



ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO VERDE (RENOVÁVEL) VIA ELETRÓLISE EM PORTUGAL

Junho 2021

Autores

Sofia G. Simões, Filipa Amorim, Justina Catarino, Carmen M. Rangel, Tiago Lopes, Francisco Gírio, Ana Picado, Teresa Ponce de Leão

sofia.simoies@lneg.pt



QUAIS AS FONTES DE ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO VERDE EM PORTUGAL?

O hidrogénio está na ordem do dia das agendas da política mundial. Em Portugal, o hidrogénio verde é considerado no planeamento estratégico:

- o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030) refere valores de H₂ em 2030 de 2,27 PJ (22 697 t) que representam aproximadamente 304 000m³ de água (0,4% do volume de águas residuais tratadas com tratamentos terciários em 2018);
- o Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050) refere valores de H₂ em 2030 de 1,25-1,29 PJ (10 417 – 10 750 t), cerca de 144 000m³ (0,2% do volume de águas residuais tratadas com tratamentos terciários em 2018);
- a Estratégia Nacional para o Hidrogénio EN-H2, cerca de refere valores de H₂ em 2030 de 50 PJ (416 666 t) que representam aproximadamente 6 050 000m³ de água (~1% do volume de águas residuais tratadas com tratamentos terciários em 2018).

- › **Quais os tipos de fonte de água disponíveis em Portugal para alimentar projetos de produção de H₂ por eletrólise?**
- › **Qual a qualidade de água necessária?**
- › **Quais as implicações da utilização de diferentes fontes de água nos custos de produção de H₂ verde?**

VOLUMES E QUALIDADE DA ÁGUA PARA A ELETRÓLISE

Consumo unitário de água

Consumo de água (@ potência nominal)

| Unidade | Alcalino | PEM |
|------------------------------------|----------|-------|
| m ³ /kg H ₂ | 0.01 | 0.01 |
| l/kg H ₂ | 11.11 | 10.00 |
| m ³ /MWh H ₂ | 3.00 | 3.33 |

Input no eletrolisador

+ 90% média para perdas com transporte & tratamento água

| Unidade | Alcalino | PEM |
|------------------------------------|----------|-------|
| m ³ /kg H ₂ | 0.02 | 0.01 |
| l/kg H ₂ | 21.11 | 19.00 |
| m ³ /MWh H ₂ | 5.70 | 6.33 |

Consumo "total" água (inclui perdas)

Consumo diário de água (60 MW 24h)

Consumo de água (@ potência nominal)

| Unidade | Alcalino | PEM |
|----------------------------|-----------|-----------|
| kg H ₂ / dia | 25 920.00 | 28 560.00 |
| MWh H ₂ / dia | 864.00 | 952.00 |
| m ³ water / dia | 547.20 | 542.64 |

Consumo "Total" água (incluindo perdas)

Consumo anual de água (60 MW / carga 60%)

| Unidade | Alcalino | PEM |
|---------------------------|------------|------------|
| t H ₂ / ano | 5 676.48 | 6 254.64 |
| GWh H ₂ / ano | 189.22 | 208.49 |
| m ³ água / ano | 119,836.80 | 118,838.16 |

Consumo "Total" água (inclui perdas)

Volumes de água para a eletrólise

Os **volumes de água** necessários para alimentar o processo de eletrólise são da mesma ordem de grandeza de outros tipos de produção de energia, rondando valores entre os **9 litros/kg H₂** (para a estequiometria da reação) até ao máximo de **22,4 litros/kg H₂** anunciados por fornecedores do equipamento. Estes valores variam consoante o tipo de tecnologia, a capacidade instalada, a empresa fornecedora ou o tipo de fonte de água usada. O acréscimo de volume deve-se ao facto da qualidade da água que alimenta o processo de eletrólise ser muito exigente. Em termos médios, as **necessidades diárias de água** são de **5,70m³/MWh H₂** para um eletrolisador alcalino e de **6,33m³/MWh H₂** para um PEM.

NOTA: Se o eletrolisador for alimentado com eletricidade gerada a partir de solar fotovoltaico, estima-se que a água necessária para limpeza dos painéis seja cerca de 3-4% da usada em eletrólise.

