aumento no período analisado da prática de inspeção, existindo, no entanto, resultados inferiores a 100%/ano. Comparando as duas opções do PI, conclui-se que o esforço de inspeção foi dirigido a determinadas motobombas.



**wtER54 – Interrupção do funcionamento de motobombas (> 30 min) [n.º/(motobomba/ano)] =**

$\text{Interrupção do funcionamento de motobombas (> 30 min) (n.º)} \times 365 \text{ (d/ano)} / \text{Período de referência (d)} / \text{Motobombas (não contabilizando as de reserva) (n.º)}$

Diminuição, em média, de 0,98 para 0,24 n.º/(motobomba/ano) em 2006-2009. Em 2009, ca. metade dos casos de estudo apresentam valores zero.



**Quadro 4.** Resultados de alguns PI do domínio *Utilização de água, energia e materiais.*

<p><b>tRU01 – Eficiência de utilização de água na ETA [%] =</b>  <math>(\text{Água tratada (m}^3) / \text{Água bruta (m}^3)) \times 100</math></p> <p>Maioria dos resultados superiores a 90%. No período 2006-2009, a média é elevada (ca. 97%) e P25-P75 é 95-99%. Os valores superiores a 100% podem dever-se à diferença de erros dos caudalímetros à entrada e à saída das ETA.</p>	
<p><b>wtRU01 – Consumo de água doce na ETAR [m<sup>3</sup>/10 m<sup>3</sup>] =</b>  <math>(\text{Água doce (m}^3) / \text{Água residual tratada (m}^3)) \times 10^3</math></p> <p>P25-P75 diminuiu de 1,7-7,8 m<sup>3</sup>/10 m<sup>3</sup> em 2007, para 1,2-2,11 m<sup>3</sup>/10 m<sup>3</sup> em 2009. Em 2006-2009, P25-P75 é ca. 1,4-3,3 m<sup>3</sup>/10 m<sup>3</sup>. No entanto, há ainda alguns valores acima dos valores máximos, considerados extremos (alguns não representados), nomeadamente em 2006 (17,8), em 2008 (31) e em 2009 (5,8, 7,5 e 68,9).</p>	
<p><b>tRU03, wtRU03 – Consumo de energia [kWh/m<sup>3</sup>]* =</b>  <math>\text{Energia consumida (kWh)} / \text{Água tratada (m}^3)</math></p> <p>O consumo de energia aumenta ligeiramente nas ETAR e diminui nas ETA. P25-P75 é 0,05-0,44 kWh/m<sup>3</sup> nas ETA e 0,72-1,32 kWh/m<sup>3</sup> nas ETAR.</p>	
<p><b>tRU05, wtRU04 – Consumo de ácidos e bases [eq./m<sup>3</sup>]* =</b>  <math>\text{Ácidos e bases consumidos (eq)} / \text{Água tratada (m}^3)</math></p> <p>Em 2006-2009, o consumo de ácidos e bases diminui nas ETA e aumenta nas ETAR. Nas ETA, a média é ca. 0,9 eq./m<sup>3</sup> e nas ETAR, P25-P75 é 0,03-0,09 eq/m<sup>3</sup>.</p>	

\* nos PI de ETAR onde se lê "água tratada" deve ler-se "água residual tratada"

