

# **Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.**

*Hugo Miguel Ferreira Aleixo*

**Master Dissertation**

FEUP Supervisor: Prof. José Luís Alexandre



**Master in Mechanical Engineering**

09/2023

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

*“Até o impossível garantido se tornar”*

*- João Batista Coelho*

## Resumo

Nos últimos anos, tem-se assistido a uma crescente preocupação global em relação às alterações climáticas e à necessidade de transitar para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Neste contexto, o hidrogénio verde tem ganho destaque como uma das soluções mais promissoras para enfrentar os desafios energéticos e ambientais do século XXI.

O hidrogénio verde é produzido através do eletrólise da água, utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis, como a solar, eólica ou hidroelétrica. Uma das grandes vantagens do hidrogénio verde é a sua versatilidade, pode ser usado como combustível tanto em transportes rodoviários como em transportes marítimos ou como matéria-prima em setores industriais.

Apesar das suas vantagens, o hidrogénio verde ainda enfrenta alguns desafios. A sua produção requer um investimento significativo em infraestruturas, tecnologia e escala de produção para se tornar competitiva em relação aos combustíveis fósseis. Adicionalmente, é essencial garantir políticas de apoio e incentivos governamentais que promovam a transição para a economia do hidrogénio verde.

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a aplicação de energia fotovoltaica à produção hidrogénio verde. O principal objetivo é desenvolver um sistema capaz de determinar a produção de hidrogénio verde, via eletrólise, em função da quantidade de energia elétrica disponível.

De um ponto de vista geral, o modelo desenvolvido permite ao utilizador simular um sistema fotovoltaico e estimar a produção do mesmo consoante a localização pretendida, para além disso, e tendo por base um vasto conjunto de eletrolisadores, o sistema é capaz de estimar a produção de hidrogénio verde num cenário em que a totalidade da energia elétrica é aplicada a tecnologias de eletrólise.

Com o intuito de testar o modelo desenvolvido, foram simulados diferentes sistemas fotovoltaicos e testadas as produções de hidrogénio de acordo com os diferentes eletrolisadores disponíveis.

Por fim é ainda proposto modelo para determinação do preço do hidrogénio, com base num estudo das despesas associadas aos diferentes sistemas analisados, de modo a garantir que, de acordo com as condições de financiamento arbitradas, o investimento necessário seja rentável.

Nos diferentes casos de estudo foram indicados quais os eletrolisadores que permitem uma produção de hidrogénio a um custo unitário mais baixo.

## **Green hydrogen production model based on photovoltaic energy.**

### **Abstract**

In recent years, there has been a growing global concern about climate change and the need to transition to cleaner and more sustainable energy sources. In this context, green hydrogen has gained prominence as one of the most promising solutions to address the energy and environmental challenges of the 21st century.

Green hydrogen is produced through water electrolysis, using electricity from renewable sources such as solar, wind, or hydropower. One of the major advantages of green hydrogen is its versatility, as it can be used as fuel in both road and maritime transport or as a raw material in various industrial sectors.

Despite its advantages, green hydrogen still faces some challenges. Its production requires significant investment in infrastructure, technology, and production scale to become competitive compared to fossil fuels. Additionally, it is essential to ensure supportive policies and government incentives that promote the transition to a green hydrogen economy.

This work presents a study on the application of photovoltaic energy to green hydrogen production. The main objective is to develop a system capable of determining green hydrogen production via electrolysis based on the available electrical energy.

From a general perspective, the developed model allows the user to simulate a photovoltaic system and estimate its production according to the desired location. Moreover, based on a wide range of electrolyzers, the system can estimate green hydrogen production in a scenario where all electrical energy is applied to electrolysis technologies.

To test the developed model, different photovoltaic systems were simulated, and hydrogen productions were tested according to the available electrolyzers.

Finally, a model is also proposed for determining the price of hydrogen, based on a study of the expenses associated with the different analysed systems, to ensure that, according to the assigned financing conditions, the necessary investment is profitable.

In the various case studies, the electrolyzers that allow hydrogen production at a lower unit cost were identified.

## Agradecimentos

Agradeço à EQS Global, em especial a toda a equipa da EQS Digital, por me acolherem ao longo do desenvolvimento do presente trabalho e por toda a ajuda facultada ao longo dos últimos meses.

Agradeço aos meus orientadores na empresa, Eng. Hugo Branquinho e Eng. José Ferrão, por acompanharem de perto o desenvolvimento do presente trabalho e pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o semestre.

Agradeço ao meu orientador na FEUP, Professor José Luís Alexandre, pela ajuda dada ao longo do semestre.

Ao meu Pai, Eng. João Manuel da Graça Aleixo, à minha Mãe, Eng. Paula Cristina Magalhães Ferreira, e ao meu Irmão, Eng. João André Ferreira Aleixo, por serem o meu porto de abrigo, por me acompanharem a cada passo que dou, e por serem a minha motivação e exemplo para tentar ser melhor a cada dia. A vocês, o meu mais sincero obrigado.

Por fim, agradeço à minha família e aos meus amigos, por serem uma parte fundamental do meu ser, por serem um pilar essencial na minha vida e por serem a base de todo e qualquer sucesso.

# Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação .....	1
1.2	Objetivos do projeto .....	1
1.3	Planeamento do projeto .....	1
1.4	Estrutura da dissertação .....	2
2	Estado de arte .....	3
2.1	Energia solar .....	3
2.1.1	Energia solar fotovoltaica .....	3
2.1.2	Gerações de células fotovoltaicas .....	6
2.2	Produção de Hidrogénio .....	9
2.2.1	Produção de hidrogénio através de células fotoeletroquímicas (PEC) .....	11
2.2.2	Eletrólise da água .....	12
2.3	Utilização de Hidrogénio .....	17
2.4	Transporte e armazenamento de hidrogénio .....	19
2.4.1	Armazenamento físico .....	20
2.4.2	Armazenamento químico .....	22
3	Modelos de Produção .....	23
3.1	Modelo de produção fotovoltaica .....	24
3.2	Modelo produção de hidrogénio .....	27
3.2.1	Eletrolisador alcalino .....	28
3.2.2	Eletrolisador PEM .....	31
4	Implementação dos Modelos .....	36
4.1	Caso de Estudo 1 .....	37
4.2	Caso de Estudo 2 .....	39
4.3	Caso de Estudo 3 (3.1 e 3.2) .....	41
5	Análise Económica .....	45
5.1	Caso de Estudo 1 .....	46
5.2	Caso de Estudo 2 .....	48
5.3	Caso de Estudo 3 (3.1 e 3.2) .....	50
6	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro .....	54
	Referências .....	56
	ANEXO A: Catálogos Eletrolisadores Alcalinos .....	61
	ANEXO B: Catálogos Eletrolisadores PEM .....	66
	ANEXO C: Preços de Venda Eletricidade, OMIP .....	79
	ANEXO D: Fluxos de Caixa .....	1

## Nomenclatura

### Acrónimos

AEM – Membrana de troca aniónica (em inglês, *Anion Exchange Membrane*)

CAPEX – Despesas de capital (em inglês, *Capital Expenditure*)

HER – Reação de evolução do hidrogénio (em inglês, *Hydrogen Evolution Reaction*)

LOHC – Transportadores de hidrogénio orgânico líquido (em inglês, *Liquid Organic Hydrogen Carriers*)

OER – Reação de evolução do oxigénio (em inglês, *Oxygen Evolution Reaction*)

OPEX – Despesas de operação (em inglês, *Operational Expenditure*)

PEC – Divisão fotoeletroquímica de água (em inglês, *Photoelectrochemical Water Splitting*)

PEM – Membrana de eletrólito polimérico (em inglês, *Polymer Electrolyte Membrane*)

PR – Índice de Performance (em inglês, *Performance Ratio*)

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMY – Ano meteorológico típico (em inglês, *Typical Meteorological Year*)

VAL – Valor Atual Líquido

WACC – Custo médio ponderado de capital (em inglês, *Weighted Average Cost of Capital*)

### Alfabeto latino

A – Área (m<sup>2</sup>)

C<sub>ESP</sub> – Consumo específico do eletrolisador (kWh/kg)

F<sub>S</sub> – Fator de Sombreamento (%)

G – Radiação global no plano horizontal (W/m<sup>2</sup>)

L<sub>INVERTER</sub> – Perdas associadas ao inversor de corrente (%)

L<sub>TEMP</sub> – Perdas por sobreaquecimento (%)

L<sub>SOILING</sub> – Perdas por poeira (%)

L<sub>WIRING</sub> – Perdas associadas a cabos elétricos (%)

$\dot{m}_{H_2}$  – Caudal de produção de hidrogénio (kg/h)

P<sub>MÍN</sub> – Potência Mínima (kW)

P<sub>NOM</sub> – Potência Nominal (kW)

P<sub>PV</sub> – Potência Fotovoltaica (kW)

### Alfabeto grego

$\beta$  – Inclinação do painel (°)

$\gamma$  – Altura solar (°)

$\delta$  – Declinação da terra (°)



$\eta$  – Eficiência (%)

$\phi$  – Latitude (°)

$\psi$  – Azimute solar (°)

$\omega$  – Ângulo horário (°)

## Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de Gantt.....	2
Figura 2 - Funcionamento de um célula PV, (Asdrubali e Desideri 2019). ....	4
Figura 3 - Agrupamento de células fotovoltaicas, (FSEC s.d.).....	4
Figura 4 - Ligação em série, (Carneiro 2010).....	5
Figura 5 - Ligação em paralelo, (Carneiro 2010).....	5
Figura 6 - Ligação mista, (Carneiro 2010).....	5
Figura 7 - Diferentes estruturas dos átomos de carbono, (Luceño-Sánchez, Díez-Pascual, e Peña Capilla 2019).....	9
Figura 8 - Evolução da utilização de Hidrogénio, (International Energy Agency 2019).....	9
Figura 9 - Célula fotoeletroquímica, (Arunachalam e Al Mayouf 2019). ....	11
Figura 10 - Desafios e avanços feitos no desenvolvimento de eletrolisadores, (IRENA 2020). ....	12
Figura 11 - Representação esquemática da eletrólise alcalina, (Shiva Kumar e Lim 2022).....	13
Figura 12 - Representação esquemática da eletrólise AEM, (Shiva Kumar e Lim 2022). ....	14
Figura 13 - Representação esquemática da eletrólise PEM, (Shiva Kumar e Lim 2022). ....	15
Figura 14 - Representação esquemática da eletrólise solid oxide, (Shiva Kumar e Lim 2022). ....	16
Figura 15 - Esquema genérico P2P, (Vidas e Castro 2021). ....	17
Figura 16 - Esquema genérico P2G, (Vidas e Castro 2021). ....	18
Figura 17 - Esquema genérico P2M, (Vidas e Castro 2021).....	18
Figura 18 - Esquema genérico P2FUEL, (Vidas e Castro 2021). ....	19
Figura 19 - Esquema genérico P2I, (Vidas e Castro 2021). ....	19
Figura 20 - Armazenamento e transporte de hidrogénio, (Hren et al. 2023).....	20
Figura 21 - Esquema resumo do modelo a desenvolver.....	23
Figura 22 - Ângulo de inclinação ótimo consoante a latitude, (Martín-Chivelet 2016). ....	25
Figura 23 - Representação esquemática dos diferentes ângulos, (Martín-Chivelet 2016).....	25
Figura 24 - Excerto de ficheiro TMY, (European Commission s.d.). ....	26
Figura 25 - Excerto do ficheiro com altura e azimute solar ( $E = \gamma$ ; $A = \psi$ ), (SunEarthTools s.d.). ....	26
Figura 26 - Modelo de produção fotovoltaica e de produção de hidrogénio.....	36
Figura 27 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 1. ....	37
Figura 28 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 2. ....	40
Figura 29 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 3. ....	42
Figura 30 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 1. ....	47
Figura 31 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 1.....	48
Figura 32 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 2. ....	49
Figura 33 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 2.....	50
Figura 34 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 3.1. ....	52
Figura 35 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 3.1.....	53

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens das células fotovoltaicas de primeira geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020). .....	6
Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens das células fotovoltaicas de segunda geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020).....	7
Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens das principais células fotovoltaicas de terceira geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020). .....	8
Tabela 4 - Tipos de Hidrogénio, (Shiva Kumar e Lim 2022). .....	10
Tabela 5 - Comparação de tecnologias de eletrólise, (Shiva Kumar e Lim 2022). .....	16
Tabela 6 - Valores de eficiência para diferentes células fotovoltaicas, (Martín-Chivelet 2016). .....	25
Tabela 7 - Eletrolisadores Alcalinos McPhy .....	29
Tabela 8 - Eletrolisadores Alcalinos Cummins .....	30
Tabela 9 - Eletrolisadores Alcalinos Green Hydrogen Systems .....	30
Tabela 10 - Eletrolisadores Alcalinos Nel .....	31
Tabela 11 - Eletrolisadores Alcalinos Thyssenkrupp .....	31
Tabela 12 - Eletrolisadores PEM Nel (1/2) .....	32
Tabela 13 - Eletrolisadores PEM Nel (2/2) .....	33
Tabela 14 - Eletrolisadores PEM H2B2 (1/2).....	33
Tabela 15 - Eletrolisadores PEM H2B2 (2/2).....	34
Tabela 16 - Eletrolisadores PEM H-Tec Systems .....	34
Tabela 17 - Eletrolisadores PEM Cummins .....	35
Tabela 18 - Eletrolisadores PEM Siemens .....	35
Tabela 19 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 1. ....	38
Tabela 20 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 1. ....	39
Tabela 21 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 2. ....	40
Tabela 22 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 2. ....	41
Tabela 23 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 3. ....	43
Tabela 24 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 3. ....	44
Tabela 25 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 1. ....	46
Tabela 26 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 1. ....	47
Tabela 27 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 2. ....	48
Tabela 28 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 2. ....	49
Tabela 29 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 3.1. ....	51
Tabela 30 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 3.2. ....	51
Tabela 31 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 3.1. ....	52
Tabela 32 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 3.2. ....	53

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Tendo por base a sustentabilidade ambiental e o facto de os danos ambientais serem cada vez mais notórios no nosso quotidiano surge um interesse, cada vez mais intensificado, por fontes de energia renovável que permitam a longevidade do planeta para gerações futuras.

O hidrogénio é cada vez mais apontado como a energia do futuro, nesse sentido, no presente trabalho será efetuado um estudo sobre a produção de hidrogénio através de fontes renováveis, hidrogénio verde, em específico através de energia fotovoltaica.

Tendencialmente a eletricidade produzida através de painéis fotovoltaicos é utilizada para autoconsumo ou comercializada diretamente, no presente trabalho pretende-se fazer um estudo do cenário em que essa energia elétrica é implementada à produção de hidrogénio.

O trabalho em questão foi proposto pela EQS Global. A EQS é uma empresa que atua no domínio da gestão de ativos críticos ao longo de todo o seu ciclo de vida, desenvolvendo serviços de ensaios, inspeção, certificação, monitorização, consultaria, formação e outsourcing. Dentro da EQS, o trabalho foi desenvolvido na EQS Digital, a EQS Digital é uma divisão da EQS Global dedicada a soluções de software e tecnologia.

## 1.2 Objetivos do projeto

Existem diferentes objetivos que se pretendem obter na elaboração da presente dissertação.

Analisar o estado atual no que diz respeito às tecnologias quer de produção fotovoltaica quer de produção de hidrogénio, avaliar a potencialidade do hidrogénio enquanto opção energética e perceber quais os eventuais constrangimentos relacionados com o mesmo.

Desenvolver modelos de previsão de produção para sistemas fotovoltaicos com diferentes configurações, e de previsão de produção de hidrogénio, num cenário em que a totalidade da energia elétrica produzida seja aplicada à produção de hidrogénio.

Numa fase inicial pretende-se desenvolver os modelos separadamente, permitindo a validação isolada sendo, posteriormente, agrupados num único modelo. Propõem-se desenvolver ambos os modelos na linguagem de programação *Python* recorrendo ao editor de código *Visual Studio Code*.

Após implementação dos modelos, serão efetuados um conjunto de casos de estudo de forma a validar a sua implementação.

O último passo do trabalho passa por efetuar uma análise económica de forma a perceber quais os custos associados aos diferentes casos de estudo e qual a viabilidade económica dos projetos.

## 1.3 Planeamento do projeto

Foi proposto um planeamento para execução dos trabalhos propostos com recurso a um Diagrama de Gantt, com o intuito de listar as diferentes tarefas e analisar qual a ordem para a sua elaboração.

Ao longo do projeto o diagrama sofreu algumas alterações pontuais, sendo a versão final do mesmo a apresentada na figura 1.

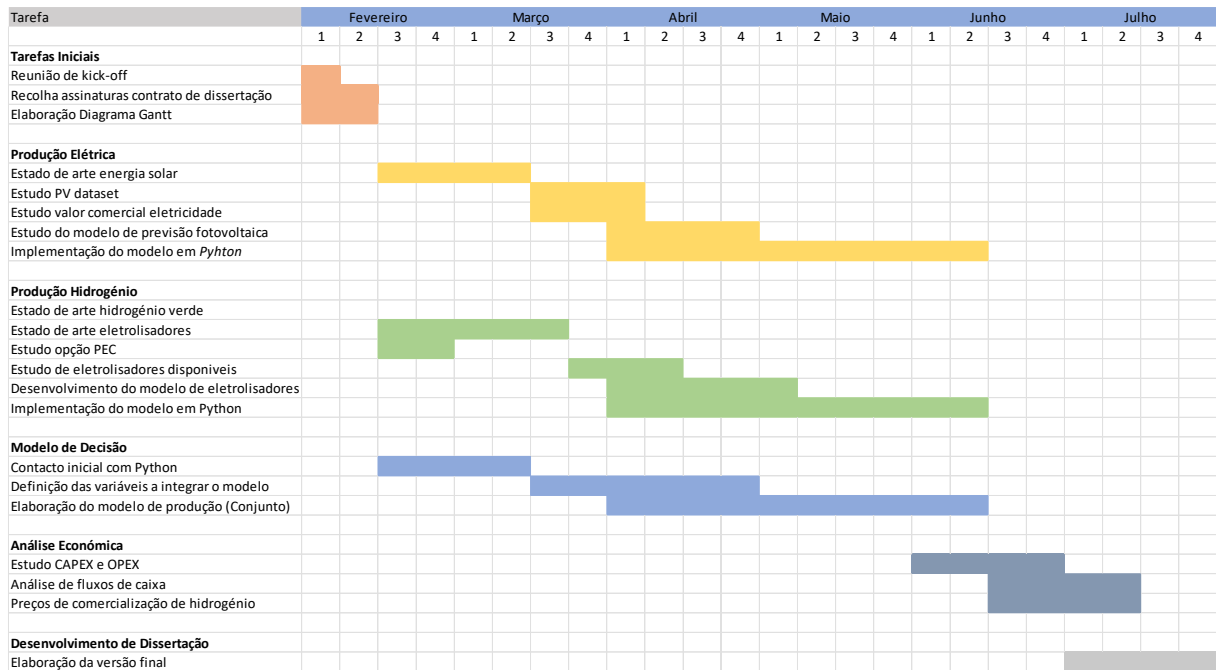


Figura 1 - Diagrama de Gantt.