Qualidade da água para a eletrólise

A **qualidade da água** para alimentar o processo de eletrólise é exigente uma vez que as impurezas podem afetar o processo, depositando-se nos eletrolisadores, nas superfícies dos elétrodos e/ou na membrana. Os requisitos variam entre fabricantes. Normalmente é **necessária água desmineralizada**, como a **água do Tipo I ou II** (Sociedade Americana para Testes e Materiais ASTM) ou, um pouco menos exigente, com uma condutividade <5 µS/cm. A maioria dos eletrolisadores existentes no mercado **inclui o processo de remoção de iões para tratar a água**.

Água Tipo I ASTM: Ultrapura com resistividade >18 MΩ-cm, condutividade <0,056 µS/cm e <50 ppb de Carbono Orgânico Total (TOC).

Água Tipo II ASTM: resistividade >1 MΩ-cm, condutividade <1 µS/cm e <50 ppb TOC.

www.astm.org

FONTES DE ÁGUA PARA ELETRÓLISE EM PORTUGAL

Água superficial

Corpos de água superficiais, tais como rios, albufeiras ou lagoas, que constituem as águas interiores, exceto águas subterrâneas, águas de transição ou águas costeiras. Estas podem alimentar o processo de eletrólise, sendo necessário garantir a continuidade no fornecimento de água e evitar problemas de escassez sazonal ou a médio/longo prazo. Assim, o foco deve ser em massas de água permanentes.

Água subterrânea

As massas de água que se encontram abaixo da superfície do solo, na zona saturada, e em contato direto com o solo ou subsolo, normalmente referidas como aquífero. No entanto, estas são um recurso de reserva hidrográfica importante para a salvaguarda da qualidade das massas de água e para o abastecimento humano. Assim, a sua utilização para outros fins é restringida.

Água da rede pública de abastecimento de água

A rede pública de abastecimento de água poderá ser utilizada como fonte para a eletrólise na grande maioria dos municípios portugueses, de acordo com o indicador de "acessibilidade física do serviço" disponibilizado pela ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos). Há que ponderar a relação custo/benefício, uma vez que esta água tem níveis de tratamento elevados pagos pelo erário público. Além disso, naturalmente em zonas de escassez, esta fonte de água terá como uso prioritário o consumo humano.

Águas residuais industriais e urbanas tratadas

Os volumes diários de água necessários para a produção de H₂ via eletrólise são pequenos comparada com a produção diária da maioria das ETAR da área de Lisboa (~2 000m³/dia ou para uma ETAR mais pequena, ~400m³/dia). A atual política pública incentiva a reutilização de água das ETAR (Dec-Lei n^o119/2019), incluindo o objetivo de reutilizar 10% das águas residuais, até 2025. Formas alternativas de captação de água, tais como águas pluviais ou de torres de arrefecimento, levantam questões de exequibilidade da recolha nos volumes e frequência necessários, sendo aspetos que podem encarecer esta opção.

Água de estuário

Este tipo de água pode apresentar uma salinidade até 33-34‰ e inclui organismos vivos e sólidos suspensos, para além de ser habitat importante para várias formas de vida. Assim, o seu uso requer especial atenção ao tratamento necessário da água à entrada do eletrolisador e da rejeição do resíduo do tratamento.