## 4.5 Gestão de subprodutos

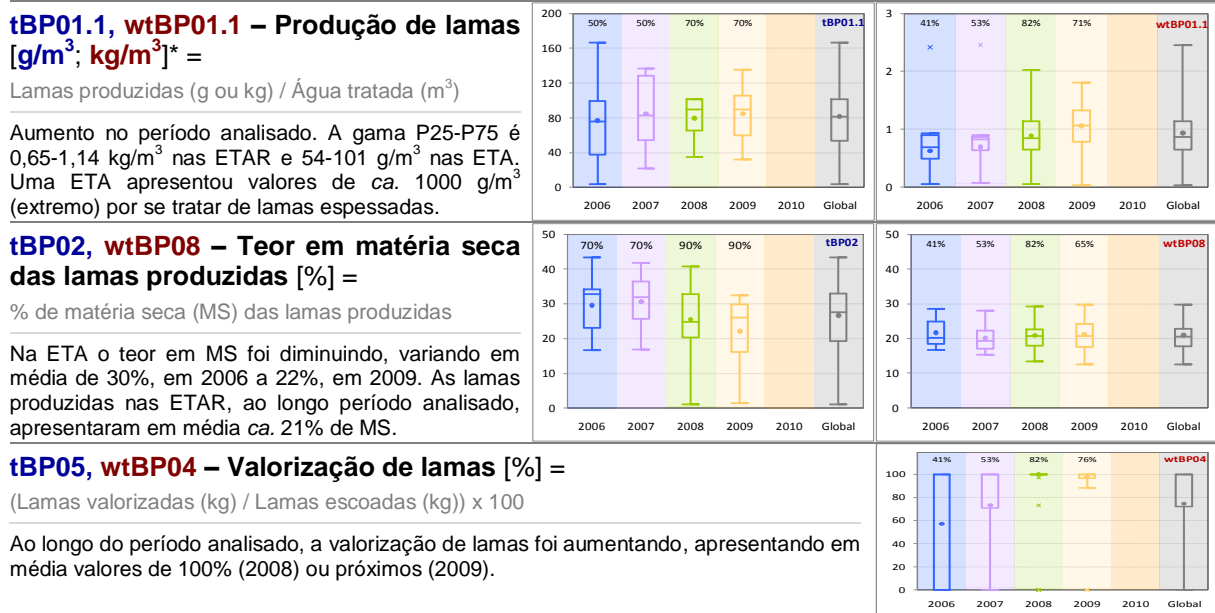
O domínio *Gestão de subprodutos* avalia o desempenho da estação em termos de produção e gestão de subprodutos: lamas, meios de enchimentos, gradados, areias, óleos e gorduras, biogás e emissão de gases de efeito de estufa (GEE).

Nesta comunicação apresenta-se a gestão de subprodutos apenas para as lamas, existindo uma abordagem semelhante para os outros subprodutos. A produção de lamas (wtBP01.1, Quadro 5) aumentou de 2006 a 2009. O aumento de produção de lamas deve-se normalmente a menores eficiências de estabilização de matéria orgânica – aspecto que pode ser avaliado em wtER02, PI que por falta de dados de CBO<sub>5</sub> nas lamas não foi calculado – ou a produção de lamas menos concentradas. O PI wtBP08 mostra, no entanto, valores de MS constantes e elevados (dentro das gamas típicas) no período 2006-2009.

O teor em MS das lamas produzidas nas ETA (tBP02, Quadro 5) também foi elevado (dentro das gamas típicas) mas diminuiu ao longo do período analisado. Nas ETA, as lamas menos concentradas correspondem a uma maior produção de lamas (tBP01.1, Quadro 5).

Na maioria das ETA e ETAR as lamas produzidas foram escoadas (wtBP02 e tBP03) no período de referência e o PI wtBP04 (Quadro 5) mostra que houve um aumento na valorização de lamas e, portanto, uma melhoria na gestão das lamas escoadas.

**Quadro 5. Resultados de alguns PI do domínio *Gestão de subprodutos*.**



\* nos PI de ETAR onde se lê "água tratada" deve ler-se "água residual tratada"

## 4.6 Segurança

O domínio *Segurança* tem por objectivo avaliar o desempenho da estação em termos de segurança ambiental, de pessoas e de instalações.

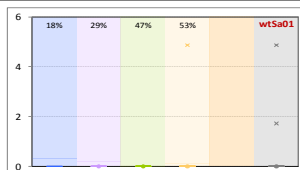
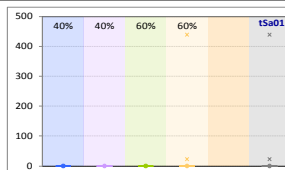
Como desejável, para a maioria dos casos de estudo, os indicadores de segurança ambiental ((w)tSa01) e de pessoas ((w)tSa02) são nulos. Verifica-se, no entanto, a ocorrência de acidentes de trabalho ou de doenças profissionais nas ETA em 2008 e nas ETAR em 2009 (Quadro 6).

**Quadro 6. Resultados dos PI do domínio *Segurança*.**

**tSa01, wtSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos, subprodutos (ou águas residuais) [kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>] =**

(Produtos químicos, subprodutos (ou água residual) libertados acidentalmente (kg) / Água tratada (m<sup>3</sup>)) x 10<sup>6</sup>

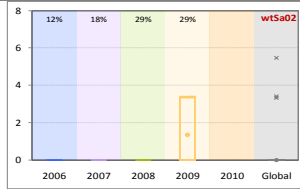
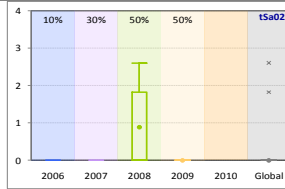
Este PI apresenta valores nulos, com excepção dos extremos.