## 1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos distintos: Introdução, Estado de Arte, Modelos de Produção, Implementação dos Modelos, Análise Económica e Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro.

Na introdução é feito um enquadramento sobre o trabalho desenvolvido e sobre os objetivos do mesmo.

No estado de arte, é exposto o estado das tecnologias de produção fotovoltaica e de produção de hidrogénio. Uma vez que o hidrogénio assume papel de destaque no presente trabalho, no capítulo em questão é abordado com mais detalhe, para além das tecnologias de produção, são abordadas as diferentes utilizações previstas para o hidrogénio, e referidas as tecnologias existentes para permitir o seu armazenamento e transporte.

No terceiro capítulo, é efetuada uma descrição dos modelos de previsão que serão, posteriormente, implementados em *Python*.

No capítulo de implementação dos modelos, é feita uma validação dos modelos descritos no capítulo anterior através da elaboração de diferentes casos de estudo. Neste capítulo é analisado o potencial de diferentes instalações fotovoltaicas na produção de hidrogénio.

No quinto capítulo, é efetuada uma análise económica dos diferentes casos de estudo abordados anteriormente. No mesmo são descritos os custos da instalação fotovoltaica e da instalação de produção de hidrogénio, consoante os mesmos e as condições de financiamento definidas, são estimados custos de comercialização do hidrogénio de forma a permitir que os projetos sejam economicamente viáveis.

No último capítulo são efetuadas conclusões face aos resultados obtidos e descritos trabalhos com potencial interesse a serem efetuados posteriormente.

## 2 Estado de arte

As alterações climáticas são cada vez mais um tema presente na nossa sociedade, vários estudos apontam para a possibilidade de o mundo estar a atingir um ponto de irreversibilidade no que diz respeito aos malefícios causados pela utilização de combustíveis fósseis.

Como é possível constatar em (Calvin et al. 2023), atualmente, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre é a mais alta no que diz respeito, pelo menos, aos últimos 2 milhões de anos, o aumento nível médio das águas do mar é o mais acentuado, quando comparado com os últimos 3000 anos e a área de gelo do ártico é a menor dos últimos 1000 anos. Para além disso, a temperatura média da superfície terrestre registada no período de 2011-2020 é 1,1°C superior à registada no período de 1850-1900.

Considerando os factos apresentados anteriormente, e tendo em conta que a dependência energética é vez maior, é fácil compreender que, enquanto sociedade, algo tem de mudar no panorama energético. Resultado dessa necessidade, nos últimos anos, é possível observar uma progressiva migração para a utilização de energias limpas.

### 2.1 Energia solar

De entre as diferentes fontes de energia renovável, quase todas, têm origem na radiação solar.

O sol pode ser considerado como um recurso infinito, o que faz com que a energia solar seja uma fonte de energia estável e com elevado grau de confiabilidade.

Existem dois grandes grupos no que diz respeito ao aproveitamento direto de energia solar: Energia Solar Fotovoltaica e Energia Solar Térmica.

A energia solar fotovoltaica, consiste na utilização de radiação solar para produzir energia elétrica. A energia solar térmica, consiste na utilização de radiação para produzir calor a elevadas temperaturas.

#### 2.1.1 Energia solar fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez no ano de 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel (Lincot 2017). De forma sucinta, o efeito fotovoltaico pode ser explicado como o processo de produção de energia elétrica através do aproveitamento de radiação solar (fotões). Para este fim são utilizados materiais semicondutores que, consoante a radiação incidente, dão origem a uma corrente elétrica. (Joyce 2009)

O material semicondutor utilizado define a geração da tecnologia em questão, existem quatro gerações diferentes que irão ser abordadas com maior destaque nos próximos capítulos.

Nas últimas décadas a tecnologia mais utilizada é baseada na utilização de células de silício cristalino, sendo que cerca de 90% da energia fotovoltaica produzida no ano de 2020 foi com recurso a este tipo de tecnologia (Philipps et al. 2023).

Uma célula fotovoltaica é constituída por materiais semicondutores com uma junção p-n, quando a radiação solar atinge a célula parte dos fotões são absorvidos pela mesma resultando na libertação de eletrões, disponíveis para condução. Se houver um circuito externo, a diferença de tensão conduz os eletrões da zona N, onde há um excesso de eletrões, para a zona P, onde há um défice de eletrões, formando uma corrente elétrica no circuito externo (Asdrubali e Desideri 2019)(Joyce 2009; Asdrubali e Desideri 2019).

Quanto maior for a radiação solar incidente, maior será a corrente que poderá circular no circuito exterior. (Joyce 2009)

Na figura 2 é possível observar uma representação esquemática do modo de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

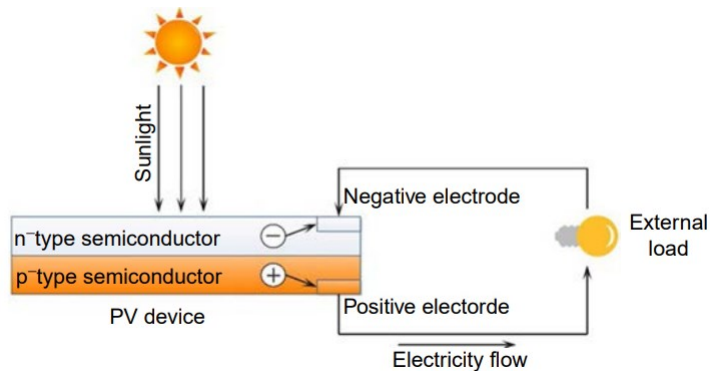


Figura 2 - Funcionamento de um célula PV, (Asdrubali e Desideri 2019).

As células fotovoltaicas podem ser vistas como o componente base da produção de eletricidade através do efeito fotovoltaico, no entanto, uma única célula não consegue produzir eletricidade suficiente para atividades relevantes, por esse motivo, as células fotovoltaicas são agrupadas para formar módulos, painéis solares e conjuntos de painéis solares conforme os requisitos de produção necessários.

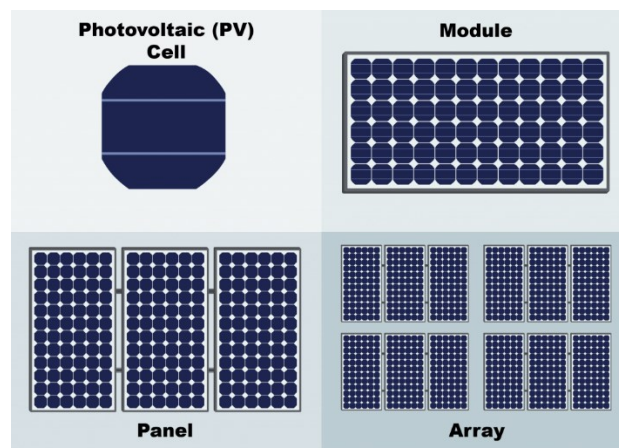


Figura 3 - Agrupamento de células fotovoltaicas, (FSEC s.d.).

A ligação entre células e módulos fotovoltaicos pode ser feita em série ou em paralelo.

Na associação em série, os elementos são conectados um após o outro através de um único percurso. Este tipo de ligação resulta em sistemas com uma tensão (V) mais elevada, uma vez que a tensão total do sistema é igual à soma de tensão de cada elemento, por outro lado, a corrente elétrica (I) é limitada pelo elemento com menor intensidade de corrente. Tendencialmente, os elementos conectados são iguais, de forma a minimizar perdas.

Na figura 4 é possível observar um exemplo de elementos ligados em série. (Carneiro 2010)

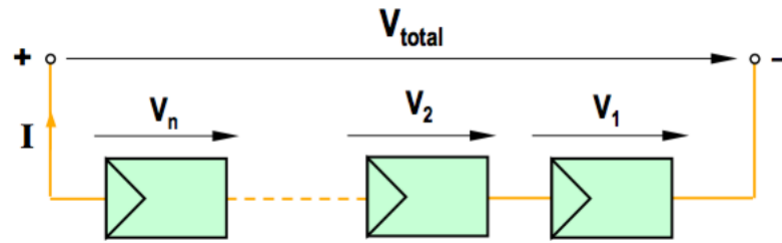


Figura 4 - Ligação em série, (Carneiro 2010).

Na associação em paralelo, a intensidade da corrente elétrica do sistema ( $I$ ) é igual ao somatório das intensidades de cada elemento, no entanto, a tensão ( $V$ ) é limitada pelo elemento com menor tensão. (Carneiro 2010)

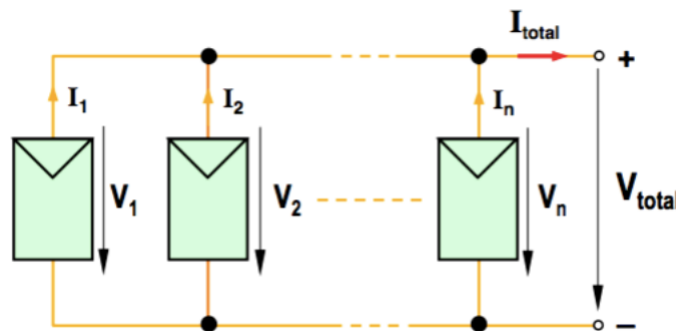


Figura 5 - Ligação em paralelo, (Carneiro 2010)

Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, é comum efetuar-se uma ligação mista entre módulos. A ligação mista consiste em associar em paralelo conjuntos de módulos ligados em série. A vantagem deste tipo de ligação passa pela possibilidade de obter maiores valores de tensão e também de corrente elétrica. (Carneiro 2010)

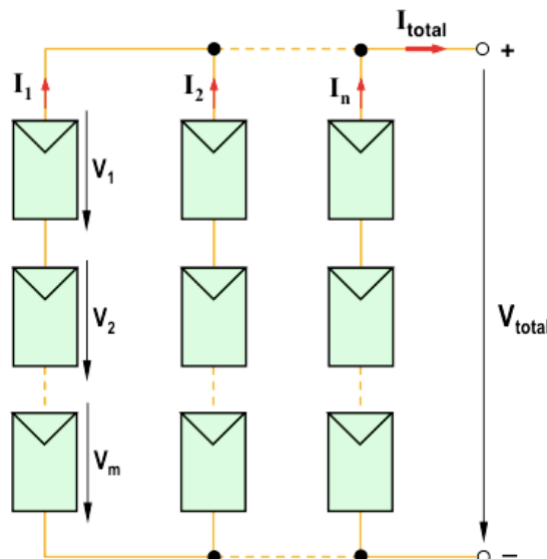


Figura 6 - Ligação mista, (Carneiro 2010)



### 2.1.2 Gerações de células fotovoltaicas

Como foi dito anteriormente existem quatro diferentes gerações de células fotovoltaicas, nos próximos subcapítulos iremos abordar, com algum detalhe, cada uma das tecnologias. As denominações das diferentes gerações são: células de silício cristalino, células de filme fino, conceitos emergentes e células híbridas.

Primeira geração, células de silício cristalino

A primeira geração de células fotovoltaicas pode ser identificada consoante o material semiconductor utilizado, normalmente o material utilizado é o silício (mono ou policristalino) embora, em alguns casos, também seja utilizado GaAs (arsenieto de gálio) (Richter, Hermle, e Glunz 2013; Suman, Sharma, e Goyal 2020).

Como mencionado no capítulo anterior, este tipo de célula representa cerca de 90% da energia fotovoltaica produzida sendo que mais de 80% dos painéis fotovoltaicos instalados, hoje em dia, são constituídos por células desta geração (Pastuszak e Węgierek 2022). Dois motivos que explicam a dominância deste tipo de célula são a sua eficiência relativamente alta e a abundância do semiconductor que as constitui, para além disso, o silício é um material bastante utilizado na indústria de microchips, o que faz com que o mesmo seja amplamente disponível (Goetzberger, Hebling, e Schock 2003).

Um aspeto determinante para a eficiência da célula é o espaçamento entre a Zona P e a Zona N, o mesmo deve variar entre 1,1eV e 1,7eV, os valores para o espaçamento energético deste tipo de células consta dentro do intervalo desejado (Marques Lameirinhas, Torres, e de Melo Cunha 2022).

Como foi dito anteriormente, dentro desta geração podemos comprar três tecnologias distintas, na tabela 1 é possível ver as principais vantagens e desvantagens de cada uma delas. De realçar que em todas elas a vida útil da tecnologia é significativamente alta.

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens das células fotovoltaicas de primeira geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020).

Tecnologia	Eficiência	Vida útil	Espaçamento	Vantagens	Desvantagens
Silício monocristalino (m-si)	15-24%	25 anos	Aprox. 1,1eV	Estável, Alta eficiência, Vida útil elevada.	Custo de produção elevado, Sensível à temperatura, Problema de absorção, Perda de material.
Silício policristalino (P-si)	10-18%	14 anos	Aprox. 1,7eV	Processo de produção simples, Bom custo-benefício, Redução no desperdício de silício, Melhor absorção que m-si.	Menos eficiente, Sensível à temperatura.
GaAs	28-30%	18 anos	Aprox. 1,43eV	Estável, Menos sensível à temperatura, Melhor absorção que m-si, Alta eficiência.	Custo elevado.

Segunda geração, células de filme fino

Na segunda geração o foco passa pela utilização de células com tecnologia de filme fino, o foco nestas tecnologias acontece com o intuito de reduzir os custos de produção elevados associados à primeira geração (Suman, Sharma, e Goyal 2020).

Este tipo de célula apresenta algumas melhorias do ponto de vista mecânico e pode ser aplicada de uma forma mais flexível, no entanto, a eficiência das mesmas é consideravelmente inferior (Pastuszak e Węgierek 2022).

Tal como na primeira geração, existem diferentes tecnologias consoante o material utilizado, este pode ser silício amorfo (a-si), telureto/sulfureto de cádmio (CdTe/CdS) ou seleneto de cobre e índio gálio (CIGS), na tabela 2 é possível consultar as vantagens e desvantagens de cada um, bem como a eficiência, vida útil e espaçamento energético.

Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens das células fotovoltaicas de segunda geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020)

<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Espaçamento</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Silício amorfo (a-si)	5-12%	15 anos	Aprox. 1,7eV	Custo reduzido, Presente em abundância, Não tóxico, Elevado coeficiente de absorção.	Menos eficiente, Dificuldade em dopantes, Reduzida vida útil do condutor.
Sulfato de cádmio/Sulfato de cádmio (CdTe/CdS)	15-16%	20 anos	Aprox. 1,45eV	Elevado coeficiente de absorção, Necessita de menos material para fabricação.	Menos eficiente, Cd é altamente tóxico e Te é limitado, Sensível à temperatura.
Seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)	20%	12 anos	Aprox. 1,7eV	Necessita de menos material para fabricação.	Custo elevado, Instável, Sensível à temperatura.

Terceira geração, conceitos emergentes

A terceira geração de células fotovoltaicas representa um vasto conjunto de diferentes tecnologias que foram exploradas com o intuito de aumentar a eficiência do processo fotovoltaico. Nesta geração são incorporadas tecnologias com recurso a diferentes materiais, como materiais orgânicos e nano materiais, os custos associados e a eficiência dos processos que constam nesta geração variam bastante. As tecnologias presentes nesta geração são frequentemente descritas como “conceitos emergentes”, embora algumas já sejam estudadas há mais de 25 anos. (Dunlap-Shohl et al. 2019; Pastuszak e Węgierek 2022).

Dentro da terceira geração as tecnologias com maior relevância são: Células solares sensibilizadas por corantes (DSSC), células solares flexíveis (OPSC), células solares de perovskita (PVSC), células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDS) e células solares de junção múltipla (MJ) (Aamir et al. 2022).

Na tabela 3 é possível ver um resumo das vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias apresentadas previamente.

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens das principais células fotovoltaicas de terceira geração, (Suman, Sharma, e Goyal 2020).

<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Células solares sensibilizadas por corantes (DSSC)	5-20%	Custo reduzido, Funcionamento em condições desfavoráveis, Robustez e elevada vida útil.	Instabilidade associada à temperatura, Composto tóxico e volátil.
Células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDS)	11-17%	Custo de produção reduzido, Baixo consumo energético.	Altamente tóxico, Degradação
Células solares flexíveis (OPSC)	9-11%	Custo de produção reduzido, Peso reduzido, Flexível, Termicamente estável.	Eficiência reduzida
Células solares de perovskita (PVSC)	21%	Custo reduzido, Simplicidade na produção, Peso reduzido, Flexível, Eficiência elevada.	Instável.
Células solares de junção múltipla (MJ)	36%	Eficiência elevada.	Complexo, Custo elevado.

#### Quarta geração, células híbridas

A quarta geração de células fotovoltaicas tem como objetivo combinar o baixo custo das células de filme fino com a boa estabilidade dos nanomateriais, tais como, nanopartículas, óxidos metálicos, nanotubos de carbono, grafeno e os seus derivados. A utilização dos materiais presentes nas células de filme fino permite um menor custo de produção e uma maior durabilidade para além disso, a utilização de nanomateriais permite melhorar a eficiência dos sistemas diminuindo a dissipação de energia associada ao transporte entre as mesmas. (Luceño-Sánchez, Díez-Pascual, e Peña Capilla 2019).

