

OTIMIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA EM ETAR

Ana Dias ^a, Hugo Malgueiro ^a, Ilídio Barata ^a, João Nascimento ^a, Ivo Leite ^{a,*}

^a AQUALEVEL, Avenida Joaquim Neves dos Santos n.º 122, 4450-394 Matosinhos, Portugal

RESUMO

O presente trabalho apresenta a otimização da utilização das fontes de energia disponíveis na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Matosinhos (Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), cogeração a biogás e energia fotovoltaica), aliada à análise do grau de utilização dos principais equipamentos. Este processo é gerido através de uma ferramenta que incorpora os dados em tempo real provenientes de cada um dos equipamentos, recorrendo à sucessiva compreensão da interligação causal associada e a algoritmos que espelham nexos e hipóteses validadas de forma automatizada. Os principais desafios foram o desconhecimento das variáveis de controlo a seleccionar, o método de algoritmização dos *setpoints*, a rapidez de reacção do sistema de cogeração ao nível do seu regime de funcionamento, a variabilidade na fonte de energia solar e a impossibilidade de injeção de energia eléctrica na RESP. A solução desenvolvida possibilitou o aumento do nível de autossuficiência, considerando-se as especificidades técnicas das fontes de energia próprias e a minimização do uso de energia da RESP. Foram também mitigadas diversas incertezas existentes, tendo isto resultado num nível de autossuficiência energética da ETAR de Matosinhos de 78% (2022), sendo 68% da energia produzida pela cogeração e 10% pelos parques solares.

Palavras-Chave: Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), fontes de energia endógenas, autossuficiência energética, cogeração, painéis fotovoltaicos

doi: 10.22181/aer.2025.0406

* Autor para correspondência.
E-mail: ivoleite@aqualevel.pt

ENERGY SOURCES OPTIMIZATION IN WWTP

Ana Dias ^a, Hugo Malgueiro ^a, Ilídio Barata ^a, João Nascimento ^a, Ivo Leite ^{a,*}

^a AQUALEVEL, Avenida Joaquim Neves dos Santos n.º 122, 4450-394 Matosinhos, Portugal

ABSTRACT

This work presents the optimization of the use of energy sources available at the Matosinhos Wastewater Treatment Station (WWTP) (National Electric Grid, biogas cogeneration and photovoltaic energy), combined with the analysis of the degree of use of the main equipment. This process is managed through a tool that incorporates real-time data from each equipment, using the successive understanding of the associated causal interconnection and algorithms that reflect connections and validated hypotheses in an automated way. The main challenges were the lack of knowledge of the control variables to be selected, the setpoint algorithm method, the speed of reaction of the cogeneration system in terms of its operating regime, the variability in the solar energy source and the impossibility of energy injection in RESP. The developed solution made possible to increase the level of self-sufficiency, considering the technical specificities of the company's own energy sources and minimizing the use of RESP energy. Several existing uncertainties were also mitigated, resulting in a level of energy self-sufficiency at the Matosinhos WWTP of 78% (2022), with 68% of the energy produced through cogeneration and 10% by solar parks.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), endogenous energy sources, energy self-sufficiency, cogeneration, photovoltaic panels

doi: 10.22181/aer.2025.0406

* *Corresponding author.*
E-mail: ivoleite@aqualevel.pt

1 Introdução

As Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) têm a si associado, de forma indelével, um processo industrial com um consumo energético intensivo. Ao nível económico, numa ETAR convencional, cerca de 25 a 40% dos custos operacionais são atribuíveis ao consumo de energia (Panepinto et al. 2015). Consequentemente, torna-se de grande importância aumentar a eficiência desta vertente em particular, que se alinha com a crescente importância da sustentabilidade, levando ao aumento da latitude da responsabilidade pela monitorização de toda a cadeia de valor em que se inserem, através de práticas concretas, como a aplicação de conceitos e projetos associados à economia circular. Destaca-se, complementarmente, a flutuação dos preços de energia devido a fenómenos climáticos e fatores geopolíticos relevantes, resultando no reforço do interesse na endogeneização destes riscos e na utilização de soluções alternativas à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

Deste modo, e sob a motivação competitiva e ambiental indissociáveis da visão estratégica e operacional do Grupo Indaqua, releva-se que têm vindo a ser realizados investimentos contínuos em soluções com foco no aumento da eficiência, não só ao nível dos próprios processos de tratamento, como também através do recurso a soluções vanguardistas, para minimização do consumo de reagentes e da produção de resíduos.