**tSa02, wtSa02 – Acidentes de trabalho e doenças profissionais [n.º/(10 empregados.ano)] =**

(Acidentes de trabalho ou doenças profissionais (n.º) x 365 (d/ano) / Período de referência (d) / Empregados equivalentes a tempo inteiro (n.º)) x 10

Em todos os anos a mediana é zero.



\* nos PI de ETAR onde se lê "água tratada" deve ler-se "água residual tratada"

## 4.7 Recursos humanos

No domínio *Recursos humanos* avalia-se o desempenho da estação em termos de disponibilidade de pessoal afecto, da adequação da sua qualificação e formação, do absentismo e trabalho suplementar.

Em termos de disponibilidade de pessoal ((w)tPe01, Quadro 7) as ETA têm, em média, 1,6 empregados/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de água tratada e as ETAR 4 empregados/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de água tratada. Em termos de qualificação, quer nas ETA, quer nas ETAR, ca. 20% do pessoal tem formação superior ((w)tPe02, Quadro 7) e ca. 50% escolaridade obrigatória. O absentismo total ((w)tPe06.1, Quadro 7) aumentou em 2009, sendo que grande parte deste aumento foi devido ao absentismo por acidente de trabalho ou doença profissional ((w)tPe07). Nas ETAR, o maior absentismo por acidente de trabalho ou doença profissional em 2009 é coerente com o PI de número de acidentes de trabalho e doenças profissionais (wtSa02), que também foi mais elevado em 2009. O trabalho suplementar nas ETA e ETAR diminuiu consideravelmente, demonstrando uma melhor adequação da utilização dos recursos humanos das ETA/ETAR.

