

# A&R ÁGUAS & RESÍDUOS

Série V - N.º 03

junho 2025

Otimização das previsões de consumo de água no curto prazo: uma abordagem comparativa

Pág. 7 - 18

Modelação hidráulica de redes de drenagem: experiência da Águas e Energia do Porto

Pág. 19 - 27

Setorização Mais & CIL  
Pressure: Estratégias integradas para a eficiência hídrica no Porto

Pág. 28 - 36

Balances Hídricos Zonais para Priorização de Intervenções na Rede de Abastecimento de Água

Pág. 37 - 45

Desidratação e estabilização de lamas biológicas de ETAR urbana em Reed beds: Ensaio-piloto na ETAR de Vila do Porto, Açores

Pág. 46 - 53

Reutilização Sustentável da Água no Setor Têxtil: limitações e estratégias para a aplicação da digestão anaeróbia

Pág. 54 - 62

NOTA TÉCNICA  
Estratégia para a recolha e valorização de biorresíduos no Algarve - Caso de estudo de Portimão

Pág. 63 - 69

NOTA TÉCNICA  
Uma boa ação muda o mundo. Faz a tua. Recicla!

Pág. 70 - 74



# 14.<sup>as</sup> JTIR

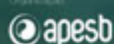
JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS



## Gestão de Resíduos e Águas em Situações Extremas: O Desafio da Insularidade

**19-22**  
**NOVEMBRO**  
Ponta Delgada  
**AÇORES**

Organização





## Editorial

### Edição e Propriedade

© APESB

### Editora

Lígia Pinto

### Co-editores

António Albuquerque

Leonor Amaral

Paulo Ramísio

### Comissão Executiva

Nídia Caetano

Pedro Alvaro

Isabel Brás

António Martins

João Dias

### DOI

10.22181/aer.2025.03

### Data de Publicação

junho de 2025

Os artigos e notas técnicas que compõem o presente número da Revista Águas & Resíduos, também apresentados no vigésimo primeiro ENaSB-Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental realizado em Braga em novembro de 2024, constituem um contributo significativo para a identificação e disseminação das melhores práticas e para o desenvolvimento do conhecimento nos setores da água, águas residuais e resíduos.

O artigo “Otimização das previsões de consumo de água no curto prazo: uma abordagem comparativa” avalia diferentes modelos de previsão do consumo de água comparando os resultados com dados históricos. Seguem-se três artigos focados na questão da eficiência hídrica, quer na vertente da deteção de perdas na rede, de ligações ilícitas e na definição de estratégias de priorização de intervenção: “Modelação hidráulica de redes de drenagem: experiência na Águas e Energia do Porto”; “Setorização Mais & CIL Pressure: Estratégias integradas para a eficiência hídrica no Porto”, e “Balanços hídricos zonais para priorização de intervenções na rede de abastecimento de água”.

O artigo “Desidratação e estabilização de lamas biológicas de ETAR urbana em Reed beds: Ensaio-piloto na ETAR de Vila do Porto, Açores” analisa a viabilidade do reaproveitamento de lamas biológicas.

O conjunto de artigos termina com a análise da possibilidade de reutilização de água na indústria textil no artigo “Reutilização Sustentável da Água no Setor Têxtil: limitações e estratégias para a aplicação da digestão anaeróbia”.

A encerrar a revista encontram-se duas notas técnicas dedicadas à recolha seletiva de resíduos: “Estratégia para recolha e valorização de biorresíduos no Algarve – Caso de estudo de Portimão” e “Uma boa ação muda o mundo. Pratica a tua. Recicla!”.

Lígia Pinto

**Editora**

### APESB

Av. Brasil 101 (Edifício NES)

1700-066 Lisboa - PORTUGAL

E-mail: [aguaseresiduos@apesb.org](mailto:aguaseresiduos@apesb.org)

Tel: +351 21 844 38 49



## Editorial

### Published by

© APESB

### Editor

Lígia Pinto

### Co-editores

António Albuquerque

Leonor Amaral

Paulo Ramísio

### Executive Board

Nídia Caetano

Pedro Alvaro

Isabel Brás

António Martins

João Dias

### DOI

10.22181/aer.2025.03

### Publication date

june 2025

The articles and technical notes in this issue of the Águas & Resíduos Journal, which were also presented at the twenty-first ENaSB Meeting on Sanitary and Environmental Engineering held in Braga in November 2024, provide a significant contribution to the identification and dissemination of best practices and for the development of the knowledge base in the areas of water, wastewater, and waste sectors.

The article titled "Optimizing Short-Term Water Consumption Forecasts: A Comparative Approach" evaluates various water consumption forecasting models by comparing their results with historical data. This is followed by three articles addressing water efficiency, particularly in relation to detecting losses in the network, identifying illicit connections, and defining prioritization strategies for interventions: "Hydraulic Modelling of Drainage Networks: Experience at Águas e Energia do Porto," "Sectorization Plus& CIL Pressure: Integrated Strategies for Water Efficiency in Porto," and "Zonal Water Balance for Prioritizing Interventions in Water Supply Networks".

Additionally, the article "Dewatering and Stabilization of Biological Sludge from Urban Wastewater Treatment Plants in Reed Beds: a Pilot scale essay at the WWTP of Vila do Porto, Azores" examines the feasibility of reusing biological sludge.

The collection of articles concludes with an analysis of the potential for reusing water in the textile industry, presented in the article "Sustainable Water Reuse in the Textile Sector: Limitations and Strategies for the Application of Anaerobic Digestion".

Rounding out the journal are two technical notes focused on the selective waste collection: "Strategy for the Collection and Recovery of Bio-Waste in the Algarve – Portimão Case Study" and "A Good Deed Changes the World: Practice Yours. Recycle!".

Lígia Pinto

**Editor**

### APESB

Av. Brasil 101 (Edifício NES)

1700-066 Lisboa - PORTUGAL

E-mail: [aguaseresiduos@apesb.org](mailto:aguaseresiduos@apesb.org)

Tel: +351 21 844 38 49



## SUMÁRIO

V.03 (2025)

07

### Otimização das previsões de consumo de água no curto prazo: uma abordagem comparativa

*João Caetano, Bruno Ferreira, Raquel Barreira, Nelson Carriço*

Comparação de cinco técnicas de previsão de consumo de água a curto prazo. O modelo mais preciso é escolhido com base em dados históricos, destacando os desafios e vantagens da abordagem.

19

### Modelação hidráulica de redes de drenagem: experiência da Águas e Energia do Porto

*Paula Brandão, Joana Brandão*

Descubra como a Águas e Energia do Porto está a revolucionar a gestão das redes de drenagem com modelação hidráulica! Através do SWMM, antecipamos desafios e apoiamos um planeamento mais eficiente e sustentável para a cidade.

28

### Setorização Mais & CIL Pressure: Estratégias integradas para a eficiência hídrica no Porto

*Susana Garcia, Ricardo Ferreira, Flávio Oliveira*

Através da setorização e da gestão criteriosa das pressões do sistema de abastecimento de água, estas iniciativas conjugadas promovem a otimização dos recursos e do próprio sistema, com impacto no Índice de Água Não Faturada, que atingiu o valor histórico de 12,3% em 2024.

37

### Balancos Hídricos Zonais para Priorização de Intervenções na Rede de Abastecimento de Água

*Sameiro Roriz, Rita Araújo, Sérgio Silva, António Ramos, Aisha Mamade, Paula Kawahara*

Geração em contínuo e automatizada de balanços hídricos por ZMC. Integração de diferentes sistemas de informação (SIG, ordens de serviço, faturação). Identificação expedita de zonas críticas de intervenção e priorização de ações. Aumento da fiabilidade dos dados e agilização da tomada de decisão.

46

### Desidratação e estabilização de lamas biológicas de ETAR urbana em Reed beds: Ensaio-piloto na ETAR de Vila do Porto, Açores

*Ana Câmara, Sílvia Quadros*

Beneficiando das condições de reduzida precipitação, as Reed beds com *Typha domingensis*, permitiram obter um teor de matéria seca final de 17%, a partir de lamas biológicas com 3 a 4%. Os resultados obtidos no ensaio-piloto de 3 meses foram promissores, devendo o sistema ser replicado no futuro a uma maior escala.

54

### Reutilização Sustentável da Água no Setor Têxtil: limitações e estratégias para a aplicação da digestão anaeróbia

*Sónia Barbosa, Ana Nicolau, Ana Silva, Andreia Salvador, Olívia Soares, Manuel Pereira, Ana Gonçalves, Maria Pereira*

A indústria têxtil é a segunda maior fonte de poluição hídrica global, exigindo uma gestão eficiente e sustentável da água. Este estudo avaliou o potencial da digestão anaeróbia para tratar efluentes têxteis, com produção simultânea de biogás, como solução inovadora e ambientalmente responsável.

63

#### NOTA TÉCNICA

### Estratégia para a recolha e valorização de biorresíduos no Algarve - Caso de estudo de Portimão

*Miguel Nunes, Catarina Diniz, Gonçalo Santos*

Em Portugal, a recolha seletiva de biorresíduos é o mais importante e disruptivo passo em matéria de gestão de resíduos urbanos, desde o encerramento das lixeiras. Portimão apostou na pedagogia e na capacitação cívica dos munícipes. Fazer as coisas da mesma maneira e esperar resultados diferentes é sinal de insanidade. O verdadeiro desafio é o desafio social.

70

#### NOTA TÉCNICA

### Uma boa ação muda o mundo. Faz a tua. Recicla!

*Susana Silva*

A campanha "Uma boa ação muda o mundo. Pratica a tua! Recicla!" da Valorsul apresentou-se como uma campanha alinhada com os valores contemporâneos de responsabilidade ambiental. O objetivo foi sensibilizar as centenas de milhares de peregrinos que se reuniram na Jornada Mundial da Juventude (JMJ) Lisboa 2023 para a redução, reutilização e reciclagem de resíduos.



## CONTENTS

V.03 (2025)

08

### Optimizing short-term water consumption forecasts: a comparative approach

*João Caetano, Bruno Ferreira, Raquel Barreira, Nelson Carriço*

Comparison of five short-term water consumption forecasting methods. The most accurate model is selected using historical data, highlighting the approach's challenges and benefits.

20

### Hydraulic modelling of drainage networks: experience of Águas e Energia do Porto

*Paula Brandão, Joana Brandão*

Discover how Águas e Energia do Porto is revolutionizing drainage network management through hydraulic modelling. Using SWMM, we anticipate challenges and support more efficient and sustainable urban planning.

29

### Optimizing short-term water consumption forecasts: a comparative approach

*Susana Garcia, Ricardo Ferreira, Flávio Oliveira*

Through sectorization and careful pressure management in the water supply system, these combined initiatives optimize resources and the system itself, leading to a historic Non-Revenue Water Index of 12.3% in 2024.

38

### Zonal Water Balance for Prioritizing Interventions in Water Supply Networks

*Sameiro Roriz, Rita Araújo, Sérgio Silva, António Ramos, Aisha Mamade, Paula Kawahara*

Continuous and automated generation of water balances by ZMC. Integration of different information systems (GIS, service orders, billing). Swift identification of critical intervention areas and prioritization of actions. Increased data reliability and streamlined decision-making.

47

### Biosolids dewatering and stabilization in Reed beds: A pilot scale essay at WWTP of Vila do Porto, Azores

*Ana Câmara, Sílvia Quadros*

Benefiting from the low rainfall conditions, the Reed beds with *Typha domingensis* enabled to obtain a final dry matter content of 17 % from biosolids of 3 to 4 %. The results obtained in the 3-month pilot-scale essay were promising and the system should be replicated on a larger scale in the near future.

55

### Sustainable water reuse in the textile sector: limitations and strategies for the application of anaerobic digestion

*Sónia Barbosa, Ana Nicolau, Ana Silva, Andreia Salvador, Olívia Soares, Manuel Pereira, Ana Gonçalves, Maria Pereira*

The textile industry is the second-largest source of global water pollution, requiring sustainable water management. This study evaluated anaerobic digestion for treating textile wastewater while producing biogas, offering an innovative and eco-friendly responsible solution.

64

#### TECHNICAL NOTE

### Strategy for collection and recovery of bio waste in the Algarve region - case study of Portimão

*Miguel Nunes, Catarina Diniz, Gonçalo Santos*

In Portugal, the selective collection of biowaste is the most important and disruptive step regarding waste management, since the closure of dumps. Portimão bet on pedagogy and civic empowerment of citizens. Insisting on doing things the same way and expecting different results is a sign of insanity. The real challenge is the social challenge.

71

#### TECHNICAL NOTE

### A good deed changes the world. Make yours. Recycle!

*Susana Silva*

The campaign "A good deed changes the world. Do yours! Recycle!" Valorsul presented itself as a campaign aligned with contemporary values of environmental responsibility. The objective was to raise awareness among the hundreds of thousands of pilgrims who gathered at World Youth Day (WYD) Lisbon 2023 about the reduction, reuse and recycling of waste.

# Otimização das previsões de consumo de água no curto prazo: uma abordagem comparativa

João Caetano <sup>a</sup>, Bruno Ferreira <sup>a</sup>, Raquel Barreira <sup>b, c</sup>, Nelson Carriço <sup>a, d</sup>

<sup>a</sup> Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, Portugal

<sup>b</sup> Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS – Estefanilha 2910-761 Setúbal, Portugal

<sup>c</sup> CMAFcIO – Center for Mathematics, Fundamental Applications and Operations Research, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

<sup>d</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

## RESUMO

O presente artigo apresenta uma metodologia para a previsão de consumos de água a curto prazo, baseada numa abordagem comparativa entre cinco técnicas distintas. A avaliação destas técnicas é efetuada num período de dados históricos conhecido, geralmente correspondente a um dia ou uma semana. O desempenho dos modelos é comparado através da análise do erro entre as previsões e as medições reais de consumo, permitindo identificar o modelo mais preciso. O modelo com menor erro é então selecionado para realizar previsões num horizonte futuro. Esta metodologia realça a importância de adequar o modelo às especificidades do caso em estudo e aos objetivos definidos, embora apresente como desvantagens um elevado esforço computacional e a suposição de que não existirá uma grande variação entre o comportamento histórico e o futuro do consumo de água.

**Palavras-Chave:** Consumos de água, inteligência artificial, previsão no curto prazo, seleção de modelos

**doi:** 10.22181/aer.2025.0301

\* Autor para correspondência  
E-mail: joao.caetano@estbarreiro.ips.pt

# Optimising short-term water consumption forecasts: a comparative approach

João Caetano <sup>a</sup>, Bruno Ferreira <sup>a</sup>, Raquel Barreira <sup>b, c</sup>, Nelson Carriço <sup>a, d</sup>

<sup>a</sup> Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, Portugal

<sup>b</sup> Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS – Estefanilha 2910-761 Setúbal, Portugal

<sup>c</sup> CMAFcIO – Center for Mathematics, Fundamental Applications and Operations Research, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

<sup>d</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

## ABSTRACT

This article presents a methodology for short-term water consumption forecasting based on a comparative approach involving five different techniques. These techniques are evaluated using a period of known historical data, typically corresponding to one day or a week. The performance of the models is compared by analysing the error between the predicted values and the actual consumption measurements, enabling the identification of the most accurate model. The model with the lowest error is then selected to generate forecasts for a future time horizon. This methodology emphasises the importance of tailoring the model to the specific characteristics of the case study and the defined objectives. However, it also has limitations, such as high computational demands and the assumption that there will be no significant deviation between historical and future water consumption patterns.

**Keywords:** Water consumption, artificial intelligence, short-term forecasting, model selection

**doi:** 10.22181/aer.2025.0301

\* Corresponding author

E-mail: joao.caetano@estbarreiro.ips.pt

## 1 INTRODUÇÃO

A concepção, manutenção e operação de sistemas de abastecimento de água (SAA) dependem frequentemente da capacidade de previsão do consumo de água. Os modelos utilizados para previsão podem ser classificados de acordo com o horizonte temporal (período para o qual as previsões são realizadas) e pela frequência (intervalo dentro do horizonte de previsão no qual as previsões são geradas) (Pacchin et al. 2019; Mu et al. 2020):

- **Longo prazo:** previsões com frequência anual ou mensal, abrangendo horizontes de anos ou décadas. Estas previsões são utilizadas principalmente para o planeamento e concepção de infraestruturas.
- **Curto prazo:** previsões com frequências diárias ou horárias, cobrindo horizontes de dias a meses. São cruciais para a gestão e operação diária dos SAA.

A previsão precisa do consumo de água a curto prazo é essencial para a gestão eficiente dos SAA. Esta previsão permite otimizar operações diárias, como o controlo de bombas e válvulas, e garante que a distribuição de água atenda às necessidades dos consumidores, minimizando desperdícios e custos operacionais. Além disso, uma previsão eficaz ajuda a identificar e mitigar possíveis situações de escassez ou excesso de oferta, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos (Alvisi, Franchini, and Marinelli 2007; Romano and Kapelan 2014).

Diversas técnicas têm sido aplicadas na previsão de consumo de água a curto prazo. Ghalekhondabi et al. (2017) referem que redes neuronais e métodos baseados em reconhecimento de padrões são os mais utilizados neste contexto, enquanto os modelos econométricos são predominantes em previsões de longo prazo.

Nos últimos anos, foram publicados vários trabalhos de investigação relacionados com métodos de previsão de consumo urbano de água. Niknam et al. (2022) analisaram mais de 100 métodos de previsão a curto prazo publicados entre 2010 e 2022 e concluíram que não existe um método universalmente aceite como o indicado a utilizar. Por outras palavras, o método mais adequado deve ser selecionado de entre os que apresentam melhor desempenho em relação aos dados disponíveis (e.g., existência de dados climáticos) e aos objetivos da previsão (e.g., consumo médio ou pico de consumo). Verificou-se também que um número razoável de artigos baseou a sua análise na análise tradicional de séries temporais (e.g., modelos ARIMA) e modelos de regressão (incluindo regressão multivariada, árvores de decisão e florestas aleatórias). Estes modelos demonstram capacidade para realizar previsões com uma precisão aceitável para um conjunto de operações em SAA, mantendo a interpretabilidade quando comparados com modelos de previsão complexos e menos interpretáveis, como os baseados em redes neuronais artificiais ou algoritmos metaheurísticos.

O presente artigo apresenta uma metodologia de previsão, desenvolvida pelos autores no âmbito da *Battle of Water Demand Forecasting* (BWDF) (Ferreira et al. 2024). A BWDF foi uma iniciativa, inserida na *3rd International Joint Conference on Water Distribution Systems Analysis & Computing and Control in the Water Industry* (WDSA/CCWI), realizada entre 1 e 4 de julho de 2024, em Ferrara (Itália). O principal objetivo desta batalha foi o de comparar a eficácia de diferentes métodos de previsão de consumo de água de curto prazo em zonas de medição e controlo reais (ZMC). Os participantes foram desafiados a prever padrões semanais de uso de água com cadência horária, utilizando diversos métodos e abordagens, incluindo julgamento de engenharia, métodos probabilísticos e estatísticos, ferramentas de aprendizagem automática e modelos de processamento de sinais.

Neste âmbito, foi desenvolvida uma metodologia para a previsão de consumos de água que combina várias técnicas para captar diferentes aspetos das séries temporais de dados. A partir da análise de séries temporais referentes a dados históricos, comparou-se

o desempenho preditivo, a curto prazo, de diferentes modelos de previsão. O modelo com melhor desempenho preditivo (i.e., menor erro entre valores estimados e reais) é então selecionado para realizar a previsão.

O artigo, para além desta secção introdutória, inclui uma breve descrição dos métodos utilizados, na Secção 2, a descrição da metodologia implementada, na Secção 3, e a apresentação dos casos de estudo a que a metodologia foi aplicada, na Secção 4. Na Secção 5 apresentam-se os principais resultados obtidos nos casos de estudo fornecidos no âmbito da BWDF e uma breve discussão. Por fim, na Secção 6 apresentam-se as conclusões.

## 2 Métodos para previsão de consumos

Ao longo das últimas décadas, tem sido desenvolvida uma vasta gama de métodos para a previsão de consumos de água no curto prazo. Estas técnicas podem ser classificadas, essencialmente, em três categorias, com base na sua abordagem de modelação:

- **Métodos estatísticos:** modelos tradicionais de séries temporais e estatísticos que se baseiam em padrões históricos e formulações matemáticas. Estes incluem métodos como a média móvel integrada autorregressiva (ARIMA), ARIMA sazonal e modelos de séries temporais relacionados, bem como regressão clássica (por exemplo, regressão linear múltipla) e técnicas de decomposição (por exemplo, suavização exponencial ou decomposição de tendência/sazonal). Estes modelos assumem frequentemente relações lineares ou estacionariedade e fornecem parâmetros interpretáveis (por exemplo, tendências, sazonalidade) (Niknam et al. 2022).
- **Métodos de aprendizagem de máquina (machine learning):** são algoritmos baseados em dados no domínio da inteligência artificial (IA) que podem captar padrões não lineares complexos sem pressupostos explícitos de séries cronológicas. Os exemplos mais comuns são as árvores de decisão e os conjuntos de árvores (por exemplo, florestas aleatórias e máquinas de gradiente), as máquinas de vetores de apoio (SVM e para regressão, SVR) e outros modelos de aprendizagem baseados na regressão ou na agregação. Estes modelos “aprendem” a partir de dados históricos para prever a procura futura, lidando frequentemente com relações não lineares e entradas de elevada dimensão melhor do que os modelos estatísticos (Görenekli and Gülbağ 2024). As abordagens de aprendizagem em conjunto (bagging e boosting) inserem-se nesta categoria, com o objetivo de melhorar a precisão através da combinação de vários modelos.
- **Métodos de aprendizagem profunda (deep learning):** são abordagens baseadas na IA, nomeadamente em redes neuronais, capazes de aprender automaticamente representações complexas de dados. Esta categoria inclui redes neuronais artificiais (RNA), bem como arquiteturas de aprendizagem profunda como redes de memória de curto prazo (LSTM), redes neuronais convolucionais (CNN) e modelos híbridos (combinando várias técnicas). Estes modelos podem captar padrões e interações temporais altamente não lineares. As estratégias mais recentes baseadas em IA exploram também a aprendizagem profunda por reforço - aplicando quadros de aprendizagem por reforço a problemas de previsão - e outros sistemas inteligentes híbridos.

Na literatura sobre a temática de previsão de consumos de água, os métodos mais utilizados têm sido, de facto, as redes neuronais (incluindo variantes profundas), as máquinas de vetores de apoio (SVR), os modelos tradicionais de séries temporais, a regressão e os conjuntos baseados em árvores (Niknam et al. 2022).

Refira-se que nenhum método se tem revelado adequado para todas as situações, sendo que todos apresentam vantagens e limitações. Na prática, os investigadores comparam ou combinam frequentemente métodos destas categorias para obter uma melhor precisão ou fiabilidade (Niknam et al. 2022).

Nos últimos anos, numerosos estudos compararam diferentes métodos de previsão com conjuntos de dados comuns para avaliar a sua exatidão, eficiência e facilidade de utilização. Uma conclusão consistente desses estudos é que não existe um único método que domine em todos os cenários, pois o desempenho depende sempre da natureza dos dados e do horizonte de previsão considerados.

### 3 Metodologia implementada

#### 3.1 Enquadramento

A metodologia proposta é principalmente motivada por um dos principais desafios enfrentados pelos especialistas, i.e., identificar o modelo de previsão mais adequado para um determinado caso de estudo específico e os parâmetros do modelo a adotar nesse modelo. Para enfrentar este problema, parte-se do princípio de que nenhum modelo específico será o melhor em todas as situações possíveis.

Para tal, são consideradas cinco técnicas de previsão distintas e compara-se a sua capacidade preditiva num período anterior, normalmente de um dia ou de uma semana. O modelo que apresentar o melhor desempenho preditivo nesse período é então selecionado. Assume-se que um modelo de previsão que apresente bons resultados para o período anterior tenderá a apresentar igualmente bons resultados para o horizonte de previsão considerado.

O presente artigo tem como objetivo prever os valores horários de consumo de água ao longo de uma semana para um estudo de caso específico, utilizando simultaneamente um determinado período de dados históricos de consumo horário de água (por exemplo, um ou dois meses). A metodologia pode ser descrita, genericamente, nas cinco etapas seguintes:

1. **Pré-processamento:** Os dados fornecidos apresentam valores em falta, o que limita a gama de técnicas que pode ser diretamente aplicada. Os primeiros passos consistem num pré-processamento por imputação de valores em falta, decompostos sazonalmente, utilizando o pacote `imputeTS` no R (Moritz and Bartz-Beielstein 2017).
2. **Geração de modelos:** Esta etapa consiste na criação de modelos de previsão, recorrendo a cinco técnicas de previsão distintas (conforme apresentado em 3.2). Cada uma destas técnicas requer parametrização, assim, para cada uma é gerado um conjunto de modelos de previsão, com base em diferentes combinações de parâmetros.
3. **Previsão do período anterior:** Cada modelo candidato gerado na etapa 2 é utilizado para prever, para um período anterior ao horizonte de previsão pretendido (por exemplo, um dia ou uma semana), a fim de avaliar o seu desempenho. Esta etapa envolve o treino dos modelos com dados históricos anteriores ao período analisado, avaliando assim o seu desempenho preditivo num contexto de curto prazo. Este processo pode exigir recursos computacionais consideráveis, sobretudo quando existem numerosas combinações de parâmetros ou de técnicas de previsão computacionalmente intensivas.
4. **Avaliação e seleção de modelos:** Os valores previstos na etapa 3 são comparados com os valores reais utilizando o erro absoluto médio (MAE) como métrica de desempenho. O modelo com o menor erro é selecionado para previsão. Assume-se, por exemplo, que o modelo com melhor desempenho na semana

anterior terá um desempenho igualmente satisfatório na previsão da semana seguinte.

5. **Previsão:** O modelo selecionado na etapa 4 é utilizado para estimar os valores para o horizonte de previsão. Esta etapa consiste em treinar o modelo com os dados históricos anteriores ao período a prever.

### 3.2 Técnicas de previsão de consumos implementadas

Neste estudo, são utilizadas cinco técnicas de previsão distintas. Cada técnica, incluindo os parâmetros a definir, é brevemente apresentada nesta subsecção.

#### 3.2.1 Naïve

A técnica *Naïve* considera padrões numa base diária ou diferenciando os dias da semana dos fins-de-semana. Para cada registo de data e hora no período de previsão, identifica blocos de dados históricos relevantes com base no padrão escolhido. Em seguida, calcula o valor previsto, utilizando a média, a mediana ou a média móvel exponencialmente ponderada do bloco de dados históricos. Os parâmetros configuráveis são a duração dos dados históricos (e.g., um ou dois meses), o tipo de padrão (dia a dia ou diferenciação entre dias da semana e fins-de-semana) e o tipo de previsão especificado (média, mediana ou média móvel exponencialmente ponderada).

#### 3.2.2 Regressão Vetorial de Suporte

A técnica de Regressão Vetorial de Suporte (SVR) utiliza modelos de regressão múltipla para efetuar a previsão. Inicialmente, prepara os dados históricos, criando valores desfasados e categorizando os dados em dias úteis, sábados e domingos/feriados. Para cada registo de data e hora no período de previsão, é treinado um modelo SVR utilizando os blocos relevantes nos dados históricos preparados. O modelo SVR treinado é então utilizado para prever esse registo de data/hora específico. Os parâmetros configuráveis são a duração dos dados históricos e o número de valores desfasados (e.g., 5 ou 10 medições anteriores à mesma hora do dia para o mesmo tipo de dia da semana).