Face ao enquadramento apresentado, o principal objetivo do presente trabalho é a maximização da eficiência de utilização das fontes de energia disponíveis numa dada ETAR, enquanto é visada a posterior inclusão da própria gestão do grau de utilização dos principais grupos de equipamentos consumidores de energia. A solução encontrada foi o desenvolvimento e a utilização de uma ferramenta para a gestão de todo o processo em tempo real.

2 Metodologia

A ETAR de Matosinhos entrou em funcionamento em fevereiro de 1999, com nível de tratamento primário. Em 2018, foi alvo de obras de remodelação e ampliação por forma a conferir ao efluente final as características resultantes de um tratamento secundário. Atualmente, a ETAR possui capacidade para tratar um caudal de cerca de 52.662 m³/dia, o que corresponde a uma população equivalente de 329.138 habitantes.

No âmbito das obras de ampliação foi incluída uma etapa de cogeração para aproveitamento energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de lamas, através de dois motores de combustão interna (2 x 630 kVA), conforme apresentado na Figura 1.

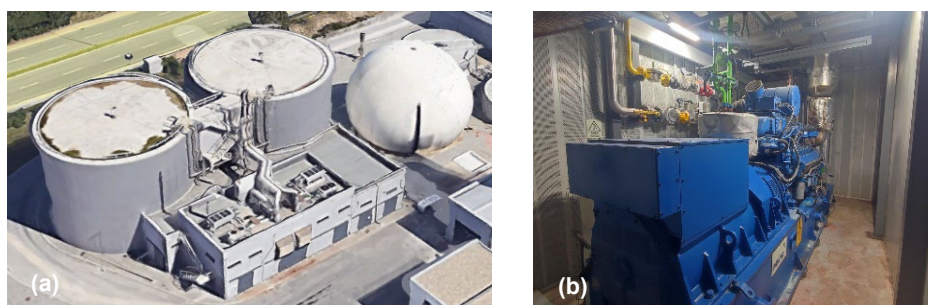


Figura 1. Etapa de digestão anaeróbia (a) e cogeração (b) da ETAR de Matosinhos

Em 2021, foi instalado um parque solar na cobertura do edifício do tratamento preliminar e tratamento primário (Figura 2.a) e em 2022 este sistema foi ampliado com a construção do segundo parque solar em terrenos livres integrados na ETAR (Figura 2.b),

apresentando uma potência total nominal de 390 kW, que vieram complementar a cogeração e a RESP.



Figura 2. Parques solares da ETAR de Matosinhos, primeira fase (a) e segunda fase (b) (fonte: Google Earth)

No período antecedente à implementação do presente trabalho, os sistemas de energia endógenos (cogeração) operavam como sistemas independentes, sendo complementados pela energia da rede, ou seja, não havia qualquer interligação entre a cogeração, a rede e o solar, levando a que a primeira operasse sempre na mesma potência e, por isso, houvesse lugar ao desperdício materializado na queima do biogás. Tecnicamente, esta independência era reforçada pela inexistência de controlos automáticos de cada uma destas fontes, passando, portanto, pelo controlo manual das mesmas. Esta situação obrigava a uma perda de recursos e a um constante ajuste dos *setpoints* dos recursos endógenos. A Figura 3 apresenta a esquematização original das fontes de energia no sistema SCADA da ETAR.

