

RESUMO DO ENTREGÁVEL:

FERRAMENTAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE HIDROGÉNIO RENOVÁVEL

Contexto e aplicação

O objetivo deste documento é resumir as principais características da ferramenta desenvolvida no âmbito do projeto AIHRE para o dimensionamento de sistemas de hidrogénio renovável no POCTEP. A ferramenta é composta por duas fases ou âmbitos de aplicação. A primeira consiste num dimensionamento baseado na parametrização, que dá ao utilizador uma avaliação técnica-económica e ambiental do sistema parametrizado. A segunda centra-se na obtenção de um dimensionamento otimizado com base em diferentes critérios.

Sistemas, necessidades, contributos e indicadores

As ferramentas de dimensionamento desenvolvidas no projeto AIHRE estão pensadas para comparar o sistema com tecnologias de hidrogénio (ou sistema melhorado) com um sistema de referência. Esta comparação é utilizada para obter os indicadores energéticos, económicos ou ambientais.

O sistema de referência (Ilustração 1, acima) é tal, que todas as necessidades (térmicas, elétricas ou de transporte interno/logística) são satisfeitas por entradas externas (eletricidade da rede, abastecimento de combustível, etc.). Os combustíveis para este sistema de referência podem ser de origem fóssil (gás natural, gasóleo) ou hidrogénio com emissões associadas indicadas pelo utilizador.

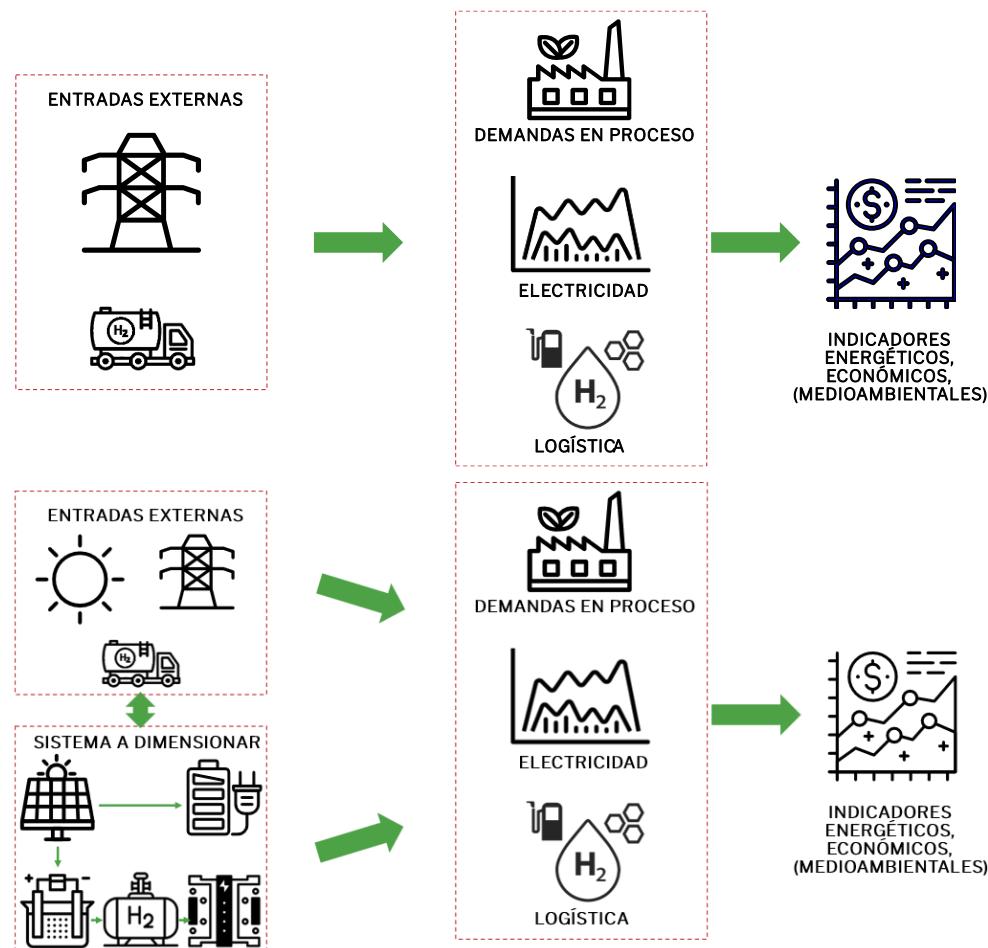


Ilustração 1. Sistema de referência (acima) e sistema melhorado (abaixo).