Água do mar

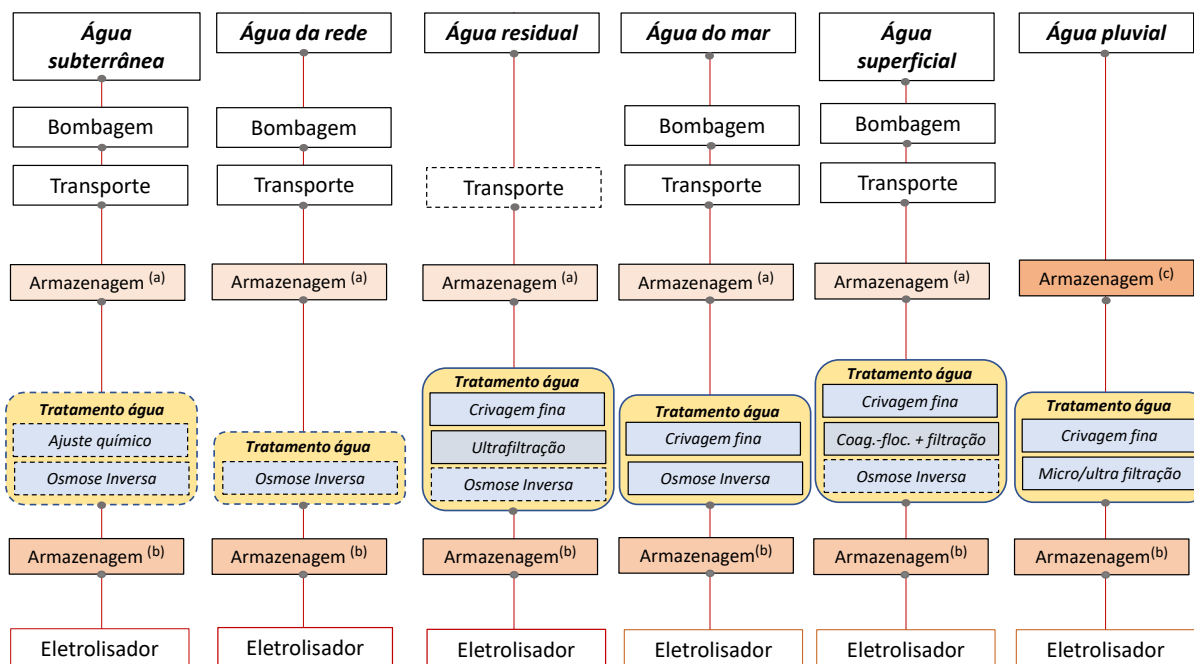
Portugal apresenta uma vasta linha costeira, de forma que o uso da água do mar não compete com outros usos. A sua utilização é tecnicamente exequível após dessalinização, sendo necessário ainda melhorar o desempenho dos catalisadores e a sua resistência à corrosão. É necessário considerar a rejeição do resíduo salino da dessalinização, contemplar custos da dessalinização de cerca de 0,6-1,7€/m³ com consumos de 3,40-4,0 kWh/m³ e considerar a interferência com outros usos na orla costeira e vulnerabilidades às alterações climáticas.



TRATAMENTOS PARA GARANTIR NÍVEL DE QUALIDADE DA ÁGUA PRÉVIOS E POSTERIORES À ELETRÓLISE

Depois de identificadas as opções alternativas de fontes de água para a produção de hidrogénio por eletrólise da água, quais as necessidades de **transporte** até ao eletrolisador e quais as necessidades de **tratamento** da água?

Quais necessidades de transporte e tratamentos prévios à entrada no eletrolisador?



Assume-se que a desionização final da água se verifica ainda à entrada do eletrolisador

Dependendo da qualidade da água no local, escolhe-se o tipo de membrana (i.e. Osmose Inversa ou Ultrafiltração)

(a) Tanque pequeno 100 m³; (b) Tanque 1000 m³; (c) Lagoa 90 000 m³ cerca 3-5m altura (6 meses armazenagem)

| Fonte de água | Fontes de poluição e parâmetros de tratamento | Considerações sobre qualidade da água | Necessidades de operações de tratamento unitário |
|--|--|--|---|
| Superficiais: rios, albufeiras, lagos | Sólidos suspensos (SST), carência bioquímica de oxigénio (CBO ₅) | Água de boa qualidade, escoamento abundante no Outono /Inverno, mas eventualmente indisponível no Verão. | Boa triagem, coagulação/filtração + osmose inversa; bombagem com elevação moderada (20m) distância a avaliar (até 10km). |
| Subterrâneas | Sólidos dissolvidos | Geralmente de muito boa qualidade devido à filtragem do solo. Pode conter carbonatos ou iões de ferro ou de manganês. | Dependente da composição. Pode ser necessário remover alguns iões, o que também pode ser garantido por osmose inversa. A autorização requer o reembolso de uma taxa anual de ~€ 750/ano. Os custos de bombagem podem ser altos (p/ 200m de altura de sucção líquida positiva NPSH). |