#### 3.2.3 Quevedo

A técnica Quevedo começa por estimar o volume diário total para o dia para o qual as medições devem ser estimadas. Isto é feito usando um modelo ARIMA. De seguida, este volume diário total é distribuído por valores horários com base no padrão médio para esse dia da semana. Os parâmetros configuráveis são a duração dos dados históricos e o tipo de padrão (dia a dia ou diferenciação entre dias da semana e fins-de-semana/feriados).

#### 3.2.4 XGBoost

Ao contrário das técnicas anteriores, a técnica XGBoost incorpora dados meteorológicos (precipitação, temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento). Em primeiro lugar, prepara os dados históricos com as características necessárias (por exemplo, hora do dia, dia da semana, variáveis meteorológicas ou indicadores de feriados). Em seguida, é treinado um modelo de regressão utilizando 80% dos dados históricos, sendo os restantes 20% utilizados para monitorizar o progresso do treino e evitar o sobreajustamento (overfitting). O modelo de regressão treinado é então utilizado para prever cada registo de data/hora específico (note-se que os dados meteorológicos previstos são necessários nesta fase). Os parâmetros configuráveis são a duração dos dados históricos e vários parâmetros específicos do XGBoost (por exemplo, taxa de aprendizagem, número de estimadores, profundidade máxima e número de rondas de paragem antecipada).

### 3.2.5 Long Short-Term Memory

A técnica Long Short-Term Memory (LSTM) é uma rede neural recorrente que memoriza as dependências de longo prazo das séries temporais (Hochreiter and Schmidhuber 1997). Os parâmetros configuráveis são a duração dos dados históricos, alguns parâmetros relacionados com o algoritmo geral da rede neural (por exemplo, dropout, batch size, number of units) e parâmetros específicos da LSTM (por exemplo, window size). A técnica LSTM com dados meteorológicos funciona utilizando dois módulos LSTM: o primeiro módulo lida com os dados históricos da procura de água, utilizando observações passadas com um horizonte temporal igual ao comprimento da janela; o segundo módulo considera dados meteorológicos (precipitação, temperatura, humidade relativa, velocidade do vento) com um horizonte de comprimento de janela mais curto (Zanfei et al. 2022). Os parâmetros configuráveis são os mesmos que para o LSTM, mas neste caso tanto para os dados hídricos como para os dados meteorológicos.

## 3.3 Escolha dos parâmetros para as técnicas de previsão

As técnicas referidas apresentam parâmetros técnicos específicos que têm como objetivo otimizar a precisão dos modelos. A abordagem utilizada para a escolha dos parâmetros a utilizar foi a busca sistemática (grid-search) que testa todas as combinações possíveis, nomeadamente:

- **Métodos naïve** (média, mediana, média móvel exponencial MME) e **Quevedo** utilizam dias de treino (30 ou 60) e tipos de padrão (dias úteis/fins de semana ou diário). A versão MME inclui o parâmetro alfa (0,2; 0,5; 0,8), que controla a ponderação exponencial das observações históricas.
- **SVR (Support Vector Regression)** testa diferentes números de atraso (lagged days) (2; 5; 10), que representam dias anteriores usados como entrada para prever o consumo futuro.
- **XGBoost** avalia combinações da taxa de aprendizagem (learning rate) (0,1; 0,3), do número de estimadores (100; 1000) e da profundidade máxima (3; 6), parâmetros típicos de algoritmos de boosting.
- **LSTM e LSTM-W** (com dados meteorológicos) exploram configurações de redes neurais, como tamanho da janela temporal ([48;72]), desistência (dropout) (0,1; 0,3) para evitar o sobreajuste (overfitting) e unidades de treino ([48;72;48]).

Esta combinação resulta num total de 78 modelos, permitindo identificar a configuração que maximiza a precisão para cada método, tendo em conta soluções de compromisso (*trade-offs*) entre complexidade e desempenho. Por exemplo, enquanto métodos estatísticos (Naïve, Quevedo) se focam em padrões temporais simples, técnicas de aprendizagem de máquina (XGBoost) e aprendizagem profunda (LSTM) exigem ajuste fino dos hiperparâmetros para capturar relações não lineares. A escolha final depende não apenas da precisão, mas também da eficiência computacional, especialmente em contextos operacionais onde as previsões em tempo real são essenciais.

## 4 Aplicação da metodologia

Como referido, o desafio proposto no contexto da BWDF centrou-se na previsão de consumo de água no curto prazo, tendo sido usado como referência um SAA localizado na região nordeste de Itália. Este SAA encontra-se subdividido em dez ZMC, que abastece áreas com características consideravelmente distintas em termos de dimensão, tipo de utilização e captações médias de água. Mais concretamente, o objetivo consistiu em realizar previsões precisas do consumo de água para cada uma destas dez ZMC, permitindo otimizar a operação do sistema num futuro próximo, nomeadamente para o dia e semana seguintes. Estas previsões suportam a definição do funcionamento ótimo do

sistema, incluindo estratégias eficientes para a gestão operacional de bombas e reservatórios, reduzindo assim os custos operacionais através de uma melhor gestão dos recursos disponíveis.

No Quadro 1 apresenta-se as características principais de cada ZMC, nomeadamente a descrição geral da área, o número total de utilizadores abastecidos e o caudal líquido médio registado nos anos de 2021 e 2022.

Como se pode observar, as ZMC apresentam uma grande variação de escala e tipologia: por exemplo, a ZMC A corresponde a uma zona hospitalar com apenas 162 utilizadores e um caudal médio de 8,4 L/s, enquanto a ZMC E abrange uma zona residencial/comercial no centro da cidade com cerca de 7.955 utilizadores e 78,3 L/s de caudal médio. Esta diversidade de dimensões e padrões de utilização reforça a importância de adotar um método de previsão flexível. As diferentes zonas exibem perfis de consumo distintos – uma zona hospitalar tende a ter um consumo mais constante e menos sazonal, ao passo que áreas residenciais ou industriais podem apresentar picos acentuados em certos períodos. Consequentemente, torna-se improvável que um único modelo de previsão ofereça o melhor desempenho em todas as ZMC, justificando a adoção de uma abordagem comparativa entre vários modelos.

**Quadro 1.** Características das ZMCs

ZMC	Características	Número de utilizadores servidos	Caudal médio (L/s)
A	Zona hospitalar	162	8,4
B	Zona residencial no meio rural	531	9,6
C	Zona residencial no meio rural	607	4,3
D	Zona residencial/comercial suburbana	2094	32,9
E	Zona residencial/comercial próxima do centro da cidade	7955	78,3
F	Zona suburbana incluindo instalações desportivas e edifícios de escritório	1135	8,1
G	Zona residencial próximo do centro da cidade	3180	25,1
H	Centro da cidade	2901	20,8
I	Zona comercial/industrial na proximidade do porto	425	20,6
J	Zona comercial/industrial na proximidade do porto	776	26,4

A entidade gestora responsável pelas ZMC forneceu as séries temporais de caudal (L/s), obtidas através de balanço hídrico, para cada uma das ZMC, para o período de 1 de janeiro de 2021 a 31 de março de 2023. Estas séries foram extraídas do sistema SCADA, pelo que os dados se encontravam em bruto. Como tal, iriam mostrar algumas lacunas relacionadas com o mau funcionamento do sistema SCADA e outros problemas de recolha ou transmissão de dados. Foi, portanto, necessário proceder a um pré-processamento dos dados, nomeadamente a depuração e imputação de valores em falta, conforme descrito na metodologia adotada (por exemplo, utilizando técnicas de imputação de séries temporais).

Adicionalmente, foram disponibilizados dados meteorológicos (temperatura, precipitação, humidade) e um calendário com dias atípicos (feriados, eventos locais), uma vez que tais fatores externos influenciam significativamente o consumo de água. A incorporação destas variáveis exógenas permite que os modelos de previsão tenham em conta os efeitos do clima e de eventos pontuais, potenciando uma maior precisão nas estimativas.

As equipas desenvolveram modelos para prever a procura semanal, focando-se em quatro semanas específicas de avaliação e entrega (SE1 a SE4), correspondentes a períodos

distintos em 2022 e 2023. Essas semanas de teste cobriram diferentes contextos sazonais e operacionais do sistema, de forma a avaliar a robustez dos modelos sob várias condições. Os modelos foram avaliados com base em três indicadores de desempenho (PI):

- **Erro Absoluto Médio (PI<sub>1</sub>):** Calculado para as primeiras 24 horas de cada semana.
- **Erro Absoluto Máximo (PI<sub>2</sub>):** Focado no maior desvio das primeiras 24 horas.
- **Erro Absoluto Médio Estendido (PI<sub>3</sub>):** Referente aos restantes 6 dias da semana (144 horas).

No contexto da BWDF, a equipa que apresentasse a menor soma dos três indicadores seria considerada a vencedora do concurso.

## 5 Resultados e Discussão

O Quadro 2 apresenta o modelo de previsão selecionado como o mais preciso para cada uma das ZMC em cada semana de avaliação (SE1 a SE4). Os resultados evidenciam claramente que nenhuma técnica de previsão se destaca como melhor solução para todas as situações, confirmando a necessidade da abordagem comparativa proposta.

Em SE1, por exemplo, nenhuma técnica foi utilizada em mais de 3 das 10 ZMC, o que indica que os modelos vencedores variaram significativamente de zona para zona. Já na semana SE2, observa-se uma prevalência da técnica SVR, a qual foi selecionada em 6 das 10 ZMC. De modo semelhante, na SE3 a SVR destacou-se, tendo surgido como melhor modelo em 5 das 10 ZMC. Estes valores sugerem que, para as semanas intermédias do teste (SE2 e SE3), o modelo de SVR conseguiu capturar adequadamente os padrões de consumo de grande parte das zonas, possivelmente devido à sua capacidade de modelar relações não lineares em cenários de consumo relativamente estáveis.

Em contrapartida, na semana final (SE4), a SVR foi escolhida apenas numa ZMC, enquanto o método mais simples, Naïve (persistência baseada no último valor observado), tornou-se predominante ao ser selecionado em 5 das 10 ZMC. Esse predomínio do método Naïve na SE4 indica que, nessa semana específica, os padrões de consumo podem ter sofrido alterações ou irregularidades que os modelos mais complexos não conseguiram prever tão bem quanto uma extrapolação direta das observações mais recentes. Em outras palavras, é possível que na SE4 tenham ocorrido comportamentos atípicos ou mudanças súbitas no consumo (por exemplo, devido a condições meteorológicas anómalas ou eventos esporádicos) que reduziram a vantagem dos modelos treinados com longos históricos, tornando uma abordagem de persistência comparativamente eficaz em vários casos.

**Quadro 2.** Modelo de previsão selecionado para cada ZMC e cada semana

ZMC	Semana			
	SE1	SE2	SE3	SE4
ZMC A	Naïve	SVR	XGBoost	Naïve
ZMC B	Quevedo	SVR	SVR	Naïve
ZMC C	Naïve	SVR	Quevedo	Naïve
ZMC D	SVR	XGBoost	Naïve	LSTM-W
ZMC E	XGBoost	Quevedo	SVR	Naïve
ZMC F	Naïve	XGBoost	XGBoost	LSTM-W
ZMC G	Quevedo	SVR	SVR	Naïve
ZMC H	SVR	XGBoost	SVR	SVR
ZMC I	Quevedo	SVR	SVR	LSTM-W
ZMC J	XGBoost	SVR	Naïve	XGBoost

Analisando em maior detalhe a distribuição das técnicas selecionadas, constata-se que a SVR foi, no conjunto das quatro semanas, o modelo mais frequentemente escolhido (em 14 de um total de 40 casos possíveis). Em seguida, surge o método Naïve, selecionado em 10 casos no total das semanas. O XGBoost (método de *boosting* de árvores de decisão) comprovou também a sua relevância, sendo o melhor em 8 casos distribuídos pelas várias semanas e zonas. A técnica Quevedo (baseada num modelo ARIMA para estimativa inicial do volume diário, seguida de desagregação horária segundo padrões típicos) evidenciou-se como a solução ótima em 5 casos. Por fim, a rede neuronal LSTM-W (LSTM integrando variáveis meteorológicas) foi selecionada em 3 casos específicos.

Estes números confirmam que, embora técnicas de aprendizagem de máquina como SVR e XGBoost tenham obtido frequentemente os melhores resultados, técnicas mais simples ou clássicas (como a Naïve ou a de Quevedo) superaram-nas em diversas situações particulares. Por exemplo, a ZMC H (centro da cidade) foi maioritariamente mais bem servida pelo modelo SVR, escolhido em três das quatro semanas para essa zona – sugerindo que o consumo urbano dessa área pode apresentar um padrão relativamente consistente que a SVR conseguiu modelar bem de forma recorrente.

Em contraste, a ZMC E (zona central residencial/comercial) apresentou uma variabilidade notável na técnica ótima por semana, tendo cada uma das quatro semanas sido vencida por um modelo diferente (XGBoost na SE1, Quevedo na SE2, SVR na SE3 e Naïve na SE4). Este comportamento ilustra bem como numa mesma zona pode haver diferentes padrões de consumo ao longo do tempo, exigindo modelos distintos conforme o período de previsão. Situação semelhante ocorreu com a ZMC D, em que em cada semana também houve um método vencedor distinto, ao passo que noutras zonas, como a já mencionada ZMC H ou a ZMC G (residencial próxima do centro), exibiram uma certa consistência no modelo selecionado em múltiplas semanas. No caso da ZMC G, por exemplo, a técnica SVR destacou-se em duas semanas consecutivas (SE2 e SE3). Em ZMC de menor dimensão e caráter rural, como B e C, recorreu-se com maior frequência a modelos mais simples (Quevedo ou Naïve) em pelo menos metade das semanas, possivelmente devido a padrões de consumo mais lineares ou com menores flutuações sazonais.

É importante salientar que, para além da escolha do modelo em si, os parâmetros ótimos de cada modelo variaram consideravelmente entre as diferentes ZMC e semanas. Ou seja, mesmo quando a mesma técnica foi selecionada em cenários distintos, esta nem sempre utilizou a mesma configuração. Por exemplo, no caso da ZMC F, quando foi utilizada a técnica SVR, foi utilizado um histórico de 120 dias de dados para treino na SE1, mas de apenas 30 dias na SE4. Já na ZMC I, também servida frequentemente pela SVR, verificou-se que o melhor desempenho foi consistentemente obtido usando 30 dias de histórico em todas as semanas avaliadas. Estas diferenças indicam que não só a seleção do modelo deve ser adaptativa, mas também a calibração do próprio modelo precisa de ser ajustada a cada contexto. Fatores sazonais, extensão e qualidade dos dados disponíveis e até a influência de variáveis exógenas podem alterar o horizonte de dados históricos ideais ou outros parâmetros (como, por exemplo, a profundidade de árvores no XGBoost ou o tamanho de janela no LSTM).

Assim, a metodologia comparativa proposta requer uma afinação cuidadosa, testando múltiplas combinações de parâmetros para cada técnica e situação, de forma a identificar a configuração de melhor desempenho para cada caso de estudo. De forma geral, os resultados obtidos demonstram a eficácia da metodologia em identificar o modelo mais adequado a cada cenário específico de previsão de curto prazo. A constatação de que nenhuma abordagem singular domina em todas as situações está alinhada com conclusões de outros estudos recentes na literatura, que enfatizam que o desempenho de modelos de previsão de consumo depende fortemente das características dos dados e do horizonte temporal considerado (não havendo um “modelo universal” superior em todos os contextos).

## 6 Conclusões

O presente artigo apresenta uma metodologia inovadora para a previsão do consumo de água no curto prazo, baseada numa abordagem comparativa entre diferentes técnicas de previsão. A metodologia proposta foi aplicada a um sistema de abastecimento de água (SAA) constituído por dez zonas de medição e controlo (ZMC) reais, com características distintas, permitindo avaliar e comparar o desempenho preditivo de cinco modelos diferentes, abrangendo métodos estatísticos tradicionais, técnicas avançadas de aprendizagem de máquina (*machine learning*) e algoritmos baseados em aprendizagem profunda (*deep learning*), considerando diversos cenários.

Os resultados demonstram claramente que o modelo com melhor desempenho preditivo, ou seja, aquele que apresenta o menor erro entre os valores previstos e os valores reais observados, varia consideravelmente consoante a zona estudada e o período temporal em análise. Esta constatação evidencia que não existe um modelo único que seja consistentemente superior em todas as situações, destacando a importância da abordagem comparativa utilizada.

A flexibilidade proporcionada por esta abordagem permite adaptar as previsões às especificidades de cada ZMC e às condições particulares de cada período analisado, contribuindo significativamente para a melhoria da precisão das previsões realizadas. No entanto, é importante referir que esta flexibilidade implica um esforço computacional adicional significativo, devido à necessidade de construir e avaliar múltiplos modelos para cada instância de previsão.

Apesar deste custo acrescido, os benefícios obtidos em termos de redução substancial dos erros de previsão e consequentes ganhos operacionais, tais como uma gestão mais eficiente do funcionamento das infraestruturas, melhor programação das operações de bombeamento e otimização do uso de energia, justificam plenamente o investimento adicional necessário.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento da investigação através da bolsa de doutoramento do João Caetano (referência n.º 2022.13214.BD).

## REFERÊNCIAS

- Alvisi, Stefano, Marco Franchini, and Alberto Marinelli. 2007. 'A Short-Term, Pattern-Based Model for Water-Demand Forecasting'. *Journal of Hydroinformatics* 9 (1): 39–50. <https://doi.org/10.2166/hydro.2006.016>.
- Ferreira, Bruno, Raquel Barreira, João Caetano, Maria Grazia Quarta, and Nelson Carriço. 2024. 'Optimizing Short-Term Water Demand Forecasting: A Comparative Approach to the Battle of Water Demand Forecasting'. *Engineering Proceedings* 69 (1): 48. <https://doi.org/10.3390/engproc2024069048>.
- Ghalekhondabi, Iman, Ehsan Ardjmand, William A. Young, and Gary R. Weckman. 2017. 'Water Demand Forecasting: Review of Soft Computing Methods'. *Environmental Monitoring and Assessment* 189 (7): 313. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6030-3>.
- Görenekli, Kasim, and Ali Gülbağ. 2024. 'Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Water Consumption Prediction: A Case Study from Kocaeli Province'. *Sensors* 24 (17): 5846. <https://doi.org/10.3390/s24175846>.

- Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. 1997. 'Long Short-Term Memory'. *Neural Computation* 9 (8): 1735–80. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
- Moritz, Steffen, and Thomas Bartz-Beielstein. 2017. 'imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R'. *The R Journal* 9 (1): 207. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-009>.
- Mu, Li, Feifei Zheng, Ruoling Tao, Qingzhou Zhang, and Zoran Kapelan. 2020. 'Hourly and Daily Urban Water Demand Predictions Using a Long Short-Term Memory Based Model'. *Journal of Water Resources Planning and Management* 146 (9): 05020017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001276](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001276).
- Niknam, Azar, Hasan Khademi Zare, Hassan Hosseininassab, Ali Mostafaeipour, and Manuel Herrera. 2022. 'A Critical Review of Short-Term Water Demand Forecasting Tools—What Method Should I Use?' *Sustainability* 14 (9): 5412. <https://doi.org/10.3390/su14095412>.
- Pacchin, E., F. Gagliardi, S. Alvisi, and M. Franchini. 2019. 'A Comparison of Short-Term Water Demand Forecasting Models'. *Water Resources Management* 33 (4): 1481–97. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02213-y>.
- Romano, Michele, and Zoran Kapelan. 2014. 'Adaptive Water Demand Forecasting for near Real-Time Management of Smart Water Distribution Systems'. *Environmental Modelling & Software* 60 (October):265–76. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.016>.
- Zanfei, Ariele, Bruno Melo Brentan, Andrea Menapace, and Maurizio Righetti. 2022. 'A Short-Term Water Demand Forecasting Model Using Multivariate Long Short-Term Memory with Meteorological Data'. *Journal of Hydroinformatics* 24 (5): 1053–65. <https://doi.org/10.2166/hydro.2022.055>.

# Modelação hidráulica de redes de drenagem: experiência na Águas e Energia do Porto

Paula Brandão<sup>a</sup>, Joana Brandão<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Águas e Energia do Porto, rua Barão de Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

## RESUMO

As redes de drenagem, embora essenciais, passam frequentemente despercebidas à população. Na cidade do Porto, cuja rede tem origens que remontam ao século XIV, foi implementado, no final do século XIX, um sistema de drenagem separativo autónomo para águas residuais domésticas, que, em 2014, apresentava uma taxa de cobertura de 98,5%. Sensivelmente um século após essa adoção, a Águas e Energia do Porto (AEdP) iniciou a modernização da gestão das infraestruturas, com a migração do cadastro das redes de abastecimento de água (AA) e de águas residuais domésticas (ARD) para uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Já no século XXI, a atuação da empresa foi ampliada à gestão das águas pluviais (AP), apoiada nas linhas de água, e à monitorização da qualidade das praias. Mais recentemente, integrou também a vertente energética, consolidando uma abordagem integrada e sustentável do ciclo urbano da água.

A modelação das redes de drenagem, iniciada em 2024, representa um novo marco neste percurso de modernização. Esta ferramenta permite compreender com maior rigor os fenómenos de escoamento, reforçar a fiabilidade dos dados, simular cenários para otimizar a gestão, apoiar a expansão da rede em consonância com os planos da cidade, avaliar o desempenho das infraestruturas e antecipar os impactos de alterações nas bacias de drenagem.

Constitui ainda um instrumento estratégico de apoio à gestão de ativos, facilitando a tomada de decisões a diferentes níveis – estratégico, tático e operacional – e contribuindo para uma resposta mais eficaz aos desafios do quotidiano.

Este artigo apresenta o trabalho desenvolvido pela AEdP na área da modelação hidráulica das redes de drenagem, evidenciando os desafios enfrentados e os benefícios alcançados com a sua aplicação.

**Palavras-Chave:** Modelação, Drenagem, SWMM, Ativos, Planeamento

**doi:** 10.22181/aer.2025.0302

\* Autor para correspondência  
E-mail: paula.brandao@aguasdoporto.pt

# Hydraulic modelling of drainage networks: experience of Águas e Energia do Porto

*Paula Brandão<sup>a</sup>, Joana Brandão<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Águas e Energia do Porto, rua Barão de Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

## ABSTRACT

Drainage networks, although essential, often go unnoticed by the public. In the city of Porto, where the drainage system dates to the 14th century, a separate and autonomous system for domestic wastewater was adopted in the late 19th century. By 2014, this system had achieved a coverage rate of 98.5%.

A century after its adoption, Águas e Energia do Porto (AEdP) began modernising infrastructure management by migrating the records of the water supply (WS) and domestic wastewater (DWW) networks to a Geographic Information System (GIS) platform.

In the 21st century, the company expanded its scope to include stormwater (SW) management, supported by natural watercourses, as well as bathing water quality monitoring. More recently, it has also integrated the energy component, consolidating an integrated and sustainable approach to the urban water cycle.

The hydraulic modelling of drainage networks, initiated in 2024, represents a major milestone in this modernisation process. This tool enables a more accurate understanding of flow dynamics, enhances data reliability, allows for scenario simulations to optimise management, supports network expansion in line with urban planning, assesses infrastructure performance, and anticipates the impacts of changes in drainage catchments.

It also serves as a strategic tool for asset management, supporting decision-making at strategic, tactical, and operational levels, and contributing to a more effective response to day-to-day challenges.

This article presents the work conducted by AEdP in the field of hydraulic modelling of drainage networks, highlighting the challenges faced and the benefits achieved through its implementation.

**Keywords:** Modelling, Drainage, SWMM, Assets, Planning

**doi:** 10.22181/aer.2025.0302

\* Corresponding author

E-mail: paula.brandao@aguasdoporto.pt

## 1 Introdução

A gestão eficiente das redes de drenagem urbana é fundamental para assegurar a qualidade de vida e a segurança das populações. A Águas e Energia do Porto (AEdP) gere cerca de 1 312 km de redes do tipo separativo, distribuídas entre águas residuais domésticas (ARD) e águas pluviais (AP).

A rede de ARD é constituída por 571 km de coletores, 12 tanques Shone (TS), 30 ejectores Shone (EJ), 21 estações elevatórias (EE) e duas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) – Freixo e Sobreiras. Já a rede de AP integra cerca de 656 km de coletores, 9 EE e 20 561 órgãos de recolha (sumidouros, sarjetas e grelhas), aos quais se somam 15 ribeiras e 4 rios, com uma extensão total de 85 km.

A necessidade de modernizar os processos de gestão foi identificada em 2023 e concretizada no início de 2024, com o objetivo de reforçar a eficiência e a resiliência do sistema, face à crescente complexidade urbana e aos impactos das alterações climáticas.

Com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), foi definida uma estratégia multidisciplinar, baseada na modelação hidráulica computacional e na capacitação técnica interna. O software selecionado foi o SWMM (Storm Water Management Model), amplamente utilizado a nível internacional e de acesso gratuito, que permite simular o comportamento hidráulico da rede em diferentes cenários (Rossman, 2010; Rossman, 2015; U.S. EPA, 2024).

A modelação tornou-se um instrumento central no apoio à decisão, permitindo otimizar a operação, planear a expansão da rede e antecipar riscos de inundações e alterações no uso do solo.

## 2 Metodologia

Foram desenvolvidos dois modelos hidráulicos distintos, para as redes de ARD e de AP, ajustados às suas especificidades. Ambos incluíram caracterização de infraestruturas, identificação de pontos críticos, correção de incongruências, simulação de cenários e calibração preliminar.

O modelo de ARD considerou volumes faturados e rejeitados por troço (coletores em grés), padrões de consumo, projeções populacionais e acionamento dos órgãos da rede, com base em dimensionamento convencional. Foram integrados EJ, TS e EE. As medições de caudal à entrada da ETAR, na área de influência da zona modelada, permitiram validar a representação da rede, estimar parâmetros hidráulicos e apoiar a calibração.

O modelo de AP centrou-se nas bacias de drenagem, considerando área, declive, cobertura do solo e geometrias de coletores (secções retangulares em alvenaria e circulares em betão). Incluiu dados de precipitação (IPMA), níveis do mar e interação com ribeiras e o oceano Atlântico, incluindo o efeito das marés nos extravasamentos. A parametrização revelou coerência com os registos históricos de inundações, reforçando a fiabilidade das previsões.

## 3 Caso de Estudo

A morfologia da cidade do Porto favorece o escoamento gravítico, originando bacias autónomas cuja drenagem se dirige ao rio Douro ou ao Oceano Atlântico. Incidindo na frente marítima (*Figura 1*), o estudo passou de três bacias (duas ARD e uma AP) para seis, implantadas em zonas de elevada solicitação hidráulica, com elevada urbanização, impermeabilização e picos sazonais de afluência.

Modelaram-se quatro bacias de ARD do subsistema Oeste, afluentes à ETAR de Sobreiras - O9 e O11, a cota baixa, suportadas por dois EJ, e O10 e O12, a cotas mais elevadas, convergentes para dois TS -, e duas bacias de AP (Ervilheira e Atlântico-Molhe), com descarga direta ao mar.

Estas bacias totalizam 3,2% da área ARD e 1,7% da área AP do Município.