Recentemente, o grafeno tem assumido um papel de grande destaque como material a utilizar em células fotovoltaicas, o mesmo acontece porque o grafeno é um material com propriedades bastante interessantes, para além da alta condutividade, do reduzido peso e espessura, é um material bastante resistente o que é ótimo no sentido de haver uma reduzida degradação nos sistemas que utilizam esta tecnologia, por esse motivo, o grafeno é visto como um material com elevado potencial no que diz respeito a tecnologias fotovoltaicas. (Luceño-Sánchez, Díez-Pascual, e Peña Capilla 2019; Amir et al. 2022).

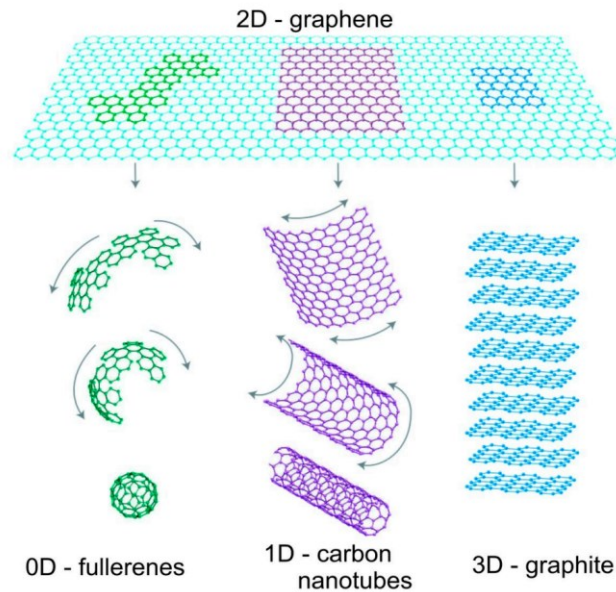


Figura 7 - Diferentes estruturas dos átomos de carbono, (Luceño-Sánchez, Díez-Pascual, e Peña Capilla 2019).

## 2.2 Produção de Hidrogénio

São vários os estudos que apontam o hidrogénio como a energia do futuro e como sendo uma solução viável no que diz respeito ao cumprimento do Acordo Verde Europeu.

O hidrogénio ser apontado como energia do futuro é uma afirmação que pode causar alguma confusão uma vez que o hidrogénio é um elemento historicamente utilizado em diferentes setores, maioritariamente como matéria-prima na produção de amoníaco e também em refinarias (International Energy Agency 2019).

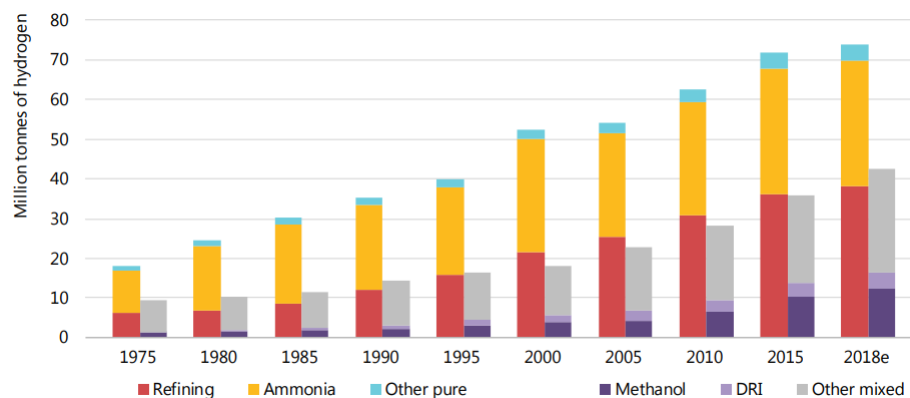


Figura 8 - Evolução da utilização de Hidrogénio, (International Energy Agency 2019).

Nesse sentido é importante perceber que existem diferentes “tipos” de hidrogénio e que os mesmos variam de acordo com a forma como o hidrogénio é obtido.

O hidrogénio é dos elementos mais abundantes no universo, no entanto, é um elemento altamente instável e, conseqüentemente, muito reativo, por esse motivo, não é possível encontrar hidrogénio isolado na superfície terrestre, mas sim combinado em diferentes

moléculas, assim, quando falamos de produção de hidrogénio estamos a falar do processo de separação entre hidrogénio e outros átomos em determinadas moléculas.

No processo de separação de moléculas é consumida energia, a tecnologia associada ao processo de separação, a origem da energia consumida e o impacto ambiental associado à mesma determinam o tipo de hidrogénio.

De acordo com (Shiva Kumar e Lim 2022), existem 5 designações possíveis para denominar o hidrogénio enquanto produto final:

- Hidrogénio Preto, quando o mesmo é obtido através de gasificação, e carvão betuminoso é utilizado como combustível, este processo resulta em elevadas emissões de CO<sub>2</sub>.
- Hidrogénio Castanho, quando o mesmo é obtido através de gasificação, e lignite é utilizado como combustível, este processo resulta em elevadas emissões de CO<sub>2</sub>.
- Hidrogénio Cinzento, quando o mesmo é obtido por reforma a vapor, normalmente metano é utilizado como combustível, este processo tem emissões de CO<sub>2</sub> mais baixas que os dois primeiros, mas também é considerado bastante poluente.
- Hidrogénio Azul, neste caso o hidrogénio é obtido por o mesmo processo do hidrogénio cinzento, no entanto, a maior parte do CO<sub>2</sub> emitido, 85 a 95%, é capturado e armazenado no subsolo, é por isso um método menos poluente.
- Hidrogénio Verde, este é o tipo de hidrogénio que é apontado por diferentes estudos como a energia do futuro, atualmente é obtido principalmente por eletrólise da água, sendo que a energia elétrica utilizada no processo é proveniente de fonte renovável, por esse motivo, o impacto ambiental associado a este processo é desprezável.

Tabela 4 - Tipos de Hidrogénio, (Shiva Kumar e Lim 2022).

Cor	Tecnologia	Fonte de Produção	Produtos da reação	Custo (\$ kg/H <sub>2</sub> )	Emissão de CO <sub>2</sub>
<b>Hidrogénio Castanho</b>	Gasificação	Carvão castanho (Lignite)	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	1,2-2,1	Elevada
<b>Hidrogénio Preto</b>	Gasificação	Carvão preto (Hulha)	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	1,2-2,1	Elevada
<b>Hidrogénio Cinzento</b>	Reforma a vapor	Gás natural	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (Libertado)	1-2,1	Média
<b>Hidrogénio Azul</b>	Reforma a vapor + captura de carbono	Gás natural	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> (85-95 % capturado)	1,5-2,9	Baixa
<b>Hidrogénio Verde</b>	Eletrólise	Água	H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	3,6-5,8	Desprezável

Considerado o contexto em questão e o tema a desenvolver, deste ponto em diante o foco de estudo será voltado para o hidrogénio verde e para respetivas tecnologias utilizadas na produção do mesmo.

A produção de hidrogénio verde é usualmente associada à eletrólise, o mesmo acontece pois a eletrólise é uma tecnologia relativamente bem definida e vista como a solução com maior potencial na produção de hidrogénio verde.

Por esse motivo, será essa a tecnologia abordada com maior detalhe no presente trabalho, no entanto, e uma vez que no enquadramento do presente trabalho a energia solar tem um papel de destaque, será também feita uma revisão da produção de hidrogénio através de células fotoeletroquímicas (PEC, do inglês, *Photoelectrochemical Hydrogen Production*).

### 2.2.1 Produção de hidrogénio através de células fotoeletroquímicas (PEC)

A tecnologia PEC possibilita a dissociação de moléculas de água em hidrogénio e oxigénio, o processo é conseguido através da utilização de energia solar e de semicondutores especializados, denominados por materiais fotoeletroquímicos (United States Department of Energy s.d.)

Uma vez que a radiação solar pode ser vista como um recurso infinito, é possível perceber que esta tecnologia tem elevado potencial no contexto de produção de hidrogénio verde através de energia solar, tendo um elevado contributo na questão da descarbonização uma vez que as emissões associadas a este processo podem ser consideradas nulas (Díaz-Real, Holm, e Alonso-Vante 2020).

Os materiais semicondutores utilizados no processo PEC são semelhantes aos utilizados na produção de eletricidade fotovoltaica, a diferença está no facto de que no processo PEC os materiais estão submersos num eletrólito em solução aquosa, esta solução é energizada pela radiação solar, promovendo a dissociação da água (United States Department of Energy s.d.). O princípio de funcionamento de uma reação fotoeletroquímica é baseado na utilização de um eléctrodo semiconductor que contém um espaçamento entre as bandas de valência e de condução, esta reação é desencadeada pela incidência de radiação solar, através da ajuda de fótons com carga energética necessária para superar o espaçamento entre bandas (Ahmed e Dincer 2019).

Como seria de esperar, a eficiência do processo está altamente relacionada com os materiais semicondutores e, apesar do potencial desta tecnologia, ainda são necessários alguns aperfeiçoamentos para que esta esteja bem estabelecida e se afirme como uma opção no que diz respeito à produção de hidrogénio verde. (Arunachalam e Al Mayouf 2019).

Na figura 9 é possível ver um esquema de funcionamento de uma célula fotoeletroquímica.

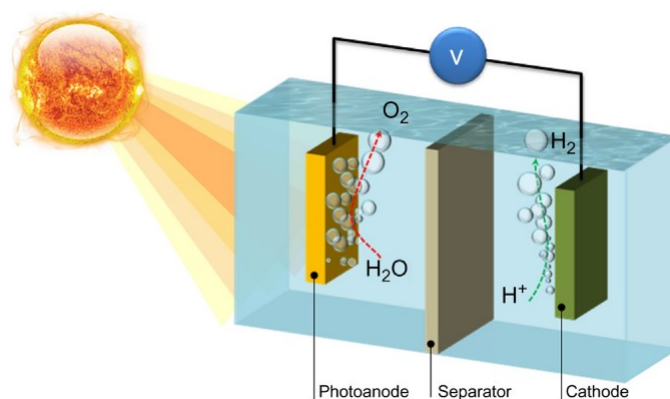


Figura 9 - Célula fotoeletroquímica, (Arunachalam e Al Mayouf 2019).

### 2.2.2 Eletrólise da água

Quando se fala de produção de hidrogénio verde o processo de dissociação de água mais comumente associado é eletrólise da água. A primeira referência a esta tecnologia foi reportada em 1789 por Jan Rudolph Deiman e Adriaan Paets van Troostwijk (Trasatti 1999). Embora alguns avanços tenham sido feitos nos anos seguintes, a aplicação da eletrólise da água em contexto industrial só aconteceu no final do século 19, nessa altura estavam em funcionamento mais de 400 eletrolisadores, do tipo alcalino (Paidar, Fateev, e Bouzek 2016). Dois séculos depois, a eletrólise da água é uma tecnologia bem estabelecida e mundialmente conhecida no que diz respeito à produção de hidrogénio verde, no entanto, apenas 4% do hidrogénio utilizado a nível mundial, 65 milhões de toneladas, é produzido recorrendo ao uso desta tecnologia, o motivo para este baixo número é maioritariamente causado por razões económicas (Yodwong et al. 2020).

Na figura 10 é possível constatar, de forma resumida, os principais os avanços que foram feitos ao longo dos últimos dois seculos.

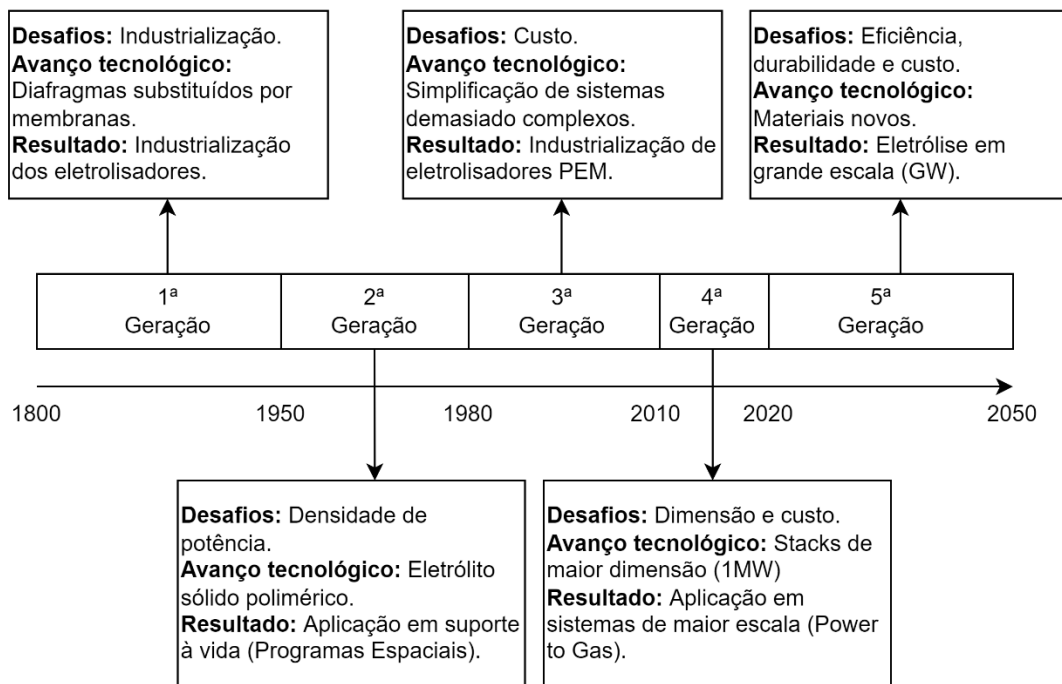


Figura 10 - Desafios e avanços feitos no desenvolvimento de eletrolisadores, (IRENA 2020).

Nestes dois séculos vários desenvolvimentos têm sido feitos no que diz respeito à eletrólise da água, sendo que, durante esses desenvolvimentos 4 tipos de tecnologias diferentes foram introduzidas, essas tecnologias foram definidas com base no seu eletrólito, nas condições de operação e nos seus agentes iónicos, os princípios de funcionamento são os mesmos para todas as tecnologias (Shiva Kumar e Lim 2022).

Os 4 tipos de eletrólise são: Alcalina, com membrana de troca aniónica (AEM), com membrana de troca polimérica (PEM) e óxido sólido (SOEC).

### Eletrólise alcalina

A eletrólise alcalina é uma tecnologia madura e bem estabelecida no que diz respeito à produção industrial de hidrogénio a grande escala. Este tipo de tecnologia foi aquele que foi introduzido, primeiramente, no ano de 1789. O método de eletrólise em questão favorece a produção de hidrogénio para aplicações a grande escala, sendo que o tempo de vida útil ronda as 90000 horas (Schmidt et al. 2017).

Esta técnica consiste num processo eletroquímico de dissociação de água, através do uso de energia elétrica. A divisão é atingida através de duas reações individuais, a reação do hidrogénio (Hydrogen evolution reaction (HER)) que ocorre no cátodo, e a reação do oxigénio (Oxygen evolution reaction (OER)) que ocorre no ânodo.

Na fase inicial do processo, no lado do cátodo duas moles de solução alcalina são reduzidas, através da adição de dois eletrões, para produzir uma mole de hidrogénio ( $H_2$ ) e duas moles de iões de hidroxilo ( $OH^-$ ), o  $H_2$  produzido pode ser capturado diretamente da superfície catódica.

O circuito elétrico existente entre cátodo e ânodo permite a transferência dos iões de hidroxilo, pelo diafragma, para o lado do ânodo. Já no lado do ânodo, os iões de hidroxilo são descarregados libertando eletrões, produzindo uma molécula de  $H_2O$  e meia molécula  $O_2$  como produtos finais. Os eletrões circulam em sentido inverso através do circuito externo existente (Shiva Kumar e Lim 2022).

Na figura 11 é possível constatar uma representação esquemática da eletrólise alcalina.

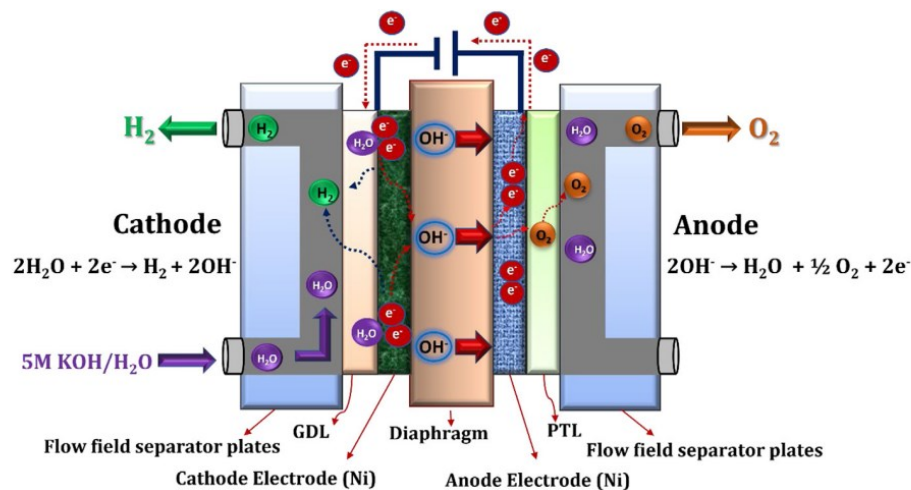


Figura 11 - Representação esquemática da eletrólise alcalina, (Shiva Kumar e Lim 2022).

### Eletrólise com membrana aniónica (AEM)

A tecnologia de eletrólise AEM é semelhante à alcalina. A principal diferença entre ambas reside no facto de haver uma substituição do diafragma convencional, utilizado na eletrólise alcalina, por uma membrana de troca aniónica. Este tipo de eletrólise tem uma vantagem enorme, uma vez que é expectável que permita uma redução significativa no custo de produção do hidrogénio, no entanto, é uma tecnologia que ainda se encontra em desenvolvimento e ainda não pode ser implementada, principalmente na produção a grande escala. (Shiva Kumar e Lim 2022)

Em relação ao princípio de funcionamento desta tecnologia, o mesmo é bastante semelhante ao da eletrólise alcalina sendo que, como foi dito anteriormente, a diferença reside na membrana de separação entre cátodo e ânodo.



Na figura 12, é possível observar uma representação esquemática do funcionamento da tecnologia em questão.