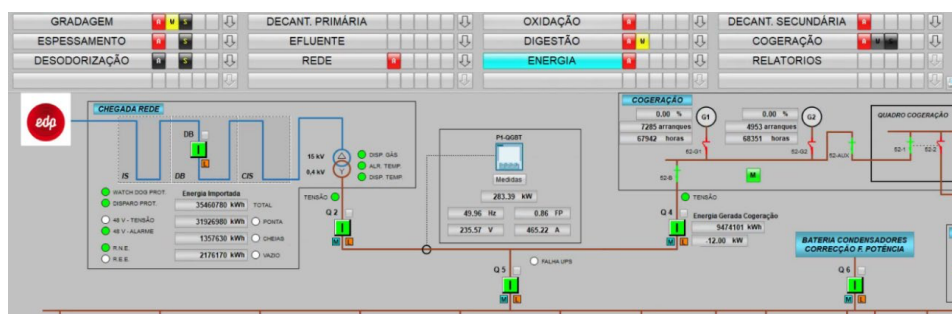


Figura 3. Esquema original das fontes de energia utilizadas em SCADA

A esta conjuntura, impunha-se a condição exógena da impossibilidade de injeção de energia elétrica na rede, fazendo com que todos os fornecimentos internos não pudessem ser superiores ao consumo instantâneo necessário, sob pena de disparo do equipamento que atua o controlo de proibição de injeção de potência na RESP. A concretização desta situação, por motivo de segurança da instalação, originava a paragem abrupta de todas as fontes de energia, efetuando-se, na prática, um corte completo de energia elétrica à ETAR. Era posteriormente necessário efetuar um rearme manual dos vários equipamentos, levando a um descontrolo pontual do processo de tratamento.

O segundo parque solar, instalado em 2022, contribuiu ainda mais para esta problemática uma vez que para além do aumento da potência instalada, esta fonte de energia é caracterizada pela sua volatilidade, espelhada por exemplo numa diminuição da produção num múltiplo de dez vezes, devido à ocorrência de fenómenos climáticos como a passagem de nuvens ou sombras.

Deste modo, foi necessário desenvolver uma solução capaz de equilibrar em tempo real, as três fontes de energia disponíveis, considerando-se as especificidades técnicas de cada uma delas e visando também a minimização da utilização da energia da RESP. Neste âmbito, numa primeira fase foi efetuada a recolha e integração de dados nevrálgicos para a otimização das fontes de energia renováveis. Assim, foram obtidos dados meteorológicos relativos à temperatura e pluviosidade, via Interface de Programação de Aplicações (API) do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), cruciais para prever a produção de energia solar. Simultaneamente, foram estruturados os *data sets* internos de consumo e produção de energia das unidades de energia renovável, incluindo medições dos diversos contadores de energia da ETAR e do operador de rede E-Redes. Mais ainda, procedeu-se à harmonização dos formatos de dados e validação da precisão e a coerência dos *data sets* integrados, garantindo que a robustez e fiabilidade para suportar as análises avançadas inerentes às fases subsequentes.

Na segunda fase, os dados recolhidos foram analisados em detalhe, sendo por isso possível proceder-se ao aprofundamento da problematização associada à plena automatização em tempo real das fontes energéticas concorrentes no sistema. Nestes termos, destacam-se as seguintes questões técnicas:

- Não foi possível apurar a relação ótima entre a combinação do sistema solar num dia de produção maximizada, isto é céu pouco nublado ou limpo, com a utilização do cogenerator para produção de calor, de modo a maximizar o posterior fornecimento de biogás em períodos de não existência de sol;
- Não foi possível definir se o recurso in continuum dos cogeneradores quando existe biogás disponível maximizava a eficiência do *mix* energético em estudo;
- Desconhecimento do período horário ótimo para a utilização dos cogeneradores face às previsões da tríade de fatores - consumo de energia, previsão meteorológica e custo energético.

Partindo da mesma raiz analítica, e considerando as problemáticas levantadas, foram selecionadas três tipologias algorítmicas a serem estudadas com base numa primeira análise de foro teórico para uma modelação de base temporal. Concretamente, optou-se pelos seguintes: ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), SARIMA (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*) e *Prophet*, algoritmo de base temporal e com grande componente sazonal.

Estes algoritmos de previsão são concebidos especialmente para a análise computacional de séries temporais, que associam um valor a uma data e hora. Os dados apresentados aos algoritmos devem de ser limpos de variáveis anómalas e uniformizados, de modo a produzirem resultados viáveis.