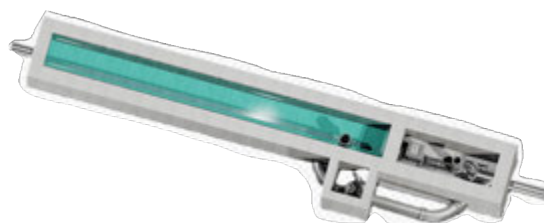


**Figura 1.** Redes de Drenagem do Município do Porto e Bacias a modelar (ARD – vermelho; AP – roxo; Ribeiras - verde)

Os EJ e TS encontram-se ilustrados nas figuras seguintes: o EJ (*Figura 2*), eleva as águas residuais por ar comprimido, e o TS (*Figura 3*) funciona por diferença de nível e sifonagem. Alguns TS foram convertidos em câmaras de transição (CT), mantendo apenas a função de regularização de nível. Estes dispositivos integram a rede em alta, ligada por interceptores em pressão que conduzem os caudais às ETAR do Freixo e de Sobreiras, excetuando o subsistema Norte (inclui a bacia do Hospital de S. João), que drena graviticamente para a ETAR de Sobreiras.



**Figura 2.** Ejectores Shone (EJ)



**Figura 3.** Tanque Shone (TS)

Em 2023, o subsistema Oeste registou um volume médio de água faturada de 85 L/s e um caudal afluente à ETAR de 110 L/s. A avaliação baseou-se na comparação entre caudais simulados e medidos à entrada da ETAR, adotando-se um coeficiente de afluência de 0,90, definido empiricamente com base em referências setoriais, dada a ausência de medições contínuas na rede em baixa. A análise incluiu a verificação da coerência dos caudais nos nós, padrões horários, afluências indevidas (AI) e registos operacionais das EE, EJ e zonas de medição da rede de AA.

A modelação da rede de ARD incluiu 410 troços da rede em baixa e a rede em alta, abrangendo o Intercetor Atlântico (com cerca de 8 km em ferro fundido dúctil, operando sob pressão), ramais e órgãos de transição.

As bacias de AP totalizam 73 hectares (ha), com 1 300 m de frente marítima. A área inclui 17 ha de edificado, 3 ha de logradouros, 10 ha de eixos viários e 1,5 ha de espaços verdes, sendo o restante território com potencial de urbanização. Foram definidas 421 sub-bacias, agregadas em 236 bacias de drenagem, com 2,6% de declive médio e 84% de impermeabilização.

### 3.1 Discussão dos Resultados

A modelação exigiu tratamento e validação rigorosa da informação disponível, com vista a garantir a consistência dos dados e a fiabilidade da representação hidráulica. Foram eliminadas redundâncias (dados duplicados ou sobrepostos) e corrigidas incongruências em coletores e nós.

#### 3.1.1 Modelo da rede ARD

Os dados disponíveis para as bacias Oeste 9 a 12 apresentaram qualidade suficiente, com traçados e perfis longitudinais coerentes com escoamento gravítico. No entanto, registaram-se lacunas altimétricas e descontinuidades, decorrentes da associação incorreta de geometrias em SIG (e.g., ramais em vez de coletores principais), o que comprometeu a continuidade hidráulica.

A ausência de medições locais de caudal dificultou a calibração. Para mitigar esta limitação, foi incluída a rede em alta, utilizando os dados da ETAR como referência para parametrização.

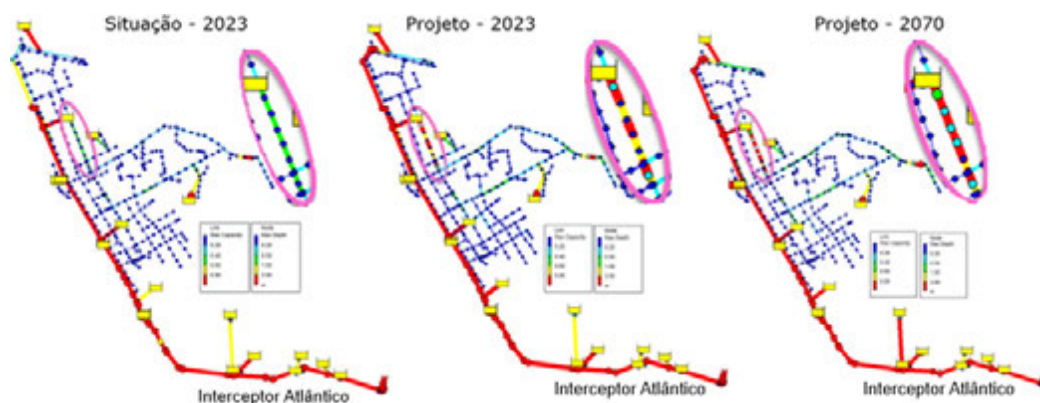
Foram simulados quatro cenários:

- **Situação atual (2023)**, refletindo as condições hidráulicas atuais;
- **Cenário de projeto (2023) e projeção futura (2070)**, considerando o crescimento populacional e as aflúências indevidas (AI), estimadas segundo o DR n.º 23/95, para um diâmetro médio de 200 mm;
- **Nova urbanização na Av. Nun'Álvares**, avaliada para os horizontes de 2023 e 2070 com diferentes previsões de caudal;
- **Estação Elevatória de AP – DIP Ervilheira**, concebida para o desvio do caudal da Ribeira da Ervilheira para a rede de ARD, durante a época balnear.

Os padrões horários de consumo foram ajustados por órgão do sistema (EJ, EE), com base em registos da ETAR e dados da rede de AA em períodos de estiagem.

As simulações realizadas em SWMM analisaram velocidades e relações h/D. Verificaram-se troços com velocidades reduzidas, favoráveis à deposição e risco de obstrução, exigindo manutenção preventiva.

A Figura 4 apresenta a capacidade de escoamento (h/D) na situação atual (2023) e cenários 2023 e 2070, com codificação por classe de desempenho hidráulico (Link Max Capacity): ● h/D < 0,5 – risco de deposição de sedimentos; ● 0,5 ≤ h/D < 0,8 – regime operacional adequado; ● 0,8 ≤ h/D < 1,0 – próximo ao limite de capacidade; ● h/D ≥ 1,0 – sobrecarga e risco de inundação.

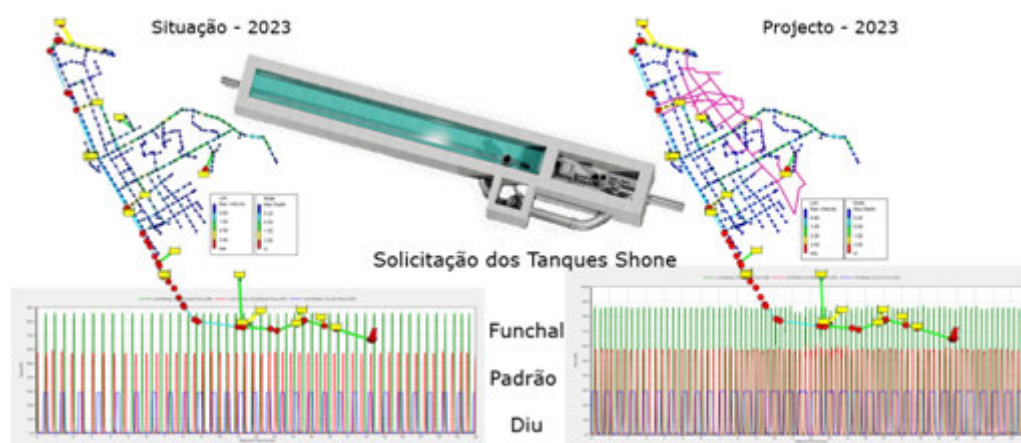


**Figura 4.** Capacidade hidráulica (h/D) e profundidade máxima simulada na situação atual 2023 e cenários de 2023 e 2070. Destaque - Intercetor Atlântico e coletor afluente ao TS do Funchal

A comparação entre os cenários de 2023 e 2070 evidencia troços gravíticos da rede em baixa com valores de  $h/D$  próximos ou superiores ao admissível, sinalizando risco crescente de sobrecarga e necessidade de intervenção. Destaca-se, em particular, o ramo afluente ao TS do Funchal, localizado na Rua Marechal Saldanha. A maior extensão em sobrecarga verifica-se no Intercetor Atlântico, que acompanha a frente marítima e fluvial até à ETAR de Sobreiras. Esta infraestrutura foi projetada para operar sob pressão, com diâmetros entre  $\varnothing 500$  e  $\varnothing 700$  mm em ferro fundido dúctil integral, equipada com ventosas e descargas para otimização do desempenho hidráulico.

A *Figura 5* compara a situação hidráulica atual (2023) com o impacto previsto da urbanização Avenida Nun'Álvares Pereira, que se desenvolve entre a Avenida da Boavista e a Praça do Império. A análise baseia-se no cenário de projeto para 2023 e evidencia alterações nos caudais afluentes aos tanques Shone do Funchal, Padrão e Diu. Os caudais foram estimados com base no plano de pormenor e serão ajustados futuramente com o dimensionamento das redes prediais associadas.

A criação de novos eixos viários no âmbito da urbanização permite reformular a rede de drenagem, viabilizando por exemplo, a eliminação de uma EE e dois EJ na rede em baixa.



**Figura 5.** Comparação entre a situação atual (2023) e o cenário de urbanização da Av. Nun'Álvares Pereira, avaliando o impacto nos caudais afluentes aos TS do Funchal, Padrão e Diu

### 3.1.2 Modelo da rede AP e de linha de Água Natural

A modelação das bacias de AP afluentes à Ribeira da Ervilheira foi condicionada pela fraca qualidade dos dados cadastrais, com descontinuidades, ausência de cotas e baixa caracterização física, reflexo da sua integração tardia na gestão da AEdP (desde 2006).

Para melhorar o modelo, procederam-se a verificações adicionais e à revisão dos traçados com base na topografia. A caracterização de troços a céu aberto e zonas de alagamento exige ainda levantamentos de campo específicos.

O caudal da nascente da Ribeira da Ervilheira foi estimado com base nos acionamentos do sistema elevatório (DIP) instalado na foz da linha de água. A análise considerou diferentes condições hidrológicas, incluindo estiagem, precipitação intensa e operação sazonal (época balnear).

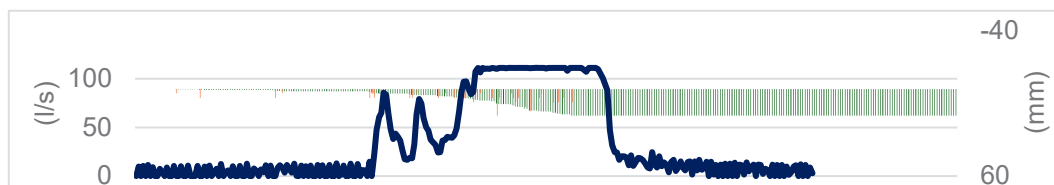
Entre 2022 e 2024, foram modelados seis eventos reais, com e sem precipitação, para caracterizar o comportamento da bacia em diferentes regimes hidrológicos. Para esses cenários, a calibração foi apoiada na introdução de um caudal de base atribuído à nascente no modelo SWMM, definido na secção [INFLOWS] como série temporal variável. Esta abordagem permitiu representar a variabilidade sazonal do escoamento de base.

A ausência de dados pluviométricos com resolução inferior a 5 minutos constituiu uma limitação à modelação. Para mitigar este constrangimento, recorreu-se a uma estação da

plataforma Weather Underground, cuja série temporal, com resolução de 5 minutos, se revelou compatível com os requisitos da modelação urbana. A consistência verificada com os dados do IPMA validou a sua aplicação ao local de estudo.

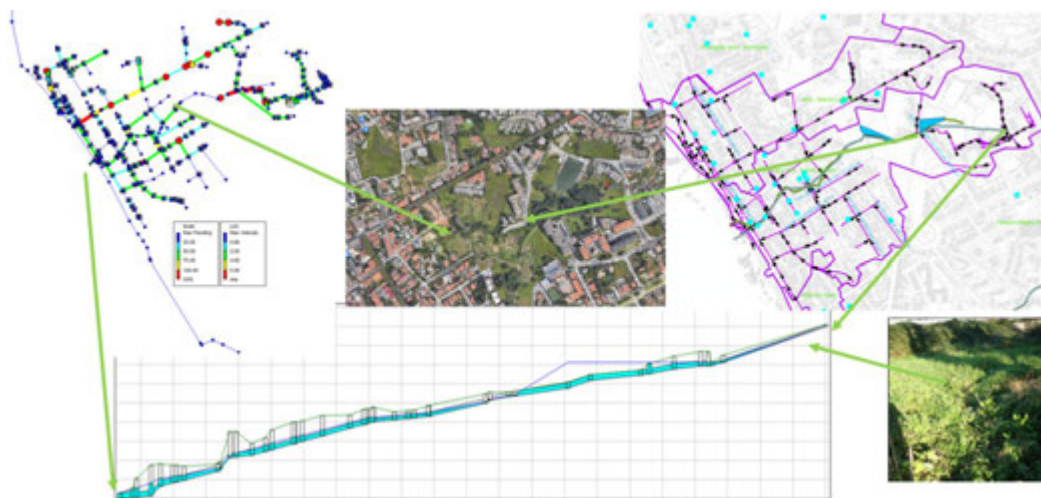
Foram analisados os seguintes cenários:

- Eventos com e sem precipitação, registados entre 2022 e 2024 (exemplo ilustrado no Gráfico 1.);
- Precipitações de projeto com períodos de retorno de 5, 10 e 20 anos (T05, T10, T20), com duração de 15 minutos.



**Gráfico 1.** Evento P2 (13 e 14/09/2022) – Caudal (L/s) (azul) e Precipitação (mm) (verde)

A modelação hidráulica permitiu estimar os valores máximos de inundação e de velocidade, com base em simulações para cenários reais e de projeto. Os resultados, ilustrados na Figura 6, foram sobrepostos ao Ortofotomapa, à rede modelada, ao perfil hidráulico da Ribeira da Ervilheira e à planta com os registos de inundações reportados pela Proteção Civil, proporcionando uma leitura integrada dos pontos críticos da bacia e da sua relação com a topografia local.



**Figura 6.** Modelação da rede e da linha de água da Ribeira da Ervilheira, com análise espacial de registos de inundação urbana da Proteção Civil. Parâmetros - h/max, v/max

O perfil hidráulico da Ribeira da Ervilheira (Figura 6) evidencia extravasamentos, escoamento em carga e influência das marés (Instituto Hidrográfico, Porto de Leixões, 2020\_2025). Esta foi simulada por nó de saída (*outfalls*) com condições-limite variáveis, associadas a curvas de maré ajustadas ao desfaseamento face ao porto de Leixões. Esta configuração permitiu avaliar o impacto das oscilações do nível do mar na descarga da rede, simulando refluxo, extravasamento e pressurização em zonas de cota baixa. A elevação piezométrica induzida pela maré é visível no canto inferior esquerdo do perfil.

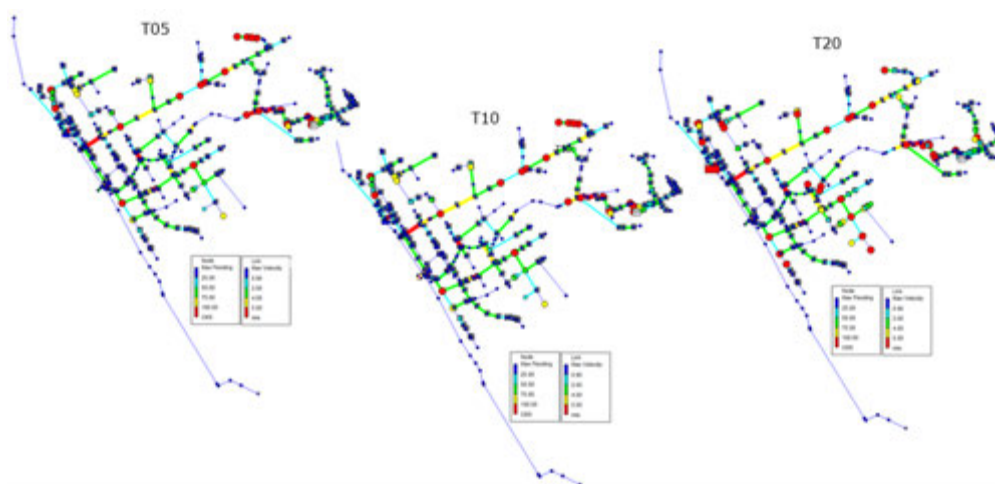
Os resultados da modelação, apresentados nas Figuras 6 e 7, representam a inundação máxima e a velocidade máxima, de acordo com as seguintes escalas de cores:

- Nó – Inundação Máxima ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) - ● Azul-escuro:  $\leq 25 \text{ m}^3/\text{s}$ , ● Azul-claro:  $\leq 50 \text{ m}^3/\text{s}$ , ● Verde:  $\leq 75 \text{ m}^3/\text{s}$ , ● Amarelo:  $\leq 100 \text{ m}^3/\text{s}$  e ● Vermelho:  $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$

- Troço – Velocidade Máxima (m/s) - ● Azul-escuro:  $\leq 0,90$  m/s, ● Azul-claro:  $\leq 2,00$  m/s, ● Verde:  $\leq 4,00$  m/s, ● Amarelo:  $\leq 5,00$  m/s e ● Vermelho:  $> 5,00$  m/s

Face às limitações do modelo atual, torna-se essencial reforçar a medição dos caudais escoados na rede, melhorar a parametrização do modelo e aprofundar a análise da capacidade hidráulica do sistema. A simulação com precipitações de projeto permitiu, nesta fase, fazer esta avaliação.

Para antecipar os impactos das alterações climáticas (Figura 7), foram realizadas simulações com curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para T20 (15 minutos), permitindo a identificação de pontos críticos e o desenvolvimento de medidas de adaptação para a rede de AP.



**Figura 7.** Capacidade hidráulica da rede - Simulação T05, T10 e T20 (intervalos de 5 e 15 minutos) – máx flooding ( $m^3/s$ ) e máx velocity (0,9 a 5 m/s)

As simulações com os dados de janeiro e de outubro de 2023 confirmaram a ocorrência de inundações em áreas historicamente vulneráveis, como a Rua do Crasto e a rua Mestre Afonso Domingues, em consonância com os registos de inundação fornecidos pela Proteção Civil do Porto (1974-presente).

## 4 Considerações Finais

O estudo incidiu na modelação hidráulica de seis bacias da rede de drenagem da frente marítima do Porto, contribuindo para consolidar competências internas e estruturar esta abordagem na AEdP. A modelação da rede de ARD beneficiou da qualidade dos dados disponíveis, permitindo uma parametrização eficiente. Já na rede de AP, a escassez de medições de caudal e precipitação exigiu ajustes adicionais e reforçou a necessidade de expandir a rede de monitorização.

A aplicação do software SWMM permitiu simulações detalhadas, identificando estrangulamentos, zonas críticas, impactos de novas urbanizações e a capacidade de escoamento do sistema, apoiando o planeamento de intervenções.

Apesar de não constituir o foco do presente artigo, salienta-se a conclusão da modelação integral da rede de ARD em 2024 e a sua extensão prevista à rede de AP em zonas com UOPG em 2025. Está igualmente em desenvolvimento um modelo preditivo com recurso a Machine Learning, apoiado em dados operacionais e campanhas de varejamento. Paralelamente, decorre o reforço da rede de monitorização, preparando a transição para uma gestão em tempo real e resposta a eventos extremos.

Esta abordagem integrada, suportada por tecnologias de apoio à decisão, promove uma gestão mais inteligente, eficaz e sustentável da rede de drenagem urbana.

## Referências

- Rossman L. A. (2010), *Storm Water Management Model User's Manual* Version 5.0, US Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Rossman, L.A. (2015), *Storm Water Management Model User's Manual* Version 5.1, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- US EPA (2024), <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (consultada a 2024/07/05).
- Instituto Hidrográfico, Tabela de Marés - Porto de Leixões 2020\_2025, <https://leixoes.apdl.pt/tabela-de-mares/>, <https://leixoes.apdl.pt/en/tabela-de-mares/>, <https://www.hidrografico.pt/m.mare>.
- Proteção Civil do Porto, (1974–presente). Registo de ocorrências de inundações urbanas no Porto [compilação de várias fontes]. Porto: CMP. Consulta contínua (várias datas).

# Setorização Mais & CIL Pressure: Estratégias integradas para a eficiência hídrica no Porto

Susana Garcia <sup>a,\*</sup>, Ricardo Ferreira <sup>a</sup>, Flávio Oliveira <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Águas e Energia do Porto, EM, Rua Barão Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

## RESUMO

A busca pela eficiência hídrica é um desafio premente para as entidades gestoras de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), dada a crescente escassez deste recurso tão fundamental. A Águas e Energia do Porto, EM (AEdP), entidade responsável pela gestão do SAA do município, investe, continuamente, na persecução desse objetivo, sendo o combate às perdas de água e à Água Não Faturada (ANF) a faceta mais visível desse esforço. Neste âmbito, a estratégia da AEdP tem como pilar central a setorização do SAA em Zonas de Monitorização e Controlo (ZMC) ajustadas aos recursos internos de deteção de fugas. Esta estratégia intensificou-se em 2019, com o Projeto Setorização Mais, que proporcionou, paralelamente, um avanço significativo do conhecimento da rede, com novos dados de pressão em tempo real. O passo natural, tendo em conta a maturidade tecnológica da empresa, foi o desenvolvimento de uma ferramenta digital – *CIL Pressure* – para otimização das pressões na rede. A combinação destas abordagens tem produzido resultados notáveis na redução efetiva das perdas de água, refletindo o compromisso num serviço eficaz e sustentável, capaz de enfrentar os desafios associados à escassez de recursos hídricos em Portugal continental.

**Palavras-Chave:** Eficiência Hídrica, Ferramenta Digital, Perdas de Água, Pressões, Zonas de Monitorização e Controlo

**doi:** 10.22181/aer.2025.0303

\* Autor para correspondência  
E-mail: susana.garcia@aguasdoporto.pt

# Sectorization Plus and CIL Pressure: Integrated strategies for water efficiency in Porto

*Garcia, Susana <sup>a,\*</sup>, Ferreira, Ricardo <sup>a</sup>, Oliveira, Flávio <sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Águas e Energia do Porto, EM, Rua Barão Nova Sintra, 285, Porto, Portugal

## ABSTRACT

The quest for water efficiency poses a significant challenge for Water Supply System (WSS) utilities, particularly given the increasing scarcity of this essential resource. Águas e Energia do Porto, EM (AEdP), responsible for managing the WSS in the municipality, has been consistently dedicated to this goal. The most visible aspect of this effort is the fight against water losses and Non-Revenue Water. AEdP's global strategy involves the sectorization of the WSS into smaller District Metered Areas, tailored to internal leak detection resources. This approach was significantly intensified in 2019 with the Sectorization Plus Project, which advanced the network knowledge with new real-time pressure data. Leveraging the utility's technological maturity, AEdP developed a digital tool – CIL Pressure – to optimize network pressures. These combined approaches have yielded impressive results in reducing water losses, underscoring AEdP's commitment to providing an efficient and sustainable service, well-prepared to tackle the challenges posed by water scarcity in Portugal.

**Keywords:** Water Efficiency, Digital Tool, Water Loss, Pressures, District Metered Areas

**doi:** 10.22181/aer.2025.0303

\* Corresponding author  
E-mail: susana.garcia@aguasdoporto.pt

## 1 Enquadramento

Numa cidade com 41,42 km<sup>2</sup> de área (DGT, 2023) e que se desenvolve entre o nível do mar e a cota 160m, a AEdP é responsável pelo abastecimento de água a cerca de 165 000 Clientes, com a missão de assegurar o fornecimento contínuo de água potável de excelente qualidade a uma população residente de 232 mil habitantes (INE, 2022) acrescida de uma população flutuante que, em conjunto com a residente, ascende a mais de 500 mil habitantes equivalentes. Atualmente, o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do Porto é constituído por 821 km de condutas adutoras e distribuidoras, seis reservatórios de grande capacidade – 125.450 m<sup>3</sup> no total – e cerca de 70.000 ramais domiciliários, possuindo uma cobertura integral do território, isto é, um nível de acessibilidade física do serviço de abastecimento de água de 100%, em área predominantemente urbana (ERSAR, 2025).

A estratégia de setorização do SAA da cidade do Porto arrancou de forma decisiva em 2019 com o “Projeto Setorização Mais: Otimização do Modelo de Setorização da Rede de Abastecimento de Água”. Embora o SAA já se encontrasse setorizado, na altura, em 46 ZMC, essa divisão revelava-se insuficiente para promover a necessária melhoria do sistema em termos de eficiência hídrica, sobretudo no que respeitava às metas de perdas de água reais e de ANF da AEdP.

Enquadrado estrategicamente no Programa Estratégico de Gestão e Redução de Água Não Faturada da AEdP, o Projeto Setorização Mais ocupa um lugar central na estratégia de redução das perdas de água, na medida em que permite uma resposta mais célere e precisa às anomalias detetadas no dia-a-dia da operação, atuando ao nível da eficiência na gestão dos recursos, promovendo ainda o cálculo mais refinado do Balanço Hídrico de cada ZMC.

Uma vez concluída a primeira fase (Fase 1) do Projeto, em 2021, com a construção de 31 novas câmaras de manobras e a implementação de 38 novas ZMC, deu-se início em 2022 à segunda Fase (Fase 2), segregada em dois momentos (Fases 2.1 e 2.2), agora planeada em estreita articulação com o Plano Diretor do Abastecimento de Água do Porto (PD-AA) em curso. Este Plano vem acrescentar uma nova camada à setorização existente, ao analisar as ZMC de uma forma mais abrangente, tendo em vista a resiliência do SAA, integrando-as num anel adutor fiável e com as redundâncias necessárias ao bom desempenho de todo o SAA face a ocorrências inesperadas e que merecem a melhor resposta por parte da AEdP.

Desde o seu início e até ao final de 2024, o Projeto Setorização Mais permitiu dividir os 821 km de condutas adutoras e distribuidoras de uma rede de abastecimento densamente emalhada em 69 novas ZMC, perfazendo 115 no total, incrementando, significativamente, o grau de sensorização e monitorização, em tempo real, do SAA que agora possui aproximadamente 330 medidores de caudal e pressão.

Com as séries de dados de monitorização da rede disponíveis, com elevada granularidade, e com a localização espacial de cada local de consumo, a equipa do PD-AA desenvolveu uma Ferramenta Digital para Otimização das Pressões em cada Cliente – *CIL Pressure* – que permite estimar, com elevada precisão, as pressões de água diurnas e noturnas em cada Cliente (“CIL” corresponde ao código de identificação de local de consumo, individual para cada contador instalado no Cliente), tanto ao nível do solo (via pública) quanto ao nível de cada andar do mesmo prédio, se aplicável.

O objetivo da ferramenta *CIL Pressure* é, de facto, perceber qual a pressão mínima e máxima de água em cada ponto específico da rede com disponibilização direta ao Cliente (contador e/ou torneira do consumidor) e de que forma a mesma se encontra desfasada do nível de pressão ideal para o mesmo, seja este um desfasamento positivo ou negativo.

Desta forma, é possível estudar a rede com um grau de profundidade muito elevado e realizar os ajustes necessários no terreno por forma a garantir a pressão otimizada para cada Cliente, quer em termos de conforto e segurança, quer em termos da melhor gestão, eficiência e estabilização do SAA público.