| Águas residuais industriais tratadas | Depende da indústria. Sólidos suspensos, CBO ₅ , carência química de oxigénio (CQO), toxicidade | Depende da indústria e de haver poluição orgânica ou não. Pode ser problemático garantir o caudal ao longo do ano. | Tratamento terciário (coagulação + filtração) + osmose inversa. |
| Águas residuais urbanas tratadas | Sólidos suspensos, CBO ₅ , CQO, toxicidade | Normalmente o grau de tratamento é secundário ou secundário com remoção de nutrientes. Assim, o pré-tratamento terciário adicional (coagulação / filtração) antes da osmose inversa pode ser indicado. | Tratamento terciário (coagulação + filtração) + osmose inversa. |
| Água do mar | Salinidade 36-37‰ | A água do mar está disponível quando mais nenhuma outra fonte estiver acessível. Os sólidos contidos estão em grande parte dissolvidos (cloretos e sulfatos), mas a distância ao local pode ser proibitiva. | Triagem fina + membrana para dessalinização (osmose inversa). Altitude e distância de bombeamento podem ser elevadas. |
| Água de estuário | Salinidade até 33-34‰, algas, sólidos suspensos | A água do estuário pode possuir salinidade elevada, algas e uma composição variável. A captação pode ser complexa, e mais cara, devido às flutuações do nível do mar (marés). | Triagem fina + membrana para dessalinização (osmose inversa). Elevação e distância podem ser elevadas. |
| Água da rede de abastecimento | Sólidos dissolvidos | Água de boa qualidade. Depende do contrato firmado. | Osmose inversa. O valor solicitado pode ser muito alto e não disponível. |
| Água recolhida de torres de arrefecimento | Sólidos dissolvidos e suspensos | Pode ser difícil ou caro recolher e condensar os vapores de água. Se essas águas forem de boa qualidade, provavelmente serão condensadas e reutilizadas na respetiva indústria. O montante disponível a verificar. | Recolher a água e condensação. Osmose inversa. |
| Água da chuva | Alguns sólidos dissolvidos, CBO ₅ , SST | A água pluvial geralmente de boa qualidade traz alguns compostos por absorção de gases ao cair no ar ou por drenagem no solo. O uso desta água requer armazenamento de grandes volumes para garantir a continuidade na disponibilidade de água ao longo do ano. Eventuais combinações com atividades agrícolas permitiriam reduzir custos. | Filtração fina + osmose inversa. Requer armazenamento e bombeamento. |