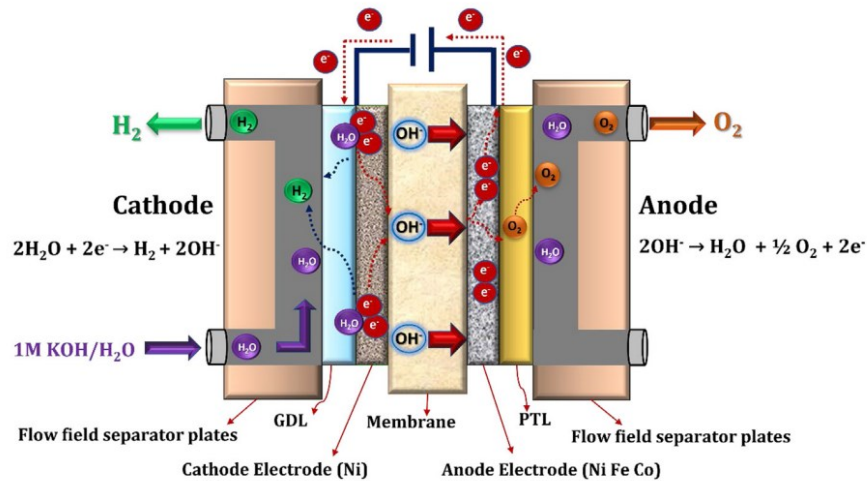


Figura 12 - Representação esquemática da eletrólise AEM, (Shiva Kumar e Lim 2022).

#### Eletrólise com membrana polimérica (PEM)

O primeiro sistema de eletrólise com este tipo de tecnologia surgiu relativamente mais tarde, foi idealizado no início dos anos 50 por Grubb e, posteriormente, desenvolvido pela empresa General Electric no ano de 1966 (Shiva Kumar e Himabindu 2019).

O surgimento desta tecnologia foi impulsionado pela vontade de solucionar algumas das falhas existentes na eletrólise alcalina, o hidrogénio e oxigénio produzidos através desta tecnologia têm uma maior pureza, para além disso, o processo de dissociação é atingido de forma mais rápida e, devido à ausência de eletrólitos cáusticos, a operação é mais segura. Os principais desafios associados a esta tecnologia estão relacionados com o elevado custo dos seus componentes (Shiva Kumar e Lim 2022). Ainda assim, são vários os fabricantes de eletrolisadores a nível mundial, que estão a produzir eletrolisadores PEM para produção de hidrogénio a grande escala (MW).

Inicialmente, no lado do ânodo, a molécula de água é decomposta de forma a gerar oxigénio ( $O_2$ ), prótons ( $H^+$ ) e elétrons ( $e^-$ ), o oxigénio formado é libertado e os prótons passam para o lado catódico através da membrana existente, os elétrons também passam para o lado catódico, mas o mesmo acontece através de um circuito externo. Já no lado catódico os prótons e os elétrons juntam-se produzindo hidrogénio estável.

Na figura 13, é possível observar uma representação esquemática do funcionamento da tecnologia em questão.

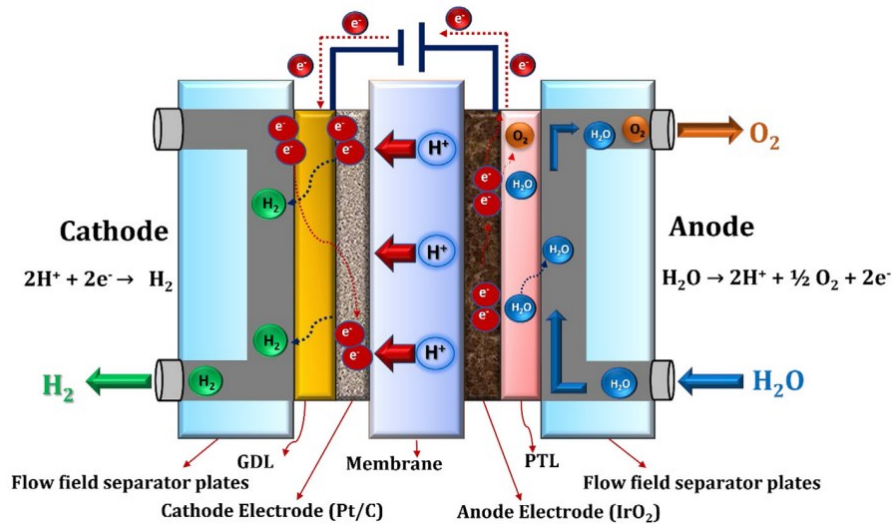


Figura 13 - Representação esquemática da eletrólise PEM, (Shiva Kumar e Lim 2022).

#### Eletrólise de óxido sólido (SOEC)

O desenvolvimento deste tipo de eletrólise teve início no EUA em 1970, os primeiros avanços foram realizados pela General Electric e pelo laboratório nacional de Brookhaven, a empresa Dornier, na Alemanha, também teve um contributo significativo na fase inicial (Buttler e Spliethoff 2018).

Uma diferença significativa entre o modo de operação desta tecnologia em comparação com as analisadas previamente consiste no facto de, normalmente, neste tipo de eletrólise ser utilizada água na forma de vapor a temperaturas elevadas (500 a 800 °C), isto permite que a quantidade de energia consumida na divisão da água seja muito inferior, resultando numa maior eficiência energética (Hauch et al. 2020; Nechache e Hody 2021; Choe et al. 2022).

Esta melhoria na eficiência energética pode resultar numa redução significativa no custo de produção de hidrogénio, uma vez que a energia gasta no processo é o fator que mais contribui para os gastos associados à operação (Shen, Wang, e Tucker 2020). Para além disso, outra vantagem associada este tipo de eletrólise é o facto ser facilmente integrada na produção de metanol, dimetil éter e amoníaco (Khan et al. 2018). Apesar das várias vantagens associadas, a considerável instabilidade a longo prazo, associada a este tipo de tecnologia, tem impedido a sua comercialização (Fang et al. 2017).

Em relação ao princípio de operação, inicialmente, a molécula de água é reduzida a hidrogénio ( $\text{H}_2$ ) e óxido ( $\text{O}_2^-$ ) através da adição de dois eletrões. O hidrogénio é libertado diretamente na superfície catódica e os iões óxido passam para o lado anódico através da membrana de troca, no lado anódico os iões de óxido são reduzidos de forma a produzir oxigénio e eletrões, o oxigénio é libertado na superfície anódica e os eletrões, atraídos pela carga positiva do cátodo, regressam através de um circuito exterior. (Shiva Kumar e Lim 2022).

Na figura 14, é possível observar uma representação esquemática do funcionamento da tecnologia em questão.

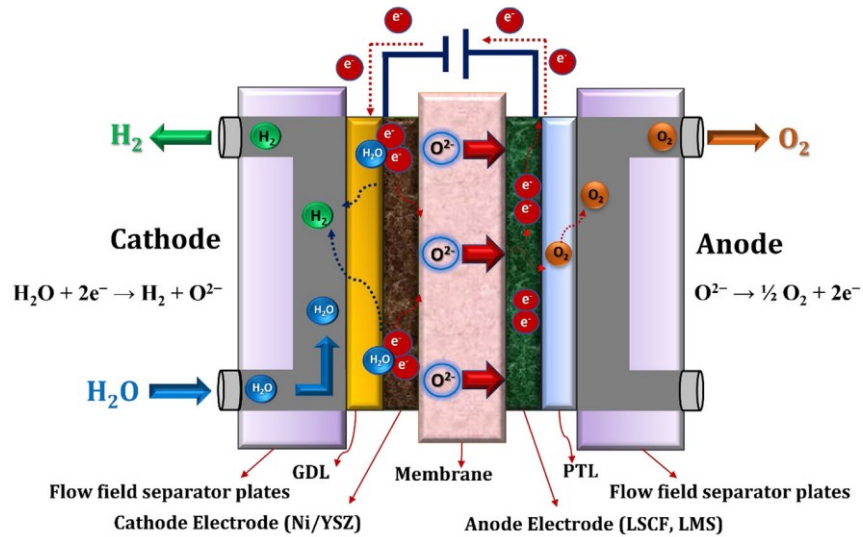


Figura 14 - Representação esquemática da eletrólise *solid oxide*, (Shiva Kumar e Lim 2022).

#### Comparação de tecnologias

Na tabela 5 é possível ver uma comparação das diferentes tecnologias de eletrólise, bem como as principais vantagens e desvantagens de cada uma.

Tabela 5 - Comparação de tecnologias de eletrólise, (Shiva Kumar e Lim 2022).

Tipo de Eletrólise	Vantagens	Desvantagens
<b>Eletrólise Alcalina</b>	Tecnologia bem estabelecida. Disponível para aplicações industriais. Eletrocatalisadores sem metais nobres. Custo relativamente reduzido. Estabilidade a longo termo.	Densidades de corrente limitadas. Mistura de gases. Elevada concentração de eletrólito líquido.
<b>Eletrólise AEM</b>	Eletrocatalisadores sem metais nobres. Baixa concentração de eletrólito líquido.	Estabilidade limitada. Ainda em desenvolvimento.
<b>Eletrólise PEM</b>	Tecnologia disponível comercialmente. Opera em densidades de corrente mais elevadas. Elevado grau de pureza dos produtos. Sistema compacto. Tempos de arranque reduzidos.	Custo dos componentes da célula. Eletrocatalisadores são metais nobres. Eletrólito ácido.
<b>Eletrólise SOEC</b>	Funcionamento com temperaturas elevadas. Eficiência elevada.	Estabilidade limitada. Ainda em desenvolvimento.

## 2.3 Utilização de Hidrogénio

Para perceber o valor do hidrogénio verde enquanto vetor energético é necessário, primeiro, entender a sua utilidade. Segundo (Direção-Geral de Energia e Geologia 2019), é possível perceber que existem 5 grupos para a utilização de hidrogénio verde produzido:

- P2P, Power-to-Power.
- P2G, Power-to-Gas.
- P2M, Power-to-Mobility.
- P2FUEL, Power-to-Synfuel
- P2I, Power-to-Industry.

O termo P2P surge com intuito de permitir uma alternativa ao armazenamento de energia, o funcionamento deste princípio ocorre através de armazenamento de hidrogénio em células de combustível para que, futuramente, o mesmo seja novamente convertido em eletricidade. As células de hidrogénio, para além de serem mais sustentáveis que as opções comumente utilizadas (por exemplo, baterias de lítio), permitem o armazenamento de vastas quantidades de energia, durante longos períodos, sendo por isso uma opção viável para mitigar as diferenças entre picos de produção renovável e picos de consumo elétrico. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2019; Vidas e Castro 2021)

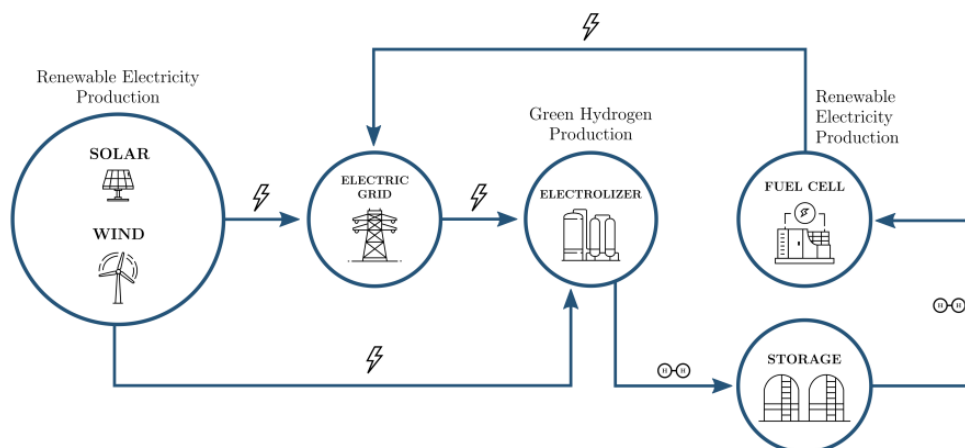


Figura 15 - Esquema genérico P2P, (Vidas e Castro 2021).

O termo P2G pode ser dividido em duas variantes, Power-to-Hydrogen (P2H) em que o hidrogénio é injetado diretamente na rede de gás natural, e em Power-to-Methane (P2Me) em que o hidrogénio é convertido em metano sintético, através de um processo de metanação e, posteriormente, injetado na rede de gás natural. (Vidas e Castro 2021)

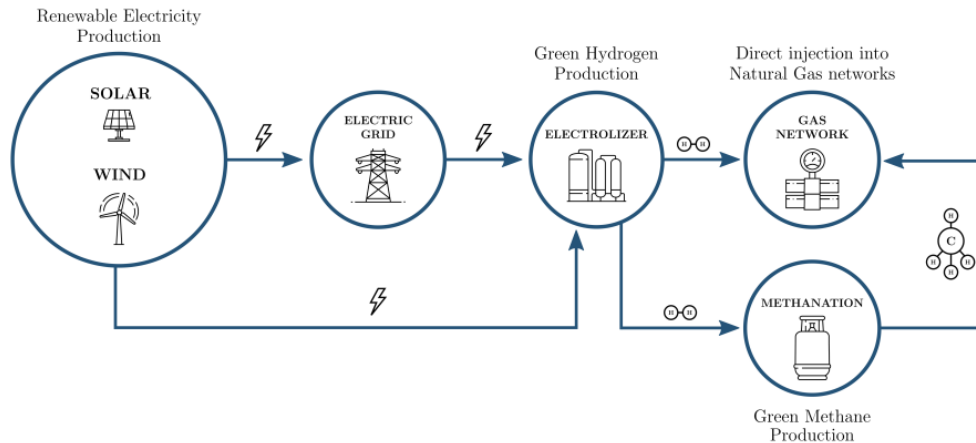


Figura 16 - Esquema genérico P2G, (Vidas e Castro 2021).

O termo P2M diz respeito às soluções de mobilidade e de transporte que minimizem as emissões de gases de efeito de estufa por quilómetro percorrido, em específico, com a aplicação de pilhas de hidrogénio à mobilidade que, como foi visto anteriormente, convertem hidrogénio e oxigénio em eletricidade. Este termo diz também respeito à implementação de uma rede de abastecimento capaz responder às necessidades relacionadas, já existem diferentes projetos em funcionamento para o transporte coletivo e também para o transporte individual. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2019; Vidas e Castro 2021)

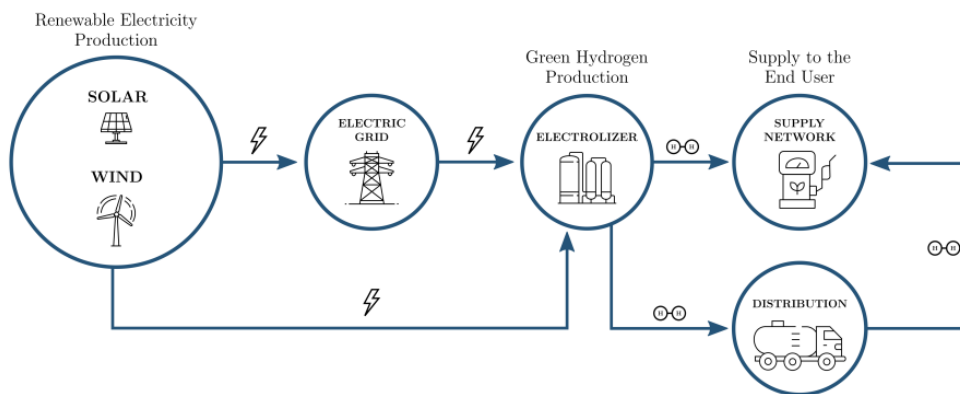


Figura 17 - Esquema genérico P2M, (Vidas e Castro 2021).

O termo P2FUEL surge com o intuito de evitar a utilização de combustíveis fósseis na produção de combustíveis sintéticos, atualmente os mesmos são produzidos através de reforma a vapor, normalmente de metano, e por gasificação de carvão ou biomassa. O objetivo passa pela implementação de energias renováveis na produção de combustíveis sintéticos. (Vidas e Castro 2021)

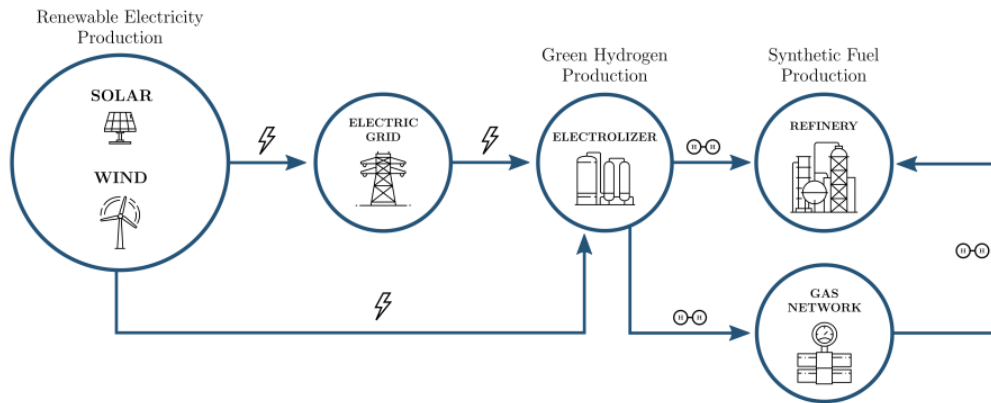


Figura 18 - Esquema genérico P2FUEL, (Vidas e Castro 2021).