A articulação entre estes dois projetos funciona de forma simbiótica, na medida em que cada um deles fornece *inputs* para o desenvolvimento do outro – a ferramenta *CIL Pressure* faculta uma análise expedita por parte da equipa do Projeto Setorização Mais e a evolução da setorização fornece novos dados de monitorização que alimentam a ferramenta digital – formando um círculo virtuoso de melhoria contínua que visa a eficiência e a otimização da gestão das pressões do SAA.

## 2 Projeto Setorização Mais

No final do ano 2018, a AEdP possuía um índice global de ANF de 17,7%, correspondendo, em dados brutos, a uma perda de água média diária de 10.228m<sup>3</sup>, ou seja, uma perda real de 104 litros/ramal/dia. Apesar de compatível com uma qualidade de serviço boa – segundo os valores de referência da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) – a redução deste índice começava a estagnar, sendo notório que a dimensão das ZMC, à data, constituía um obstáculo à rápida deteção de anomalias na rede e, portanto, à obtenção das metas desejadas para este indicador.

Em 2019, deu-se, então, início ao “Projeto Setorização Mais: Otimização do Modelo de Setorização da Rede de Abastecimento de Água”, centrando a abordagem da problemática das perdas de água na setorização do SAA, e na consequente evolução ao nível da subsectorização, com desenho de áreas mais refinadas de controlo e monitorização em tempo real, compatíveis com os meios internos de pesquisa de fugas no terreno e em *backoffice*. O dimensionamento das novas ZMC teve em consideração características físicas da área, densidade populacional, topografia, zonas críticas e possíveis impactes na qualidade do serviço. Seguindo as recomendações da International Water Association (IWA) (Morrison et al., 2002), definiu-se que cada ZMC deveria servir entre 1.000 e 3.000 Clientes, ajustando-se às especificidades locais da rede.

Este projeto veio colmatar a necessidade de setorização de toda a rede de abastecimento de água e alavancar outras táticas de combate às perdas, tais como, a gestão das pressões, a pesquisa ativa de fugas e subsequente reparação, a substituição criteriosa de contadores e a deteção de consumos ilícitos.

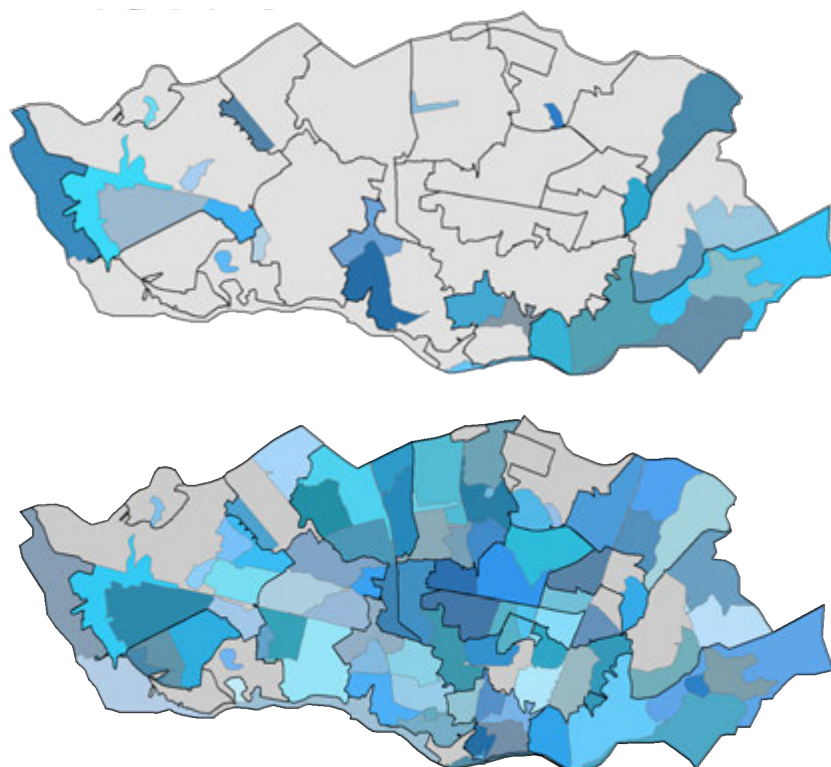
Contextualizando historicamente o Projeto Setorização Mais na estratégia de setorização do SAA do Porto, refira-se que esta foi evoluindo gradualmente desde a constituição da empresa municipal, AEdP, em 2006, data em que o sistema dispunha de apenas 6 ZMC, até 2019, altura em que arranca o Projeto e o SAA do Porto passa a ser constituído por 46 ZMC e 20 Válvulas Redutoras de Pressão (VRP). Atualmente, o sistema dispõe de 115 ZMC, 27 VRP e cerca de 330 pontos de monitorização de caudal e pressão. A Figura 1 ilustra a evolução da setorização do SAA do Porto desde o início do projeto em 2019.

Este Projeto encontra-se enquadrado no Programa Estratégico de Gestão e Redução da Água Não Faturada da AEdP e divide-se em três fases. A primeira fase (Fase 1) decorreu entre 2019 e 2021 e permitiu a implementação de 38 novas ZMC com a construção de 31 câmaras de manobras, a instalação de 1 VRP e 90 pontos de medição de pressão.

A segunda fase (Fase 2) decorreu entre 2022 e 2024 e permitiu a implementação de 26 novas ZMC e a instalação de 5 VRP e 40 novos pontos de medição de pressão, trazendo consigo duas mudanças conceptuais. A primeira prende-se com a alteração do equipamento de medição, concretizada pela adoção de medidores de caudal enterráveis. Com esta solução, a construção de câmaras de manobras deixa de ser necessária, diminuindo consideravelmente o custo de instalação e a duração dos trabalhos de

construção. A segunda diz respeito à fase de estudo e projeto das ZMC que agora decorre em articulação com o novo PD-AA, atualmente em curso. O objetivo é criar ZMC, devidamente integradas num anel adutor fiável (conjunto de condutas adutoras principais interligadas entre si, com elevada capacidade e fiabilidade), com redundâncias efetivas e capazes de dar resposta a situações imprevistas. Sempre que possível, privilegia-se o desenho de novas ZMC com entradas próximas de condutas adutoras em detrimento de ZMC “em cascata”.

A terceira fase (Fase 3) encontra-se a decorrer entre 2025 e 2027 e já permitiu a implementação de 5 ZMC. Esta fase pretende concluir a setorização do SAA do Porto com a implementação de 20 novas ZMC e a instalação de 11 VRP e 50 pontos de medição de pressão, perfazendo, previsivelmente, um total de 135 ZMC e 37 VRP.



**Figura 1.** Evolução da setorização do SAA do Porto entre 2019 (início do Projeto Setorização Mais, em cima) e dezembro de 2024 (em baixo)

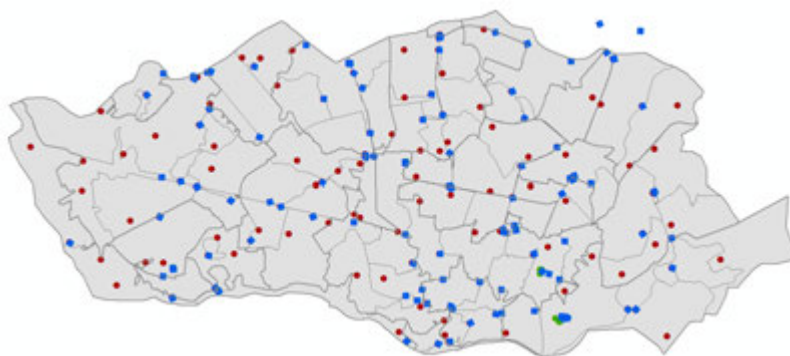
### 3 Sensorização e Monitorização do Sistema

A evolução da setorização do SAA do Porto trouxe consigo um incremento significativo do número de sensores de medição de caudal e pressão, com a instalação de um grande número de caudalímetros e *data loggers* na rede.

Com efeito, para cada nova ZMC criada, instalou-se um *data logger* para monitorização, em tempo real, do caudal e da pressão na entrada e um ou dois pontos de medição de pressão internos mediante a dimensão da própria ZMC, bem como a existência de pontos críticos ou sensíveis no seu interior. Tendo em vista a otimização do sistema de gestão e monitorização de toda a rede, a instalação de novos pontos de medição da pressão é estrategicamente acompanhada da revisão dos pontos já existentes nas ZMC atuais, sendo reforçada a monitorização onde necessário e realocados os equipamentos que se revelem redundantes.

No total, o SAA do Porto dispõe de 330 pontos de monitorização de caudal e pressão, distribuídos conforme se apresenta na Figura 2.

A setorização da rede em pequenas ZMC permitiu aumentar a quantidade de informação disponível, dada a larga abrangência da medição, tornando possível uma análise de pormenor do funcionamento da rede de abastecimento, designadamente ao nível da gestão da pressão na rede, da localização de anomalias não visíveis e das respetivas causas e, obviamente, da monitorização dos caudais noturnos de cada uma das ZMC. Este volume de informação disponível proporcionou, ainda, matéria para a criação de uma ferramenta digital – *CIL Pressure* – para otimização das pressões em cada Cliente do SAA do Porto, que se apresenta de seguida.



**Figura 2.** Distribuição dos pontos de monitorização de caudal (a azul) e pressão (a vermelho) do SAA do Porto

## 4 Ferramenta Digital *CIL Pressure*

Para melhorar a eficiência do atual SAA, a sua fiabilidade e resiliência, garantindo, simultaneamente, a capacidade de resposta a todas as solicitações, em qualquer momento ou situação, de contexto interno ou externo, a AEdP encontra-se a finalizar o novo PD-AA do município do Porto. Trata-se, essencialmente, de um *rolling plan* de caráter prático, e de implementação a curto-médio prazos, que visa assegurar a melhor localização e capacidade das reservas de água, integradas num sistema de adução e distribuição capaz (com redundâncias fiáveis e reais), bem como incrementar a sustentabilidade física do sistema em termos de eficiência hídrica e redução da ANF.

Dentro deste Plano, e tendo em vista o conhecimento e melhoria das condições de pressão do SAA do Porto, a equipa do PD-AA criou uma Ferramenta Digital para Otimização das Pressões em Cada Cliente – *CIL Pressure* – que permite estimar, com elevado grau de precisão, as pressões de água diurnas e noturnas em cada Cliente, tanto ao nível do solo quanto ao nível de cada andar do mesmo edifício.

O objetivo da ferramenta *CIL Pressure* é, em primeira instância, compreender os níveis mínimos e máximos de pressão de água em cada ponto do SAA com fornecimento direto ao Cliente (contador e/ou torneira do consumidor) e se estes níveis se encontram desfasados do patamar ideal de pressão para esse local, quer se trate de um desfasamento positivo ou negativo. Deste modo, é possível estudar a rede e fazer os ajustes necessários, no terreno, para alcançar o patamar ideal de pressão, tanto em termos de um maior conforto e segurança para o Cliente, como em termos de uma melhor gestão e estabilização da rede pública, procurando a melhoria dos níveis de eficiência e sustentabilidade. Este nível ideal de pressões da rede observa, portanto, os valores regulamentares de pressão de abastecimento aos Clientes, mas também a prevenção da ocorrência de roturas e a minimização dos valores de perdas de água.

O modelo subjacente à ferramenta baseia-se no comportamento empírico de uma rede de abastecimento de água que dita que a maior perda de carga ocorre durante a hora de maior consumo. É um algoritmo ágil, totalmente baseado em medições reais da pressão

– *data loggers* – e num profundo conhecimento do sistema, tendo sido alimentado pelos seguintes conjuntos de dados devidamente tratados:

- Modelo Digital do Terreno (MDT) do Município do Porto;
- Distribuição espacial - latitude, longitude e cota – das localizações dos Clientes (CIL);
- Dados de pressão provenientes da sensorização da rede – séries de dados reais de *data loggers* instalados no terreno, tanto à entrada como dentro das ZMC existentes no SAA.

Com uma forte componente gráfica, que se ilustra nas Figuras 3 e 4, a ferramenta desenvolvida facilita a compreensão do SAA, bem com a sua consequente análise e otimização, na medida em que permite a simulação de condições atuais e futuras, incrementando a capacidade de decisão das equipas, designadamente a equipa do Projeto Setorização Mais.

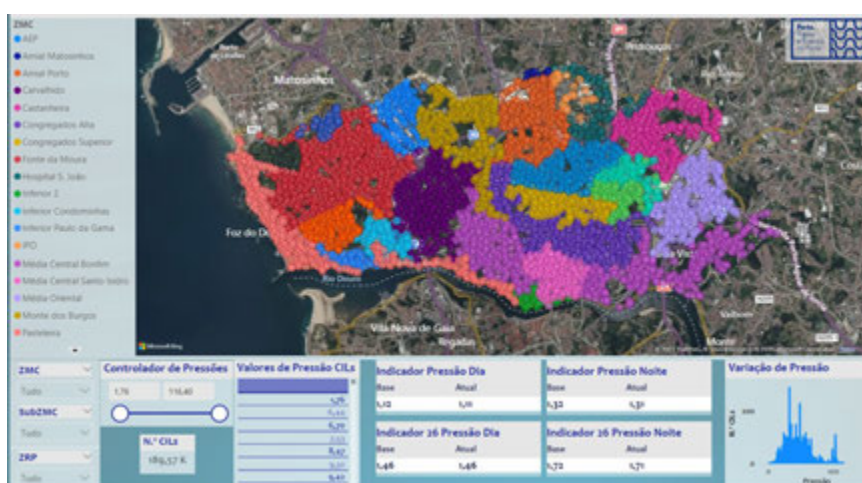


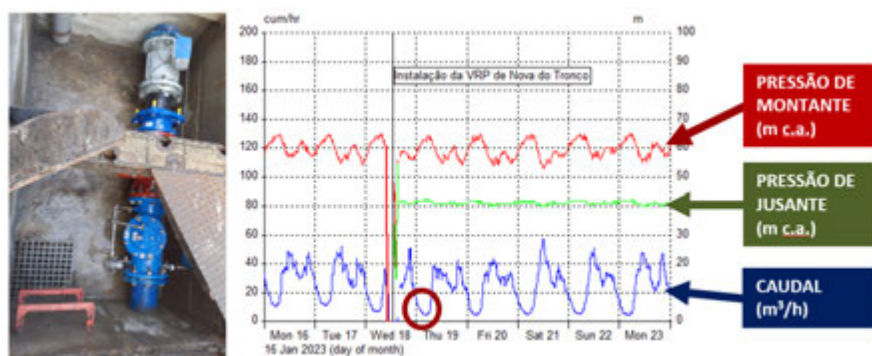
Figura 3. Layout da ferramenta digital CIL Pressure tendo por base a setorização do SAA



Figura 4. Layout da ferramenta digital CIL Pressure com a representação dos patamares ideais de pressão

O modelo desenvolvido orientou as Fases 2 e 3 do Projeto Setorização Mais. No terreno, a equipa conseguiu criar 31 ZMC, instalar seis novas VRP e ajustar limites existentes, alterando níveis de pressão nas condutas sem comprometer as condições de segurança e conforto para os Clientes. Esta atitude de execução expedita espelha a natureza prática do PD-AA, que estabelece, sobretudo, o carácter ágil das ações de melhoria a implementar, indo ao encontro da filosofia de *rolling plan*, definida pelo seu constante desenvolvimento, aperfeiçoamento e ajuste.

Como ferramenta de trabalho, o *CIL Pressure* representa um avanço tecnológico significativo no sentido da otimização das condições de abastecimento, com efeito na melhoria da gestão das pressões. Por sua vez, a gestão das pressões tem implicações ao nível da eficiência hídrica dos sistemas, influenciando não só a redução das perdas de água e da ANF, mas também o próprio consumo. Na Figura 5 ilustra-se a variação do caudal mínimo noturno resultante da instalação de uma VRP na ZMC Nova do Tronco, onde se regista a redução da pressão de 55-65 mca para 40 mca introduzida pela VRP e uma diminuição do caudal mínimo noturno de 7 m<sup>3</sup>/h para 4 m<sup>3</sup>/h, refletindo uma melhoria significativa na eficiência do sistema.



**Figura 5.** Variação do caudal mínimo noturno e das pressões na ZMC Nova do Tronco após instalação de uma VRP

## 5 Principais Resultados e Conclusões

A setorização de redes emalhasadas, como é o caso do SAA do Porto, assumiu-se como uma ferramenta muito eficaz para o controlo e gestão das operações, quer ao nível dos indicadores de desempenho, quer ao nível da eficácia na execução dos trabalhos e otimização dos recursos. Embora não atue diretamente nas perdas de água, a setorização do SAA revelou-se fundamental para conhecer a distribuição espacial das mesmas, nas suas componentes real e aparente. A implementação efetiva do projeto no terreno, que se iniciou em 2020, acelerou a redução da perda real global da AEdP para valores na ordem dos 57 litros/ramal/dia, no final do ano de 2024, evolução que se representa na Figura 6. Para referência, refira-se a média nacional do índice de perda real, para entidades gestoras em baixa, de 123 litros/ramal/dia, em 2023, (ERSAR, 2025), que evidencia o impacto positivo da estratégia adotada pela AEdP.



**Figura 6.** Evolução anual do valor de perda real da AEdP (litros/ramal/dia)

As Fases 2 e 3 do Projeto Setorização Mais são efetuadas com o apoio da ferramenta digital *CIL Pressure*. Em conjugação com a setorização da rede, foi possível criar 31 novas ZMC, instalar seis novas VRP e ajustar limites de ZMC existentes, alterando níveis de

pressão nas condutas sem comprometer as condições de segurança e conforto para os Clientes.

A interligação entre as duas estratégias apresentadas funciona de forma orgânica uma vez que ambas buscam o objetivo comum de melhoria da eficiência hídrica do sistema. Numa perspectiva de melhoria contínua das equipas e do próprio SAA, a sua evolução integrada faz todo o sentido, na medida em que o avanço de uma estratégia impulsiona o avanço da outra – a ferramenta *CIL Pressure* faculta uma análise expedita por parte da equipa do Projeto Setorização Mais e a evolução da setorização do SAA fornece novos dados de monitorização que alimentam a ferramenta digital (dados de *input*), num processo sinérgico.

No SAA, a combinação dos dois projetos conduziu à criação, até ao momento, de 31 novas ZMC, a instalação de seis VRP e o ajuste de limites de ZMC que se encontravam desalinhados dos níveis de pressão ideais, com o término da Fase 2.2 do Projeto Sectorização Mais no segundo semestre de 2024, em conjugação com o consequente arranque da Fase 3.

A implementação, de forma integrada e articulada, destes projetos introduz benefícios diretos ao nível da gestão operacional, das perdas de água e da ANF, que atingiu, no final de 2024, o valor de 12,3% - o mais baixo de sempre para a AEdP e para o SAA do Porto. Este desempenho enquadra-se na classificação de “qualidade de serviço boa”, segundo os critérios da ERSAR.

De acordo com o RASARP 2024 (ERSAR, 2025), o índice de ANF configura uma qualidade do serviço boa quando inferior a 20%, medianamente boa entre 20% e 30%, e insatisfatória acima dos 30%. Apesar do bom desempenho da AEdP, o relatório destaca que, em 2023, cerca de 75% da ANF a nível nacional correspondia a perdas reais, o que representa um custo operacional significativo para as entidades gestoras. Nos sistemas em baixa, o índice médio de ANF em 2023 foi de 26,9%, com perdas reais a totalizarem 169,7 milhões de metros cúbicos. Este cenário reforça a importância de estratégias como a adotada pela AEdP, que combinam inovação tecnológica, gestão inteligente e investimento contínuo na reabilitação das infraestruturas, sem comprometer o conforto, a segurança e a qualidade do abastecimento de água na torneira do consumidor.

## Referências

- DGT (2023). *Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP)*, versão 2023, Direção-Geral do Território, Lisboa, Portugal.
- ERSAR (2025). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2024). Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. ISBN 978-989-8360-48-9.
- INE (2022). *Recenseamento da população e habitação – Censos 2021*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- MORRISON J., TOOMS S., ROGERS, D. (2002). *DMA Management Guidance Notes*. DMA Team of the International Water Association Water Loss Task Force, Specialty Conference. Chipre.

# Balancos Hídricos Zonais para Priorização de Intervenções na Rede de Abastecimento de Água

*Sameiro Roriz<sup>a,\*</sup>, Rita Araújo<sup>a</sup>, Sérgio Silva<sup>a</sup>, António Ramos<sup>a</sup>, Aisha Mamade<sup>b</sup>, Paula Kawahara<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> AGERE-EM, Praça Conde Agrolongo, 115, Braga, Portugal

<sup>b</sup> Baseform, Rua Borges Carneiro 34, Lisboa, Portugal

## RESUMO

Atualmente o balanço hídrico é amplamente utilizado na análise de todos os componentes de um sistema de abastecimento, gerando indicadores globais de consumo e perdas de água, e proporcionando maior controlo e conhecimento dos volumes transportados, distribuídos e perdidos. No entanto, a integração e atualização em contínuo de diversos sistemas de informação em um único ambiente permite a análise desses componentes em áreas menores, as Zonas de Medição e Controlo (ZMC), possibilitando a geração de balanços hídricos zonais. Estes balanços permitem a análise de indicadores de desempenho por zona, identificando as zonas mais críticas que necessitam de intervenção de forma expedita, assim como identificam oportunidades de melhoria na qualidade e fiabilidade dos dados. O presente artigo apresenta a metodologia de geração de balanços hídricos zonais em contínuo no ambiente do software Baseform, utilizada pela AGERE para detetar consumos ilícitos e priorizar ações de melhorias na rede. São apresentados dois exemplos concretos ilustrando a sua aplicação e respetivos resultados obtidos.

**Palavras-Chave:** Balanço hídrico, perdas de água, indicadores de desempenho, sustentabilidade, Baseform

**doi:** 10.22181/aer.2025.0304

\* Autor para correspondência  
E-mail: sameiro.roriz@agere.pt

# Zonal Water Balance for Prioritizing Interventions in Water Supply Networks

*Sameiro Roriz<sup>a,\*</sup>, Rita Araújo<sup>a</sup>, Sérgio Silva<sup>a</sup>, António Ramos<sup>a</sup>, Aisha Mamade<sup>b</sup>, Paula Kawahara<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> AGERE-EM, Praça Conde Agrolongo, 115, Braga, Portugal

<sup>b</sup> Baseform, Rua Borges Carneiro 34, Lisboa, Portugal

## ABSTRACT

The water balance method is commonly employed in analyzing various components of a water supply system. It generates comprehensive indicators of consumption and water losses, offering enhanced control and insight into the total volumes of water that are transported, distributed, and lost. By integrating and continuously updating multiple information systems within a single platform, it becomes feasible to analyze these components in smaller regions known as District Metered Areas (DMAs). This approach facilitates the creation of zonal water balances, which allow for the examination of each component within a DMA. As a result, it becomes easier to swiftly identify critical zones that require attention, as well as to determine areas where data quality and reliability can be improved. This paper introduces a methodology for the continuous generation of zonal water balances using the Baseform software utilized by AGERE. This method aims to detect unauthorized consumption and prioritize field interventions. Two concrete examples are provided to illustrate its application and the outcomes achieved.

**Keywords:** water balance, water losses, DMA, KPI, sustainability, Baseform

**doi:** 10.22181/aer.2025.0304

\* Corresponding author  
E-mail: sameiro.roriz@agere.pt

## 1 Introdução

Os balanços hídricos zonais são uma ferramenta essencial para quantificar a água não faturada, as perdas reais e os erros de medição em cada Zona de Medição e Controlo (ZMC), permitindo estabelecer prioridades para as ações sobre o sistema (Loureiro et al., 2015). Porém, o cálculo dos balanços hídricos para cada ZMC representa uma tarefa que envolve um esforço significativo de tempo e investimento para validar e conciliar todos os dados necessários da entidade gestora (EG). Além de implicar uma identificação rigorosa dos caudais de entrada, saída e dos grandes consumidores em cada zona, é necessário realizar a validação constante do cadastro e infraestruturas existentes para cada ZMC, assim como a validação dos dados de faturação. Dessa forma, é essencial a utilização de uma ferramenta que permita o cálculo em contínuo e automatizado de todas as etapas necessárias para a geração de balanços hídricos zonais

Este artigo descreve a forma como a integração e conciliação de diferentes bases de dados da AGERE no âmbito da implementação do *software* Baseform (BASEFORM, 2024) permitiu a geração em contínuo de balanços hídricos zonais, apoiando diretamente na monitorização da rede e na priorização das ações a serem realizadas no sistema. O *software* Baseform é uma plataforma analítica orientada para a gestão de perdas de água e a gestão patrimonial das infraestruturas dos sistemas de abastecimento de água. A solução integra quatro aplicações principais: *Monitor*, desenvolvida para o monitoramento da rede de distribuição e a eficiência operacional em tempo real; *Predict*, destinada ao planeamento e gestão do risco dos ativos; *Billing*, para a análise de consumos e dados de contadores; e *City*, focada na análise de indicadores de desempenho e qualidade do serviço.

O sistema de abastecimento de água de Braga, gerido pela AGERE, serve 95 000 clientes através de 1 200 km de rede, 27 reservatórios com uma capacidade total de 75 050 m<sup>3</sup> e 12 estações elevatórias, está setorizado em mais de 130 ZMC, com cerca de 50 grandes consumidores monitorizados em tempo real.

Este artigo tem como objetivo apresentar a geração de balanços hídricos zonais automáticos em ambiente Baseform para a monitorização da rede e identificação mais precisa de zonas prioritárias para inspeção e intervenção. O artigo encontra-se estruturado em três partes:

- i. Apresentação da metodologia de geração automática do balanço hídrico zonal;
- ii. Identificação das zonas prioritárias a serem inspecionadas e/ou intervencionadas
- iii. Ações realizadas no terreno e resultados obtidos

## 2 Metodologia

### 2.1 Geração automática do balanço hídrico zonal

#### 2.1.1 Integração e validação de dados em contínuo

A geração automatizada de balanços zonais de mais de 130 zonas de medição da AGERE no *software* Baseform ocorreu por meio da sincronização e atualização de diversos sistemas de informação da AGERE, nomeadamente o sistema de informação geográfica (SIG), ordens de serviço, faturação e telegestão. A conciliação destas bases de dados é fundamental, uma vez que cada sistema apresenta formatos distintos, com utilização de tecnologia específica para garantir a coerência temporal e espacial. Acresce que estas bases de dados se encontram frequentemente isoladas em silos, restritas ao uso de departamentos específicos, dificultando o acesso transversal por parte de outros sectores.

Para além dos sistemas de informação da EG, o *software* Baseform realiza a integração com outras fontes externas de dados, como os censos populacionais, que permitem estimar automaticamente a população por zona. Esta informação é essencial para o cálculo de indicadores de consumo per capita, fundamentais na identificação de incoerências nos dados (por exemplo, consumos per capita anormalmente elevados podem indicar falhas na configuração dos dados de entrada, como leituras incorretas dos caudalímetros) e no apoio ao diagnóstico de perdas nas zonas de controlo

Nesse sentido, o *software* Baseform permite a validação dos dados e de indicadores para garantir a fiabilidade dos resultados obtidos. É crucial que os sistemas de informação estejam alinhados — por exemplo, a infraestrutura de abastecimento de água deve estar devidamente representada no SIG, refletindo as limitações físicas das Zonas de Medição e Controlo (ZMC), que devem ser hidraulicamente estanques para assegurar a exatidão dos cálculos. Os dados dos caudalímetros devem estar corretamente configurados para garantir a fiabilidade dos volumes medidos à entrada de cada ZMC, e as informações de faturação dos clientes devem ser precisas para que o balanço hídrico seja correto. Para isso, é possível a verificação quase em tempo real dos atributos e indicadores de cada zona (e.g. comprimento de condutas, número de ramais no cadastro, população servida, consumos faturados). (Figura 1).