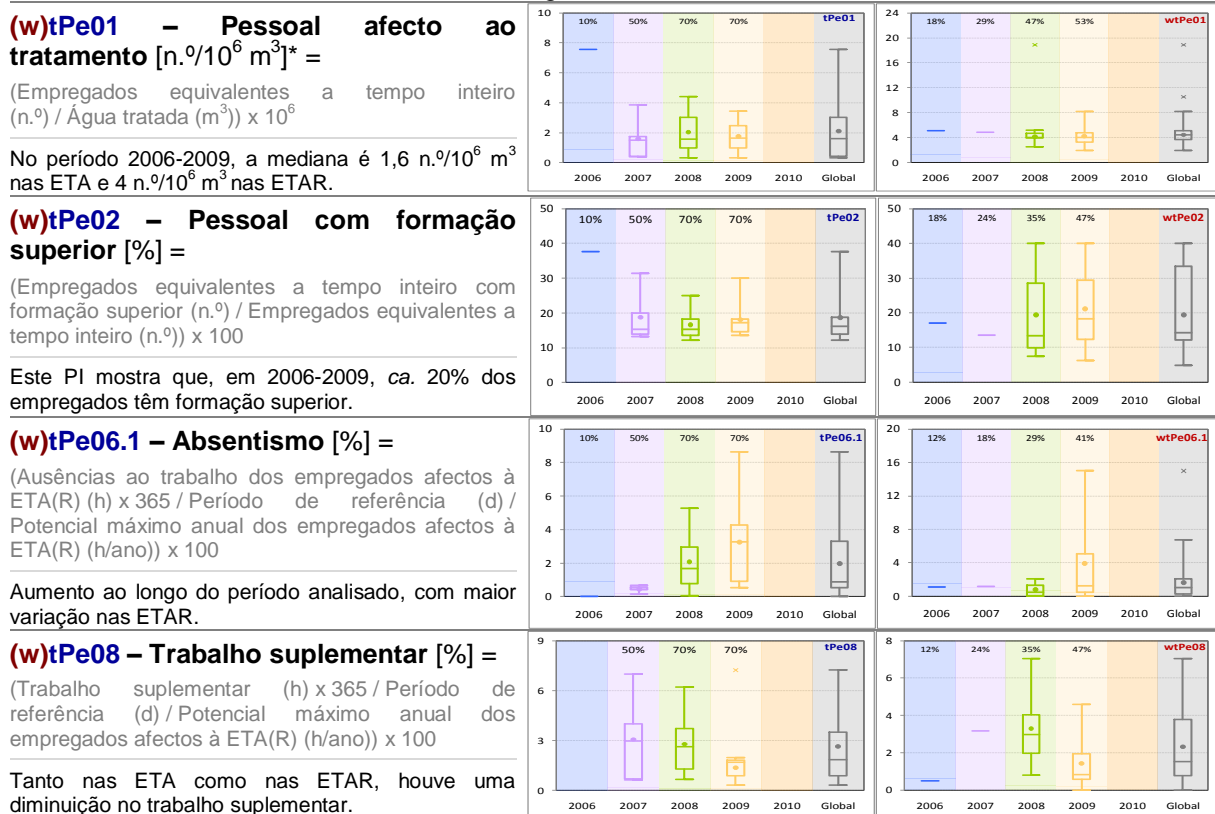
## 4.8 Recursos económico-financeiros

O domínio *Recursos económico-financeiros* avalia o desempenho da estação em termos de rendimentos, gastos e sustentabilidade financeira. Os gastos são discriminados pelas rubricas pessoal, energia eléctrica, aquisição de reagentes e meios de enchimento, deposição/valorização de subprodutos, aquisição de serviços de controlo analítico e aquisição de serviços de manutenção.

Tanto o rendimento unitário operacional ajustado (wtFi01, Quadro 8) como o gasto unitário operacional ajustado foram superiores em 2009, com maior expressão para os rendimentos, pelo que o rácio de cobertura dos gastos operacionais ajustados (wtFi10, Quadro 8) também foi mais elevado neste ano. De salientar que nalguns casos de estudo os rendimentos operacionais ajustados não cobriram os gastos operacionais ajustados e, quanto maior estes gastos, menor o rácio de cobertura (Quadro 8).

A par dos gastos com pessoal, os gastos com energia eléctrica correspondem a uma parcela significativa (ca. um quarto) dos gastos operacionais ajustados. Tal como o consumo de energia (wtRU03), o gasto com energia eléctrica também aumentou ligeiramente ao longo do período analisado, estando estes directamente relacionados, como seria de esperar (Quadro 8).

**Quadro 7. Resultados de alguns PI do domínio Recursos humanos.**



\* nos PI de ETAR onde se lê “água tratada” deve ler-se “água residual tratada”

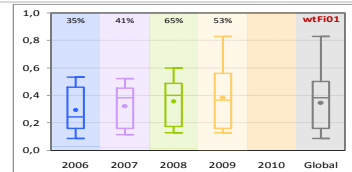


**Quadro 8.** Resultados de alguns PI do domínio *Recursos económico-financeiros*.

**(w)tFi01 – Rendimento unitário operacional ajustado [Euro/m<sup>3</sup>]\* =**

Rendimentos operacionais ajustados (Euro) / Água bruta (m<sup>3</sup>)

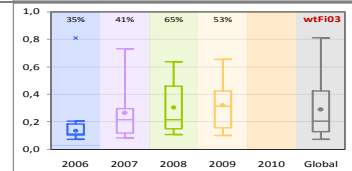
Em média, verifica-se um aumento ao longo do período analisado. Em 2009, o PI apresentou a gama P25-P75 mais alargada (0,16-0,56 Euro/m<sup>3</sup>).



**(w)tFi03 – Gasto unitário operacional ajustado [Euro/m<sup>3</sup>]\* =**

Gastos operacionais ajustados (Euro) / Água tratada (m<sup>3</sup>)

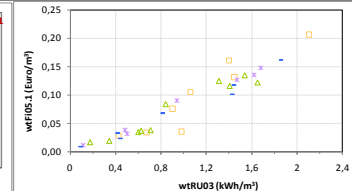
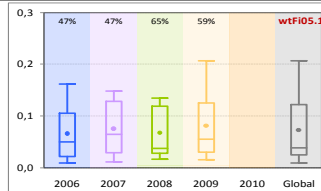
Tal como no PI anterior, houve um aumento ao longo do período analisado. Em 2009, P25-P75 é 0,15-0,42 Euro/m<sup>3</sup>.