Para o sistema melhorado (Ilustração 1, acima) são modeladas várias tecnologias que

permitem a produção de eletricidade renovável, o armazenamento de eletricidade, e a produção, armazenamento e utilização de hidrogénio. Estas tecnologias, que constituem o sistema a dimensionar, constituem os dados de entrada para a avaliação efetuada com os modelos. Considerando as mesmas necessidades que para o sistema de referência, serão calculados os novos indicadores associados ao sistema melhorado (resultados do cálculo).

Com o foco no sistema a ser dimensionado, haverá um grande número de **parâmetros** que poderão ser considerados ao **parametrizar ou otimizar o dimensionamento**. Para tornar prática a resolução do problema de dimensionamento, cada avaliação (paramétrica ou otimizada) é limitada a seis parâmetros de entrada (Ilustração 2). Os diferentes componentes, dimensionados através destes parâmetros, terão características definidas pelo utilizador, que podem ser modificadas entre uma análise e a análise seguinte.

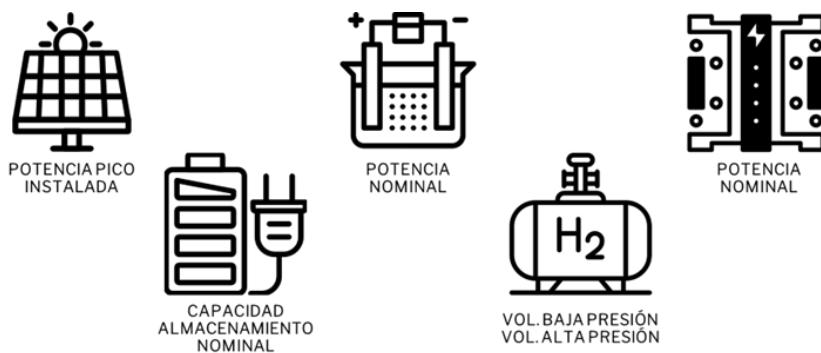


Ilustração 2. Representação dos seis parâmetros considerados pelas ferramentas para o dimensionamento.

As ferramentas desenvolvidas permitem a introdução de três tipos de **necessidades ou consumos** a satisfazer: elétricos, térmicos (através de caldeira) ou para transporte (dispensando o combustível, hidrogénio ou fóssil). Os perfis de horários anuais podem ser introduzidos através de ficheiros .csv, ou podem utilizar-se perfis predefinidos da ferramenta.

Os principais **dados de entrada** no sistema (ver Ilustração 1) são a eletricidade, proveniente da rede ou através de um Power Purchase Agreement (PPA), a compra de combustível, e a produção renovável no local.

As ferramentas calculam uma série de **indicadores** que podem ser utilizados para comparar soluções na análise paramétrica ou para identificar soluções otimizadas na ferramenta de otimização. Os indicadores propostos para o projeto são do foro económico¹, energético (percentagens de autoconsumo) ou ambientais.

Modelos das diferentes tecnologias

Os modelos técnicos/energéticos e de custos para as diferentes tecnologias são relativamente simplificados, uma vez que o objetivo destas ferramentas são as avaliações técnico-económicas e ambientais ao longo da vida dos projetos, com durações de várias décadas e, tipicamente, com etapas de cálculo de hora a hora. Passar a modelos de maior complexidade teria muitos custos computacionais. Em geral, os modelos baseiam-se no cumprimento do balanço de energia e de massa ao nível dos componentes e do sistema

¹ São aplicados fatores de desconto (portanto, fluxos de caixa descontados) e fatores de aumento de preços gerais e de energia. Estes parâmetros podem ser ajustados pelo utilizador.

em cada intervalo de tempo, e na utilização de modelos paramétricos do equipamento. Os fatores de imparidade aplicam-se em função do ano ou da utilização da tecnologia.