Figura 1. Aplicação “City” do software Baseform com indicadores por zonas

### 2.1.2 Deteção automática de eventos

A identificação rigorosa com base em análises estatísticas robustas de caudais mínimos noturnos para cada ZMC, envolvendo a integração dos dados de telegestão, identificação de grandes consumidores e regas, torna possível estabelecer em contínuo um padrão de consumo esperado da zona e de cada momento no tempo, em evolução dinâmica permanente (Vitorino et al., 2014). Sempre que ocorrem roturas, fugas, consumos não-habituais, ou qualquer outro tipo de alteração anómala ao comportamento esperado daquela ZMC, os algoritmos apoiados em inteligência artificial do *software* Baseform detetam automaticamente eventos e criam alertas em função da sua tipologia e gravidade (Azeitona et al., 2019). O processamento/validação dos eventos de perdas permite uma contabilização automática dos volumes de perdas reais e do consumo legítimo, e um cálculo fiável dos componentes de balanço hídrico zonal. É esta capacidade que permite

executar balanços hídricos ‘bottom-up’ – isto é, em que as perdas reais são um valor conhecido à priori, e não são a variável independente (de fecho) como acontece no balanço hídrico tradicional, ‘top-down’ (Lambert e Hirner, 2000). A variável de fecho é a verdadeira incógnita do problema, o consumo não medido (lícito e ilícito) (Serafim et al., 2022).

A integração de diferentes bases de dados da AGERE e a quantificação do volume perdido em eventos na rede permite uma análise robusta das diferentes componentes do balanço hídrico zonal. Para cada uma das mais de 130 zonas da AGERE e para qualquer período selecionado, é possível a análise do indicador de água não faturada e outros indicadores de perdas, consumo e faturação.

## 2.2 Identificação de zonas prioritárias

### 2.2.1 Abordagem

A identificação de zonas prioritárias a serem intervencionadas passa por duas etapas:

- i. ordenação das zonas mais críticas de acordo com indicadores de desempenho específicos: água não faturada (%), perdas reais (l/ramal/d), consumos *per capita* (l/hab/dia)
- ii. verificação dos dados de consumo e parque de contadores.

A integração dos dados de telegestão com os dados de consumo de água faturada, delimitados dentro dos polígonos associados à área de influência de cada ZMC, possibilita a análise contínua da água não faturada por zona. Este cálculo é realizado automaticamente na aplicação *Monitor* do *software* Baseform, para qualquer período de análise selecionado. Além da ordenação por zonas com menor percentagem de faturação, outras componentes do balanço zonal também podem ser analisadas, como os consumos *per capita* e perdas reais.

As zonas com valores acima dos 30% de Água Não Faturada (ANF) passam a ser alvo de uma análise detalhada, em paralelo com indicadores de perdas reais e aparentes (ERSAR e LNEC, 2017), com vista à diminuição da água não faturada. Desta forma, é realizada uma análise dos dados de consumos e do parque de contadores na aplicação *Billing* do *software* Baseform.

Um dos objetivos desta etapa é verificar, nas zonas críticas identificadas na etapa anterior, os dados de consumo e a cobertura efetiva, no período em causa, dos dados de contadores, que podem influenciar os resultados de ANF. Outro objetivo é fazer uma avaliação do parque de contadores, como a quantidade de contadores obsoletos (idade > 12 anos, para diâmetros de 15-20mm), existência de grandes consumidores e a quantificação de perdas aparentes. Procede-se também à verificação dos dados provenientes do cadastro, como o número de ramais afeto e parque de contadores.

A importação do histórico de dados de faturação, bem como a sua integração em contínuo, são cruciais para uma aferição com maior grau de confiança sobre estes valores. Após os trabalhos de validação anteriormente referidos para cada zona de monitorização e controlo, alcançamos de forma rápida e precisa uma priorização das zonas a intervir primordialmente.

Após a validação dos dados obtidos, decorrem ações que podem ser implementadas em paralelo no terreno, como a verificação dos limites da ZMC, *step-tests* para validação de cadastro, pesquisa ativa de fugas e deteção de consumos ilícitos através de videoscopia. Outro aspeto importante é a verificação/calibração dos medidores de caudal das referidas zonas tendo em conta a deteção de erros de medição e melhoria da sua fiabilidade.

De seguida, apresentam-se dois casos de aplicação da metodologia apresentada.

## 2.2.2 Caso 1: ZMC Picoto Nogueira

Ao analisar o balanço hídrico zonal de todas as ZMC da AGERE, identificou-se que a zona de Picoto Nogueira apresentava uma das percentagens mais baixas de água faturada (12%), definindo-se esta zona como prioritária para análise. Esta zona é a parte restante de um subsistema dividido em quatro ZMC, sendo a única a apresentar um valor tão elevado de ANF (Figura 2). A zona também apresenta um valor significativo de perdas de base (20% do total de água entrada na zona), indicando a possibilidade de existência de fugas ou roturas desconhecidas.



ZONA	TOTAL	CAUDAL MÍNIMO	CONSUMO	GRANDES CONSUMIDOR	EVENTOS DE PERDA	FATURACÃO
01 MONTARROS + PICOTO NOGUEIRA	37.76	17.88%	74.87%	3.13%	0.00%	58.82%
02 MONTARROS + PICOTO NOGUEIRA - SS_PICOTO	1.24	25.89%	75.77%	0.00%	0.00%	61.48%
03 MONTARROS + PICOTO NOGUEIRA - PARQUE COMERCIAL NOGUEIRA	2.63	1.52%	---	84.89%	0.13%	76.18%
04 MONTARROS + PICOTO NOGUEIRA - PICOTO NOGUEIRA	14.03	23.42%	74.86%	0.00%	0.00%	12.87%
05 MONTARROS + PICOTO NOGUEIRA - VRP_SOBREIRO	19.83	15.00%	---	0.00%	0.00%	89.42%
Total do sistema	37.76	17.88%	74.87%	3.13%	0.00%	58.82%

Figura 2. Análise das componentes do balanço hídrico zonal da ZMC Picoto Nogueira

Um diagnóstico mais preciso foi realizado ao analisar outros indicadores (como perdas reais em l/ramal/dia e consumo *per capita*), estes indicavam valores demasiado elevados para o consumo *per capita*, muito acima do que poderia fazer sentido: 743 l/hab/dia.

Ao passar para a segunda etapa de análise, nomeadamente a verificação dos dados de consumo e do parque de contadores, verificou-se que esta é uma zona com consumo predominantemente residencial, porém com um parque de contadores envelhecido: 32% dos contadores têm mais de 12 anos.

Com base no diagnóstico realizado na zona em análise, passou-se a suspeitar da existência de ligações desta zona com outras (através de condutas antigas não registadas no cadastro) e/ou consumos ilícitos na rede. Além disso, foi possível identificar a necessidade de substituição de contadores.

No caso mencionado anteriormente da zona Picoto Nogueira, foram realizadas ações de verificação de limites da ZMC, pesquisa ativa de fugas e videoscopia na rede, que resultaram na identificação de um consumo ilícito por meio de ligação “*by pass*” em ramal. Neste ramal foram estimados 1 322 m<sup>3</sup> de consumo além dos já faturados, no intervalo compreendido entre 05-02-2022 e 05-02-2024, gerando uma fatura de aproximadamente 3 400€ a ser paga. No *software* Baseform pode verificar-se a diminuição do consumo para o cliente em questão, no intervalo temporal em que usufruí da ligação ilícita (Figura 3).

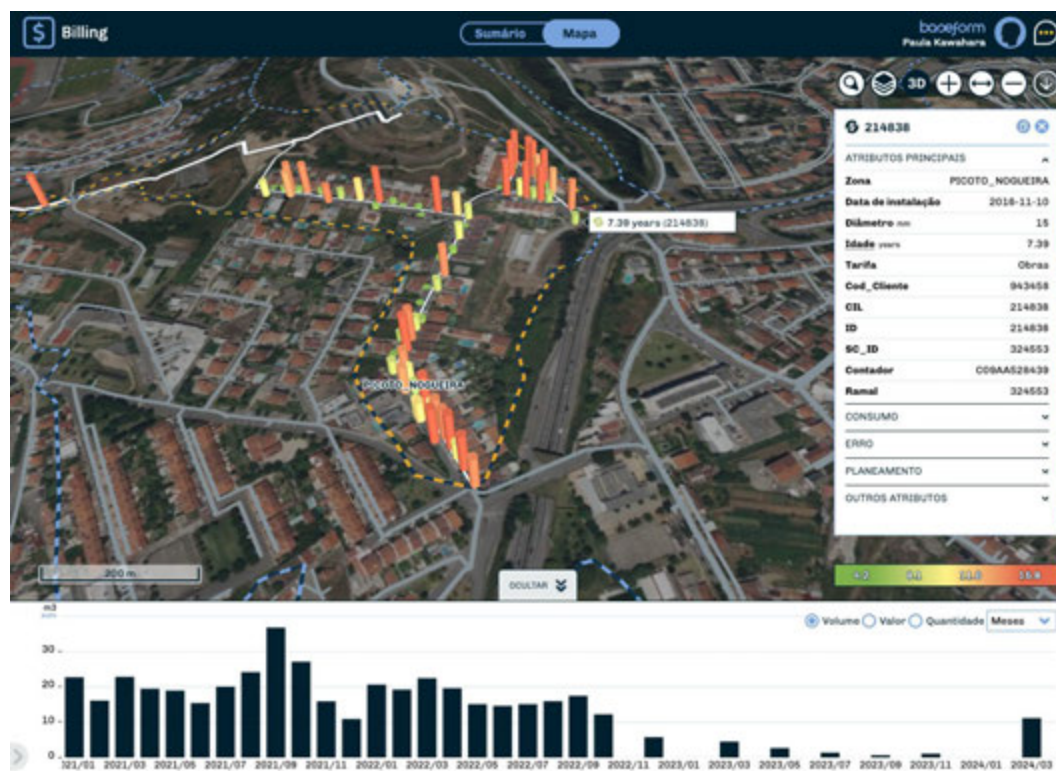


Figura 3. Histórico de consumo do cliente onde foi identificado o consumo ilícito

### 2.2.3 Caso 2: ZMC AGH02 Sequeira

Apesar de ser uma zona relativamente pequena (caudal médio de  $1\text{m}^3/\text{h}$ ), a zona do grupo hidropressor AGH02 Sequeira foi selecionada para análise por apresentar um caudal de água faturada mais elevado do que caudal de água entrado na zona (Figura 4). Esta zona possui um comprimento total de 6,98 km, 272 contadores e 595 habitantes, com uma percentagem de 88% de clientes domésticos. Foram analisados diversos indicadores da zona com o objetivo de identificar a origem do problema.

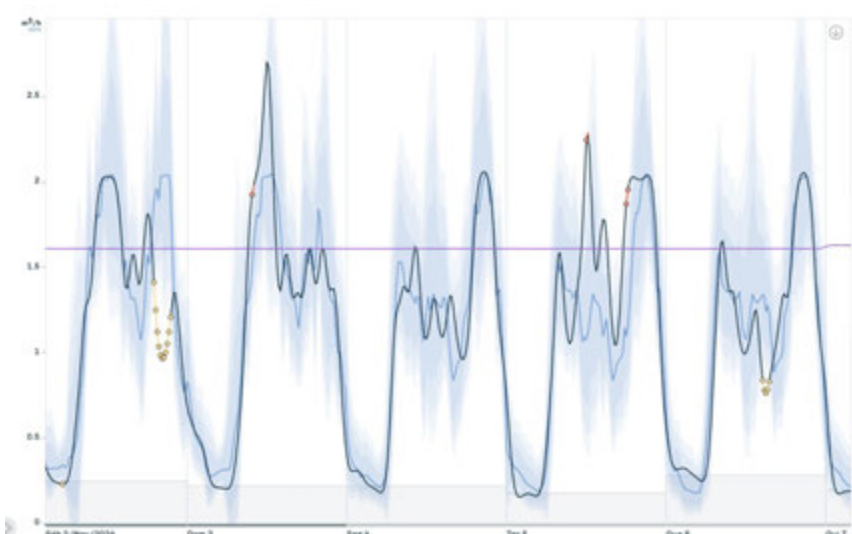


Figura 4. Caudal de entrada na zona AGH 02 (linha a preto) comparado com o caudal de consumo faturado na zona (linha a roxo)

Ao investigar o consumo *per capita*, identificou-se que a capitação com base na água faturada, representada a roxo na figura 4, é plausível, tendo em conta o consumo médio

do sistema e a percentagem de clientes domésticos ( $4,23 \text{ m}^3/\text{hx}1000 \times 24/596 = 170 \text{ l/hab/dia}$ ), enquanto que o consumo *per capita* calculado com o caudal entrado na zona estava muito abaixo do expectável ( $1,03 \text{ m}^3/\text{hx}1000 \times 24/596 = 42 \text{ l/hab/dia}$ ). A partir desta análise, verificou-se a necessidade de validar o caudal entrado na zona. Esta foi uma importante constatação obtida através da análise de uma pequena zona, visto que havia suspeitas de problemas na medição de caudal dos grupos hidropressores e com base nesses resultados foi possível priorizar a ação de calibração e verificação dos caudalímetros de todos os grupos hidropressores do sistema. Sublinha-se a utilidade do consumo *per capita* como variável de aferição, uma vez que os seus valores são facilmente interpretados em absoluto, ajudando a identificar rapidamente potenciais problemas.

### 3 Discussão e Conclusões

Este artigo apresenta a metodologia e resultados obtidos na AGERE decorrentes da geração contínua e automatizada de balanços hídricos zonais em ambiente Baseform. A integração de diferentes sistemas de informação da AGERE (SIG, telegestão, dados de faturação) e dados externos (e.g., censos), juntamente com a validação contínua de indicadores e configuração dos balanços das ZMC e a deteção de eventos, possibilitam o cálculo automático de balanços hídricos fiáveis e robustos para cada zona.

A identificação expedita de zonas críticas de intervenção utilizando os balanços hídricos zonais tornou-se decisiva e um instrumento central para a visibilidade e priorização no combate às perdas reais, assim como para o diagnóstico e ações de melhoria no parque de contadores e combate às perdas aparentes. Como exemplo concreto, foi possível identificar numa zona crítica um consumo ilícito com dívida correspondente a 3400€ e priorizar a ação de calibração de caudalímetros dos grupos hidropressores. Outros resultados não tangíveis incluem a democratização da informação disponível, ou seja, acesso mais amplo e equitativo à informação nas diferentes áreas ou profissionais da EG, possibilitando uma melhor comunicação entre diferentes departamentos (engenharia, comercial e de produção) e a tipificação dos principais aspetos de melhoria associados à implementação da metodologia (atualizações do cadastro e dados de faturação).

É expectável que a implementação contínua desta metodologia permita aumentar a fiabilidade dos dados, agilizar a tomada de decisão e reduzir a água não faturada. Os próximos passos envolvem a integração dos resultados provenientes de outros ambientes do Baseform, como a taxa de falha das condutas de abastecimento (ambiente *Predict*) e a quantificação do volume de perdas de água obtidas através dos modelos hidráulicos gerados no *software* Baseform. Todos estes aspetos são primordiais para a AGERE na busca da qualidade, eficiência e sustentabilidade dos serviços de água.

### Agradecimentos

A implementação do *software* Baseform na AGERE é cofinanciada pelo POSEUR ao abrigo do Projeto “Controlo e Redução de Perdas nos Sistemas de Distribuição e Adução de Água no Concelho de Braga”.

### Referências

Azeitona, M., Vitorino, D., Coelho, S.T. (2019). Early detection of long-term developing leaks in water supply systems. Proc. NAWL 2019 - North American Water Loss Conference, American Waterworks Association, December 2019, USA.

BASEFORM (2024). *BF Software, Lda*. <http://baseform.com>, acessado a 21 de junho de 2024.

- ERSAR e LNEC (2017) - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores – 3.ª geração do sistema de avaliação,” *Guia técnico nº 22*, ERSAR, LNEC, Lisboa.
- Lambert, A. e Hirner, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA blue pages*, vol. October, no. 3, pp. 1–13.
- Loureiro, D., Alegre, H., Mamade, A., Ribeiro, R., Vieira, P., & Coelho, S. T. (2015). Implementing water-energy loss management in water supply systems through a collaborative project: the Portuguese national initiative.
- Serafeim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., & Langousis, A. (2022). Probabilistic minimum night flow estimation in water distribution networks and comparison with the water balance approach: large-scale application to the City Center of Patras in Western Greece. *Water*, 14(1), 98.
- Vitorino D., Loureiro D., Alegre H., Coelho S.T., Mamade A. (2014). In defense of the demand profile: a software approach. *Procedia Engineering (Science Direct)*, Vol 89, 2014, p.982– 989, Elsevier.

# Desidratação e Estabilização de Lamas Biológicas de ETAR Urbana em *Reed beds*: Ensaio-piloto na ETAR de Vila do Porto, Açores

Ana Câmara<sup>a</sup>, Sílvia Quadros<sup>b, c, \*</sup>

<sup>a</sup> Câmara Municipal de Vila do Porto, Vila do Porto, Portugal

<sup>b</sup> Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Ponta Delgada, Portugal

<sup>c</sup> Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CBIO), Ponta Delgada, Portugal

## RESUMO

A desidratação mecânica de lamas biológicas de ETAR urbana tem custos elevados em reagentes e energia. Os leitos de secagem plantados *com vegetação* emergente *autóctone* são uma opção sustentável que utiliza a atividade biológica e energia renovável, solar, para a estabilização das lamas propiciando a utilização como fertilizante. No arquipélago dos Açores a Ilha de Santa Maria, apresenta condições climáticas favoráveis para a introdução desta tecnologia sendo a *Typha domingensis* a espécie local mais promissora para estes sistemas. Nesta comunicação apresentam-se os resultados do primeiro ensaio realizado na ETAR de Vila do Porto (380 e.p.) numa unidade piloto formada por dois leitos, operados em paralelo. Cada leito com uma área superficial de 0,9 m<sup>2</sup> e contendo uma camada de meio filtrante (4mm<Ø<25mm) de 0,4 m, foi plantado com *Typha domingensis* (10 plantas/m<sup>2</sup>). As lamas biológicas com 3 a 4% de matéria seca (MS) foram aplicadas manualmente nos leitos em três ciclos consecutivos, com intervalos médios de 28 dias. Em cada ciclo alimentou-se uma carga de sólidos de 5 kg MS/m<sup>2</sup>, equivalente a 65 kg MS/m<sup>2</sup>/ano. No final dos 3 ciclos, as lamas retidas apresentavam já um teor médio de MS de 17% demonstrando a ocorrência efetiva de desidratação para temperaturas médias do ar de 16°C e pluviosidade acumulada de 308mm, ainda que as plantas se encontrassem num estágio de desenvolvimento inicial (500±130 mm).

**Palavras-Chave:** Açores, baixo custo, lamas biológicas de ETAR urbana, Reed beds, sustentabilidade, *Typha domingensis*

**doi:** 10.22181/aer.2025.0305

\* Autor para correspondência  
E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt

# Biosolids Dewatering and Stabilization in Reed beds: A Pilot Scale Essay at WWTP of Vila do Porto, Azores

Ana Câmara<sup>a</sup>, Sílvia Quadros<sup>b, c, \*</sup>

<sup>a</sup> Câmara Municipal de Vila do Porto, Vila do Porto, Portugal

<sup>b</sup> Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Ponta Delgada, Portugal

<sup>c</sup> Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CBIO), Ponta Delgada, Portugal

## ABSTRACT

The mechanical dewatering of biosolids of urban wastewater treatment plants is associated with high reagent and energy costs. The drying beds planted with native emergent plants are a sustainable option that uses the biological activity and renewable energy (solar) to sludge stabilization and use as fertilizer for agriculture. In the Azores archipelago, the island of Santa Maria has suitable weather conditions for the introduction of this technology, with *Typha domingensis* being the most promising local species for these systems. This research presents the results of the first pilot-scale essay carried out at Vila do Porto Urban Waste Water Treatment Plant (380 PE), in a pilot scale established in two beds, operated in parallel. Each bed with a surface area of 0,9 m<sup>2</sup>, has a 0,4m filter layer (4mm<Ø<25mm), planted with *Typha domingensis* (10 plants/m<sup>2</sup>). The biosolids, with dry matter (DM) content of 3 to 4%, were manually applied, performing three consecutive drying cycles with an average interval of 28 days. In each cycle, a solids loading rate of 5 kg DM/m<sup>2</sup> was applied, equivalent to 65 kg DM/m<sup>2</sup>/year. At the end of 3 cycles the average DM content of 17% shows the effective sludge dewatering for average air temperature of 16°C and accumulated precipitation of 308 mm, even though, the plants were in the first growing stages (500±130 mm).

**Keywords:** Azores, biosolids, low cost, Reed beds, sustainability, *Typha domingensis*

**doi:** 10.22181/aer.2025.0305

\*Corresponding author  
E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt

## 1 INTRODUÇÃO

A estabilização de lamas de ETAR em leitos de secagem com plantas, conhecidos por *Reed Beds* (RB) combina os conceitos de leitos de secagem de lamas convencionais e Zonas Húmidas Construídas (ZHC) de escoamento superficial vertical. Esta tecnologia revista recentemente por Tan et al. (2023), permite a gestão sustentável de lamas biológicas em linha com os princípios da economia circular e de valorização de nutrientes.

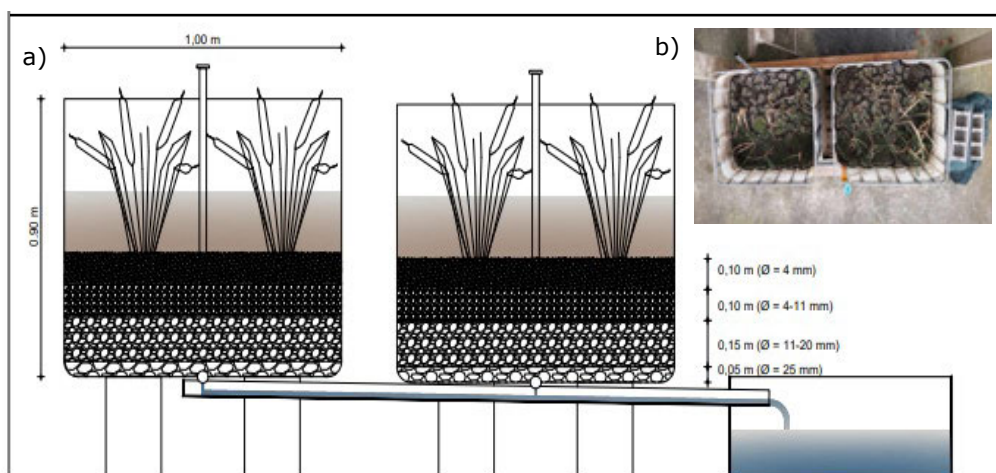
As *Reed Beds* existem na Dinamarca desde 1988 (Nielsen 2005) sendo amplamente utilizadas no norte da Europa para desidratar e mineralizar as lamas em excesso dos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas por lamas ativadas (Brix 2017). Na região mediterrânica e nos trópicos existem vários sistemas piloto (Bui 2019). Em Portugal o recurso a esta solução na ETAR de Barroca d'Alva, em Alcochete, tem já 20 anos (Matos et al. 2023).

Em comparação com os métodos convencionais do tratamento de lamas, as RB têm um custo de investimento e de operação mais baixo, são energeticamente eficientes e não requerem a adição de reagentes (Brix 2017). Contudo, a área necessária à sua implementação depende das condições meteorológicas locais, da vegetação selecionada e das condições de exploração.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Caracterização do ensaio piloto

Para o ensaio experimental implementaram-se dois leitos de secagem numa zona contígua à ETAR de Vila do Porto. Para o efeito usaram-se dois tanques em PEAD (1,0x0,9x0,9 m) equipados com uma tubagem perfurada também em PEAD ( $\varnothing=32\text{mm}$ ), de forma a garantir a ventilação do leito e a drenagem do percolado, que depois de recolhido através de uma caleira exterior comum aos dois tanques, foi armazenado em caixa coberta com um volume de 75 L (Fig. 1a).



**Figura 1 (a)** Esquema de enchimento do meio filtração e enraizamento dos leitos piloto de secagem plantados com *Thypha dormigensis* à densidade de 10 plantas/m<sup>2</sup>. Carga aplicada, expressa em sólidos totais secos foi de 5 kg/m<sup>2</sup> por ciclo para um período médio de pousio de 28 dias. (b) Foto dos leitos em operação, no final do 2.º ciclo de aplicação, tendo a lama atingido 29% em Matéria Seca.

O meio de enchimento dos leitos tem uma altura total de 0,40 m, e é composto por uma camada drenante de 0,20 m em calhau rolado ( $\varnothing \approx 25$  mm), encimada por brita de construção civil ( $11 < \varnothing < 20$  mm), e uma camada para enraizamento inicial das plantas, com a mesma altura, e composta por brita ( $4 < \varnothing < 11$  mm) combinada com uma camada de menor granulometria ( $< 5$  mm). Todo o material foi lavado previamente.

De acordo com Raposo et al. (2022), a espécie *Typha domingensis* é a única do género *Typha* presente nos Açores e restrita à ilha de Santa Maria. Assim sendo, foi a espécie escolhida para a plantação dos leitos, tendo sido utilizada a densidade de 10 plantas/m<sup>2</sup> (Metcalf e Eddy 2003, Edwards et al. 2011 e Hardej e Ozimek 2002 citado por Uggetti et al. 2010, Brix 2017). As plantas foram colhidas nas proximidades do aeroporto no estado adulto, lavadas, pesadas e plantadas nos leitos (Figura 2).



**Figura 2** – Exemplar de *Typha domingensis* antes da plantação

O carregamento dos leitos foi realizado manualmente com lamas espessadas provenientes do silo de lamas da ETAR de Vila do Porto, cujo tratamento secundário consiste num sistema de lamas ativadas com arejamento prolongado. Atualmente as lamas do decantador final são recirculadas ao tanque de arejamento e as lamas em excesso armazenadas no silo de lamas para serem posteriormente desidratadas por centrifugação com adição de polieletrólito. A carga afluente da ETAR ronda atualmente os 380 equivalentes de população (e.p.).

## 2.2 Operação e monitorização do ensaio-piloto

Sendo as *RB* muito influenciadas pelos fatores meteorológicos, refere-se que na ilha de Santa Maria, a mais seca do arquipélago, a precipitação anual atinge os 755 mm, e a temperatura média do ar situa-se próxima dos 18°C (PGRH 2022). De acordo com a classificação climática de Köppen para os Açores (PGRH 2022) – clima temperado – e os valores típicos referidos na bibliografia (Metcalf e Eddy 2003, Pandey e Jansen 2015, Brix 2017, Tan et al. 2023), é recomendada uma carga de sólidos totais expressos em Matéria Seca (MS) aplicada de cerca 60 kg MS/m<sup>2</sup>.ano.