**(w)tFi05.1 – Gasto com energia eléctrica [Euro/m<sup>3</sup>]\* =**

Gastos com energia eléctrica (Euro) / Água tratada (m<sup>3</sup>)

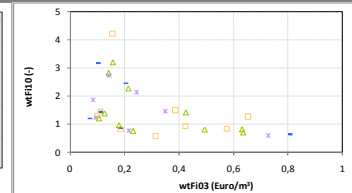
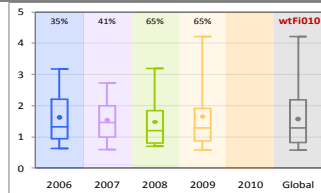
O gasto com energia eléctrica aumentou ligeiramente, ao longo do período analisado. Em 2006-2009, P25-P75 é 0,02-0,12 Euro/m<sup>3</sup>.



**(w)tFi10 – Rácio de cobertura dos gastos operacionais ajustados [-] =**

Rendimentos operacionais ajustados (Euro) / Gastos operacionais (Euro)

Em 2006-2009, P25-P75 é 0,82-2,2. Alguns casos de estudo obtiveram valores inferiores a um.



\*nos PI de ETAR onde se lê “água bruta” e “tratada” deve ler-se “água residual bruta” e “tratada”, respectivamente

## 4.9 Apoio ao planeamento e projecto

O domínio *Apoio ao planeamento e projecto* tem por objectivo avaliar aspectos não directamente relacionados com a gestão da ETAR, mas que influenciam o seu desempenho ambiental e económico, nomeadamente, o pessoal afecto ao planeamento e projecto (wtPD01), a área ocupada pelo sistema de tratamento (wtPD02) e por elementos de valor paisagístico ou histórico (wtPD03) e o valor patrimonial do terreno (wtPD04). No ID wtPD02 verificou-se para os casos estudo analisados (41% das ETAR) valores constantes ao longo do período analisado, com a gama P25-P75 entre 0,33 e 0,70 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>/d) e a mediana 0,47 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>/d).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho já desenvolvido no âmbito do projecto PAST21 permitiu definir os objectivos e áreas de avaliação, para cada caso de estudo do projecto e em geral para ETA e ETAR urbanas, e permitiu, do *portfolio* de PI desenvolvidos, seleccionar os indicadores de desempenho associados aos objectivos específicos de cada caso de estudo. Concluiu-se que, globalmente, todos os indicadores contemplados nos sistemas de ETA e ETAR são relevantes, embora a disponibilidade e acessibilidade de dados fiáveis possa vir a limitar a aplicação de alguns PI nalgumas instalações. Identificaram-se ainda oportunidades de melhoria na formulação e clareza dos indicadores propostos e suas variáveis, bem como de novos indicadores, dando origem à segunda geração dos PI globais para ETA e ETAR urbanas.

Os resultados evidenciam o desempenho global das estações e permitiram identificar, para alguns indicadores, gamas de valores com base nos percentis 25 e 75. Desde que a agregação corresponda a um grupo de estações comparáveis em termos do critério de avaliação de desempenho, estas gamas poderão vir a ser usadas para estabelecer valores de referência para as medidas de avaliação de desempenho. No entanto, para se conseguir maior representatividade e robustez das gamas, a percentagem de casos de estudo que entraram para o cálculo de cada indicador deveria ser superior. Nesta fase do projecto ainda existem muitos dados a ser carregados pelas EG, pelo que se espera que na segunda fase de cálculo dos indicadores, as percentagens de cálculo sejam mais representativas do universo em estudo.

Relativamente à avaliação de desempenho operacional, os dados de qualidade da água que serviram para o cálculo de alguns PI também entram no cálculo de duas subcomponentes da avaliação de desempenho operacional, nomeadamente, qualidade da água/água residual tratada e eficiência de remoção. Para a terceira subcomponente de funcionamento dos órgãos está em curso o carregamento do módulo de *input* de dados de operação, da cada OPU, da fase líquida e da fase sólida.

## **6 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a toda a equipa do projecto PAST21 (ca. 70 pessoas) pela identificação de oportunidades de melhoria na formulação e clareza dos indicadores e suas variáveis e pela recolha e disponibilização de dados necessários à aplicação dos PAS.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alegre H., Hirner W., Melo Baptista J., Parena R. (2000). *Performance indicators for water supply services*. 1<sup>st</sup> edition. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London. ISBN 1-900222-272.
- Alegre H., Melo Baptista J., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. (2006). *Performance indicators for water supply services*. 2<sup>nd</sup> edition. Manual of Best Practices Series. IWA Publishing, London. ISBN 1843390515.
- Alegre H., Rosa M. J., Vieira P., Quadros S., Ramalho P., Silva C. (2009). *Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Água e de Estações de Tratamento de Águas Residuais – Relatório Final*. Projecto POCI-PPCDT/ECM/57909/2004, Julho.
- DWA (2008). *Corporate Benchmarking - Metric Benchmarking as Component of the Modernisation Strategy - Performance Indicators and Evaluation Principles*. DWA German Association for Water, Wastewater and Waste, Germany. ISBN 978-3-941089-33-4
- Matos R., Cardoso A., Ashley R., Duarte P., Molinari A. Schulz A. (2003). *Performance indicators for wastewater services. Manual of Best Practices Series*. IWA Publishing, London. ISBN 19002229006.
- OfWat (2004). *Updating the overall performance assessment (OPA) – conclusions and methodology for 2004-05 onwards*. UK Office of Water Services.