A **necessidade total de água** para o eletrolisador pode incluir **~90% mais do que as necessidades de água apenas para a estequiometria da reação de eletrólise**. Este valor adicional inclui 5% de perdas de água em captação/coleta, 10% de perdas no transporte, 15-40% de perdas no tratamento dependendo do tipo de água, 10% de perdas devido a evaporações/fugas na entrada do eletrolisador, bem como 25% adicional de água que se presume ser necessária para a limpeza e, finalmente, mais 10% para minimizar os riscos com eventual escassez.



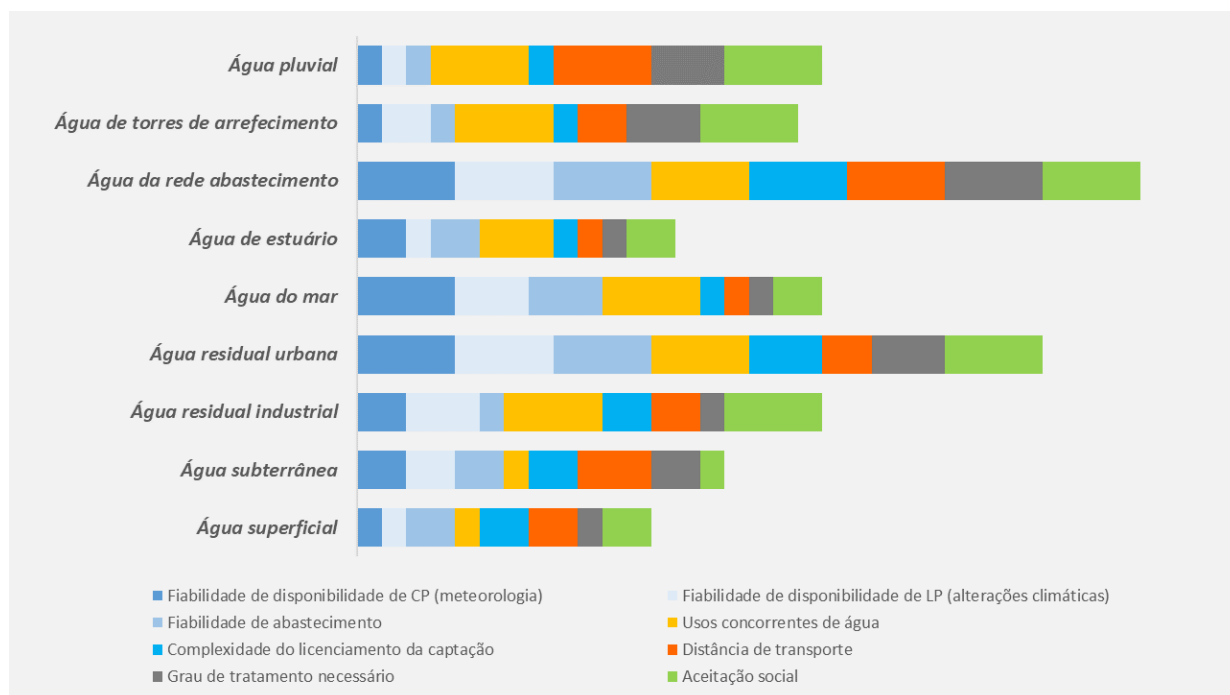
ANÁLISE QUALITATIVA
DE FONTES DE ÁGUA

Critérios para avaliação qualitativa das diferentes fontes de água

- **Fiabilidade da disponibilidade no curto prazo** devido ao efeito de fatores climáticos na fonte de água, tais como secas;
- **Fiabilidade da disponibilidade no longo prazo** via impacto das alterações climáticas;
- **Fiabilidade do abastecimento** devido a intermitências não relacionadas com clima (ex. pausas para manutenção) que inibe o abastecimento contínuo;
- **Concorrência com outros usos de água** ao nível da captação de água;
- Complexidade da autorização **da captação** (número de entidades envolvidas e existência de experiência com o tipo de água para uso semelhante);
- **Distância de transporte** da fonte de água ao local da unidade de produção;
- **Grau de tratamento da água** necessário;
- **Aceitação social**;
- **Complexidade do licenciamento** (número de entidades envolvidas e sua experiência prévia no tema, incluindo transporte).

Para a situação atual, qual o desempenho qualitativo por fonte de água para produzir H₂?

A figura mostra o desempenho de cada fonte de água de acordo com os critérios qualitativos acima mencionadas. A sua classificação foi feita com base em **revisão da literatura** e na **consulta a entidades públicas**.



ALERTA! Esta classificação refere-se apenas a um horizonte temporal dos próximos 1-2 anos para pequenas unidades de produção de H₂! Para unidades de grande dimensão consumindo maiores volumes de água o desempenho irá ser diferente! Da mesma forma, estes resultados serão diferentes em zonas do país com maior escassez de água.

QUAIS SÃO AS MELHORES FONTES DE ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE H₂ NO CURTO PRAZO?



Águas residuais urbanas (ETAR)

Os **volumes diários** necessários para a produção de H₂ via eletrólise são bastante pequenos comparados com a produção de água tratada diária da maioria das ETAR e por isso **garantir o abastecimento de águas residuais** não parece ser um problema. Em 2018 foi tratado em Portugal continental um volume de ~658Mm³ de águas residuais dos quais ~46% são águas residuais domésticas. Cerca de 27% das águas residuais domésticas tratadas em ETAR são alvo de tratamento terciário (sobretudo nas AML de Lisboa e Porto) e poderiam ser consideradas para eletrólise.

O setor das águas está a passar por uma mudança de paradigma. Foi estabelecida a **meta de reutilização de águas residuais de 10% até 2025**. O uso de águas residuais para a produção de H₂ poderá contribuir para esta meta? O uso da água residual para a produção de H₂ não é considerada reutilização de água, uma vez que em termos químicos há uma transformação molecular. Não o sendo em sentido estrito, o seu uso para este fim parece ser uma possibilidade interessante.

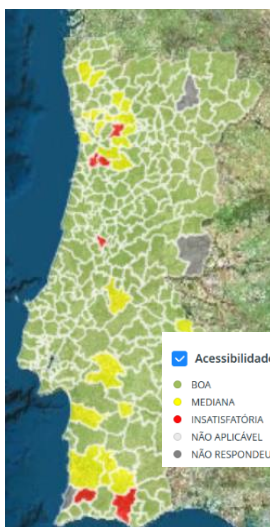
O **tratamento de águas residuais** necessário para a produção de hidrogénio poderá incluir: i) **Ultrafiltração** – perdas de água de 10%; resíduo é uma lama tipo concentrado salino; ii) **Osmose Inversa** – perdas de água de 15-40%; resíduo é uma solução com elevada concentração de sal. A **deposição do resíduo do tratamento** poderia ser feita em: i) **estuário ou oceano** (impactos ambientais a avaliar); ii) injeção em **massas de água subterrâneas salobras** (impactos ambientais a avaliar); iii) retornar à **ETAR** (na saída da mesma); iv) **evaporação** no local. A deposição de resíduos requer aprovação e pode não ser consensual.