Assim, admitindo uma frequência mensal de carregamento, a matéria seca a aplicar em cada carregamento corresponde a cerca de 5 kg MS/m<sup>2</sup>, sendo o volume de lama correspondente estimado através da eq. 1:

$$V = \frac{MS}{\rho_a SSPs} \quad (\text{eq. 1})$$

onde MS representa matéria seca (kg),  $\rho_a$ , a massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>), SS, o peso específico da lama (adimensional) e Ps, a percentagem de sólidos (decimal). O valor obtido foi de 237 L de lamas, para uma Ps média de 2,1% e peso específico da lama (SS), de 1,005 (Metcalf e Eddy 2003).

As lamas foram aplicadas manualmente na superfície dos leitos, com baldes de 10 L, num total de 230 L em cada leito, o que, atendendo à área unitária de 0,9 m<sup>2</sup>, corresponde a uma carga anual de 64,7 kg MS/m<sup>2</sup>.ano, e a que se seguiu um período de pousio de cerca de 28 dias.

A operação do ensaio-piloto foi realizada durante o primeiro trimestre de 2024, tendo sido registada a altura de lama (inicial e final) com uma régua graduada fixada no exterior dos tanques. O volume de percolado produzido em cada ciclo foi estimado a partir da medição da altura de líquido na caixa de recolha.

No Quadro 1, apresenta-se a precipitação acumulada (soma da precipitação diária) observada na Estação Meteorológica Automática Santa Maria/Aeroporto (Coordenada: Lat. 36°58'23"N / Lon. 25°10'22"W), a 96 m de altitude, e a temperatura média do ar (média dos valores de temperatura média diária do ar), e radiação solar total observados na Estação Meteorológica da Praia Formosa (Coordenada: Lat. 36°57'11"N / Lon. 25°5'31"W), a 190 m de altitude.

A análise do teor em MS das lamas e do percolado para sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), azoto total (NT), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fósforo total (PT), carência química de oxigénio (CQO) e coliformes fecais (CF) foram realizadas em laboratório externo (Agroleico Açores), em amostras de lamas e percolado recolhidas pela entidade gestora da ETAR de Vila do Porto. As amostras de lamas finais recolhidas em cada tanque, foram o resultado de colheitas de material a diferentes profundidades de cada leito, de modo a obter-se uma amostra representativa de cada camada de lama.

A monitorização da adaptação da espécie *Typha domingensis* às condições de operação foi realizada por registo fotográfico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura inicial e final de lamas (média dos dois leitos) apresentadas no Quadro 1, mostram que no primeiro e segundo ciclos houve uma diminuição de mais de 70% da altura inicial e no 3.º ciclo foi ligeiramente inferior. O volume de percolado mais elevado foi produzido no primeiro ciclo, que corresponde a mais do dobro dos ciclos seguintes, o que estará diretamente correlacionado com a precipitação acumulada. De facto, a precipitação ocorrida o 1.º ciclo foi de 246 mm, o que corresponde a mais de 25% da precipitação anual da ilha de Santa Maria, verificando-se nos restantes ciclos precipitação acumulada muito menor (cerca de 11 vezes inferior e 6 vezes inferior).

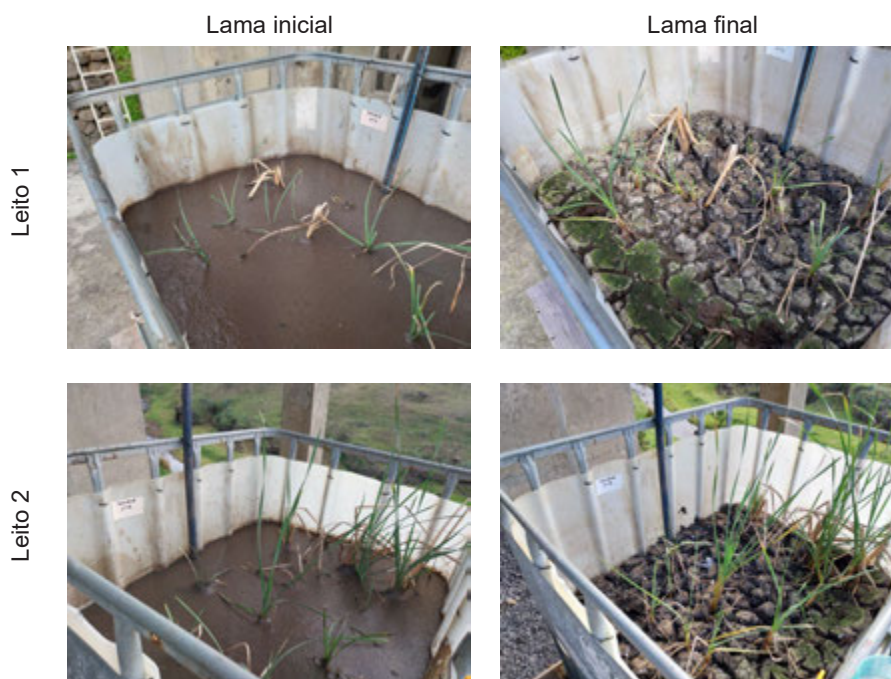
**Quadro 1.** Dados de operação dos 3 ciclos do ensaio-piloto

Ciclo	Período	Duração (dias)	h (m)		$\eta$ (%)	Vol. perco- lado (m <sup>3</sup> )	P acumulada (mm)/ Vol. adicional (m <sup>3</sup> /ciclo)	T média ar (°C)	Radiação solar total (W/m <sup>2</sup> )
			T <sub>i</sub>	T <sub>f</sub>					
1	9/1 – 8/2	30	0,22	0,06	73	0,414	246 / (0,442)	16,0	13 396
2	8/2 – 4/3	25	0,21	0,05	76	0,202	21 / (0,038)	17,0	14 235
3	4/3 – 3/4	30	0,22	0,09	59	0,207	41 / (0,074)	15,8	21 122

Nota: Os resultados são médias dos valores obtidos em cada um dos leitos, sendo h, a altura média da lama após aplicação (ti) e no final do ciclo (tf),  $\eta$  a eficiência na redução de volume obtida no final do ciclo e variáveis meteorológicas P, a precipitação. T a temperatura e radiação solar

A observação das plantas ao longo dos três ciclos de desidratação, permitiu concluir que a *Typha domingensis* se adaptou às condições de operação como se pode observar na Figura 3. No final do ensaio experimental observa-se uma taxa de sobrevivência das plantas de 90 e 100% nos leitos 1 e 2, respetivamente, e um maior desenvolvimento das

plantas no leito 2 associado a maior exposição solar. A presença de algas verdes na superfície de qualquer dos leitos no final do ensaio denota um eventual contributo para a mitigação de nutrientes presentes nas lamas.

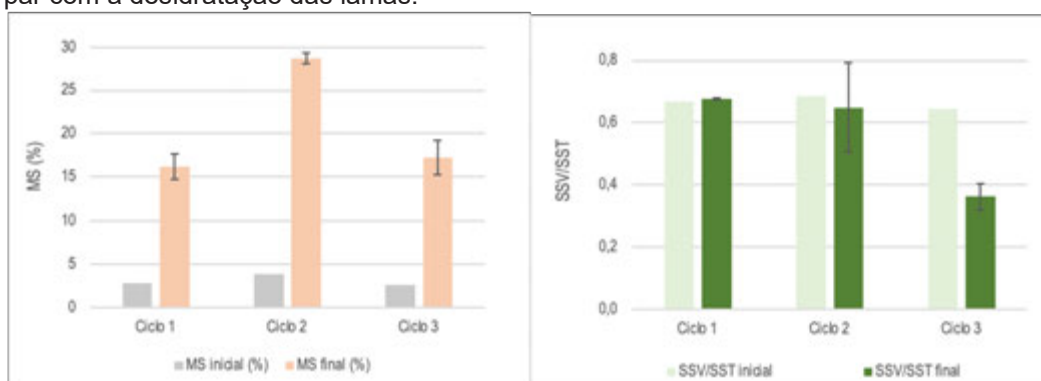


**Figura 3.** Leitos no terceiro ciclo do ensaio, imediatamente após a aplicação da lama (Lama inicial) e no final do ciclo de tratamento (Lama final).

A caracterização das lamas no início e no final de cada ciclo, relativo ao teor em MS e à razão SSV/SST é apresentada na Figura 4. Para os valores das lamas finais, apresenta-se a média e desvio padrão da monitorização dos dois leitos ( $n=2$ ). O conteúdo em MS nas lamas no final de cada ciclo denota a influência das condições climáticas tendo atingido o valor máximo de 29% no final do 2.º ciclo, que correspondeu ao ciclo com maior temperatura média do ar de 17,0°C e menor precipitação acumulada (21 mm). A estabilização das lamas ocorreu francamente após o 3.º ciclo com uma diminuição da razão SSV/SST das lamas a estabilizar de 0,7 para 0,4 (Figura 4). Durante este ciclo registou-se o maior valor de radiação solar total (21 122 W/m<sup>2</sup>), o que poderá ter contribuído para uma maior atividade microbiana na estabilização das lamas.

O maior desenvolvimento das plantas neste último ensaio pode ter potenciado a capacidade de oxigenação do meio e, portanto, a capacidade de degradação biológica.

No Quadro 2 apresentam-se os resultados analíticos do percolato recolhido em cada um dos ciclos, que permite avaliar as variações na capacidade de depuração do percolato a par com a desidratação das lamas.



**Figura 4.** Teor em Matéria Seca (a) e razão SSV/SST (b) das lamas a estabilizar no início e no final de cada ciclo**Quadro 2.** Resultados analíticos da composição do percolado recolhido em cada ciclo

Ciclo	Amostragem (dia do ciclo)	SST (mg/L)	NT (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	*N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	PT (mg/L)	CQO (mgO <sub>2</sub> /L)	CF (UFC/100mL)
1	0	76	73	n.d.	n.d.	18	120	(n.d)
2	12	<5	98	471	94	7	42	<2
3	2	7	160	697	139	6	86	75
3	15	<5	99	431	86	5	72	<2

n.d. – não disponível

O teor em SST do percolado recolhido no início do 1.º ciclo (76 mg/L) e no início do 3.º ciclo (7 mg/L), poderão ser indicadores da crescente capacidade de retenção de sólidos do leito, devido à diminuição da porosidade causada pela retenção e deposição de partículas no leito. Apesar de não se conhecer a composição do percolado no final de cada ciclo, é expectável que o mesmo não reúna condições para a sua descarga direta no meio recetor, devendo o mesmo ser recirculado à obra de entrada da ETAR.

As colheitas no segundo e 15º dia do terceiro ciclo, evidenciaram a capacidade do sistema na redução da concentração em CF, em nutrientes azotados (NT, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e na CQO. Ao contrário, o teor em SST e PT, apresentaram valores reduzidos logo no início do ciclo sem alterações significativas na segunda amostragem realizada. Os mecanismos de remoção poderão contribuir para justificar as diferenças de eficiência observadas relativamente aos nutrientes azotados, uma vez que na remoção dos SST predominam inicialmente fenómenos físicos (retenção, deposição), enquanto os processos biológicos de remoção de azoto (desnitrificação e absorção pelas plantas) e de mineralização da matéria orgânica são mais lentos e dependentes não só do tempo de retenção no leito, mas também da temperatura e desenvolvimento da vegetação.

Apesar das plantas terem mostrado boa adaptação às condições do ensaio-piloto, é esperado que com um maior desenvolvimento radicular a sua capacidade de evapotranspiração aumente e assim, também aumente a taxa de desidratação das lamas.

Uma das principais condicionantes para a implementação das RB na ETAR de Vila do Porto é a disponibilidade de área de implantação, sendo necessário otimizar a operação do sistema, através de um período de arranque que permita o franco enraizamento e desenvolvimento das plantas, optimização da frequência de carregamento e simultaneamente do dimensionamento das *Reed Beds*, em função da exposição solar e da área disponível para a implementação do sistema.

## 4 Conclusões

Durante os 3 meses de duração do ensaio as *Reed Beds* foram alimentadas com três cargas de lamas (3-4% MS) num total de 16 kg MS/m<sup>2</sup>, e obtiveram-se resultados muito promissoras para a desidratação das lamas com MS a variar entre 29% e 16%.

A *Typha domingensis* é uma das espécies recomendadas para utilizar em *Reed Beds*, sendo a ilha de Santa Maria, a única ilha dos Açores onde esta espécie existe, adaptou-se bem às condições do ensaio.

A análise do percolado mostrou elevada concentração em nitrato o que mostra a pertinência da gestão deste fluxo, aquando da sua recirculação para o tanque de arejamento.

## Autorizações e Direitos de Autor

A Câmara Municipal de Vila do Porto autorizou a divulgação dos resultados.

## Agradecimentos

As autoras agradecem à Câmara Municipal de Vila do Porto pelo financiamento do controlo analítico do ensaio experimental, como também pelo empenho e dedicação dos assistentes operacionais na construção e operação do ensaio experimental.

## Referências

- Brix, H. (2017). Sludge dewatering and mineralization in sludge treatment reed beds. *Water*, 9(3), 160. doi.org/10.3390/w9030160.
- Bui, J. J. (2019). Dewatering and mineralization of sludge in vertical flow constructed wetlands: a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 495, No. 1, p. 012. doi:10.1088/1757-899X/495/1/012069.
- Matos R.V., Ferreira F., Saldanha J.S. (2023). Guia Técnico Sistemas de Saneamento para Pequenos Aglomerados Populacionais. Entidade Reguladora de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA).
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. Mc Graw-Hill, New York.
- Nielsen, S. (2005). Sludge Treatment in Reed Bed Systems and Recycling of Sludge and Environmental Impact. In *10th European Biosolids and Biowaste Conference*.
- Pandey, M. K., Jenssen, P. D. (2015). Reed beds for sludge dewatering and stabilization. *Journal of Environmental Protection*, 6(04), 341. doi.org/10.4236/jep.2015.64034.
- PGRH (2022). Plano de Gestão Hidrográfica dos Açores, 2022-2027. Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas.
- Raposo, V. B., Silva, L., Quadros, S. (2022). Azorean Vascular Plants with Potential Use in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow. *Sustainability*, 14(22), 14681. doi.org/10.3390/su142214681.
- Tan, Y. Y., Huong, Y. Z., Tang, F. E., Saptoro, A. (2023). A review of sewage sludge dewatering and stabilisation in reed bed system: towards the process-based modelling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24. doi.org/10.1007/s13762-023-05063-9.
- Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., García, J. (2010). Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. *Bioresource technology*, 101(9), 2905-2912. doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102.

# Reutilização Sustentável da Água no Setor Têxtil: limitações e estratégias para a aplicação da digestão anaeróbia

Sónia G. Barbosa <sup>a, b</sup>, Ana Nicolau <sup>a, b</sup>, Ana R. Silva <sup>a, b</sup>, Andreia F. Salvador <sup>a, b</sup>, Olívia S.G.P. Soares <sup>c, d</sup>, Manuel F.R. Pereira <sup>c, d</sup>, Ana L. Gonçalves <sup>e</sup>, Maria A. Pereira <sup>a, b</sup>, Luciana Pereira <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> CEB, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Braga, Portugal

<sup>b</sup> LABBELS, Laboratório Associado, Braga/Guimarães, Portugal

<sup>c</sup> LSRE-LCM, Laboratório de Engenharia de Separação e Reação - Laboratório de Catálise e Materiais, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>d</sup> ALiCE, Laboratório Associado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>e</sup> CITEVE, Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal, Vila Nova de Famalicão, Portugal

## RESUMO

A indústria têxtil, das maiores consumidoras de água a nível global, é responsável por 20 % das águas residuais produzidas, evidenciando a urgência de implementar uma gestão eficiente da água, com soluções inovadoras e sustentáveis. Os processos de tratamento devem ser projetados para lidar com a complexidade e variabilidade dos efluentes gerados, assegurando a qualidade da água tratada e viabilizando a sua reutilização, contribuindo para enfrentar o desafio global da escassez de água. Este estudo avaliou o potencial da digestão anaeróbia (DA) para o tratamento de águas residuais têxteis e produção simultânea de biogás. Devido à elevada toxicidade dos três efluentes têxteis testados, que apresentavam cor intensa e elevada presença de compostos químicos, incluindo sal, a DA revelou-se ineficaz, mesmo com adição de mediadores redox (materiais de carbono). Dado a eficácia provada da DA com efluentes corados modelo, é crucial implementar estratégias para diminuir a toxicidade, tais como a adaptação gradual do inóculo, visando obter um inóculo enriquecido com microrganismos tolerantes e eficientes no tratamento de efluentes têxteis reais, de modo a viabilizar a sua aplicação em ambiente industrial, permitindo reutilizar a água, menor custo de tratamento e conformidade ambiental.

**Palavras-Chave:** Biogás, carga orgânica, digestão anaeróbia, efluentes têxteis, toxicidade

**doi:** 10.22181/aer.2025.0306

\* Autor para correspondência

E-mail: lucianapereira@ceb.uminho.pt

# Sustainable Water Reuse in the Textile Sector: limitations and strategies for the application of anaerobic digestion

Sónia G. Barbosa <sup>a, b</sup>, Ana Nicolau <sup>a, b</sup>, Ana R. Silva <sup>a, b</sup>, Andreia F. Salvador <sup>a, b</sup>, Olívia S.G.P. Soares <sup>c, d</sup>, Manuel F.R. Pereira <sup>c, d</sup>, Ana L. Gonçalves <sup>e</sup>, Maria A. Pereira <sup>a, b</sup>, Luciana Pereira <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> CEB, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Braga, Portugal

<sup>b</sup> LABBELS, Laboratório Associado, Braga/Guimarães, Portugal

<sup>c</sup> LSRE-LCM, Laboratório de Engenharia de Separação e Reação - Laboratório de Catálise e Materiais, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>d</sup> ALiCE, Laboratório Associado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>e</sup> CITEVE, Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal, Vila Nova de Famalicão, Portugal

## ABSTRACT

The textile industry, one of the largest water consumers worldwide, generates 20 % of global wastewater, highlighting the urgency for implementing efficient water management strategies based on innovative and sustainable solutions adapted to the complex generated effluents. So, treatment processes must be designed to handle the complexity and variability of textile effluents, ensuring treated water quality and enabling its reuse, thus addressing global water scarcity. This study evaluated the potential of anaerobic digestion (AD) for textile wastewater with simultaneous biogas production. However, due to the high toxicity towards the anaerobic microorganisms of the three effluents tested, characterized by intense colour and a high level of chemical compounds, including salt, AD proved ineffective, even with redox mediators (carbon materials). Given AD's proven effectiveness in treating model dye effluents, it is crucial to implement strategies to reduce effluent toxicity, such as the gradual adaptation of the inoculum aiming to enrich it with tolerant and efficient microorganisms for real textile effluent treatment, thus enabling its industrial application, water reuse, reduced treatment costs, and environmental compliance.

**Keywords:** Anaerobic digestion, biogas, organic load, textile wastewater, toxicity

**doi:** 10.22181/aer.2025.0306

\* Corresponding author

E-mail: lucianapereira@ceb.uminho.pt

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil figura como uma das maiores consumidoras de água e a segunda maior fonte de poluição hídrica a nível mundial (Mikucioniene et al. 2024). Estima-se que os processos de tingimento e acabamento têxtil sejam responsáveis por cerca de 20 % da produção global de águas residuais (Bailey et al. 2022). Estas águas residuais, caracterizadas por uma composição química complexa e bastante variável devido à diversidade das fibras processadas, tecnologias de enobrecimento e substâncias químicas utilizadas (ex.: detergentes, surfactantes, corantes, etc.), apresentam valores variáveis de carência química de oxigénio (CQO) e de carência bioquímica de oxigénio (CBO), e elevadas concentrações de sal e condutividade (Pereira e Alves 2012, Wang et al. 2022). Geralmente, são muito coradas mesmo que a concentração de corantes não seja muito alta (Pereira e Alves 2012). Até recentemente, o principal foco das indústrias têxteis no que se refere ao tratamento das suas águas residuais era a sua descarga segura no meio hídrico. Um estudo de 2018 mostrou que 90 % das empresas do Norte de Portugal descarregavam as suas águas residuais em coletores municipais, enquanto apenas 10 % possuíam uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) própria (Soto 2018). No entanto, face à transição para um modelo de economia circular que privilegia as energias renováveis e a reutilização da água, tornou-se imperativo desenvolver soluções inovadoras e economicamente viáveis, que promovam a poupança de água nas indústrias e contribuam para mitigar o crescente problema da escassez hídrica (Karthik and Rathinamoorthy 2015, Silva et al. 2018).

Embora os tratamentos convencionais de águas residuais têxteis, maioritariamente baseados em processos físico-químicos, sejam amplamente aplicados, apresentam alguns inconvenientes, sobretudo em países em desenvolvimento devido aos elevados gastos energéticos e à necessidade de uso de reagentes muitas vezes dispendiosos, e ao seu potencial contributo para a poluição química (Gupta e Suhas 2009). A digestão anaeróbia (DA) surge como uma alternativa sustentável e promissora, alinhada com iniciativas da União Europeia, como o REPowerEU, para o tratamento de águas residuais com elevada carga orgânica, ao mesmo tempo que permite gerar biogás, uma fonte de energia renovável composta tipicamente por 50-70 % de metano ( $\text{CH}_4$ ) e 30-50 % de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Durante a DA de efluentes têxteis, os corantes presentes podem funcionar como aceitadores finais de eletrões libertados durante a degradação da matéria orgânica presente nos efluentes, sendo reduzidos a aminas aromáticas, incolores (Silva et al. 2020). Contudo, a presença de outros compostos nos efluentes têxteis, de natureza recalcitrante, tem sido associada à baixa produtividade de biogás e a elevados tempos de retenção hidráulica devido à inibição (Spagni et al. 2012). Para ultrapassar estas limitações, têm sido aplicados diversos materiais de carbono (MC) que atuam como mediadores redox, promovendo a transferência dos eletrões resultantes da oxidação da matéria orgânica para os aceitadores finais, acelerando o processo e reduzindo o consumo de tempo e energia (Abbas et al. 2021). Estudos anteriores demonstraram que a suplementação da DA com pequenas quantidades (0,1 – 0,5 g/L) de diversos MC, como o carvão ativado (CA) e os nanotubos de carbono (NTC), acelera a redução/degradação de corantes em efluentes sintéticos e reais (Pereira et al. 2010, Pereira et al. 2014, Pereira et al. 2016, Pereira et al. 2017, Silva et al. 2020). Para além de serem efetivos com baixas concentrações, pelo facto de serem regenerados durante o processo de oxidação-redução, são insolúveis, o que permite mantê-los nos reatores e separá-los dos efluentes tratados (Pereira et al. 2010). No entanto, os estudos aplicados a efluentes têxteis reais permanecem limitados, sendo que a maioria se foca na utilização de corantes individuais. Neste trabalho, avaliou-se o potencial da DA no tratamento de três efluentes têxteis reais (E1, E2 e E3), recolhidos em empresas com tecnologias de processamento distintas. Paralelamente, avaliou-se o efeito da adição de dois MC com diferentes características texturais, um microporoso (CA) e um mesoporoso (NTC), no desempenho do processo de DA destes efluentes. Este estudo

insere-se no âmbito do projeto GIATEX (Gestão Inteligente da Água na Indústria Têxtil e do Vestuário), cujo principal objetivo é desenvolver um sistema eficaz e inovador para a redução do consumo de água nos processos de enobrecimento têxtil (preparação, tinturaria, estamparia e acabamentos), combinando técnicas de redução de consumo de água e tecnologias de tratamento dos efluentes que promovam a sua reutilização.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Caracterização dos efluentes têxteis

Os efluentes em estudo foram recolhidos do tanque de homogeneização de duas empresas têxteis sediadas no Norte de Portugal (E1, E2), e uma no Centro de Portugal (E3). Estes, foram posteriormente caracterizados em termos de sólidos suspensos totais (SST), conforme descrito no *Standard Methods* (APHA et al. 1998), pH, condutividade e salinidade com um medidor C3010 (Consort, Turnhout, Bélgica), e carência química de oxigénio (CQO) através de kits específicos (Hach, Düsseldorf, Alemanha).

### 2.2 Testes de biodegradabilidade anaeróbia

A avaliação do potencial de biodegradação anaeróbia dos três efluentes têxteis (E1, E2 e E3) foi realizada através de ensaios de BMP (do inglês *Biochemical Methane Potential*), que definem a quantidade máxima de CH<sub>4</sub> que pode ser produzida a partir de um resíduo ou de uma água residual durante o processo de DA. Os ensaios foram realizados em reatores fechados de 600 mL, com um volume de trabalho de 100 mL e *headspace* de 500 mL, sob condições anaeróbias, sem agitação e a temperatura controlada (~37 °C). Os efluentes, utilizados como substrato, fonte de carbono e energia, foram incubados na presença de inóculo anaeróbio (60 % (v/v)), com suplementação de macro e micronutrientes necessários ao processo biológico (Angelidaki et al. 2009, Holliger et al. 2016). O inóculo consistiu numa mistura de 50 % de lamas granulares e 50 % de lamas suspensas, o qual foi previamente caracterizado em termos de atividade metanogénica específica (AME) como descrito em Coates et al. (1996). O pH inicial dos efluentes foi ajustado a  $7,0 \pm 0,2$ , valor ideal para a atividade biológica do consórcio microbiano. Paralelamente aos ensaios com os efluentes, efetuou-se um ensaio sem efluente (ensaio branco) que representa a produção de CH<sub>4</sub> a partir do substrato residual presente no inóculo, a qual foi posteriormente subtraída à produção total de CH<sub>4</sub> nos ensaios com os efluentes. Foi também realizado um ensaio com celulose microcristalina, substrato de fácil oxidação, como ensaio controlo para aferir a atividade biológica do inóculo utilizado. Como estratégia para acelerar o tratamento anaeróbio, testou-se a adição de 0,5 g/L de CA e NTC, concentração previamente estabelecida com base em estudos anteriores (Pereira et al. 2016). O CA, de carácter microporoso, apresenta dimensões médias de 5 mm de comprimento e 0,8 mm de diâmetro, enquanto os NTC, com carácter mesoporoso, têm em média 1,5 µm de comprimento e 9,5 nm de diâmetro. As propriedades texturais dos materiais, área de superfície específica ( $S_{BET}$ ), volume de poros total ( $V_p$ ), e volume de microporos ( $V_{p, \text{micro}}$ ), e o pH no ponto de carga zero ( $pH_{PZC}$ ), encontram-se no Quadro 1.

**Quadro 1.** Caracterização dos materiais de carbono (Pereira et al. 2010, Pereira et al. 2014)

Material	$S_{BET}$ ( $\pm 10 \text{ m}^2/\text{g}$ )	$V_{p, \text{micro}}$ ( $\pm 0,005 \text{ cm}^3/\text{g}$ )	$V_p$ ( $\pm 0,005 \text{ cm}^3/\text{g}$ )	$pH_{PZC}$ ( $\pm 0,2$ )
CA	1032	0,382	0,525	8,4
NTC	331	0	0,416	6,6

Com o objetivo de avaliar o eventual efeito inibitório dos efluentes em estudo sobre a atividade da comunidade metanogénica acetoclástica, realizou-se um ensaio de toxicidade anaeróbia conforme descrito em Colleran and Pistilli (1994). Este grupo microbiano, é

responsável pela etapa de conversão de acetato a  $\text{CH}_4$ , uma etapa crítica no processo de DA, sendo o grupo mais sensível a condições ambientais adversas. Para o ensaio, adicionou-se como fonte de carbono 30 mmol/L de acetato, e monitorizou-se a produção de  $\text{CH}_4$  ao longo do tempo, na ausência (controle) e na presença dos diferentes efluentes (E1, E2 e E3). Para cada efluente, foram testadas duas concentrações correspondentes a aproximadamente 50 % e 100 % da carga orgânica original (Quadro 2). Para cada efluente, foram determinadas as concentrações de CQO correspondentes à inibição de 50 % da atividade acetoclástica (*inhibitory concentration*, IC50).