O termo P2I está relacionado com a substituição do hidrogénio enquanto matéria-prima na indústria. Atualmente o hidrogénio é utilizado na indústria petrolífera e na produção de diferentes compostos químicos, com especial destaque para o amoníaco. Atualmente cerca de 96% do hidrogénio utilizado é proveniente de fontes poluentes, o objetivo passa por substituir esse hidrogénio por hidrogénio verde, o hidrogénio pode também ser utilizado para substituir o gás natural como fonte de calor. (Vidas e Castro 2021)

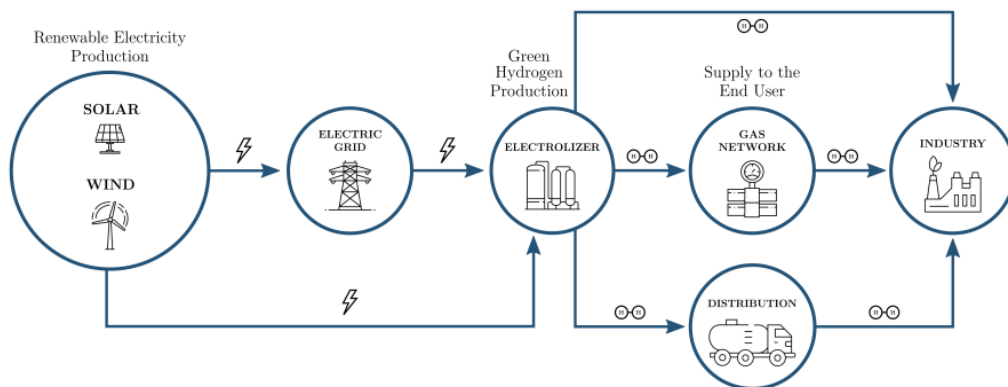


Figura 19 - Esquema genérico P2I, (Vidas e Castro 2021).

## 2.4 Transporte e armazenamento de hidrogénio

Como é possível constatar nos esquemas apresentados, o armazenamento e a distribuição de hidrogénio são dois aspetos fundamentais na utilização do mesmo enquanto vetor energético.

Existem diferentes desafios relativos ao armazenamento e transporte de hidrogénio, entre eles o facto de o mesmo apresentar uma densidade bastante baixa, a temperatura e pressão normais 1 quilo de hidrogénio pode ocupar até 11 metros cúbicos de volume (Andersson e Grönkvist 2019).

Considerando as diferentes opções para armazenamento de hidrogénio, diferentes autores optam por dividir os métodos de armazenamento em categorias. Um dos sistemas de categorização mais utilizado, e disponível em (Hren et al. 2023), divide os métodos de armazenamento em armazenamento físico e armazenamento químico.

Na figura 20 é possível consultar os diferentes tipos de armazenamento bem como as opções de transporte disponíveis para cada um.

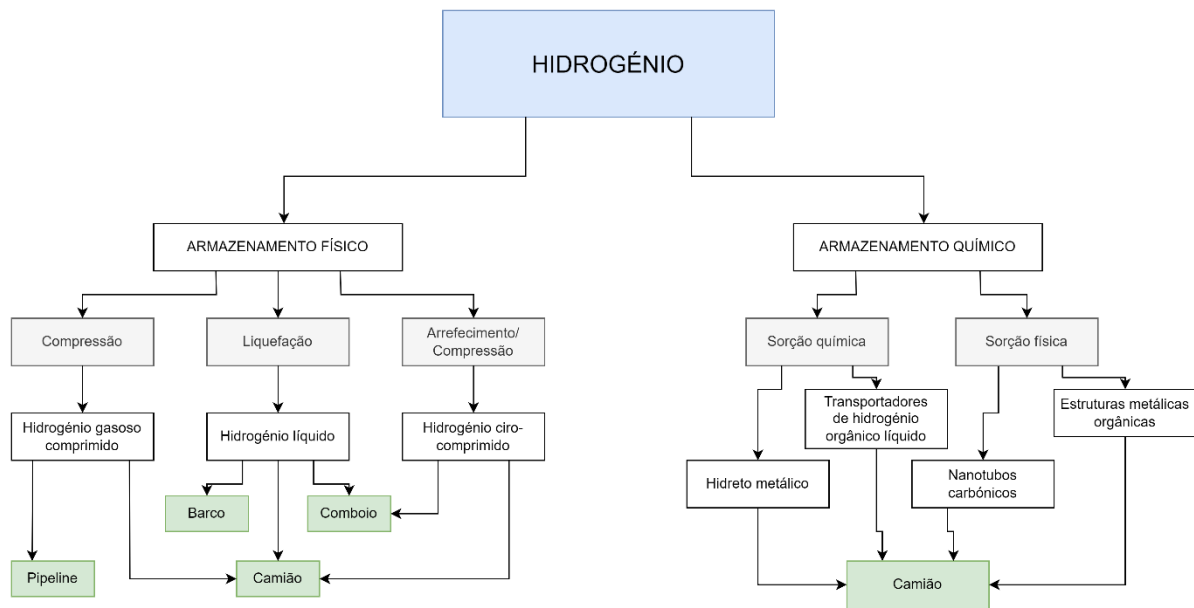


Figura 20 - Armazenamento e transporte de hidrogénio, (Hren et al. 2023).

#### 2.4.1 Armazenamento físico

Falando do armazenamento de hidrogénio, como foi dito anteriormente, existem dois grandes grupos. No armazenamento físico, o hidrogénio pode ser armazenado como um gás comprimido, como um gás ciro-comprimido, ou como um líquido. Estes tipos de armazenamento são os únicos utilizados para armazenamento a grande escala, por esse motivo serão os mais detalhados no presente trabalho (Tietze, Luhr, e Stolten 2016; Barthelemy, Weber, e Barbier 2017).

Num sistema de armazenamento de hidrogénio enquanto gás comprimido existem dois componentes essenciais, o(s) compartimento(s) de armazenamento e um compressor capaz de colocar o hidrogénio à pressão pretendida (Andersson e Grönkvist 2019).

Um tanque de armazenamento de hidrogénio comprimido deve ser constituído por materiais com alta resistência à tração, baixa densidade e que não tenham qualquer tipo de interação com o hidrogénio, atualmente, existem quatro tipos de tanques utilizados que variam consoante material e revestimento, existem tanques totalmente metálicos, para aplicações industriais, metálicos e revestidos com composto de fibra, compósitos de fibra de carbono com um revestimento metálico, ou compósitos com um revestimento polimérico (Züttel 2003; Barthelemy, Weber, e Barbier 2017).

O armazenamento de hidrogénio em tanques pressurizados deve ser efetuado a pressões a rondar os 200 bar (Ogden et al. 2018). A utilização de recipientes metálicos representa um investimento considerável, no entanto, tem como vantagens uma estabilidade de armazenamento elevada, um maior grau de pureza do hidrogénio e é uma opção que pode ser utilizada em qualquer localização (Andersson e Grönkvist 2019).

Para além do armazenamento em tanques pressurizados, o hidrogénio gasoso também pode ser armazenado em condições subterrâneas, das maiores vantagens deste tipo de armazenamento encontra-se no facto do investimento necessário ser significativamente menor (Carpetsis 1988).

Atualmente, vastas quantidades de hidrogénio são armazenadas em condições subterrâneas, nomeadamente em cavernas salinas, o armazenamento em cavernas salinas é alvo de elevado destaque uma vez que é aquele que reúne condições de funcionamento mais favoráveis, no entanto, este armazenamento não é possível em todas as localizações (Kruck et al. 2013)

O hidrogénio gasoso pode ser transportado de forma rodoviária, através de camiões próprios, em tanques pressurizados a cerca de 250 bar. Este meio de transporte é, geralmente, o mais simples em termos de infraestrutura necessária, para além disso, o facto de outros gases serem transportados desta forma pode facilitar a implementação do mesmo a grande escala. As principais limitações deste meio de transporte são relativas ao custo de fabricação e degaste dos tanques, e o facto de a capacidade de armazenamento ser reduzida, resultado da densidade do hidrogénio e das limitações existentes em relação à dimensão dos tanques, de forma a permitir o seu transporte (Moradi e Groth 2019).

Outro meio de transporte possível para o transporte de hidrogénio gasoso passa pela utilização da rede de distribuição de gás natural, apesar da utilização de condutas de gás natural ser vista como uma opção viável e promissora para o transporte de hidrogénio existem algumas questões que podem atrasar a sua implementação, o principal entrave é a fragilidade do aço causada pelo hidrogénio ao longo do tempo, o que torna necessário aumento das medidas de segurança e, por consequência, o aumento de custos de operação. (Fekete, Sowards, e Amaro 2015). Neste tipo de transporte, no local de consumo ou próximo do local de consumo, é necessário dissociar o hidrogénio do gás natural. De acordo com (Topolski et al. 2022), os principais tipos de tecnologia de separação de hidrogénio são: Adsorção por oscilação de pressão (PSA), destilação criogénica, separação por membrana e separação eletroquímica de hidrogénio.

O hidrogénio também pode ser armazenado no estado líquido, a principal vantagem da liquefação do hidrogénio consiste no aumento de densidade o que pode ser útil para reduzir o espaço de armazenamento necessário, mas, principalmente, para facilitar o transporte de hidrogénio (Cardella, Decker, e Klein 2017). O principal desafio à liquefação do hidrogénio acontece devido aos gastos energéticos inerentes ao processo, o facto de o hidrogénio ter um ponto de ebulição bastante baixo ( $-253^{\circ}\text{C}$  à pressão de 1 bar) e o facto de ser necessário um pré-arrefecimento, normalmente por evaporação de azoto líquido, são os principais responsáveis pelos elevados consumos energéticos presentes na liquefação do hidrogénio (Valenti 2016).

Nos dias de hoje, processo de liquefação de hidrogénio apresenta um consumo específico de cerca de 10 kWh/kg, é expectado que esse consumo possa ser reduzido até valores a rondar os 6 kWh/kg, no entanto, mesmo que valores mais baixos possam ser atingidos, os custos de uma instalação de liquefação são bastante elevados (Cardella, Decker, e Klein 2017).

Outra questão relevante em relação ao armazenamento de hidrogénio líquido é a evaporação, a evaporação do mesmo representa uma perda tanto na energia gasta no processo de liquefação, como de hidrogénio em si, uma vez que o gás evaporado deve ser libertado devido ao aumento de pressão no recipiente de armazenamento. Os recipientes de armazenamento de hidrogénio líquido são normalmente constituídos por parede dupla com existência de vácuo entre elas, o mesmo acontece para minimizar transferências de calor do exterior para o interior do tanque, com o intuito de reduzir perdas por evaporação (Klell 2010; Andersson e Grönkvist 2019).

O hidrogénio líquido é comum em armazenamento e transporte a grande escala, o seu transporte pode ser feito de forma rodoviária, ferroviária ou até mesmo através de embarcações intercontinentais, ainda em desenvolvimento. A quantidade energética de hidrogénio que se consegue transportar no estado líquido pode ser até cinco vezes superior, quando comparada com o transporte de hidrogénio comprimido. Apesar deste meio transporte representar consumos energéticos bastante superiores, no transporte de quantidades elevadas em longas distâncias pode ser economicamente viável (US Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy 2017).



O último tipo de armazenamento físico é o armazenamento de hidrogénio ciro-comprimido, este tipo de armazenamento foi referenciado pela primeira vez em (Aceves et al. 2010), neste caso, o hidrogénio é armazenado na forma de gás criogénico supercrítico, combinado as propriedades de compressão e de criogenia. Não ocorre liquefação, sendo que o gás é comprimido a 300 bar, a uma temperatura de  $-233^{\circ}\text{C}$  (Hren et al. 2023).

Este método surge com o intuito de minimizar as perdas por evaporação que ocorrem no armazenamento de hidrogénio líquido, mantendo uma elevada densidade energética, para além disso, este método permite uma capacidade de abastecimento rápida e eficaz, e condições de segurança na sua operação (Stolten, Samsun, e Garland 2016). A pesquisa sobre este método de armazenamento é menos extensa que os abordados previamente, no entanto, os principais desafios da implementação deste método seriam o custo da infraestrutura necessária, e também o volume ocupado pelo hidrogénio, que continua a ser superior ao hidrogénio líquido (Moradi e Groth 2019). Como se pode consultar na figura 20, o transporte do hidrogénio ciro-comprimido pode ser efetuado de forma rodoviária e ferroviária.

#### 2.4.2 Armazenamento químico

O outro grupo de armazenamento considerado é o armazenamento químico, este método foca no armazenamento através de sorção, física ou química, a outros materiais (Hren et al. 2023).

Na sorção química, as moléculas de hidrogénio são divididas em átomos e integradas na estrutura de um determinado material. Os materiais usados mais frequentemente na sorção química são hidretos metálicos, o hidrogénio presente em hidretos metálicos pode ser obtido de duas formas, através de calor (termólise) ou através de água (hidrolise), estes processos são consideravelmente diferentes, a termólise é um processo endotérmico, em algumas circunstâncias é um processo reversível, ocorre no estado sólido e necessita de elevadas temperaturas, a hidrolise é um processo exotérmico e irreversível, ocorre em solução aquosa, e pode ser possível a temperatura ambiente (Klebanoff et al. 2014)

Vários hidretos metálicos foram testados com o intuito de armazenar hidrogénio, no entanto, poucos foram aplicados com sucesso, o hidreto metálico com melhores resultados e mais promissor é borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ) (Demirci 2018).

Para além dos hidretos metálicos, os transportadores de hidrogénio orgânico líquido (LOHCs) são vistos como uma tecnologia promissora na sorção química, neste caso o hidrogénio é absorvido quimicamente por um determinado líquido (por exemplo, metanol) e, posteriormente, libertado através de um processo de desidrogenação, este tipo de armazenamento tem como vantagem o seu fácil manuseamento em condições ambiente e o facto de o líquido transportador não ser consumido podendo ser usado repetidamente, o principal entrave destes tipo de armazenamento é o facto de não permitirem armazenamento de grandes quantidades de hidrogénio, o que pode limitar a sua implementação (Hren et al. 2023).

A sorção física representa o outro tipo de armazenamento químico, neste tipo de armazenamento são utilizados materiais porosos, sendo que as opções mais promissoras passam pela utilização de estruturas orgânicas metálicas e nanotubos carbónicos. As vantagens destes métodos são os baixos consumos energéticos associados, o custo reduzido dos materiais e a segurança no armazenamento e transporte, os principais desafios estão relacionados, mais uma vez, com a baixa densidade do hidrogénio e com o facto de, atualmente, estes métodos não serem eficazes para armazenamentos a grande escala (Hren et al. 2023).

Como consta na figura 20, o método de transporte utilizado nos diferentes tipos de armazenamento químico é o transporte rodoviário através de veículos próprios.

### 3 Modelos de Produção

Com elevado interesse no hidrogénio verde enquanto vetor energético, aliado aos crescentes avanços nas tecnologias existentes em torno do mesmo surge uma dúvida em relação à utilização da eletricidade produzida através de fontes renováveis, em específico, através de painéis fotovoltaicos.

A dúvida consiste em perceber se é mais benéfico vender a eletricidade produzida diretamente à rede, ou utilizar a mesma para produzir hidrogénio, recorrendo a tecnologias de eletrólise e, consequentemente, proceder à comercialização do mesmo. Como foi visto anteriormente, o hidrogénio pode ser aplicado a diferentes contextos, no presente trabalho o hidrogénio produzido será estudado como produto final, não sendo especificada a sua aplicação.

Nesse sentido, pretende-se desenvolver um modelo que, numa primeira fase, estime a produção elétrica de um determinado sistema fotovoltaico e, posteriormente, estime a quantidade de hidrogénio possível de produzir, aplicando a energia elétrica a tecnologias eletrólise.

Em relação ao bloco de produção solar, é expectado que o mesmo seja capaz de analisar dados meteorológicos de diferentes locais e que, considerando variáveis como radiação, tipo de célula fotovoltaica e área do sistema, seja capaz de prever a produção elétrica de diferentes sistemas.

No caso do bloco de produção de hidrogénio, pretende-se que o parâmetro de entrada do mesmo seja a quantidade de eletricidade disponível, em kWh, considerando o conjunto mais abrangente possível de tecnologias de eletrólise e as diferentes condições de operação de cada uma, espera-se obter como parâmetro de saída uma quantidade de hidrogénio produzida.

Atualmente, considerando volatilidade da produção de hidrogénio verde, não é viável atribuir um valor comercial ao mesmo, nesse sentido, no presente trabalho a abordagem irá ser realizada em sentido inverso. Considerando o potencial de produção de hidrogénio de um determinado local, propõem-se efetuar um estudo do investimento a realizar numa central de produção e, em função das condições de financiamento, efetuar uma análise dos valores de comercialização do hidrogénio que permitam que o investimento seja rentável, e que permitam que o retorno da comercialização do hidrogénio seja semelhante ao retorno existente caso a eletricidade produzida fosse vendida à rede. Esta análise pode ser consultada em detalhe no capítulo 5.

Na elaboração do modelo e dos diferentes blocos que o constituem, foi utilizada a linguagem de programação *Python* recorrendo ao editor de código *Visual Studio Code*.

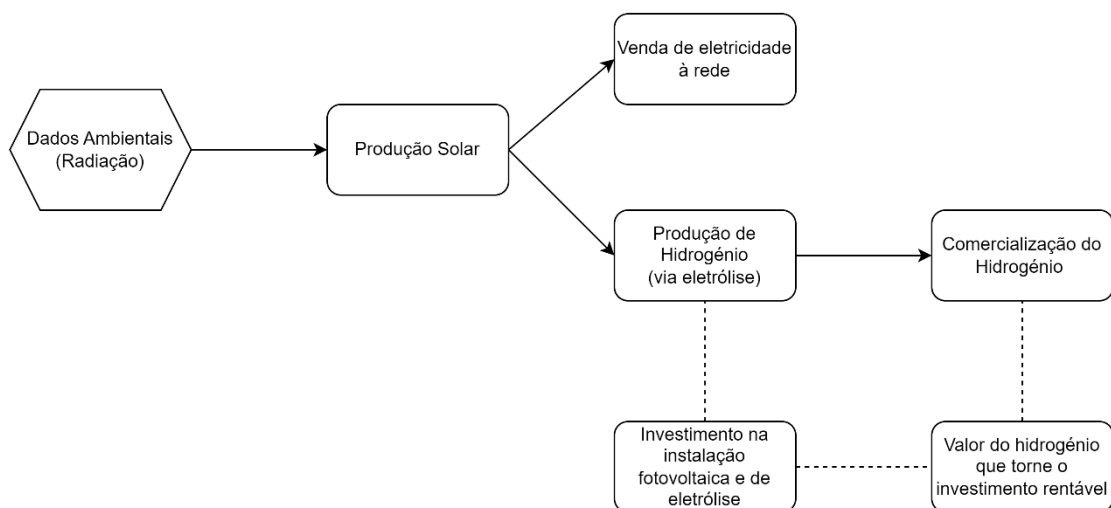


Figura 21 - Esquema resumo do modelo a desenvolver

### 3.1 Modelo de produção fotovoltaica

Como foi referido anteriormente, no presente trabalho será desenvolvido um modelo simplificado capaz de calcular a produção energética de um sistema fotovoltaico, a operação do modelo é baseada na utilização da equação (1), disponível em (Martín-Chivelet 2016).

$$P_{PV} = (\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan \gamma} \times \cos \psi)^{-1} \times \eta \times A \times G \times PR \times (1 - Fs) \quad (1)$$

$$PR = (1 - L_{TEMP}) \times (1 - L_{SOILING}) \times (1 - L_{WIRING}) \times (1 - L_{INVERTER}) \dots \quad (2)$$

$$\sin \gamma = \sin \delta \times \sin \phi + \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \omega \quad (3)$$

$$\sin \psi = (\sin \gamma \times \sin \phi - \sin \delta) / (\cos \gamma \times \cos \phi) \quad (4)$$

Nesta equação, é considerada a localização e a inclinação do módulo, a eficiência, a área do módulo fotovoltaico, e a radiação global no plano horizontal (em W/m<sup>2</sup>), medida em intervalos de uma hora. Para além destes, são ainda considerados dois outros parâmetros, relacionados com perdas de energia, o índice de performance, que considera perdas na totalidade do sistema, e também um coeficiente que considera as perdas por sombreamento.