Água do mar

A utilização da água do mar para produção de H₂ por eletrólise é **tecnicamente viável** após dessalinização por osmose inversa, embora seja necessário melhorar o **desempenho dos catalisadores** e a sua seletividade e resistência à corrosão. É ainda necessário considerar a **deposição do resíduo** salino após dessalinização, assim como a exequibilidade de implementação no terreno, tendo em conta: (i) a possibilidade de captação da água, (ii) interferência com outros usos na orla costeira, (iii) vulnerabilidades da costa às alterações climáticas, (iv) instalação de central de produção de eletricidade renovável, (v) distribuição do H₂ produzido aos seus utilizadores e (vi) articulação com Planos de Ordenamento da Orla Costeira.

Deve estudar-se os custos associados à produção de H₂ por eletrólise via água do mar dessalinizada. Os custos de dessalinização dependem do método usado, do nível de salinidade da água, da capacidade instalada, da fonte de energia considerada. Valores apontados para a dessalinização são ~0,6-1,7€/m³ para consumos de energia de 3,4-4,0kWh/m³. Poderá justificar-se explorar a opção como forma de aumentar as competências nacionais na tecnologia para além do âmbito da produção de H₂.



Fonte: ERSAR

Águas da rede pública de abastecimento

O elevado desempenho qualitativo atual da **água da rede de abastecimento pública** reflete a situação atual em Portugal, onde não existe risco de abastecimento de fornecimento de água potável na generalidade dos municípios, visível pela acessibilidade física do serviço ilustrada pela ERSAR (consultada a 13 agosto 2021). Esta fonte de água é especialmente interessante para a produção de H₂ para pequenas unidades nos próximos 1-3 anos e em zonas do país com reduzida escassez de água. No médio prazo (3-5 anos) esta fonte poderá tornar-se menos interessante devido ao agravamento da competição entre os usos da água e ao esperado aumento da escassez de água.

€ CUSTOS DE FORNECIMENTO DE ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE H₂

O custo atualizado da água tratada (€/m³) inclui os **custos de capital (CAPEX)** para captação/coleta, transporte, tratamento de água, armazenamento e deposição de resíduos do tratamento e os **custos operacionais (OPEX)** para a captação/recolha, para deposição final dos efluentes de tratamento da água, para eletricidade necessária (bombeamento, transporte, tratamento e outros), para as tarifas da água e para a mão de obra afeta. O cálculo dos custos de transporte considera a distância entre a fonte da água e o local da produção de H₂. Duas opções de transporte foram avaliadas (camião-cisterna e conduta de água).

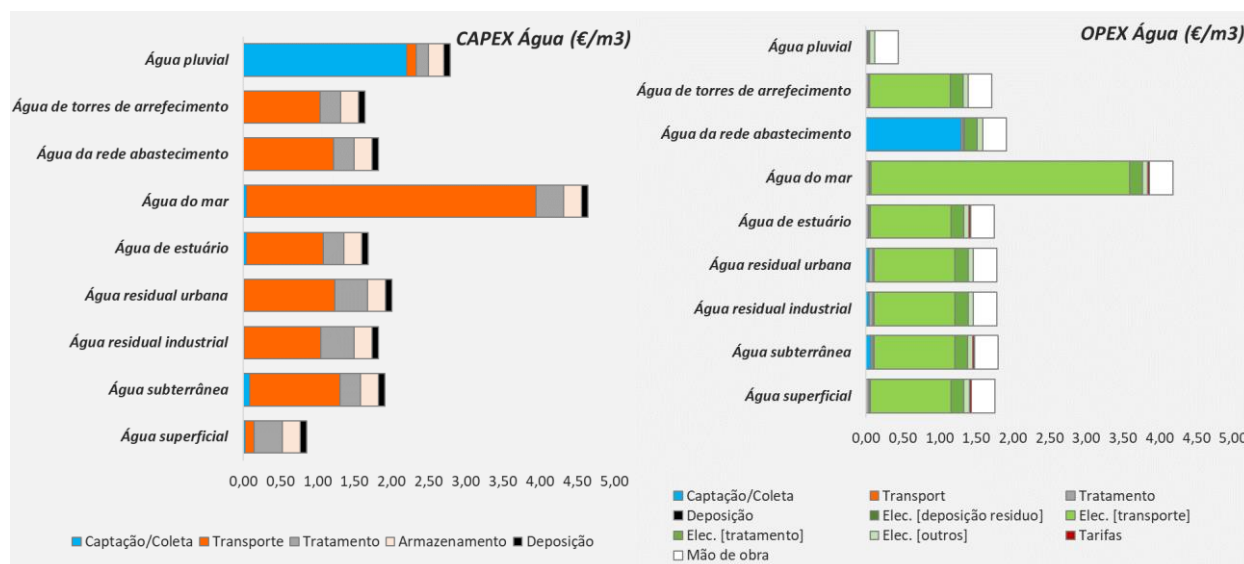
Foi usado como base para o cálculo um caudal de água de ca. 700 m³ / dia (255.500 m³ / ano), incluindo perdas de água, e um tempo de operação de 365 dias / ano (8760 h), independentemente da localização da unidade de produção. Este valor baseia-se nos volumes de água mencionados anteriormente, mais perdas de água com captação/coleta, transporte e tratamento. Para mais informação sobre cálculo dos componentes do custo da água consulte [fonte](#).