**Quadro 2.** Concentrações de cada efluente utilizadas no ensaio de toxicidade

Efluente	Concentração 1 (g <sub>CQO</sub> /L)	Concentração 2 (g <sub>CQO</sub> /L)
E1	0,578	1,157
E2	0,475	0,950
E3	0,585	1,170

O teor de  $\text{CH}_4$  no biogás acumulado no *headspace* de todos os reatores foi medido por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo equipado com um detetor FID (*Flame Ionization Detector*), como descrito em Silva et al. (2022).

### 3 Resultados e discussão

Os dados da caracterização dos efluentes têxteis em estudo encontram-se no Quadro 3. A CQO varia entre cerca de 1100 mg/L e 1350 mg/L. O E3 apresenta pH ligeiramente ácido (6,5), enquanto os efluentes E1 e E2 apresentam um carácter alcalino (pH = 11,3 e 10,2, respetivamente). Em termos de SST, os efluentes E1 e E2 contêm maior quantidade, na ordem dos 500 mg/L, ao passo que o E3 possui cerca de 150 mg/L. Os efluentes E1 e E2 exibem condutividade e teor de sal ~5 vezes superiores aos do E3.

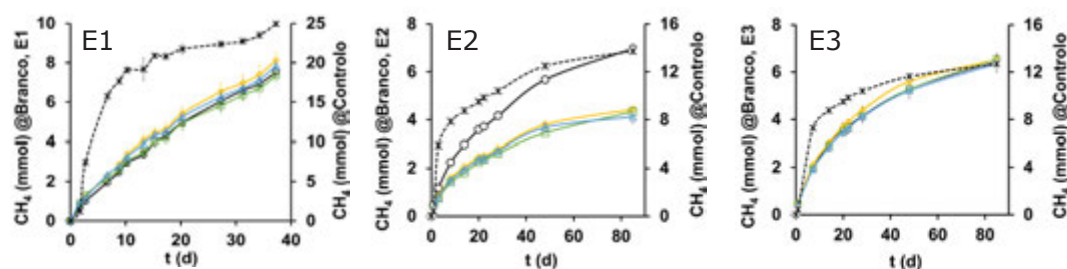
**Quadro 3.** Caracterização dos efluentes têxteis E1, E2 e E3

Parâmetro	E1	E2	E3
CQO (mg/L)	1098 ± 72	1337 ± 48	1352 ± 87
pH	11,3	10,2	6,52
SST (mg/L)	522 ± 103	495 ± 210	156 ± 16
Condutividade (mS/cm)	5,3	5,9	1,2
Salinidade (g/L)	2,7	3,0	0,6

A Figura 1 apresenta a produção cumulativa de  $\text{CH}_4$  obtida durante o ensaio de biodegradabilidade para cada efluente, e para os ensaios branco e de controle. No controle, verificou-se uma conversão de aproximadamente 80 % da celulose em  $\text{CH}_4$ , o que indica uma boa atividade metanogénica do inóculo selecionado. Contudo, com os efluentes reais E1 e E3, a produção de  $\text{CH}_4$  ( $8,13 \pm 0,41$  mmol e  $6,53 \pm 0,23$  mmol, respetivamente) foi semelhante à obtida no respetivo ensaio branco (sem efluente), indicando baixa biodegradabilidade dos compostos presentes nos efluentes. Por outro lado, o E2, resultou numa produção de  $\text{CH}_4$  inferior ( $4,44 \pm 0,10$  mmol) à do ensaio branco ( $6,97 \pm 0,15$  mmol), sugerindo um efeito tóxico do E2 sobre a comunidade microbiana. De forma semelhante, Spagni et al. (2012) reportaram a inibição da produção de  $\text{CH}_4$  na presença do corante Reativo Laranja 16. No entanto, foi observada a acumulação de ácidos gordos voláteis (AGV) no sistema, sugerindo que apenas a última etapa do processo de DA, metanogénese, foi afetada. Apesar disso, foi observada uma descoloração do efluente superior a 99 %, demonstrando a eficiência da remoção do corante. É importante salientar que nos processos anaeróbios a descoloração dos efluentes têxteis ocorre pela redução dos corantes, que atuam como aceitadores de eletrões gerados durante a oxidação do substrato orgânico presente no efluente (Pereira, et al. 2015).

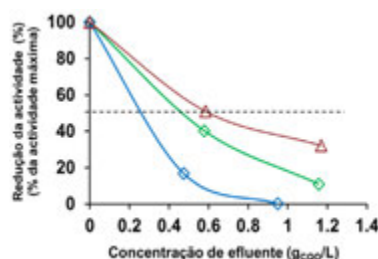
No presente trabalho, foram testados dois MC com diferentes características texturais, CA (microporoso) e NTC (mesoporoso), dado o comprovado potencial da sua adição em

digestores anaeróbios para intensificar a remoção de poluentes e a produção de  $\text{CH}_4$ , promovendo a transferência de elétrons e acelerando as reações (Pereira et al. 2010; Salvador et al. 2017; Cavaleiro et al. 2020; Silva et al. 2022; Braga et al. 2024; Braga et al. 2025). A incorporação de MC constitui uma estratégia promissora, dado que estes materiais, pelas suas propriedades únicas como elevada área superficial, capacidade de adsorção e características catalíticas, atuam como mediadores redox eficazes, aumentando significativamente a eficiência global do processo sem necessidade de adição contínua (Silva et al. 2022). Num estudo anterior com dois efluentes têxteis reais, num deles verificou-se uma descoloração de 63 %, a uma velocidade de  $0,59 \text{ d}^{-1}$ , e a presença de  $0,1 \text{ g/L}$  de NTC aumentou a velocidade de descoloração para  $0,72 \text{ d}^{-1}$ . No caso do segundo efluente testado, só se verificou descoloração na presença dos NTC, embora com uma eficiência menor, 32 % (Pereira et al. 2014). Importa referir que nesses ensaios foi adicionada uma mistura de AGV como fonte de elétrons, o que difere das condições adotadas no presente estudo, em que a matéria orgânica oxidável provém apenas do efluente. Neste estudo, além da ausência de produção de  $\text{CH}_4$ , ao contrário do que foi observado por Spagni et al. (2012), não foi observada a acumulação de AGV no sistema, o que indica que não houve oxidação da carga orgânica dos efluentes, sugerindo que também não tenha ocorrido redução dos corantes e, conseqüentemente, a não remoção de cor. Estes resultados foram consistentes tanto na ausência quanto na presença dos materiais, para todos os efluentes. Outros estudos indicam que compostos presentes nos efluentes têxteis, como detergentes, dispersantes, tensoativos, corantes azo e antraquinónicos, podem reduzir a degradação biológica e inibir significativamente a metanogénese, afetando a eficiência dos processos de tratamento de águas residuais anaeróbios (Fontenot et al. 2002, Dai et al. 2016).



**Figura 1.** Produção cumulativa de  $\text{CH}_4$  (mmol) ao longo do tempo (d) a partir dos efluentes E1, E2 e E3 nos ensaios (\*) Controlo, (o) Branco, (◇) Efluente, (□) Efluente+CA, (△) Efluente+NTC

O potencial efeito tóxico dos efluentes foi avaliado através de ensaios de toxicidade anaeróbia baseados na atividade acetoclástica. A Figura 2 apresenta a relação entre a concentração de CQO de cada efluente e a redução da atividade acetoclástica.



**Figura 2.** Variação da redução da atividade metanogénica acetoclástica (%) com o aumento da concentração de CQO (g/L) do efluente (◇) E1, (o) E2 e (△) E3.

As concentrações de CQO correspondentes à IC50 da atividade acetoclástica específica foram de aproximadamente  $450 \text{ mg/L}$  para o E1,  $250 \text{ mg/L}$  para o E2 e  $600 \text{ mg/L}$  para o E3. Os resultados evidenciaram o efeito inibitório dos efluentes sobre os microrganismos metanogénicos, com o E2 a apresentar maior toxicidade, o que corrobora os resultados

obtidos nos ensaios de biodegradabilidade anaeróbia e a ineficácia dos tratamentos anaeróbios aplicados para tratar estes efluentes. Este comportamento está em consonância com outros estudos que demonstraram a inibição da atividade metanogénica específica na presença de corantes (Chaudhari and Sanjeev 2002; da Silva, et al. 2022). No entanto, uma vez que estudos anteriores já demonstraram que a DA, especialmente na presença de MC, pode ser eficaz na descoloração de vários corantes, é plausível que a complexidade dos efluentes têxteis, que contêm diversas outras substâncias, contribua significativamente para o efeito inibitório observado. Uma limitação importante neste contexto é a dificuldade em conhecer a composição exata dos efluentes provenientes da indústria têxtil. As diferenças de comportamento entre os três efluentes testados, embora apresentem um padrão semelhante, devem-se provavelmente a variações na sua composição específica.

## 4 Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que, nas condições testadas, a DA não foi eficaz no tratamento dos efluentes em estudo, devido à inibição da atividade metanogénica pelos compostos presentes nos efluentes. A adição de MC não se traduziu em melhorias na remoção de cor, CQO ou produção de CH<sub>4</sub>. No entanto, os resultados sugerem que a implementação de estratégias de diminuição do efeito tóxico dos efluentes, tais como a adaptação gradual de inóculos microbianos para o tratamento destes efluentes tem o potencial de aumentar a eficiência do processo de DA. A adaptação gradual do consórcio microbiano, se replicada em escala industrial, apresenta elevado potencial para o setor têxtil ao fornecer uma estratégia mais eficiente e sustentável para o tratamento dos seus efluentes, possibilitando a reutilização da água e a valorização energética através da produção de biogás, com benefícios ambientais associados à redução da carga poluente e benefícios económicos resultantes da economia circular e da redução de custos de tratamento. A utilização dos MC para auxiliar no tratamento deste tipo de efluentes também deverá ser explorada para potenciar o desempenho do processo.

## Agradecimentos

Estudo desenvolvido no âmbito da Agenda Mobilizadora GIATEX - Gestão Inteligente da Água na ITV, projeto apoiado pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência e pelos Fundos Europeus NextGeneration EU (<https://recuperarportugal.gov.pt/>). Agradecimento também à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito dos projetos estratégicos UIDB/04469/2020 e UIDP/50020/2020. Agradecimento ao LABBELS (LA/P/0029/2020) e ao ALiCE (LA/P/0045/2020).

## Referências

- Abbas, Y., S. Yun, Z. Wang, Y. Zhang, X. Zhang, and K. Wang. 2021. "Recent Advances in Bio-Based Carbon Materials for Anaerobic Digestion: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135: 110378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110378>.
- Angelidaki, I., M.M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J.L. Campos, A.J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, and J.B. Van Lier. 2009. "Defining the Biomethane Potential (BMP) of Solid Organic Wastes and Energy Crops: A Proposed Protocol for Batch Assays." *Water Science and Technology* 59 (5): 927–34. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>.
- APHA, AWWA, and WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edited by American Public Health Association. 17th ed. Washington, D.C.
- Bailey, K., A. Basu, and S. Sharma. 2022. "The Environmental Impacts of Fast Fashion on Water Quality: A Systematic Review." *Water* 14: 1073. <https://doi.org/10.3390/w14071073>.

- Braga, C.S.N., G. Martins, M.S. Duarte, O.S.G.P. Soares, M.F.R. Pereira, I.A.C. Pereira, M.M. Alves, L. Pereira, and A.F. Salvador. 2025. "Microbial Activity of the Inoculum Determines the Impact of Activated Carbon, Magnetite and Zeolite on Methane Production." *Science of the Total Environment* 960: 178340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178340>.
- Braga, C.S.N., G. Martins, O.S.G.P. Soares, M.F.R. Pereira, I.A.C. Pereira, L. Pereira, M.M. Alves, and Andreia F. Salvador. 2024. "Non-Conductive Silicon-Containing Materials Improve Methane Production by Pure Cultures of Methanogens." *Bioresource Technology* 408 (July): 0–2. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131144>.
- Cavaleiro, Ana J., Andreia F. Salvador, Gilberto Martins, Cláudia C. Oliveira, Yuchen Liu, Valdo R. Martins, A. Rita Castro, et al. 2020. "Multi-Walled Carbon Nanotubes Enhance Methanogenesis from Diverse Organic Compounds in Anaerobic Sludge and River Sediments." *Applied Sciences (Switzerland)* 10 (22): 1–13. <https://doi.org/10.3390/app10228184>.
- Chaudhari, B., and M. Sanjeev. 2002. "Anaerobic Decolorisation of Simulated Textile Wastewater Containing Azo Dyes." *Bioresource Technology* 82: 225–31. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.463.30>.
- Coates, John D., Michael F. Coughlan, and Emer Colleran. 1996. "Simple Method for the Measurement of the Hydrogenotrophic Methanogenic Activity of Anaerobic Sludges." *Journal of Microbiological Methods* 26 (3): 237–46. [https://doi.org/10.1016/0167-7012\(96\)00915-3](https://doi.org/10.1016/0167-7012(96)00915-3).
- Colleran, E., and A. Pistilli. 1994. "Activity Test System for Determining the Toxicity of Xenobiotic Chemicals to the Methanogenic Process." *Annali Di Microbiologia Ed Enzimologia* 44: 1–20.
- Dai, Ruobin, Xiaoguang Chen, Ying Luo, Puyue Ma, Shengsheng Ni, Xinyi Xiang, and Gang Li. 2016. "Inhibitory Effect and Mechanism of Azo Dyes on Anaerobic Methanogenic Wastewater Treatment: Can Redox Mediator Remediate the Inhibition?" *Water Research* 104: 408–17. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.046>.
- Fontenot, E. J., M. I. Beydilli, Y. H. Lee, and S. G. Pavlostathis. 2002. "Kinetics and Inhibition during the Decolorization of Reactive Anthraquinone Dyes under Methanogenic Conditions." *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* 45 (10): 105–11. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0302>.
- Gupta, V. K., and Suhas. 2009. "Application of Low-Cost Adsorbents for Dye Removal - A Review." *Journal of Environmental Management* 90 (8): 2313–42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>.
- Holliger, C., M. Alves, D. Andrade, I. Angelidaki, S. Astals, U. Baier, C. Bougrier, et al. 2016. "Towards a Standardization of Biomethane Potential Tests." *Water Science and Technology* 74 (11): 2515–22. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>.
- Karthik, T., and R. Rathinamoorthy. 2015. *Recycling and Reuse of Textile Effluent Sludge. Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. [https://doi.org/10.1007/978-981-287-643-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-287-643-0_9).
- Mikucioniene, Daiva, David Mínguez García, Reazuddin Repon, Rimvydas Mila, Georgios Priniotakis, Ioannis Chronis, Kyriaki Kiskira, Rick Hogeboom, Raquel Belda-Anaya, and Pablo Díaz-García. 2024. "Understanding and Addressing the Water Footprint in the Textile Sector: A Review." *AUTEX Research Journal* 24 (1): 20240004. <https://doi.org/10.1515/aut-2024-0004>.
- Pereira, L., and M. Alves. 2012. "Dyes - Environmental Impact and Remediation." In *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*, edited by Abdul Malik and Elisabeth Grohmann, 111–62. Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1591-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1591-2_4).
- Pereira, L., P. Dias, O. S.G.P. Soares, P. S.F. Ramalho, M. F.R. Pereira, and M. M. Alves. 2017. "Synthesis, Characterization and Application of Magnetic Carbon Materials as Electron

- Shuttles for the Biological and Chemical Reduction of the Azo Dye Acid Orange 10." *Applied Catalysis B: Environmental* 212: 175–84. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.04.060>.
- Pereira, L., P. K. Mondal, and M. M. Alves. 2015. "Aromatic Amines Sources, Environmental Impact and Remediation." In *Pollutants in Buildings, Water and Living Organisms. Environmental Chemistry for a Sustainable World, Vol 7.*, edited by E Lichtfouse, J Schwarzbauer, and D Robert, 297–346. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19276-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19276-5_7).
- Pereira, L., R. Pereira, M.F.R. Pereira, F.P. van der Zee, F.J. Cervantes, and M. M. Alves. 2010. "Thermal Modification of Activated Carbon Surface Chemistry Improves Its Capacity as Redox Mediator for Azo Dye Reduction." *Journal of Hazardous Materials* 183 (1–3): 931–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.005>.
- Pereira, R. A., M. F. R. Pereira, M. M. Alves, and L. Pereira. 2014. "Carbon Based Materials as Novel Redox Mediators for Dye Wastewater Biodegradation." *Applied Catalysis B: Environmental* 144: 713–20. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.07.009>.
- Pereira, R.A., A.F. Salvador, P. Dias, M.F.R. Pereira, M.M. Alves, and L. Pereira. 2016. "Perspectives on Carbon Materials as Powerful Catalysts in Continuous Anaerobic Bioreactors." *Water Research* 101: 441–47. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.004>.
- Salvador, A.F., G. Martins, M. Melle-Franco, R. Serpa, A.J.M. Stams, A.J. Cavaleiro, M.A. Pereira, and M.M. Alves. 2017. "Carbon Nanotubes Accelerate Methane Production in Pure Cultures of Methanogens and in a Syntrophic Coculture." *Environmental Microbiology* 19 (7): 2727–39. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13774>.
- Silva, A. R., M. M. Alves, and L. Pereira. 2022. "Progress and Prospects of Applying Carbon-Based Materials (and Nanomaterials) to Accelerate Anaerobic Bioprocesses for the Removal of Micropollutants." *Microbial Biotechnology* 15 (4): 1073–1100. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13822>.
- Silva, A. R., M. S. Duarte, M. M. Alves, and L. Pereira. 2022. "Bioremediation of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) by Anaerobic Digestion: Effect of PFAS on Different Trophic Groups and Methane Production Accelerated by Carbon Materials." *Molecules* 27: 1895. <https://doi.org/10.3390/molecules27061895>.
- Silva, A.R., O.S.G.P. Soares, M.F.R. Pereira, M.M. Alves, and L. Pereira. 2020. "Tailoring Carbon Nanotubes to Enhance Their Efficiency as Electron Shuttle on the Biological Removal of Acid Orange 10 Under Anaerobic Conditions." *Nanomaterials* 10 (12): 2496. <https://doi.org/10.3390/nano10122496>.
- Silva, C.P., S. Gavazza, and S.P. Araújo. 2022. "Tratamento Anaeróbio de Efluente Têxtil: Toxicidade a Organismos Metanogênicos." *Engenharia Sanitária e Ambiental* 27: 1229–37. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220210341>.
- Silva, L.G.M., F.C. Moreira, A.A.U. Souza, S.M.A.G.U. Souza, R.A.R. Boaventura, and V.J.P. Vilar. 2018. "Chemical and Electrochemical Advanced Oxidation Processes as a Polishing Step for Textile Wastewater Treatment: A Study Regarding the Discharge into the Environment and the Reuse in the Textile Industry." *Journal of Cleaner Production* 198: 430–42. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.001>.
- Soto, Diana. 2018. "Caracterização Ambiental Do Setor Têxtil Em Portugal." <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/24855/1/dissertação.pdf>.
- Spagni, A., S. Casu, and S. Grilli. 2012. "Decolourisation of Textile Wastewater in a Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor." *Bioresource Technology* 117: 180–85. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.074>.
- Wang, Xiaoxuan, Jinming Jiang, and Weijun Gao. 2022. "Reviewing Textile Wastewater Produced by Industries: Characteristics, Environmental Impacts, and Treatment Strategies." *Water Science and Technology* 85 (7): 2076–96. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.088>.

## NOTA TÉCNICA

# ESTRATÉGIA PARA RECOLHA E VALORIZAÇÃO DE BIORRESÍDUOS NO ALGARVE - CASO DE ESTUDO DE PORTIMÃO

*Miguel Nunes<sup>a</sup>, Catarina Diniz<sup>a</sup>, Gonçalo Santos<sup>b,\*</sup>*

<sup>a</sup> ALGAR, S.A, Barros de São João da Venda, 8135-026 Almancil, Loulé, Portugal

<sup>b</sup> EMARP - Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão, EM, SA, R. José António Marques 17, 8500-483 Portimão, Portugal

## RESUMO

Mais do que responsabilizar cada uma das partes, o PERSU2030, marcado pela inovação, veio incentivar um alinhamento entre as entidades em “alta” e “baixa”, elucidando que nenhuma das partes consegue atingir metas sem uma direta e honesta cooperação. Das ambições descritas neste plano, a recolha dedicada de biorresíduos e a sua valorização são dos mais importantes e disruptivos passos em matéria de gestão de resíduos desde o encerramento das lixeiras, no final do século passado. No decorrer deste artigo, serão apresentadas perspetivas em “alta” e em “baixa” de forma a se acompanhar os desafios com que ambas as entidades se têm deparado desde a recolha à valorização dos biorresíduos e as soluções encontradas para lhes fazer face. A gestão deste novo fluxo implica várias adaptações operacionais, quer na “baixa” como na “alta”, algumas das quais, muito desafiantes e com necessidade de maiores custos operacionais. Não obstante, o grande desafio não será técnico. O verdadeiro desafio impõe-se a nível social, num setor que necessita de evidenciar, sensibilizar e convencer a população da importância da gestão dos resíduos. Nenhuma solução técnica de recolha funcionará sem o comportamento adequado por parte das pessoas.

**Palavras-Chave:** PERSU2030, desafio social, biorresíduos, perspetiva em “alta”, perspetiva em “baixa”

**doi:** 10.22181/aer.2025.0307

\* Autor para correspondência

E-mail miguel.nunes@algar.com.pt

## NOTA TÉCNICA

## STRATEGY FOR COLLECTION AND RECOVERY OF BIO WASTE IN THE ALGARVE REGION - CASE STUDY OF PORTIMÃO

*Miguel Nunes<sup>a</sup>, Catarina Diniz<sup>a</sup>, Gonçalo Santos<sup>b,\*</sup>*

<sup>a</sup> ALGAR, S.A, Barros de São João da Venda, 8135-026 Almancil, Loulé, Portugal

<sup>b</sup> EMARP - Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão, EM, SA, R. José António Marques 17, 8500-483 Portimão, Portugal

### ABSTRACT

More than holding each party responsible, PERSU2030, marked by innovation, encouraged alignment between “high” and “low” entities, elucidating that neither party can achieve goals without direct and honest cooperation. Of all the ambitions described in this plan, the dedicated collection of bio-waste and its valorization is one of the most important and disruptive steps in waste management since the closure of landfills at the end of the last century. Throughout this article, “high” and “low” perspectives will be presented in order to monitor the challenges that both entities have faced, from the collection to the recovery of bio-waste and the solutions found to face them. The management of this new flow implies several operational adaptations, both at “low” and “high”, some of which are very challenging and require higher operational costs. However, the biggest challenge will not be technical. The real challenge is at a social level, in a sector that needs to highlight, raise awareness and convince the population of the importance of waste management. No technical collection solution will work without appropriate behaviour on the part of people.

**Keywords:** PERSU2030, social challenge, bio-waste, recovery's perspective, collector's perspective

**doi:** 10.22181/aer.2025.0307

*\* Corresponding author*

*E-mail* miguel.nunes@algar.com.pt

## 1 INTRODUÇÃO

De forma a executar os objetivos e metas comunitárias e nacionais, foi aprovado, em 2023, o Plano Estratégico de Resíduos Urbanos, PERSU2030, pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 30/2023, de 24 de março, que veio estabelecer uma estratégia da gestão de resíduos até 2030, definindo metas e ações a implementar. Procurou desde logo, estar alinhado com a estratégia europeia, concretizando uma política de resíduos urbanos em Portugal para aumentar a preparação para reutilização e reciclagem, reduzir o consumo de matérias-primas primárias e evitar o envio de resíduos para aterro.

Este Plano marca pela inovação, ao prever a distribuição equitativa da responsabilidade pelo cumprimento de metas entre os Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) e os municípios, no que diz respeito aos biorresíduos recolhidos seletivamente e tratados na origem, através da elaboração de planos municipais, intermunicipais e multimunicipais de ação (PAPERSU) pelas entidades gestoras dos sistemas municipais e multimunicipais, em articulação com os planos de gestão de resíduos de nível nacional (PERSU2030).

Este alinhamento agora mandatário entre a “alta” e a “baixa” visa, mais do que responsabilizar cada uma das partes, vem elucidar que nenhuma das partes consegue atingir metas sem uma direta e honesta cooperação.

A recolha seletiva e valorização de biorresíduos é um dos mais importantes e disruptivos passos em matéria de gestão de resíduos desde o encerramento das lixeiras. Contudo, o verdadeiro desafio impõe-se a nível social, visto que nenhuma solução de recolha funcionará sem o comportamento adequado das pessoas.

No decorrer deste trabalho, será apresentado o caso concreto da EMARP (Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão, EM, SA), que através de financiamento do POSEUR foi uma das entidades pioneiras no Algarve a iniciar a recolha seletiva de biorresíduos alimentares em março de 2022, com uma operação-piloto que abrangeu à data, 35% da população (13 836 habitações, cerca de 19 353 habitantes), parte do canal HORECA com 80 restaurantes, 11 Escolas e 5 IPSS, inseridos no serviço de recolha dedicada.

## 2 Biorresíduos e a sua Valorização: 11 Meses Depois

### 2.1 A ALGAR enquanto SGRU

A ALGAR, um dos 11 sistemas multimunicipais de tratamento e valorização de resíduos do grupo EGF (Empresa Geral do Fomento), é, desde 1995, responsável pela gestão de resíduos urbanos nos 16 municípios que compõem a sua área de abrangência, servindo uma população de cerca de 467 mil habitantes, numa extensão de território de aproximadamente 5 000 km<sup>2</sup> na região do Algarve, dispondo para tal de 13 instalações distribuídas geograficamente por toda a área de abrangência, das quais fazem parte 8 estações de transferência, 2 aterros sanitários, 1 Central de Valorização Orgânica, 2 unidades de triagem de embalagens.

A sua atividade engloba o sistema integrado de recolha seletiva de embalagens, transferência, triagem dos materiais destinados à reciclagem, aproveitamento energético do biogás produzido em aterro sanitário e na unidade de tratamento mecânico e biológico (Central de Valorização Orgânica), compostagem de resíduos verdes e orgânicos e o tratamento dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterro sanitário.



A existência de pontos intermédios de receção e dada a elevada degradabilidade deste material, levou à necessidade de ajuste dos critérios de gestão dos transportes. Até então, o modelo baseava-se na troca de contentor, e respetivo transporte para unidade de tratamento ou destino final, apenas quando atingida a sua capacidade. Contudo, neste fluxo, verifica-se a necessidade do seu transporte para unidade de tratamento a cada 2 dias, com os mesmos meios disponíveis. Esta nova logística de transporte, veio afetar negativamente a gestão de outros fluxos nas estações de transferência bem como reduzir a eficiência dos transportes, visto que os contentores são transportados para as unidades de tratamento sem que esteja esgotada a sua capacidade. De realçar ainda que, apesar da redução do tempo de armazenamento em ponto intermédio de receção para 2 dias, se verifica a formação de lixiviados e odores associados à degradação da matéria orgânica, situação esta que se agrava com as elevadas temperaturas registadas no verão. Todas estas situações condicionam e prejudicam o processo de valorização deste fluxo a jusante nas unidades de valorização.