Ao nível dos **custos**, foi utilizada a metodologia proposta por Robin Smith (2005)², que se baseia no facto de os custos do equipamento para uma dada potência/capacidade/tamanho poderem ser calculados se for conhecido um custo de referência para uma dada potência/capacidade/tamanho de equipamento³. Na entrega completa, propõem-se diferentes referências de custos consoante a tecnologia. Os valores derivados destes custos são introduzidos no modelo, embora o utilizador possa selecionar outros se tais referências estiverem disponíveis.

A **produção renovável no local** é modelada como produção fotovoltaica, com base num cálculo que depende dos coeficientes fornecidos pelo fabricante do módulo fotovoltaico em condições STC. As temperaturas e irradiações horárias são determinadas com a biblioteca Python pvlib, que simula a produção fotovoltaica para uma determinada localização e disposição/orientação dos painéis fotovoltaicos. Com o número de módulos (calculado com base na potência de pico instalada), é possível determinar a produção horária. Esta produção destina-se, em primeiro lugar, ao autoconsumo (eletricidade), depois ao carregamento de baterias ou à produção de hidrogénio (consoante a prioridade definida pelo utilizador) e, em caso de excedente, pode ser vendida.

A **carga e descarga de baterias** é modelada com eficiências de carga e descarga definidas pelo utilizador. Neste caso, o carregamento só é permitido quando existe um excedente de produção renovável, e o descarregamento é permitido para cobrir a necessidade interna de eletricidade (não para venda de eletricidade ou produção de hidrogénio).

Os **eletrolisadores, o armazenamento de hidrogénio e a compressão** são modelados em conjunto, uma vez que o seu funcionamento está altamente interligado. A Ilustração 3 explica, graficamente, a forma como o equipamento do sistema de hidrogénio está relacionado em termos de fluxos de massa de hidrogénio e fluxos de energia.

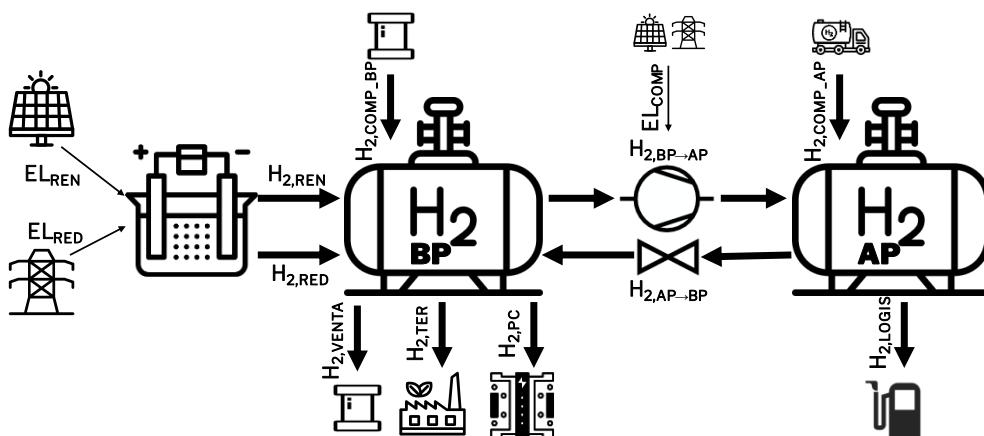


Ilustração 3. Diagrama que explica o funcionamento do sistema de eletrolisador + armazenamento + compressão + consumo de hidrogénio, tal como se utiliza na ferramenta desenvolvida.

Em primeiro lugar, trata-se de calcular se as necessidades globais de hidrogénio no intervalo de tempo, a capacidade de armazenamento nos tanques, etc., e a disponibilidade

² Chemical Process Design and Integration – Robin Smith (2005).