De forma a permitir uma estimativa o mais próximo possível da realidade é necessário ter especial atenção aos valores considerados para cada um dos parâmetros constituintes da equação (1).

Como é possível consultar na primeira equação, existem três ângulos a ser considerados, a altura solar ( $\gamma$ ), o azimute solar ( $\psi$ ) e a inclinação do painel ( $\beta$ ). A altura solar pode ser calculada através da equação (3), sendo que no seu cálculo são considerados a declinação da terra ( $\delta$ ), a latitude ( $\phi$ ) e o ângulo horário ( $\omega$ ). O azimute solar pode ser calculado através da equação (4), onde são considerados a altura solar ( $\gamma$ ), a latitude ( $\phi$ ) e a declinação da terra ( $\delta$ ). Em relação à inclinação do painel o valor da mesma deve ser aquele que resulta numa maior produção elétrica, na figura 22 é possível consultar um gráfico com valores de inclinação ótimos para diferentes latitudes, o mesmo foi obtido através do *PVSyst*.

Na figura 23 é possível observar uma representação esquemática dos diferentes ângulos considerados na equação (1).

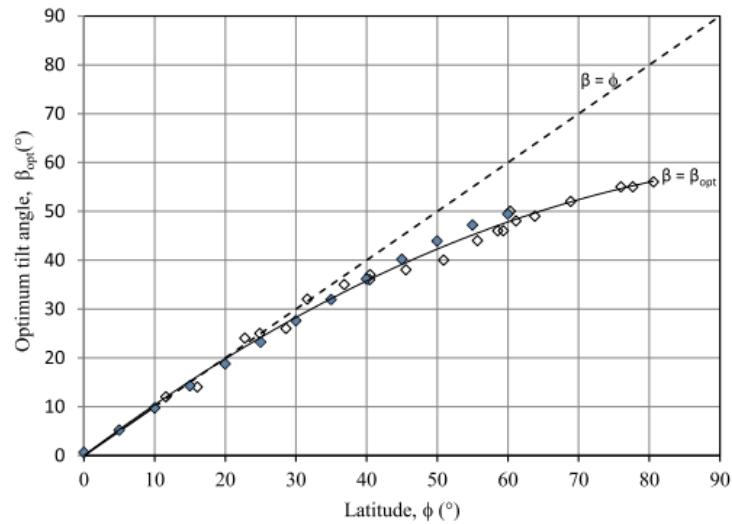


Figura 22 - Ângulo de inclinação ótimo consoante a latitude, (Martín-Chivelet 2016).

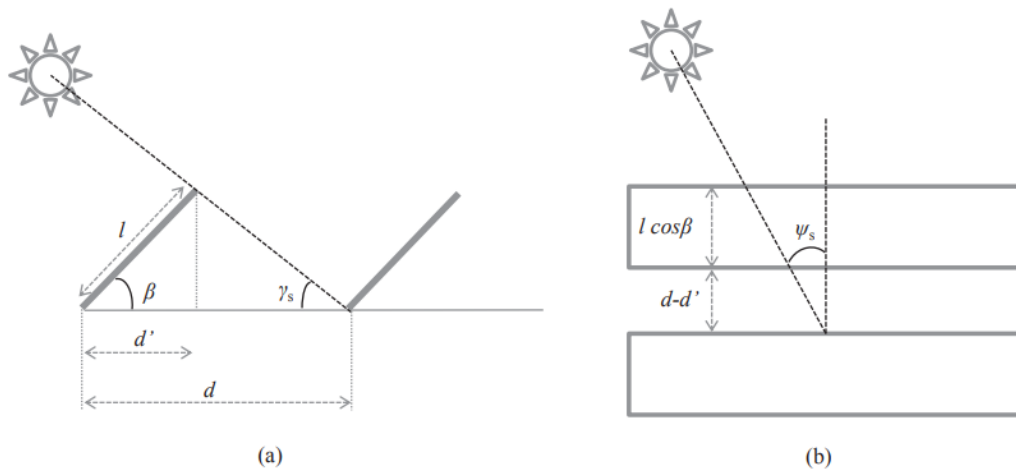


Figura 23 - Representação esquemática dos diferentes ângulos, (Martín-Chivelet 2016).

Como foi descrito no capítulo 1, existem diferentes tipos de células fotovoltaicas e, conseqüentemente, diferentes valores de eficiência para cada uma. Na tabela 6 é possível consultar os intervalos de eficiência para diferentes tipos de modelos fotovoltaicos.

Tabela 6 - Valores de eficiência para diferentes células fotovoltaicos, (Martín-Chivelet 2016).

Tecnologia	η(%)		
	Média min.	Média máx.	Max.
Silício monocristalino (m-Si)	15	17	22,9
Silício policristalino (mc-Si)	14	16	18,5
Sulfato de cádmio (CdTe)	11	13	17,5
Silício amorfo de junção tripla (a-Si)	7	9	
Seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)	11	13	17,5
Silício amorfo, tandem (a-Si/nc-Si)	9	11	12,3

Falando da radiação global no plano horizontal ( $G$ ), descrita na equação (1), o modelo irá utilizar dados de ficheiros TMY, estes ficheiros consistem num conjunto de dados meteorológicos de uma determinada localização geográfica para todas as horas de um ano, os mesmos são elaborados através de uma análise de dados meteorológicos de um vasto conjunto de anos, escolhendo para cada mês o ano que melhor representa o conjunto. Os dados em questão são provenientes do *website* da comissão europeia e são processados através de registos horários presentes na base de dados *PVGIS*.

time(UTC)	T2m	RH	G(h)	Gb(n)	Gd(h)	IR(h)	WS10m	WD10m	SP
20200101:0000	5.62	90.38	0	0	0	280.55	1.94	95	101712
20200101:0100	5.23	92.36	0	0	0	283.01	1.93	96	101662
20200101:0200	4.85	94.33	0	0	0	285.48	1.91	101	101623
20200101:0300	4.46	96.31	0	0	0	287.95	1.9	104	101643
20200101:0400	4.07	98.29	0	0	0	290.42	1.88	105	101643
20200101:0500	3.69	100	0	0	0	292.88	1.87	106	101643
20200101:0600	3.3	100	0	0	0	295.35	1.86	107	101643
20200101:0700	2.91	100	0	0	0	297.82	1.84	106	101682
20200101:0800	4.58	90.95	0	0	0	312.6	2.21	111	101702
20200101:0900	5.01	89.45	131	410.93	61	280.4	2.21	112	101682
20200101:1000	6.96	84.45	282	707.47	72	270.4	1.86	112	101780
20200101:1100	9.59	72.35	381	746.99	93	263	1.45	121	101810
20200101:1200	11.35	63.55	433	775.93	99	260.4	0.83	144	101741
20200101:1300	12.36	61.9	438	819.16	87	264.2	0.55	196	101672
20200101:1400	12.97	62.15	373	739.9	92	266.6	0.62	225	101613
20200101:1500	13.2	62.55	265	653.57	77	269.4	0.55	251	101593
20200101:1600	12.98	65.5	125	486.16	48	269	0.62	299	101583
20200101:1700	11.91	76.55	0	0	0	267.4	0.97	324	101583
20200101:1800	11.15	77.9	0	0	0	264	0.62	15	101593
20200101:1900	9.41	88.6	0	0	0	255.8	0	356	101583
20200101:2000	8.8	93.35	0	0	0	254.2	0.55	115	101583
20200101:2100	6.97	97.35	0	0	0	254	1.38	111	101574
20200101:2200	4.12	99.75	0	0	0	260.2	1.93	114	101633
20200101:2300	3.75	98.55	0	0	0	256.4	2.14	116	101613

Figura 24 - Excerto de ficheiro TMY, (European Commission s.d.).

Em relação à altura e azimute solar, considerados em (1), os mesmos podem ser calculados através das equações apresentados previamente, no entanto, no presente trabalho os valores utilizados serão obtidos através da ferramenta de design solar disponível no website *SunEarthTools.com* (SunEarthTools s.d.). Na figura 25 é possível encontrar um excerto do tipo de ficheiro utilizado, no mesmo é possível perceber a variação da posição do sol ao longo do ano.

coo: 41.5621603 -8.5060718	E 00:00:00	A 00:00:00	E 08:00:00	A 08:00:00	E 09:00:00	A 09:00:00	E 12:00:00	A 12:00:00	E 14:00:00	A 14:00:00	E 15:00:00	A 15:00:00	E 23:00:00	A 23:00:00
01/01/2023	--	--	--	--	8.16	130.91	24.86	170.49	22.68	200.57	17.51	214.2	--	--
02/01/2023	--	--	--	--	8.17	130.77	24.93	170.36	22.79	200.48	17.64	214.14	--	--
03/01/2023	--	--	--	--	8.17	130.63	25.01	170.23	22.91	200.4	17.77	214.09	--	--
04/01/2023	--	--	--	--	8.19	130.48	25.09	170.1	23.04	200.32	17.91	214.04	--	--
05/01/2023	--	--	--	--	8.21	130.33	25.19	169.97	23.18	200.25	18.06	213.99	--	--
06/01/2023	--	--	--	--	8.24	130.18	25.29	169.84	23.32	200.18	18.21	213.95	--	--
07/01/2023	--	--	--	--	8.27	130.02	25.4	169.71	23.47	200.11	18.36	213.92	--	--
08/01/2023	--	--	--	--	8.31	129.86	25.51	169.58	23.62	200.04	18.53	213.89	--	--
09/01/2023	--	--	--	--	8.36	129.7	25.63	169.45	23.78	199.99	18.7	213.86	--	--
10/01/2023	--	--	--	--	8.41	129.53	25.76	169.32	23.95	199.93	18.87	213.84	--	--
11/01/2023	--	--	-0.81	118.97	8.47	129.36	25.9	169.19	24.12	199.88	19.05	213.83	--	--
12/01/2023	--	--	-0.77	118.79	8.54	129.19	26.05	169.07	24.3	199.83	19.23	213.82	--	--
13/01/2023	--	--	-0.71	118.61	8.61	129.02	26.2	168.94	24.48	199.79	19.42	213.82	--	--
14/01/2023	--	--	-0.65	118.43	8.7	128.84	26.36	168.81	24.68	199.75	19.62	213.82	--	--
15/01/2023	--	--	-0.58	118.24	8.78	128.66	26.52	168.69	24.87	199.72	19.82	213.83	--	--
16/01/2023	--	--	-0.51	118.05	8.88	128.48	26.69	168.57	25.07	199.69	20.02	213.84	--	--

Figura 25 - Excerto do ficheiro com altura e azimute solar ( $E = \gamma$  ;  $A = \psi$ ), (SunEarthTools s.d.).

Em relação aos parâmetros utilizados para perdas, falando do índice de performance são vários os fatores que podem afetar a produção de um sistema fotovoltaico, o sobreaquecimento é responsável pelas maiores perdas, estima-se que uma célula solar reduza 0,5% da sua produção

por cada grau de temperatura acima da temperatura padrão (25°C), para além disso estima-se que perdas por poeira rondem os 2%, podendo em alguns casos, em sistemas próximos de zonas industriais, atingir os 7%, os inversores de corrente mais usados têm perdas a rondar os 3% e os cabos elétricos acrescentam facilmente perdas na ordem dos 2%, por questões de simplificação do modelo, aquando da implementação do modelo, irá ser atribuído um valor de 80% ao índice de performance. (Navitas Solar 2022)

O último termo da equação utilizada para estimar a produção solar é o fator de sombreamento, este fator é afetado por diversos fatores como a orientação e inclinação do painel, a localização, a hora do dia e também os obstáculos presentes das redondezas do sistema, por esse motivo e considerando contexto do problema irá ser utilizado um valor fixo para este parâmetro.

### 3.2 Modelo produção de hidrogénio

Uma etapa fundamental do presente trabalho consiste em perceber o potencial de uma instalação fotovoltaica na produção de hidrogénio, ou seja, é importante determinar a quantidade de hidrogénio produzida num cenário em que a energia elétrica fotovoltaica, parcial ou integralmente, é aplicada à produção de hidrogénio por tecnologias de eletrólise.

De forma semelhante ao que acontece na elaboração do modelo para estimativa de produção fotovoltaica, existem diferentes parâmetros que devem ser considerados na modelação de um eletrolisador: a tecnologia do eletrolisador, a potência, o consumo energético, a eficiência, os caudais volumétricos de operação, a tensão da célula, os tempos de arranque, a vida útil e a dimensão do sistema, podem ser vistos como alguns dos parâmetros chave que devem ser considerados na escolha de um eletrolisador (Bosio 2021).

Como foi apresentado no capítulo 2 existem diferentes tecnologias de eletrólise, atualmente a eletrólise alcalina e a eletrólise do tipo PEM são aquelas que são alvo de maior estudo, mais comercializadas e para as quais existe mais informação disponível, por esse motivo, o modelo em questão irá considerar exclusivamente essas duas tecnologias.

Assim sendo, para o mesmo sistema fotovoltaico o modelo de produção de hidrogénio desenvolvido permite estimar dois cenários, a produção de hidrogénio através de sistemas de eletrólise alcalinos e a produção de hidrogénio através de eletrolisadores PEM. Nos próximos capítulos, aquando da implementação dos modelos, serão expostas as diferenças quer na produção quer nos custos inerentes às duas tecnologias de eletrólise consideradas.

Existem diferentes abordagens no que diz respeito à modelação de um eletrolisador, no presente trabalho, e tendo por base o trabalho disponível em (Bosio 2021), a abordagem escolhida passou por analisar as fichas técnicas de um conjunto de eletrolisadores, alcalinos e do tipo PEM, de forma a desenvolver uma base de dados com as condições de operação de cada um deles.

Aquando da implementação de um eletrolisador existem diferentes parâmetros a ser considerados, a quantidade de energia elétrica disponível, a quantidade de hidrogénio que se pretende produzir, e o custo de produção associado podem ser vistos como os parâmetros mais importantes a considerar.

Nas diferentes fichas técnicas disponíveis, apresentadas no Anexo A e no Anexo B, é possível perceber qual a potência nominal dos diferentes eletrolisadores, o caudal volumétrico nominal e o caudal volumétrico mínimo de produção de hidrogénio, e o consumo específico de energia elétrica associado a cada um deles. Assumindo que, para cada eletrolisador, o consumo de energia elétrica varia linearmente dentro dos intervalos de caudais volumétricos, é possível estabelecer um intervalo de funcionamento, isto é, para cada eletrolisador existe uma potência mínima que permite o funcionamento do mesmo e uma potência máxima (potência nominal) a partir do qual a energia elétrica excedente a este limite está a ser desperdiçada.

De forma a permitir um maior entendimento do funcionamento dos eletrolisadores analisados no presente estudo, foram elaboradas um conjunto de tabelas onde constam dados de cada um dos diferentes modelos estudados, os dados em questão serão aplicados ao modelo a desenvolver em *Python*, de forma a permitir o cálculo de produção de hidrogénio verde, em função da energia fotovoltaica disponível.

Como seria expectável, existem diferenças pontuais nas fichas técnicas facultadas pelos diferentes fabricantes, sendo que, alguns dos valores apresentados nas tabelas desenvolvidas foram estimados, ou arbitrados, através de dados complementares que constam nas fichas técnicas, ou através de comparação com modelos semelhantes, os dados estimados são aqueles que se encontram assinalados com um (\*).

O modelo desenvolvido será capaz de estimar o caudal de produção de hidrogénio, em quilogramas por hora, em condições de pressão e temperatura normais.

O modelo matemático utilizado na modelação dos eletrolisadores pode ser descrito pelas equações apresentadas de seguida.

$$\text{If } P_{PV} < P_{MÍN} : \dot{m}_{H_2} = 0 \quad (5)$$

$$\text{If } P_{MÍN} < P_{PV} < P_{NOM} : \dot{m}_{H_2} = \frac{P_{PV}}{C_{ESP}} \quad (6)$$

$$\text{If } P_{PV} > P_{NOM} : \dot{m}_{H_2} = \frac{P_{NOM}}{C_{ESP}} \quad (7)$$

### 3.2.1 Eletrolisador alcalino

Tal com apresentado no capítulo 2, na eletrólise alcalina a dissociação da molécula de água é possível através do uso de energia elétrica. Esta separação ocorre através de duas reações individuais, a reação do hidrogénio no cátodo e a reação do oxigénio no ânodo.

Com o intuito de perceber qual o potencial de produção de hidrogénio, em função da energia elétrica disponível, foram estudadas as fichas técnicas e as respetivas condições de operação de um conjunto de 26 eletrolisadores alcalinos disponíveis no mercado, produzidas por um conjunto total de 5 fabricantes.

Para os eletrolisadores alcalinos os fabricantes estudados foram a *ThyssenKrupp* (Alemã), a *Nel* (Norueguesa), a *Cummins* (Americana), a *Green Hydrogen Systems* (Dinamarquesa) e a *McPhy* (Francesa).