### 2.1.2 Recolha seletiva de biorresíduos nas entidades em baixa

A EMARP é responsável pela prestação de um serviço público essencial, com competências na gestão dos serviços de abastecimento de água, saneamento, resíduos urbanos, limpeza e higiene pública, fiscalização de atividade publicitária, ocupação da via pública e estacionamento público urbano no concelho de Portimão.

No âmbito da gestão de resíduos urbanos, a EMARP iniciou, no primeiro trimestre de 2022, um projeto-piloto de recolha seletiva de biorresíduos, financiado pelo POSEUR. No arranque do piloto, foram instalados 144 contentores de proximidade, com capacidade de 360 litros, dedicados exclusivamente à deposição de biorresíduos. No decorrer de 2024, reforçou-se a rede de recolha por proximidade com 70 contentores subterrâneos de 1 m<sup>3</sup>. Paralelamente à recolha de proximidade, foi implementado um sistema de recolha porta-a-porta no canal HORECA, envolvendo inicialmente: 5 IPSS, 11 escolas e 80 estabelecimentos de restauração.

Numa análise dos resultados obtidos até ao momento, destaca-se uma tendência de evolução positiva, sendo que em 2022 foram recolhidas 534 t e em 2023 foram recolhidas 731 t. De registar também, um aumento de 17% em 2024 (853 t), face ao ano anterior. Nos primeiros quatro meses de 2025 verificou-se uma diminuição de cerca de 7%, que se considera que esteja relacionada com a desistência de alguns utilizadores previamente aderentes ao serviço, bem como com a desaceleração do setor turístico registada no início deste ano.

No âmbito da recolha seletiva de biorresíduos, a estratégia de comunicação da EMARP passou por uma abordagem diferenciadora para promover a adoção de novos comportamentos.

Por um lado, a decisão de não recomendar a utilização de sacos de plástico, que visava não só evitar a contaminação da fração orgânica, facilitar o processo de valorização e promover a pureza do material recolhido, mas também, consolidar um modelo de recolha compatível com o sistema de tratamento em alta e com os objetivos de circularidade. Para tal, apostou-se na distribuição gratuita de baldes arejados de 7 L, adequados à deposição direta de resíduos orgânicos, disponibilização de informação com linguagem acessível e orientações práticas nas redes sociais, no site oficial e *newsletters*. Realizaram-se também ações presenciais junto do canal HORECA, IPSS e escolas, para fomentar a adesão ao projeto e, posteriormente, para garantir o seu acompanhamento. Esta relação contínua permitiu identificar boas práticas, posteriormente valorizadas nas redes sociais, promovendo os estabelecimentos aderentes, sinalizados com o selo “Zero Desperdício”, criado especificamente para esse efeito.

A campanha foi concebida como um ecossistema de comunicação multicanal, combinando meios *online* e *offline*, com identidade visual própria (mascote Marafada) e com a sua presença a ser sentida tanto nos espaços públicos (*outdoors* e mupis), em eventos de referência do município, assim como no universo digital, com o envolvimento da imprensa regional enquanto aliado na amplificação da mensagem.

No decorrer destes 2 anos de piloto, o principal constrangimento prende-se com a insalubridade promovida pela deposição a granel dos restos alimentares, gerando odores e sujidade, que, por sua vez, atraem espécies errantes (ratos e baratas), afastando os utilizadores destes equipamentos. Para fazer face a esta situação, em 2022 foram realizadas 3 lavagens por contentor, tendo este número triplicado em 2023 e novamente revisto em alta em 2024 (12 lavagens/contentor), levando a uma maior afetação de meios para garantir uma higienização adequada e minimizar os efeitos referidos anteriormente. Ainda assim, continua a ser insuficiente.

Outro constrangimento identificado ao longo deste percurso, diz respeito à recolha porta-a-porta na restauração que, devido ao seu horário de funcionamento, reduzido espaço de armazenamento, características deste fluxo e quantidades produzidas necessitam de recolha diária, conduzindo à necessidade de criar um novo turno (22h-06h).

A diferença na adesão entre contentores com controlo de acesso e sem controlo de acesso, foi outra questão que surgiu com o decorrer deste piloto. Dos 144 contentores instalados na via pública, 10 estão equipados com um controlo de acesso. Em 782 habitações onde foram entregues as chaves para abertura dos contentores, apenas 231 utilizaram, pelo menos 1 vez, o contentor. Aqui, a perceção de "estar a ser controlado" pode ter contribuído para um menor envolvimento, ainda que o objetivo do controlo de acessos fosse somente técnico, como forma de garantir uma utilização correta e eficiente do sistema de recolha. Estes resultados demonstram a importância de uma abordagem cuidadosa quando se introduz elementos que alteram os hábitos dos utilizadores, uma vez que o controlo de acesso poderá ter gerado alguma resistência por parte da população.

Neste ponto, considera-se que a instalação de controlo de acesso em todos os fluxos de resíduos, poderia ter sido uma melhor abordagem, normalizando, assim, a prática e reduzido a sensação de diferenciação ou vigilância. Em alternativa, a introdução de incentivos, como descontos na fatura ambiental ou outros benefícios diretos, a quem utilizasse corretamente os contentores com controlo de acesso poderia ter funcionado como um fator motivador e compensador da mudança de comportamento exigida.

Com o objetivo de facilitar a adesão da população e garantir a eficácia do sistema de recolha seletiva, encontra-se em análise ajustes para fases futuras do projeto.

Em articulação com os objetivos do PERSU2030, e em termos de recolha seletiva de biorresíduos, a EMARP tem vindo a reforçar a contentorização de proximidade e o número de estabelecimentos do canal HORECA abrangidos. Em zonas predominantemente rurais encontram-se em curso projetos-piloto de compostagem comunitária, com a 2 instalação de 2 compostores comunitários, nos núcleos urbanos das Freguesias da Mexilhoeira Grande e da Figueira, que contam desde início com uma adesão significativa.

Tendo sido uma das entidades pioneiras no Algarve a iniciar a recolha seletiva de biorresíduos alimentares, a EMARP tem mantido uma relação de partilha de informação e boas práticas com os restantes municípios da área de abrangência da ALGAR, tendo recebido várias visitas técnicas de outras autarquias interessadas em replicar o modelo.

### 3 Discussão e Conclusões

Face aos dados reportados podemos concluir que a recolha seletiva de biorresíduos na região do Algarve está ainda na sua fase de arranque. De facto, tendo em conta o objetivo de recolha definido para a região no PERSU2030 (80 000 t), o total de resíduos de

cozinhas e cantinas rececionados em 2024 (4 562 t) representa 5,8%. No caso de Portimão, os valores finais de 2024 (853 t) representam, cerca de 8,3% da meta deste concelho para 2030 (10 250 t).

Apesar de a gestão deste novo fluxo implicar várias adaptações operacionais, quer na “baixa” como na “alta”, algumas das quais, muito desafiante e com necessidade de maiores custos operacionais, o grande desafio não será técnico. O verdadeiro desafio impõe-se a nível social, num sector que necessita de evidenciar, sensibilizar e convencer a população da importância da gestão dos resíduos. Por tal, este serviço público deve ter um valor claro e inequívoco, pago pelos seus utilizadores na direta proporção em que o usam, ou seja, ponderando a quantidade que produzem, com a qualidade do que produzem (o grau de separação dos diferentes fluxos). Esta lógica já é aceite e efetivada para outros serviços públicos, como sejam o abastecimento de água ou fornecimento de energia elétrica. Embora não sendo tão fácil, é possível aplicar o mesmo princípio aos resíduos.

O sistema de recolhas seletivas não pode depender do voluntarismo de alguns, para o custo ser equitativamente dividido por todos, independentemente de serem mais ou menos crentes ou voluntaristas nos assuntos ambientais.

Assim, insistir em fazer as coisas da mesma maneira e esperar resultados diferentes é sinal de insanidade. Neste caso, insanidade social.

Em suma, o grande desafio do PERSU é um desafio social e à escala nacional. Nenhuma solução técnica de recolha funciona sem o comportamento adequado por parte das pessoas. Por tal, o foco tem de estar na variável principal: o comportamento humano. Se conseguirmos transmitir a importância que uma adequada gestão de resíduos tem para a população, para o concelho, para a região, para o país e para o planeta, a mudança do comportamento das pessoas será muito mais fácil de conseguir.

Portimão apostou na pedagogia e na mudança de hábitos, sustentadas na compreensão do impacto ambiental da utilização do plástico e na capacitação cívica dos municípios.

Todos temos de fazer a nossa parte.

## NOTA TÉCNICA

# UMA BOA AÇÃO MUDA O MUNDO. PRÁTICA A TUA. RECICLA!

*Susana Silva <sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A, Plataforma Ribeirinha da CP, Estação de Mercadorias da Bobadela, Portugal

## RESUMO

A campanha "Uma boa ação muda o mundo. Prática a tua! Recicla!" da Valorsul destacou-se como uma ação alinhada com os valores contemporâneos de responsabilidade ambiental. O principal objetivo foi sensibilizar os mais de 1,5 milhões de peregrinos da Jornada Mundial da Juventude, Lisboa 2023, para práticas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos. A campanha resultou num aumento de 22% na receção de resíduos recicláveis em áreas críticas como Lisboa e Loures. A ação combinou uma intervenção de grande escala na sede da Valorsul com sinalética e dinâmicas digitais inovadoras. Alinhando os valores da EGF – sustentabilidade e valorização de resíduos – com os da Jornada Mundial da Juventude – fraternidade e cuidado com a casa comum –, estabeleceu-se uma ligação simbólica forte entre fé, juventude e proteção ambiental.

A combinação de uma intervenção na fachada da sede da Valorsul, com sinalética exterior e dinâmicas digitais foi uma estratégia inovadora que destacou o empenho e o compromisso para com um desenvolvimento sustentável.

**Palavras-Chave:** Sustentabilidade, Jornada Mundial da Juventude, reciclagem, gestão de resíduos, sensibilização

**doi:** 10.22181/aer.2025.0308

\* Autor para correspondência  
E-mail: [susana.silva@valorsul.pt](mailto:susana.silva@valorsul.pt)

## NOTA TÉCNICA

## A GOOD DEED CHANGES THE WORLD. MAKE YOURS. RECYCLE!

*Susana Silva*<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A, Plataforma Ribeirinha da CP, Estação de Mercadorias da Bobadela, Portugal

### ABSTRACT

The campaign "A good deed changes the world. Do yours! Recycle!" was presented by Valorsul as being in line with contemporary values of environmental responsibility. The main objective was to raise awareness on waste reduction, reuse and recycling among the hundreds of thousands of pilgrims who gathered for World Youth Day (WYD) Lisbon 2023. This effort aimed to minimize the environmental and ecological impact of the massive presence of pilgrims in the city, promoting the adoption of sustainable practices.

The combination of an intervention on the façade of Valorsul's headquarters (a large gable) with outdoor signage (posters at one of the pilgrims' most popular spots) and digital dynamics (namely daily, bilingual communications, through publications with photos and videos, on the company's and EGF Group's channels) was an innovative strategy to highlight the commitment to sustainability. By aligning the values of the company and the group - sustainability, environmental protection, recycling and waste management and recovery - with the principles of WYD - to be the most sustainable day ever - the campaign really created a unique connection.

**Keywords:** Sustainability, World Youth Day, Recycling, waste management, recovery, awareness

**doi:** 10.22181/aer.2025.0308

\* *Corresponding author*  
E-mail: susana.silva@valorsul.pt

## 1 CAMPANHA E OBJETIVOS

A Valorsul, empresa responsável pelo tratamento e valorização de resíduos urbanos nos 19 Municípios da zona de Lisboa e Região Oeste, que serve 1,6 milhões de habitantes, lançou uma campanha institucional no âmbito da Jornada Mundial da Juventude (JMJ) Lisboa 2023, com o objetivo de sensibilizar os peregrinos (mas também a população da Grande Lisboa) para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, procurando minimizar o impacto ecológico da sua presença em Lisboa através da adoção de práticas sustentáveis.

“Uma boa ação muda o mundo. Pratica a tua! Recicla!” foi o mote da campanha que destaca o empenho e o compromisso da empresa com a Sustentabilidade, fazendo coincidir os valores da Valorsul e da JMJ.

A campanha teve como protagonistas os trabalhadores da Valorsul que todos os dias praticam boas ações, seja na recolha, na separação ou na valorização dos resíduos que chegam diariamente às instalações, e que assumiram um papel ainda mais fundamental na semana da JMJ, dado o incremento de produção de embalagens e resíduos nesse período. Esta campanha serviu de mote para valorizar os trabalhadores, como uma forma de reconhecimento pelo importante papel que as nossas pessoas desenvolvem diariamente em prol de um futuro melhor.

Foi enviado um convite aos trabalhadores para fazerem parte deste projeto, no qual participaram 12 pessoas, das mais variadas áreas da empresa, que se voluntariaram para dar o seu testemunho e passar a mensagem de que podemos e devemos procurar mudar hábitos e proteger o Planeta. Foram organizadas duas sessões fotográficas nas instalações da empresa e definida a mensagem-chave que melhor coincidia com as responsabilidades de cada trabalhador (Figura 1).

Foi ainda realizada uma intervenção na fachada da sede da Valorsul (empena de grandes dimensões), Figura 2, com sinalética exterior (cartazes num dos pontos de maior afluência de peregrinos).



Figura 1. Campanha redes sociais



Figura 2. Imagem de campanha outdoor

Durante uma semana e meia, numa base quase diária, foram publicadas imagens com os rostos dos nossos trabalhadores e mensagens curtas, mas muito incisivas, sobre como reduzir, reutilizar e reciclar e como podemos todos mudar comportamentos para proteger o ambiente. Nomeadamente: “Graças a ti, esta Jornada será a mais sustentável de sempre”, “Dá às tuas embalagens uma boa Jornada”, “Faz a tua parte, espalma as embalagens de plástico e coloca no contentor amarelo” ou “Boas ações causam grandes mudanças. Faz a tua. Recicla”.

A relevância deste projeto é ainda mais evidente ao considerar os desafios enfrentados na comunicação em sustentabilidade e na sua escalabilidade. O sucesso da campanha só foi possível dando resposta a três desafios cruciais que foram a falta de informação, a necessidade de comunicação eficaz e a capacitação dos cidadãos para estas matérias. A iniciativa da Valorsul procurou responder a esses desafios ao sensibilizar os peregrinos, e, em última instância, a população que aderiu em massa na Grande Lisboa à JMJ 2023, para a importância da reciclagem e ao promover práticas sustentáveis.

A campanha teve um significado muito expressivo ao apelar aos ideais da JMJ de fraternidade, solidariedade e sustentabilidade, e sobretudo porque teve como protagonistas os trabalhadores da Valorsul. Nas redes sociais, a adesão orgânica foi muito interessante, com um aumento significativo de seguidores nas três redes em que a Valorsul está presente (LinkedIn, Facebook e Instagram), com uma maior expressão no LinkedIn, conseguindo estrategicamente melhorar a reputação da empresa e o *engagement* com o público.

Concretizou-se uma campanha, bilingue (executada em português e inglês), nos canais digitais da empresa, com comunicações diárias, através de publicações, fotos e vídeos, e também através de sinalética e de uma imagem/tela na fachada da sede, em São João da Talha – uma das entradas principais para o Campo da Graça e Parque Tejo – palco das celebrações nos últimos dois dias do evento. Este tipo de campanha insere-se no campo da comunicação ambiental, que busca não apenas informar, mas transformar comportamentos. No contexto da JMJ, evento com profundo simbolismo religioso e humanitário, a mensagem ecológica ganha especial relevância ao articular fé com responsabilidade ambiental. A iniciativa baseou-se no pressuposto que a comunicação ambiental depende da capacidade de conectar valores culturais e espirituais às práticas sustentáveis – uma abordagem que esta campanha procurou aplicar.

## 2 Público-Alvo

Quanto ao público-alvo da campanha, pretendeu-se chamar a atenção dos jovens (faixa etária 15-30 anos), dado serem sobretudo os mais novos a participarem neste evento de envergadura mundial. Com a conceção e materialização da ideia, foi possível criar uma identificação, uma conexão entre os trabalhadores da empresa e os peregrinos.

## 3 Resultados

### 3.1 Redes sociais

No que se refere às redes sociais, os resultados foram positivos. De 1 a 8 de agosto, o LinkedIn da Valorsul teve um aumento de 0,73% de seguidores, no total de 126 seguidores. Foram publicadas 5 publicações que tiveram um total de 282 interações, 182 reações, 2 comentários e 16 partilhas, correspondendo a um total de impressões na página de 440 e uma média de alcance de 23.75% por dia.

O Facebook teve um aumento de 1,37% de seguidores, no total 16 seguidores. Foram publicadas 7 publicações que tiveram um total de 320 interações, 294 reações, 2 comentários e 24 partilhas, correspondendo a um total de impressões na página de 675 585 e uma média de alcance de 72 659 por dia.

O Instagram teve um aumento de 15 seguidores. Foram publicadas 8 publicações que tiveram um total de 296 interações, 287 gostos, 5 comentários e 4 guardadas. Foram publicadas 8 histórias – comunicações disponíveis apenas 24 horas -, mas que tiveram 1714 impressões, correspondendo a uma média de alcance de 210.63%.

Concretizou-se uma campanha, bilingue, nos canais digitais da empresa, com comunicações diárias, através de publicações, fotos e vídeos, e também através de

sinalética e de uma imagem/tela, figura 2, na fachada da sede, em São João da Talha – uma das entradas principais para o Campo da Graça e Parque Tejo – palco das celebrações nos últimos dois dias do evento.

### 3.2 Receção de material

No que se refere à receção de material, os resultados foram francamente positivos. De 1 a 8 de agosto, a Valorsul rececionou, no total, 581 mil toneladas de embalagens de plástico e metal, nos cinco municípios da Grande Lisboa (Lisboa, Loures, Odivelas, Amadora e Vila Franca de Xira), mais 81 toneladas de embalagens de plástico e metal, comparativamente ao período homólogo, correspondendo a uma variação positiva de 16%. Nos restantes fluxos de material recicláveis, os valores mantiveram-se praticamente inalterados.

Quando analisados apenas os municípios de Lisboa e Loures, palco dos grandes eventos da JMJ com maior afluência de peregrinos, apurou-se um aumento significativo de 22% na receção de material reciclável do ecoponto amarelo (plástico e metal), de 1 a 8 de agosto, comparativamente com o período homólogo. Ou seja, nos primeiros 8 dias de agosto de 2022 foram rececionadas nas instalações da Valorsul 418 mil toneladas de plástico e metal, que comparam com as 509 mil toneladas no mesmo período de 2023, o que representa um aumento absoluto de mais 91 mil toneladas.

## 4 Conclusões

Apesar do impacto positivo registado, importa refletir sobre algumas limitações. Os dados de adesão digital, embora relevantes, não permitem avaliar mudanças efetivas de comportamento a médio prazo. Da mesma forma, os aumentos na receção de materiais recicláveis podem estar correlacionados com o aumento populacional temporário e não exclusivamente com a eficácia da campanha. Assim, recomenda-se para futuras ações o recurso a metodologias de avaliação mais robustas, como inquéritos de perceção e análise longitudinal de dados de resíduos.

A campanha “Uma boa ação muda o mundo” representa um esforço bem-sucedido de integração entre comunicação ambiental e valores humanos. A aposta em rostos reais – os trabalhadores da Valorsul – revelou-se eficaz na criação de empatia. Ainda assim, campanhas futuras podem beneficiar de um reforço na qualidade visual dos materiais, especialmente imagens destinadas a suportes digitais e PDF, e de estratégias de avaliação que permitam medir de forma mais precisa o impacto real nas práticas de reciclagem dos destinatários.

## Autorizações e Direitos de Autor

Os autores da campanha são a equipa de Comunicação e Sensibilização da Valorsul e ainda a agência Deslink.

As imagens captadas no âmbito da sessão fotográfica com os trabalhadores e junto à Sede da Valorsul, junto dos peregrinos, são da autoria da Deslink, com direitos autorais das duas empresas.

Os teasers e copys da campanha, na tela e para as redes sociais são da autoria da Deslink, com direitos autorais das duas empresas.

## Braga dá uma nova vida às cápsulas de café

Os Bracarenses já podem reciclar as cápsulas de café usadas, depositando-as nos contentores disponibilizados pela AGERE nas Empresas Municipais e nas Juntas de Freguesia aderentes.



Uma nova vida para as suas cápsulas de café.



## LAVAR OS DENTES DE TORNEIRA ABERTA?? POUPA-ME!

Descobre o valor da água em [poupa-me.aguasdoporto.pt](http://poupa-me.aguasdoporto.pt)



Porto.  
Águas  
e Energia  
do Porto



## AMBIÁGUA WATER TECHNOLOGY



**SCAN ME!**  
FOR MORE INFORMATION

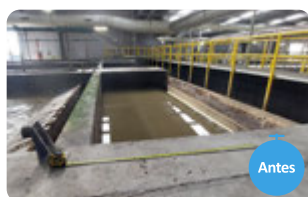
ETA DO PAÚL - LEIRIA

### PROTEÇÃO E SEGURANÇA EM ETAR E EE

#### A IMPORTÂNCIA DO VARRIMENTO DO AR E CONTROLE DE EMISSÕES

##### 1 PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Varrimento de ar de qualidade nos espaços, implementando sistemas independentes de ventilação, para garantir maior proteção mecânica e elétrica dos equipamentos contra gases corrosivos, minimizando assim os custos de exploração.



Antes



Depois



Antes



Depois

##### 2 SAÚDE E SEGURANÇA

Inclusão de ventilação nas áreas de trabalho é essencial para cumprir os requisitos de saúde e segurança, protegendo a saúde ocupacional dos operacionais e melhorando as condições de trabalho.



AIR

info@ambiflow.pt  
+351 210 191 820  
www.ambiflow.pt

**AMBIFLOW**

WE MAKE YOUR PROJECTS FLOW

**Soluções tecnológicas para o setor da água e saneamento**

A tecnologia ao serviço da eficiência. Foi com esta premissa que a INDÁQUA criou, a partir de um sistema de gestão próprio, I-SMART, as soluções I2water. Na base dos resultados de excelência, que posicionam o grupo como referência mundial, estas soluções inovadoras estão agora ao dispor de todas as entidades gestoras.

INDÁQUA  
Indagua. Água em boa companhia  
indagua.pt

**SOTECNISOL**  
GRUPO

**UMA SOLUÇÃO INTEGRAL**

sotecnisol.pt

Água  
Resíduos  
Energia

**zeбен.**  
sistemas eletrónicos

**SOLUÇÕES PARA AS MAIS DIVERSAS ÁREAS**

- \_Energia
- \_Indústria 4.0
- \_IoT
- \_Instrumentação
- \_Smart cities
- \_Smart metering
- \_Serviços técnicos
- \_Controlo de motores e máquinas

Tel.: +351 253 818 850  
Chamada para rede fixa nacional

E: info@zeбен.pt

www.zeбен.pt



## ÁGUA é a NOSSA VIDA

A água é essencial à vida  
e nós somos essenciais à água.

Como profissionais do setor, assumimos o compromisso de garantir a disponibilidade de água de qualidade, a sua valorização e preservação.

A nossa ação promove a preservação dos ecossistemas, a saúde pública, a qualidade de vida, o desenvolvimento dos territórios e um futuro sustentável.

A Água é a nossa Vida!



[portaldaagua.pt](http://portaldaagua.pt)



ENTIDADE REGULADORA  
DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS  
THE WATER AND WASTE SERVICES  
REGULATION AUTHORITY

Regulamos hoje  
por um amanhã melhor.



# apesb

associação  
portuguesa  
de engenharia  
sanitária  
e ambiental

A Associação Portuguesa de engenharia Sanitária e Ambiental (APESB) é uma organização técnica e científica, sem fins lucrativos, fundada em 1980, reconhecida como instituição de interesse público desde Março de 1990.

## Eventos Bienais



**JORNADAS  
TÉCNICAS  
INTERNACIONAIS  
DE RESÍDUOS**  
10<sup>th</sup> International Technical Waste Conference



**ENASB**  
ENCONTRO  
DE ENGENHARIA  
SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

## Áreas de Interesse

- Abastecimento e Tratamento de Águas;
- Sistemas de Águas Residuais;  
(drenagem, tratamento e destino final)
- Qualidade da Água e Controlo da Poluição
- Resíduos Sólidos  
(recolha tratamento e rejeição)
- Ambiente e Saúde Pública

## Representante Nacional

Av. do Brasil, 101  
(Edifício NES)  
1700-066 Lisboa  
PORTUGAL

T. +351 21 844 3849  
F. +351 21 844 3048  
E. [apesb@apesb.pt](mailto:apesb@apesb.pt)  
[www.apesb.org](http://www.apesb.org)



Comissão Nacional de Normalização Internacional de Água  
[www.aprh.pt/CNAIA](http://www.aprh.pt/CNAIA)



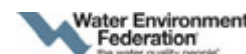
EUROPEAN WATER ASSOCIATION  
[www.ewa-online.eu](http://www.ewa-online.eu)



THE INTERNATIONAL  
WATER ASSOCIATION  
[www.iwa-network.org](http://www.iwa-network.org)



[www.iswa.org](http://www.iswa.org)



[www.wef.org/](http://www.wef.org/)



## Instruções para a submissão de trabalhos

A revista Águas & Resíduos publica trabalhos com arbitragem científica em todas as áreas de engenharia sanitária e ambiental, designadamente, projetos de engenharia, trabalhos de ciência e tecnologia, política, gestão, economia, saúde, direito, sociologia e comunicação. Trabalhos sobre teses de doutoramento e mestrado, projetos de I&D&I (investigação, desenvolvimento e inovação) e projetos de implementação à escala real são particularmente encorajados.

As instruções para os autores e o template para a formatação estão disponíveis em [http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao\\_trabalhos.html](http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html), onde deverá também fazer a submissão do trabalho. Na submissão deve incluir um texto com até 300 caracteres para inclusão no índice para, em complemento ao título, atrair o interesse dos leitores.

Outras informações e esclarecimentos adicionais podem ser solicitados a:

### APESB

Av. Brasil 101 (Edifício NES)  
1700-066 Lisboa - PORTUGAL  
E-mail: [aguaseresiduos@apesb.org](mailto:aguaseresiduos@apesb.org)  
Tel: +351 21 844 38 49



## Instructions for submissions

The submissions to “Águas & Resíduos” are classified as “Papers” or “Technical Notes” (in principle, up to 8 pages or 4 pages, respectively). The decision about the submission will be taken by the Editors based on the evaluation of, at least, two reviewers.

The instructions for authors and the template for formatting the manuscripts may be downloaded from [http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao\\_trabalhos.html](http://publicacoes.apesb.org/biblioteca/submissao_trabalhos.html), where the manuscript should also be submitted. With the submission, the author(s) should supply a text with up to 300 characters for insertion in the contents, after the title, to attract the readers interest.

For more information, please contact:

### APESB

Av. Brasil 101 (Edifício NES)  
1700-066 Lisboa - PORTUGAL  
E-mail: [aguaseresiduos@apesb.org](mailto:aguaseresiduos@apesb.org)  
Tel: +351 21 844 38 49



**Torne-se membro  
da APESB aqui**

**APESB**

Av. Brasil 101 (Edifício NES)  
1700-066 Lisboa - PORTUGAL  
E-mail: [aguaseresiduos@apesb.org](mailto:aguaseresiduos@apesb.org)  
Tel: +351 21 844 38 49



**ÁGUAS&RESÍDUOS**

Série V - N.º 02