³ Esta metodologia deve ser aplicada com alguma cautela, e evitando utilizar como referência equipamentos várias ordens de grandeza acima ou abaixo do que se pretende calcular.

de eletricidade para alimentar o eletrolisador (quer a partir de fontes renováveis, quer a partir da rede, com base no que é permitido pelo utilizador) justificam o seu funcionamento no referido intervalo de tempo. Posteriormente, as necessidades de alta pressão para a logística/transporte ($H_{2,LOGIS}$) e as necessidades de baixa pressão para os processos térmicos ($H_{2,TER}$) são cobertas sequencialmente, utilizando o hidrogénio armazenado e/ou produzido neste intervalo de tempo. Se necessário, o hidrogénio é comprado ao preço indicado pelo utilizador para essa avaliação (e com as emissões associadas, conforme indicado). Se sobrar capacidade ao eletrolisador, os tanques são carregados (começando pelo tanque de baixa pressão) e, finalmente, o hidrogénio excedente é vendido, se esta funcionalidade for permitida pelo utilizador.

O cálculo da massa de hidrogénio produzida no eletrolisador por unidade de energia disponível é feito com o consumo específico ou a eficiência elétrica do eletrolisador. Este fator depende, em grande medida, da tecnologia utilizada e de vir definida como um sistema de pilha ou de eletrolisador. Para o armazenamento, relacionam-se a capacidade mássica do hidrogénio e a pressão a que se encontra o tanque, através da lei dos gases ideais adaptada ao comportamento dos gases reais com o fator de compressibilidade do hidrogénio em função da pressão⁴. Os consumos do compressor são calculados, de forma simplificada, com um fator de eficiência do processo de compressão e em função das pressões de aspiração e de descarga em cada intervalo de tempo, ou seja, em função da pressão de armazenamento de baixa e alta pressão, respetivamente.

A **dispensa de hidrogénio** para transporte/logística, a partir do tanque de alta pressão, só é calculada ao nível dos custos. Considera-se que não há perdas, ineficiências ou consumo adicional neste processo.

Para a **célula de combustível**, a produção específica (por kg de hidrogénio) de energia elétrica é determinada a partir de um parâmetro de eficiência (definido pelo utilizador) e do poder calorífico inferior do hidrogénio. Além disso, o modelo considera que a célula só entrará em funcionamento se as necessidades de eletricidade não puderem ser satisfeitas por energias renováveis produzidas no local, e se houver hidrogénio suficiente disponível nos tanques. Não se permite que este hidrogénio possa ter sido produzido com eletricidade da rede, uma vez que, nesse caso, é mais eficiente cobrir as necessidades de eletricidade diretamente da rede. Por último, só se permite que o consumo da célula seja feito com hidrogénio comprado no caso de se tratar de um sistema desligado da rede de eletricidade.

Ao nível do código, a **ferramenta** está **estruturada** numa série de módulos (Ilustração 4), cujas principais funcionalidades se apresentam em seguida:

- main_opt_v8b.py. Módulo principal. Estabelece o tipo de estudo, com base nos dados de entrada do utilizador, e é possível definir uma avaliação de uma única parametrização, de uma varredura de parâmetros, ou de uma otimização. Também regista os principais resultados.
- inputs_v8b.py. Módulo de dados de entrada do utilizador (necessidades, equipamentos, parâmetros de dimensionamento, tipo de estudo e critérios de otimização).
- scenario_v8b.py. Módulo de avaliação do cenário de referência e do cenário

⁴ Assume-se uma temperatura constante no armazenamento.

melhorado. Os resultados dos fluxos de caixa e as variáveis de energia e emissões são obtidos para cada caso simulado.