Tendo em conta o contexto de produção, bem com a eletricidade disponível, existem eletrolisadores que operam em diferentes caudais de produção de hidrogénio, alguns fabricantes, como a *Cummins*, focam-se em produzir eletrolisadores de dimensões inferiores, que tenham caudais de produção mais baixos, alguns fabricantes, como a *ThyssenKrupp*, focam-se em produzir eletrolisadores de maiores dimensões, que tenham caudais de produção mais altos, outros fabricantes, como a *McPhy* e a *Nel*, produzem eletrolisadores com intervalo mais amplo de produção.

A gama de eletrolisadores apresentados pela *McPhy* apresenta um total de 9 eletrolisadores, o eletrolisador com caudal volumétrico de produção mais baixo apresenta uma potência nominal de 3kW, sendo que, de todos os eletrolisadores apresentados no presente trabalho, é aquele que permite a produção de hidrogénio com menor quantidade de energia elétrica.

O consumo específico do modelo *McLyzer 20-30* não estava disponível nos catálogos, por esse motivo, tendo em conta a potência e o caudal nominal, foi estimado o valor de 55,6 kWh/kg. Em relação ao caudal mínimo, o mesmo também não é facultado, sendo arbitrado que o mesmo seja 20% do caudal nominal.

Tabela 7 - Eletrolisadores Alcalinos McPhy

<b>Fabricante</b>	<b>McPhy</b>								
<b>Modelo</b>	Baby	P	M	H	McLyzer 20-30	McLyzer 200-30	McLyzer 400-30	McLyzer 800-30	McLyzer 3200-30
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	100-100	63-100	55-100	30-100	20-100*	20-100	20-100	20-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0,04	0,09	0,22	0,27	0,36	3,6	7,2	14,4	28,8
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	0,04	0,14	0,4	0,9	1,8	18	36	72	288
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	75	64,3	65	66,7	55,6*	55,63	56,74	56,74	56,74
<b>Potência Mínima (kW)</b>	3	6	14	18	20,02	200,27	408,53	817,06	1634,11
<b>Potência Nominal (kW)</b>	3	9	26	60	100	1001,34	2042,64	4085,28	16341,12

(\*) - Valor estimado

Em relação aos eletrolisadores apresentados pela *Cummins*, estes apresentam gamas de produções relativamente baixas, quando comparadas com outros fabricantes. Para os diferentes eletrolisadores o consumo específico de energia varia entre os 55 e os 60 kWh/kg, por questões de simplificação, foi assumido um valor fixo de 57,5 kWh/kg. O caudal mínimo de três modelos não está disponível, por isso, foram arbitrados valores em conformidade com os outros modelos.



Tabela 8 - Eletrolisadores Alcalinos Cummins

<b>Fabricante</b>	<b>Cummins</b>					
<b>Modelo</b>	HySTAT 10-10	HySTAT 15-10	HySTAT 30-10	HySTAT 60-10	HySTAT 70-10	HySTAT 100-10
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	40-100*	40-100	10-100*	10-100	5-100*	5-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0,36	0,54	0,27	0,54	0,32	0,45
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	0,9	1,35	2,7	5,4	6,3	9
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	57,5*	57,5*	57,5*	57,5*	57,5*	57,5*
<b>Potência Mínima (kW)</b>	20,7	31,05	15,53	31,05	18,11	25,88
<b>Potência Nominal (kW)</b>	50	75	150	300	350	500

(\*) – Valor estimado

O fabricante *Green Hydrogen Systems* apresenta 2 eletrolisadores alcalinos, na ficha técnica disponível on-line, não consta o caudal mínimo para o funcionamento dos eletrolisadores em questão, por esse motivo, e considerando eletrolisadores com caudais de operação semelhantes, foi assumindo o caudal mínimo de ambos os eletrolisadores como 20% do caudal nominal dos mesmos.

Tabela 9 - Eletrolisadores Alcalinos Green Hydrogen Systems

<b>Fabricante</b>	<b>Green Hydrogen Systems</b>	
<b>Modelo</b>	A90	A180
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	20-100*	20-100*
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	1,62	3,24
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	8,1	16,2
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	57	57
<b>Potência Mínima (kW)</b>	92,34	184,68
<b>Potência Nominal (kW)</b>	450	900

(\*) – Valor estimado

Em relação aos eletrolisadores alcalinos da *Nel*, na ficha técnica não é divulgado o consumo específico do sistema, mas apenas o consumo do eletrolisador. Considerando o mesmo, considerou-se o consumo específico do sistema como 58 kWh.

Tabela 10 - Eletrolisadores Alcalinos Nel

<b>Fabricante</b>	<b>Nel</b>						
<b>Modelo</b>	A150	A300	A485	A1000	A2000	A4000	A4000
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	15-100	15-100	15-100	15-100	8-100	4-100	1-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	2,03	4,05	6,53	13,05	13,05	13,09	17,44
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	13,5	27	43,5	87	174	349	1744
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	58*	58*	58*	58*	58*	58*	58*
<b>Potência Mínima (kW)</b>	117,45	234,9	378,45	756,9	756,9	759,08	30415,36
<b>Potência Nominal (kW)</b>	783	1570	2525	5046	10092	20242	101152

(\*) – Valor estimado

O último fabricante presente no estudo é a *Thyssenkrupp*, o fabricante em questão apresenta 2 eletrolisadores que permitem uma produção de hidrogénio relativamente elevada.

Tabela 11 - Eletrolisadores Alcalinos Thyssenkrupp

<b>Fabricante</b>	<b>Thyssenkrupp</b>	
<b>Modelo</b>	10 MW Module	20 MW Module
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	10-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	17,98	35,95
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	179,8	359,5
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	58	58
<b>Potência Mínima (kW)</b>	1042,84	2085,1
<b>Potência Nominal (kW)</b>	10000	20000

### 3.2.2 Eletrolisador PEM

Em eletrolisadores do tipo PEM o funcionamento é ligeiramente diferente, de forma contrária ao que acontece em eletrolisadores alcalinos, a água entra pelo lado anódico, os átomos de hidrogénio são transportados pela membrana e, de forma semelhante aos eletrolisadores alcalinos, o hidrogénio é libertado na superfície catódica.

De forma semelhante ao efetuado o estudo de eletrolisadores alcalinos, no estudo de eletrolisadores do tipo PEM foram analisados 37 eletrolisadores de um conjunto de 5 fabricantes.

Para os eletrolisadores do tipo PEM os fabricantes estudados foram a *H-Tec Systems* (Alemã), a *Nel* (Norueguesa), a *Cummins* (Americana), a *H2B2* (Espanhola) e a *Siemens* (Alemã). O facto de alguns fabricantes, no caso a *Nel* e a *Cummins*, serem analisadas em ambos os tipos de eletrólise, permite ter uma maior perceção nas diferenças entre condições de operação. A ficha técnica dos eletrolisadores considerados está disponível no Anexo B.

O fabricante que apresenta um conjunto mais amplo de eletrolisadores e, conseqüentemente, um intervalo mais abrangente de caudais de produção é a *Nel*, existem diferentes gamas de eletrolisadores disponíveis, de forma a permitir a produção de hidrogénio numa maior variedade de contextos.

Tabela 12 - Eletrolisadores PEM Nel (1/2)

<b>Fabricante</b>	<b>Nel</b>								
<b>Modelo</b>	S10	S20	S40	H2	H4	H6	C10	C20	C30
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	0,02	0,05	0,09	0,1	0,36	0,54	0,9	1,8	2,7
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	67,9	67,9	67,9	81,2	77,9	75,7	69	66,8	64,5
<b>Potência Mínima (kW)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Potência Nominal (kW)</b>	1,63	3,19	6,38	14,62	28,04	40,88	62,1	120,2 4	174,5

Para os eletrolisadores disponíveis na tabela 13 não era conhecido o consumo específico, assim sendo, foi arbitrado o valor de 55 kWh/kg.

Tabela 13 - Eletrolisadores PEM Nel (2/2)

<b>Fabricante</b>	<b>Nel</b>					
<b>Modelo</b>	MC250	MC500	MC2000	MC3000	MC4000	MC5000
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	2,21	4,42	17,69	26,53	35,38	44,22
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	22,1	44,2	176,9	265,32	353,77	442,21
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	55*	55*	55*	55*	55*	55*
<b>Potência Mínima (kW)</b>	121,55	243,1	972,95	1459,26	1945,74	2432,16
<b>Potência Nominal (kW)</b>	1215,5	2431	9729,5	14592,6	19457,35	24321,55

(\*) – Valor estimado

O fabricante *H2B2* apresenta um conjunto de 12 eletrolisadores com um caudal nominal que se inicia em 0,0045 kg/h e se estende até, aproximadamente, 72 kg/h.

Tabela 14 - Eletrolisadores PEM H2B2 (1/2)

<b>Fabricante</b>	<b>H2B2</b>					
<b>Modelo</b>	EL 0,5	EL 1	EL 2	EL 10	EL 20	EL 30
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0,0045	0,009	0,018	0,09	0,18	0,285
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	0,0450	0,09	0,18	0,9	1,8	2,85
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	72,3	70,1	66,8	59	57,9	57,9
<b>Potência Mínima (kW)</b>	0,33	0,63	1,2	5,31	10,42	16,5
<b>Potência Nominal (kW)</b>	3,2	6,3	12	53,2	106,6	164,8

Tabela 15 - Eletrolisadores PEM H2B2 (2/2)

<b>Fabricante</b>	<b>H2B2</b>					
<b>Modelo</b>	EL 60	EL 100	EL 200	EL 400	EL 600	EL 800
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0,57	0,9	1,8	3,6	5,4	7,2
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	5,7	9	18	36	54	72
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	57,9	56,7	56,7	56,7	56,7	56,7
<b>Potência Mínima (kW)</b>	33	51,03	102,6	204,12	306,18	408,24
<b>Potência Nominal (kW)</b>	329,2	515	1030	2060	3100	4130

A *H-Tec Systems* apresenta um conjunto de 3 eletrolisadores com potências nominais de, respectivamente, 1MW, 2MW e 10 MW.

Tabela 16 - Eletrolisadores PEM H-Tec Systems

<b>Fabricante</b>	<b>H-Tec Systems</b>		
<b>Modelo</b>	ME450	2MW	10MW
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	20-100	10-100	10-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	3,75	3,75	19,17
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	18,75	37,5	191,7
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	53	53	51
<b>Potência Mínima (kW)</b>	198,75	198,75	977,67
<b>Potência Nominal (kW)</b>	1000	2000	10000

Tal como nos eletrolisadores alcalinos, a *Cummins* apresenta um total de 6 eletrolisadores distintos. É importante realçar que o consumo específico dos eletrolisadores do tipo PEM é ligeiramente menor, no entanto, os caudais volumétricos de produção são significativamente superiores.

O caudal mínimo dos três eletrolisadores de menor potência não é especificado, por esse motivo, foi arbitrado que o mesmo será 5% do caudal nominal.

Tabela 17 - Eletrolisadores PEM Cummins

<b>Fabricante</b>	<b>Cummins</b>					
<b>Modelo</b>	HyLYZER 200-30	HyLYZER 250-30	HyLYZER 400-30	HyLYZER 500-30	HyLYZER 1000-30	HyLYZER 4000-30
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	5-100*	5-100*	5-100*	5-100	5-125	5-125
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	0,9	1,13	1,8	2,25	4,5	18
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	18	22,5	36	45	90	360
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	55	55	54	54	51	51
<b>Potência Mínima (kW)</b>	49,5	61,88	97,2	121,5	229,5	918
<b>Potência Nominal (kW)</b>	1000	1250	2000	2500	5000	20000

(\*) – Valor estimado

O último fabricante estudado foi a *Siemens*, atualmente a Siemens apresenta apenas um eletrolisador com um caudal nominal de 335 kg/h, apropriada para produções de hidrogénio a grande escala. Neste caso, o consumo específico foi estimado em função da potência e do caudal volumétrico nominal.

Tabela 18 - Eletrolisadores PEM Siemens

<b>Fabricante</b>	<b>Siemens</b>
<b>Modelo</b>	Silyzer 300
<b>Percentagem de Carga (%)</b>	20-100
<b>Caudal Mínimo (kg/h)</b>	67
<b>Caudal Nominal (kg/h)</b>	335
<b>Consumo Específico (kWh/kg)</b>	52,2*
<b>Potência Mínima (kW)</b>	3497,4
<b>Potência Nominal (kW)</b>	17500

(\*) – Valor estimado

## 4 Implementação dos Modelos

No presente capítulo é apresentada a implementação do modelo de previsão fotovoltaica e do modelo de previsão de hidrogénio, descritos no capítulo anterior.

O objetivo passa fazer uma simulação de um sistema solar, implementado num determinado local, e analisar a produção de energia elétrica do mesmo. Após implementado o sistema fotovoltaico, serão testados os diferentes eletrolisadores disponíveis de forma a perceber qual a produção de hidrogénio expectável, num cenário em que a totalidade da energia elétrica é fornecida ao eletrolisador. Em cada um dos diferentes casos de estudo abordados no presente capítulo, serão indicados os 3 eletrolisadores alcalinos e os 3 eletrolisadores PEM com mais potencial a serem implementados.

Posteriormente, no capítulo da análise económica, será feito um estudo sobre a rentabilidade económica de cada eletrolisador, de forma a perceber qual dos 3 é o eletrolisador mais indicado para cada local.

Nesse sentido, no presente capítulo serão analisados três casos de estudo diferentes.

De forma a perceber a influência da radiação solar, serão analisados dois casos de estudo com sistemas fotovoltaicos idênticos, mas localizados em zonas distintas do país, nestes dois casos assume-se que o hidrogénio produzido é consumido/comercializado localmente e, por esse motivo, não são consideradas perdas associadas ao transporte e armazenamento do hidrogénio.

No terceiro, com o intuito de perceber a influência das perdas por armazenamento e dos custos associados ao transporte, será considerado um único sistema fotovoltaico, aplicado a dois cenários diferentes, 3.1 e 3.2, no segundo cenário, 3.2, considera-se que o hidrogénio tem de ser transportado e que existem perdas associadas a esse transporte, no outro, 3.1, os mesmos serão descartados.

Apesar de o transporte via pipeline ser bastante promissor, neste momento ainda não é uma realidade em Portugal e só é viável para o transporte de grandes quantidades de hidrogénio, por esse motivo, no caso de estudo 3.2 será implementado, exclusivamente, o transporte via rodoviário.

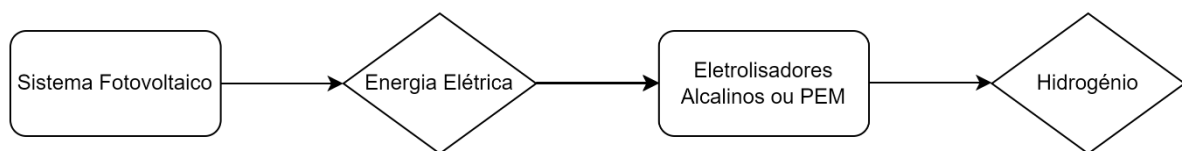


Figura 26 - Modelo de produção fotovoltaica e de produção de hidrogénio.

## 4.1 Caso de Estudo 1

Para definir a configuração do sistema fotovoltaico são necessários alguns parâmetros iniciais, como a localização do sistema, a área e o tipo de célula fotovoltaica utilizada. Os parâmetros do primeiro caso de estudo são os seguintes:

- Localização do Sistema: 39°40'15.6"N 7°32'49.2"W (Castelo Branco).
- Área dos painéis: 1000 m<sup>2</sup>.
- Célula fotovoltaica: Silício Monocristalino.
- Potência da Instalação: ±170 kW.
- Transporte e Armazenamento não são considerados.

De acordo com o modelo implementado, um sistema fotovoltaico com as características referidas tem uma produção anual expectável de, aproximadamente, 240380 kWh.

Na figura 27 é possível constatar a variação anual de produção fotovoltaica.

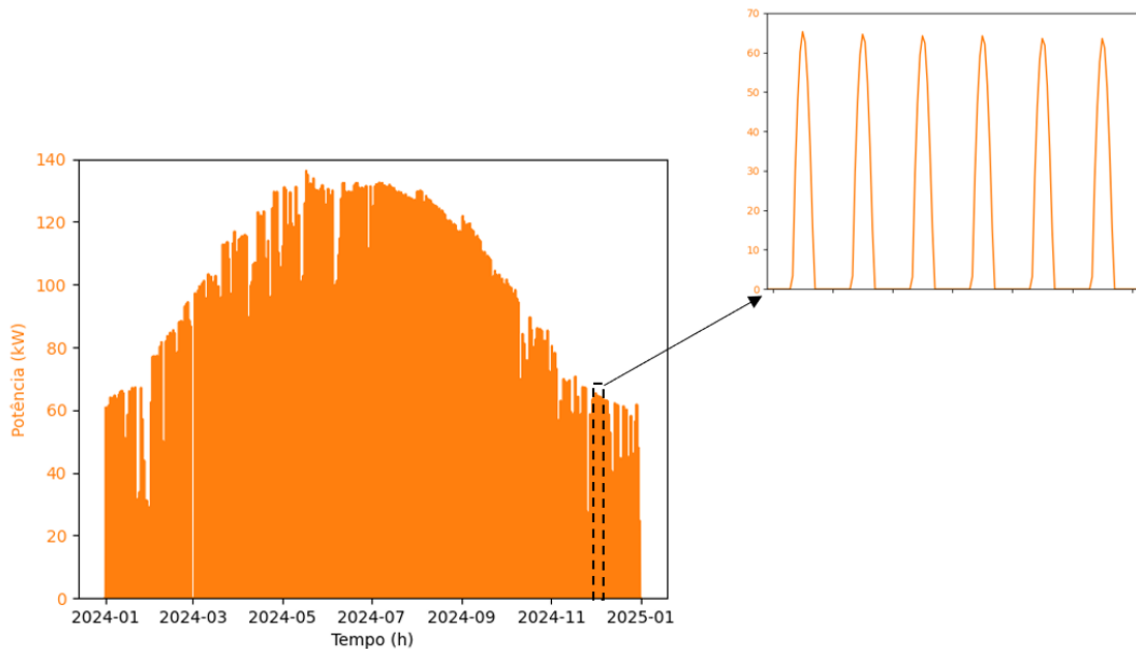


Figura 27 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 1.