Os algoritmos ARIMA e SARIMA baseiam-se na identificação e análise de períodos de média móvel. Após a identificação desses períodos, procede-se à sua análise em conjugação com a data/ hora, formulando uma hipótese de previsão. Esta hipótese tende a ser mais precisa quanto maior for o número de dados históricos disponíveis.

No algoritmo *Prophet*, a identificação e análise de dados é efetuada em três grandes classes: tendência, sazonalidade e eventos excecionais (Taylor e Letham 2017). Estas categorias permitem, posteriormente, a identificação de períodos de média móvel e a análise da sua tendência ao longo do tempo. Tal como nos algoritmos anteriores, o *Prophet* formula uma hipótese de previsão, cuja precisão aumenta com a quantidade de dados históricos fornecidos.

Na terceira fase, os esforços foram centrados na concetualização, na seleção de hipóteses e na realização de testes rigorosos, essenciais para abordar as questões

técnicas supra identificadas, sendo determinante para validar as abordagens propostas e assegurar a eficácia dos sistemas automatizados de regulação de energia.

Primeiramente, foi testada a hipótese associada à utilização da caldeira a biogás para o aquecimento das lamas em dias de elevada produção solar, ao invés de se proceder unicamente ao armazenamento do biogás, cogitando-se a possibilidade de incremento da eficiência energética. Para este efeito, foi implementado um sistema de monitorização, possibilitando uma análise aprofundada dos benefícios desta abordagem.

Em segundo lugar, procedeu-se à análise dos dados históricos em intervalos horários de uma hora, para validar os melhores períodos de utilização da energia da cogeração.

Em paralelo, efetuaram-se testes iterativos com os algoritmos de previsão anteriormente selecionados, utilizando dados reais de consumo e produção de energia. Esses testes possibilitaram a realização de ajustes nos modelos preditivos, melhorando sua precisão e capacidade de resposta às variáveis dinâmicas do sistema. Com base nos resultados, procedeu-se ainda ao ajuste fino das ferramentas de otimização para refletirem mais fielmente os dados reais e as condições operacionais, ou seja, este processo iterativo envolveu a calibração contínua dos modelos e a incorporação de feedback, procurando também garantir uma maior maturidade tecnológica à solução desenvolvida.

Os testes levados a cabo nesta terceira fase criaram a base para a validação, numa fase posterior, das hipóteses definidas, assegurando a eficácia das abordagens propostas face às problemáticas técnicas em estudo.

3 Resultados e discussão

Os resultados dos testes iterativos com os algoritmos de previsão foram meticulosamente analisados para identificar discrepâncias e obter insights relevantes. Assim, em primeiro lugar, notou-se que, devido à quantidade de dados e aos eventos temporais, o modelo ARIMA foi colocado de parte, pois necessitava de etapas de tratamento informacional adicionais, o que não era compatível com a análise em tempo real. Após a realização de várias análises gráficas e da obtenção dos modelos de treino, verificou-se que o modelo *Prophet* permitiu uma maior assertividade e intervalo de confiança que o modelo SARIMA, mesmo considerando que estes dois últimos algoritmos permitem sazonalidade, devido ao facto de o modelo *Prophet* se ter apresentado como mais resistente as várias falhas de dados pontuais que ocorrem nos sistemas de instrumentação relevantes.

O desenvolvimento da ferramenta avançada de cálculo, com base no algoritmo selecionado, permitiu decidir de forma precisa e eficiente quando utilizar a cogeração, otimizando o balanço entre a produção interna de energia e a dependência da energia proveniente do exterior através da RESP.

Os dados apresentados no Quadro 1, referem-se ao ano de 2020 (situação inicial) em que apenas estava disponível a energia da RESP e a energia gerada pela cogeração, ao ano de 2021 em que foi instalado o primeiro parque solar e ao ano de 2022 em que foi instalado o segundo parque solar e implementada a ferramenta para regulação automática das várias fontes de energia.