- [pv_functions_v8b.py](#). Módulo dedicado à definição da produção fotovoltaica (no local), cálculo da produção em função da localização, etc.
- [battery_funcitons_v8b.py](#). Módulo para definição das baterias e cálculo da carga/descarga das mesmas.
- [electrol_functions_v8b.py](#). Módulo relacionado com os eletrolisadores, com funções para estabelecer prioridades no funcionamento do eletrolisador, atualizar o seu estado com base nas suas horas de utilização e calcular a produção de hidrogénio e sua distribuição.
- [h2_functions_v8b.py](#). Módulo ligado à definição dos armazenamentos sob pressão de hidrogénio e do compressor, incluindo as funções ligadas à carga e descarga dos depósitos, ao compressor e à distribuição de hidrogénio.
- [fuel_cell_functions_v8b.py](#). Módulo relacionado com as células de combustível, para o cálculo da produção de eletricidade a partir do hidrogénio.
- [props_v8b.py](#). Módulo que recolhe algumas propriedades ou fatores de conversão utilizados noutros módulos.
- [functions_v8b.py](#). Módulo que compila funções mais gerais, por exemplo, relacionadas com a geração de perfis horários de procura, distribuição de preços de energia, cálculo dos investimentos com lei de potência e fatores de escala, entre outros.
- [indicators_v8b.py](#). Módulo para o cálculo dos indicadores económicos, energéticos e ambientais para cada caso estudado.

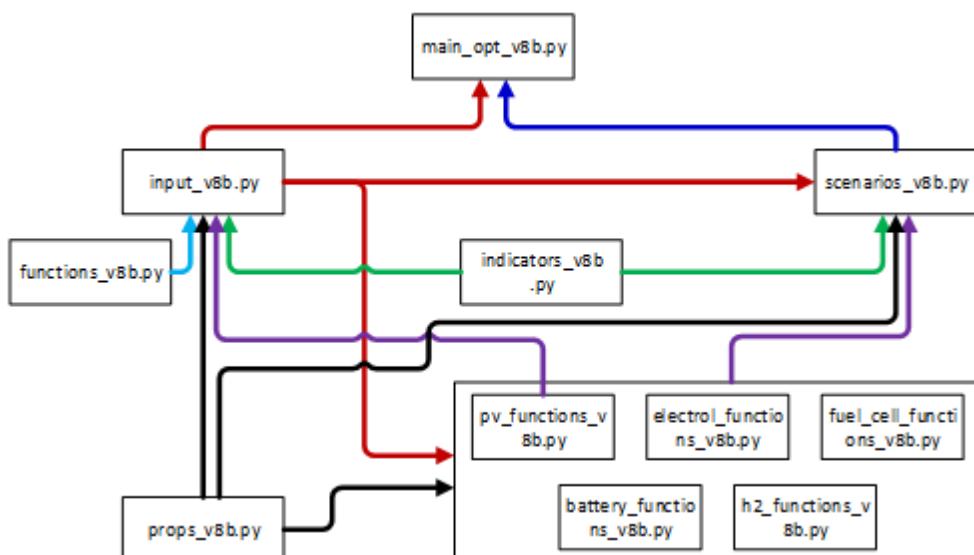


Ilustração 4. Diagrama da estrutura dos módulos de código na ferramenta desenvolvida.

Conclusões

Este documento resume a filosofia, a metodologia e a estrutura do código subjacentes à ferramenta desenvolvida para o dimensionamento de sistemas de hidrogénio renovável. A ferramenta enquadra-se na ação A.2.1 – “Ferramentas de dimensionamento de sistemas de hidrogénio renovável” do projeto AIHRE, que tem um resultado associado que consiste na transferência da parte de parametrização do sistema de hidrogénio para uma ferramenta web (R.2.1). Esta ficará disponível a partir de 31/03/2026.

RESUMO AIHRE

Título

AIHRE: Análise e Promoção do H2 Renovável na Região POCTEP

Data de início - Data de fim do projeto

01/07/2023 - 30/06/2026 (36 meses)

Tipo de Projeto

Análise e Promoção de H2 Renovável

Programa

INTERREG POCTEP - terceira convocatória

Financiamento

1,5 M€ - Cofinanciado a 75 %.

Coordenador

Fundação CIDAUT

Descrição geral do projeto

O projeto AIHRE visa promover a implementação do hidrogénio na área do POCTEP, desenvolvendo a tecnologia necessária para a sua valorização, e analisando as diferentes etapas da cadeia de valor do hidrogénio renovável nesta área.



info@aihre.eu



[@aihre](#)

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

AIHRE