- Quadros S. (2010). *Desenvolvimento de um sistema de avaliação de desempenho de estações de tratamento de águas residuais urbanas. Tese elaborada para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Ambiente, especialidade Engenharia Sanitária, pela Universidade dos Açores.* Angra do Heroísmo. (no prelo).
- Quadros S., Rosa M.J., Alegre H., Silva C. (2010a). A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. *Water Science and Technology – Water supply.* (no prelo).
- Quadros S., Rosa M. J., Alegre H., Silva C., Ramalho P., (2010b). Avaliação de desempenho operacional de ETAR urbanas. In *Anais do 14.º Encontro Nacional de Saneamento Básico/14.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto, 26-29 Outubro, 15 pp.
- Quadros S., Rosa M.J., Silva C., Alegre H., Vieira P., Ramalho P. (2010c). *Fichas de Indicadores de Desempenho Global de ETAR.* Iniciativa Nacional de Avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas. LNEC. Lisboa, Junho, 122 pp.
- Ramalho P., Silva C., Rosa M. J., Vieira P., Alegre H. (2010). *PAStool - A Ferramenta de Cálculo Automático dos Sistemas de Avaliação de Desempenho de ETA e ETAR Urbanas.* In *Anais do 14.º Encontro Nacional de Saneamento Básico/14.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto, 26-29 Outubro, 15 pp.
- Rosa M. J., Ramalho P., Silva C., Vieira P., Quadros S., Alegre H. (2010). *PASt21 – Iniciativa Nacional de Avaliação de Desempenho de ETA e ETAR Urbanas.* In *Anais do 10.º Congresso de Água.* Alvor (Algarve), 22-24 Março, 14 pp.
- Silva C. (2008). *Aplicação de medidas de avaliação de desempenho a estações de tratamento de água da Águas do Algarve.* Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Especialidade Tecnologias Ambientais, FCMA/UALG, Faro, 163 pp.
- Stahre P., Adamsson J. (2001). Performance benchmarking: A powerful management instrument for water and wastewater utilities. *Water Technology*, 12, 47-77.
- Stahre P., Adamsson J., Mellstrom G. (2008). A new approach for assessment of the performance of water distribution and sewerage networks. In *International Conference on Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking water, wastewater and solid waste.* Eds. E. Cabrera Jr, M.A. Pardo. IWA Publishing, London, ISBN 1843391910, 5-24.
- Vieira P., Alegre H., Rosa M. J., Lucas H. (2008). Drinking water treatment plants assessment through performance indicators. *Water Science and Technology - Water Supply*, 8(3) 245-253.
- Vieira P., Rosa M. J., Alegre H., Ramalho P., Silva C., Lucas H. (2009). Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. *Águas & Resíduos*, série III. n.º 9, Janeiro/Abril, pp 4-17.
- Vieira P. (2009). *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano. Tese elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para obtenção do grau de Doutor em Ciências e Tecnologias do Ambiente, especialidade Tecnologias do Ambiente, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve.* Teses e Programas de Investigação. LNEC. Lisboa. ISBN 978-972-49-2186-0, 451 pp.
- Vieira P., Rosa M. J., Alegre H. (2010a). Integração das componentes do sistema de avaliação de desempenho. In *Anais do 14.º Encontro Nacional de Saneamento Básico/14.º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Porto, 26-29 Outubro, 15 pp.
- Vieira P., Rosa M. J., Silva C., Alegre H., Ramalho P. (2010b). *Fichas de Indicadores de Desempenho Global de ETA.* Iniciativa Nacional de Avaliação de desempenho de ETA e ETAR urbanas. LNEC. Lisboa, Junho, 72 pp.
- World Bank (2006). IBNET indicator definitions. World Bank, Washington.