Quadro 1. Distribuição de consumos de energia das fontes disponíveis na ETAR de Matosinhos entre os anos de 2020 e 2022

	2020	2021	2022
Energia rede (MWh)	2 712 (64%)	2 566 (59%)	1 013 (22%)
Energia cogeração (MWh)	1 505 (36%)	1 721 (39%)	3 100 (68%)
Energia solar (MWh)	0	78 (2%)	447 (10%)
Energia total ETAR (MWh)	4 217	4 365	4 560

Com base nos valores anuais do consumo de energia apresentados no Quadro 1, constata-se que a implementação desta ferramenta possibilitou obter um grande acréscimo na produção de energia pela cogeração que, conjuntamente com a energia produzida pelos parques solares, permitiu reduzir para 22% a utilização da energia externa (RESP).

Observou-se que, quando disponível e em períodos de elevada produção solar ou baixa necessidade de energia elétrica, a utilização do biogás no aquecimento das lamas aumentou significativamente o volume total de produção de biogás. Esta prática não só potenciou a produção própria, como também incrementou a capacidade de armazenamento de energia, contribuindo para uma maior autonomia energética da instalação.

Os dados gerados por esta ferramenta foram ainda disponibilizados num *front-end*, utilizado internamente, propiciando um ambiente gráfico (exemplo de visualização apresentado na Figura 4) no qual os responsáveis operacionais passaram a conseguir planejar e tomar decisões de forma intuitiva com base nessa informação, reagindo preventivamente às alterações dos *inputs* de chegada que não são controláveis, como por exemplo o caudal afluente, e, por isso, contribuindo para a melhoria qualitativa dos padrões emergentes nos dados.



Figura 4. User Interface da aplicação desenvolvida para o controlo informacional das fontes de energia

Para além disto, a operacionalização da ferramenta também se espelhou na transformação da esquemática do sistema de controlo industrial SCADA da ETAR, que passou a incluir a informação sobre a energia gerada pelos parques solares e a energia total consumida, conforme se pode verificar na Figura 5.

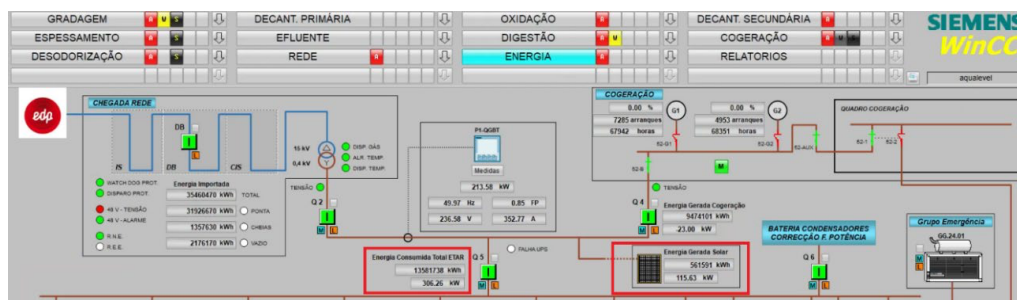


Figura 5. Esquema das novas fontes de energia utilizadas em SCADA

4 CONCLUSÕES

O trabalho efetuado permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta capacitada para a regulação automática e em tempo real das várias fontes de energia, considerando complexas condicionantes de funcionamento do processo e também associadas às próprias fontes de energia contempladas (RESP, cogeração a biogás e fotovoltaica). Esta matriz não tem equivalente direto em outros softwares ou equipamentos existentes no mercado, destacando-se pela sua versatilidade e precisão.

Com a implementação desta ferramenta, conseguiu-se otimizar o funcionamento das fontes de energia endógenas, para um nível de autossuficiência de 78% na ETAR de Matosinhos.

Importa referir que esta ferramenta irá desempenhar um papel ainda mais relevante, quando, num futuro próximo, o *mix* energético da instalação for alargado para as energias eólica e hídrica, que se encontram em fase de estudo prévio. Encontra-se igualmente em estudo o desenvolvimento de uma metodologia para calcular em tempo real os custos da energia elétrica proveniente da RESP e da energia gerada internamente pela cogeração. Este cálculo permitirá identificar os períodos mais rentáveis para a utilização de cada uma das duas fontes, maximizando a eficiência deste binómio.

Referências

- Panepinto D., Fiore S., Zappone M., Genon G., Meucci L. (2015). Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. *Applied Energy*, Volume 161, 1 January 2016, Pages 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.027>
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37-45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>