A distância entre as fontes de água e o local da unidade de produção afeta significativamente o CAPEX e o OPEX, especialmente no caso da água do mar onde as necessidades de transporte (e tratamento) podem ser maiores. A importância dos **custos de transporte** de água para o custo de fornecimento de água em geral é reconhecida.

Os **custos de captação / coleta** são particularmente relevantes para o CAPEX da água pluvial devido à necessidade de armazenar grandes quantidades de água em lagoas que são construídas. Também é relevante para o OPEX da água da rede pública, uma vez que a água é comprada ao fornecedor.

Em relação a outros componentes do CAPEX, claramente os custos de armazenamento, de tratamento e disposição de resíduos têm uma importância reduzida nos custos totais da água, uma vez que as águas da rede, do rio ou de torres de arrefecimento têm uma qualidade boa e, portanto, requerem menos ajustes.

Custos para fornecimento de água (com osmose inversa, quando aplicável) (€/m³)




**QUAL A MELHOR
 FONTE DE ÁGUA?**

Para pequenas unidades de produção a implementar nos próximos 1-3 anos, a **água da rede pública** parece ser a melhor opção em alguns pontos do país onde as taxas de comercialização de água (preços cobrados ao consumidor) são especialmente favoráveis e onde se verifica uma qualidade da água adequada para usos industriais (tal como a produção de H₂ por eletrólise). Para outras localizações em Portugal, nomeadamente no Sul do país, a água da rede é mais dura e desta forma implicará tratamentos adicionais, sendo aí ainda um recurso mais escasso.

Perto das áreas urbanas, as **águas residuais urbanas tratadas** são outra fonte potencialmente adequada para a produção de H₂ via eletrólise. Em áreas rurais os volumes de águas residuais são menores e podem não garantir a quantidade de água necessária para a eletrólise. Nestas situações uma possibilidade a explorar será a **água superficial fluvial** (desde que existam rios de grande dimensão relativamente próximos).

Entre todas as fontes de água potenciais, a **água do mar** poderá ser considerada a fonte de água menos adequada no curto prazo, devido à eventual distância entre a costa e o local de produção e à complexidade de questões legislativas e técnico-económicas associadas. No entanto, **a água do mar, no médio prazo poderá vir a ser uma fonte importante de água para a produção de H₂ verde**. Visto Portugal ter uma costa atlântica vasta, e dadas a necessidade de preservar os recursos hídricos interiores no contexto das alterações climáticas que já se fazem sentir, será vital explorar e potenciar o uso da água do mar para unidades grande dimensão.


MAIS INFORMAÇÃO

Simoes S.G., Catarino J., Amorim F., Picado A., Lopes T., di Bernardino S., Gírio F., Rangel C.M., Ponce de Leão T., (2021) "Water availability and water usage solutions for electrolysis in hydrogen production", Journal of Cleaner Production doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128124 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621023428#undfig1>

Hydrogen Europe (2020) *Hydrogen production & water consumption*, Dec-2020, ("busting" myths about water consumption for hydrogen production) https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/07/Hydrogen-production-water-consumption_fin.pdf

K&L Gates LLP (2020) *Water Resource Considerations for the Hydrogen Economy* <https://www.jdsupra.com/legalnews/water-resource-considerations-for-the-84603/>

Herib Blanco (2021) Hydrogen production in 2050: how much water will 74 EJ need? (July-21) <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need/>