De forma a perceber qual o eletrolisador que melhor se adequa à instalação fotovoltaica em questão, é necessário fazer uma análise da mesma. Recorrendo a diferentes funções do *Python*, é possível fazer um estudo sobre a instalação fotovoltaica implementada.

Assim sendo, ao longo de um ano (8760 horas), é expectável que num total 4543 horas a produção fotovoltaica seja nula. Para além disso, das horas em que existe produção fotovoltaica, o valor mínimo de produção elétrica é 0,267 kWh, o pico de produção é 136,212 kWh e a média de produção horária, das horas em que existe produção, ronda os 57 kWh.



Tendo em conta os valores de energia elétrica produzidos pela instalação em estudo, e os intervalos de operação de cada eletrolisador, apresentados no capítulo 3, é possível perceber qual a gama de eletrolisadores mais apropriados para a produção de hidrogénio.

Existem alguns parâmetros na escolha do eletrolisador a implementar, o parâmetro mais óbvio é a produção, dependendo do contexto, por vezes, o eletrolisador que apresenta maior produção de hidrogénio pode não representar a escolha mais acertada, o mesmo acontece, pois, é necessário considerar outros fatores, como o investimento necessário, o número de horas de funcionamento, entre outros. Uma vez que no presente trabalho o objetivo passa por possibilitar a maior produção de hidrogénio verde possível, o critério mais relevante será a quantidade produzida, no entanto, outros fatores, como as horas de funcionamento, a energia elétrica desperdiçada e as horas de funcionamento em 80% ou mais da potência máxima serão também considerados.

Dos eletrolisadores alcalinos, aqueles com maior potencial para a instalação em questão podem ser consultados na tabela 19.

Tabela 19 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>HySTAT 15-10 (Cummins)</b>	<b>HySTAT 30-10 (Cummins)</b>	<b>McLyzer 20-30 (McPhy)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	31,05 – 75	15,53 – 150	20,03 – 100,13
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	3222,97	4085,04	3829,31
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	68,06	83,57	78,02
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	32,76	40,23	37,56
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	34857,85	0	11857,50
<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	20192,59	5487,74	9596,56
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	63,00	5,19	38,60

Em relação aos eletrolisadores do tipo PEM, de forma semelhante ao efetuado previamente, aqueles com maior capacidade de produção podem ser consultados na tabela 20.

Tabela 20 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>EL 20 (H2B2)</b>	<b>EL 30 (H2B2)</b>	<b>C30 (Nel)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	10,42 – 106,6	16,5 – 164,8	0 – 174,5
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	3956,34	4041,05	3726,79
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	89,47	82,21	100
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	43,07	39,58	48,14
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	9009,84	0	0
<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	2296,15	6401,31	0
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	31,22	0,37	0

## 4.2 Caso de Estudo 2

Como foi descrito previamente, no segundo caso de estudo o sistema fotovoltaico será idêntico ao do primeiro, mas numa localização diferente, o objetivo passa por perceber a influência da localização na produção fotovoltaica, na produção de hidrogénio e, eventualmente, na escolha do eletrolisador.

Assim sendo, as características do presente caso de estudo são as seguintes:

- Localização do Sistema: 41°47'42.0"N 7°36'50.4"W (Vila Real).
- Área dos painéis: 1000 m<sup>2</sup>.
- Célula fotovoltaica: Silício Monocristalino.
- Potência da Instalação: ±170 kW.
- Transporte e Armazenamento não são considerados.

O facto da exposição solar deste local ser consideravelmente menor resulta num decréscimo significativo da produção fotovoltaica. O mesmo sistema fotovoltaico, nesta localização, apresenta uma produção, anual, de 209817 kWh, a variação anual da produção do sistema pode ser consultada na figura 28.

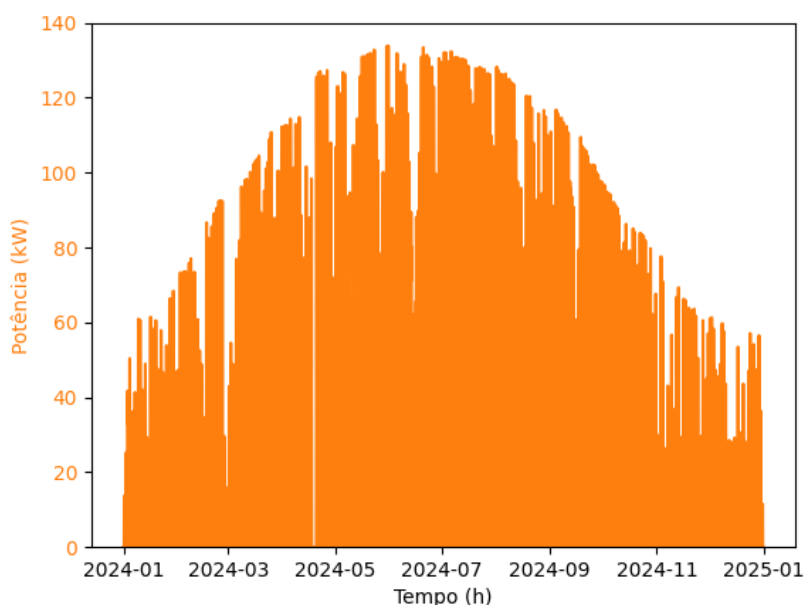


Figura 28 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 2.

Neste caso, é expectado que o sistema fotovoltaico funcione cerca de 48% do ano, com um pico de produção igual a 133,813 kWh e em que a média de produção, nas horas em há produção, ronde os 50 kWh.

Apesar do decréscimo de produção, os eletrolisadores mais indicados são os mesmos do caso de estudo 1, no entanto, existem diferenças relevantes nas condições de operação e uma diminuição considerável na produção de hidrogénio.

Na tabela 21 é possível consultar, em detalhe, o funcionamento de cada eletrolisador alcalino.

Tabela 21 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 2.

<b>Eletrolisador</b>	<b>HySTAT 15-10 (Cummins)</b>	<b>HySTAT 30-10 (Cummins)</b>	<b>McLyzer 20-30 (McPhy)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	31,05 – 75	15,53 – 150	20,03 – 100,13
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	2795,87	3523,43	3424,85
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	61,50	77,36	72,46
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	29,27	36,82	34,49
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	26541,33	0	100,13

<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	22508,19	7220,31	10884,98
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	58,35	3,91	33,66

Os eletrolisadores PEM são também os mesmos do caso anterior, as condições de operação e a produção de cada um deles pode ser consultada na tabela 22.

Tabela 22 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 2.

<b>Eletrolisador</b>	<b>EL 20 (H2B2)</b>	<b>EL 30 (H2B2)</b>	<b>C30 (Nel)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	10,42 – 106,6	16,5 – 164,8	0 – 174,5
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	3446,59	3488,05	3252,98
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	83,40	76,40	100
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	39,69	36,36	47,59
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	6277,98	0	0
<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	3981,87	7859,52	0
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	27,32	0,22	0

### 4.3 Caso de Estudo 3 (3.1 e 3.2)

No terceiro caso de estudo será considerada um sistema fotovoltaico com uma dimensão consideravelmente superior. Como foi dito anteriormente, este caso de estudo será dividido em dois casos ligeiramente diferentes, num deles o transporte e armazenamento do hidrogénio produzido será considerado, 3.2, e no outro será descartado, 3.1.

Apesar da calculadora fotovoltaica, desenvolvida em *Python*, ser capaz de estimar produções para diferentes células fotovoltaicas, uma vez que a maior parte dos sistemas fotovoltaicos são

constituídos por células de silício, no presente sistema será novamente esse o tipo de célula considerada.

Assim sendo, características do sistema fotovoltaico são as seguintes:

- Localização do Sistema: 40°28'30.0"N 8°15'07.2"W (Viseu).
- Área dos painéis: 20000 m<sup>2</sup>
- Célula fotovoltaica: Silício Monocristalino
- Potência da Instalação: ± 3400 kW.
- Hidrogénio Transportado Via Rodoviária: 200 km. (Caso de Estudo 3.2)
- Armazenamento em Tanques Pressurizados: ± 4 dias (Caso de Estudo 3.2)

A produção anual expectada do sistema descrito é de, aproximadamente, 4310568 kWh.

Na figura 29 é possível consultar o gráfico de produção anual.

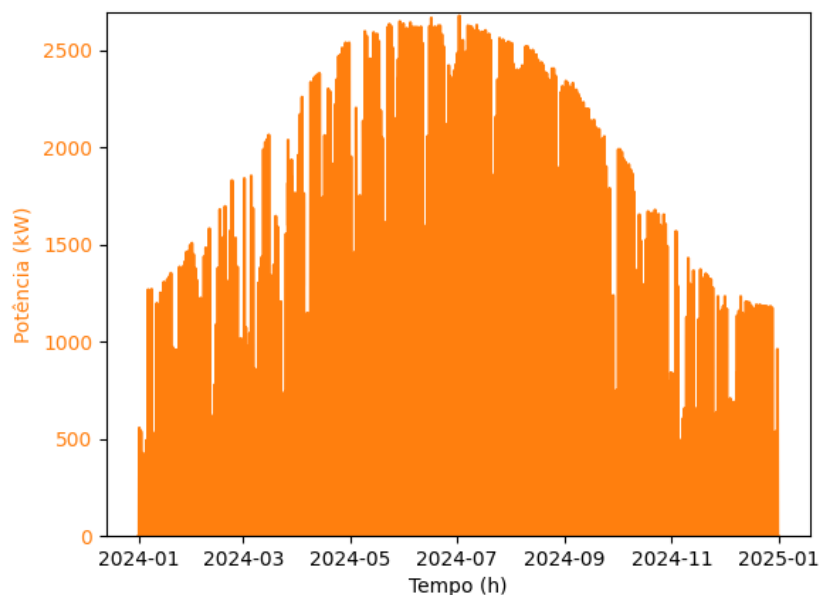


Figura 29 - Produção Anual Fotovoltaica, Caso de Estudo 3.

Neste caso, são expectadas um total 4557 horas sem produção fotovoltaica. O valor mínimo de produção não nula registado é 7,997 kWh e o pico de produção é 2678,928 kWh, a média de produção horária, das horas em que existe produção, ronda os 1026 kWh.

Para uma instalação fotovoltaica com as presentes características, os eletrolisadores alcalinos mais apropriados são os que constam na tabela 23.

Tabela 23 - Escolha do Eletrolisador Alcalino, Caso De Estudo 3.

<b>Eletrolisador</b>	<b>A 300 (Nel)</b>	<b>A485 (Nel)</b>	<b>McLyzer 400 -30 (McPhy)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	234,9 – 1570	378,45 – 2525	408,5 – 2042,64
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	62414,86	69158,51	68472,82
<b>Produção anual de hidrogénio com 4% de perdas (kg) (Caso de Estudo 3.2)</b>	59918,27	66392,17	65733,12
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	84,46	73,66	72,04
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	40,53	35,34	34,57
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	540929,48	3043,03	17130,40
<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	87612,45	227173,09	254114,31
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	40,62	19,22	33,52

No caso de estudo 3.2 será considerado o transporte de hidrogénio através de camiões. Como foi descrito anteriormente, neste tipo de transporte o hidrogénio é armazenado na forma de gás comprimido e transportado em tanques pressurizados.

Segundo (Popov e Baldynov 2019), as perdas associadas ao armazenamento e transporte de hidrogénio na forma de gás comprimido podem ser estimadas com um percentual, entre 0,5-1%, em função do número de dias de armazenamento. É expectável que o número de dias de armazenamento varie, por efeitos de simplificação, considera-se que, em média, o hidrogénio fica armazenado por um período de 4 dias.

Assim, no caso de estudo 3.2, a quantidade produzida por cada eletrolisador será reduzida em 4%, o efeito deste percentual em cada eletrolisador pode ser consultado nas tabelas 23 e 24.

Em relação aos eletrolisadores PEM, na tabela 24 é possível consultar os mais apropriados para a instalação fotovoltaica em questão.

Tabela 24 - Escolha do Eletrolisador PEM, Caso De Estudo 3.

<b>Eletrolisador</b>	<b>2 MW (H-Tec Systems)</b>	<b>MC500 (Nel)</b>	<b>HyLYZER 500 -30 (Cummins)</b>
<b>Intervalo de funcionamento (kW)</b>	198,75 – 2000	243,1 – 2431	121,5 – 2500
<b>Produção anual de hidrogénio (kg)</b>	76398,98	76341,72	79082,49
<b>Produção anual de hidrogénio com 4% de perdas (kg) (Caso de Estudo 3.2)</b>	73343,02	73288,05	75919,19
<b>Funcionamento em função da disponibilidade fotovoltaica (%)</b>	87,94	84,01	93,10
<b>Funcionamento em função do ano (%)</b>	42,19	40,31	44,67
<b>Energia elétrica desperdiçada por excesso (kWh)</b>	206049,74	20029,26	20223,26
<b>Energia elétrica desperdiçada por defeito (kWh)</b>	55372,51	91744,62	19890,71
<b>Funcionamento em 80% ou mais da potência máxima (%)</b>	28,71	19,48	17,58

## 5 Análise Económica

Neste capítulo será efetuada uma análise económica para cada um dos casos de estudo abordados anteriormente. O objetivo passar por perceber qual o investimento necessário e os custos inerentes a cada uma das diferentes instalações, quer fotovoltaica quer de eletrólise e, consoante as produções de hidrogénio, estimar o valor de comercialização do hidrogénio que permita que o investimento seja rentável, num período de operação, para ambas as instalações, de 25 anos.

Para uma instalação fotovoltaica em Portugal, de acordo com o (IRENA 2022), os custos de CAPEX podem ser estimados em função da potência da instalação, segundo o relatório em questão, para Portugal os custos podem ser estimados em 810€/kW, valor adotado no presente estudo. Em relação aos custos de OPEX, será adotado o valor de 9,1€/kW, também disponível no mesmo relatório.

Falando dos custos associados uma instalação de eletrólise, nos custos de CAPEX estão incluídas despesas como o eletrolisador em si, trabalhos civis e outros componentes auxiliares. A generalidade dos fabricantes opta por não tornar público o custo dos seus eletrolisadores, por esse motivo, de forma semelhante à instalação fotovoltaica, os mesmos serão estimados.

De acordo com a *Agência Internacional de Energia*, os gastos de CAPEX de um eletrolisador também podem ser estimados em função da sua potência, para eletrolisadores alcalinos o investimento varia entre 450-1260€/kW e para eletrolisadores PEM entre 990-1620€/kW. Assim sendo, e considerando a amplitude dos intervalos, para eletrolisadores com potência superior será considerado um valor mais próximo do limite inferior e para eletrolisadores com potência menor será considerado um valor mais próximo do limite superior, nos dois cenários a instalação fotovoltaica é indispensável, por esse motivo, na análise económica ao CAPEX do eletrolisador será adicionado o CAPEX da instalação fotovoltaica.

Em relação aos custos de OPEX, o maior custo é associado à eletricidade que é necessário fornecer ao eletrolisador, como no presente trabalho considera-se que o eletrolisador é alimentado exclusivamente a eletricidade fotovoltaica, esses gastos incluem-se nos gastos da instalação fotovoltaica.

Outros custos operacionais do eletrolisador em si são relacionados com a água consumida pelo eletrolisador e despesas mais gerais de operação e manutenção. O consumo de água dos diferentes eletrolisadores disponíveis é, aproximadamente, 11 litros por cada quilo produzido, o preço considerado para água é de 3€ por metro cubico, ou seja, 0,003€ por litro, para as restantes despesas, relativas a manutenção e operação, foi arbitrado um valor, em função da potência do eletrolisador, de 10€/kW. Por fim, como foi efetuado nos custos de CAPEX, aos custos operacionais do eletrolisador serão somados os custos operacionais da instalação fotovoltaica.

Para além destes, no terceiro caso de estudo será considerado um outro custo, referente a despesas associadas ao transporte. Como foi dito anteriormente, será considerado exclusivamente o transporte rodoviário, para o qual será considerado um custo de 80 cent/kg/100km, disponível em (Li et al. 2020).

Em relação ao financiamento dos projetos, para todos os casos de estudo será considerada uma alavancagem de 60% e uma taxa de juro de 5,9% (Euribor 6M + 2%), em relação ao custo de capital próprio, tendo em conta a incertezas associadas aos projetos, será utilizada uma taxa de 12% para a instalação fotovoltaica e de 15% para o conjunto de instalação fotovoltaica e central de eletrólise. Considerando os dados descritos é possível calcular, para a instalação fotovoltaica, um WACC nominal de 8,34% que, tendo por base uma inflação de 2%, resulta num WACC real de 6,22%, para o investimento no conjunto, o WACC nominal é de 9,54% e, com a mesma



inflação, resulta num WACC real de 7,39%. Os WACC reais serão utilizados como taxa de atualização para os diferentes casos de estudo.

Em cada caso de estudo e para cada conjunto de eletrólise serão estimados 3 valores, o preço de comercialização do hidrogénio produzido para que o VAL do projeto seja nulo, o preço de comercialização para que o VAL do conjunto de eletrólise seja igual ao VAL de um projeto em que eletricidade fotovoltaica fosse vendida à rede, e o preço de comercialização para que o TIR do conjunto seja igual ao TIR de um projeto em que a eletricidade fosse vendida à rede. Para o cálculo dos valores referidos será utilizada a ferramenta *Solver*, disponível em *Excel*.

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos, sendo que, uma análise detalhada dos fluxos de caixa pode ser consultada no Anexo D.

## 5.1 Caso de Estudo 1

A instalação fotovoltaica do primeiro caso de estudo tem uma potência instalada de 170 kW. Isto significa que os custos de CAPEX da mesma podem ser estimados em 137700€, e os custos de OPEX em 1547€/ano.

No Anexo C é possível consultar a previsão do OMIP para venda de eletricidade até 2033 assim, considerando que nos restantes anos o aumento é proporcional à inflação, se a eletricidade produzida pela instalação em estudo (240380 kWh) fosse vendida à rede, para um período de funcionamento de 25 anos, tendo em conta a taxa de atualização e inflação consideradas, o projeto teria um TIR de 8,08% e um VAL de 20864€.

Em relação ao CAPEX dos eletrolisadores, tendo em conta que as gamas de eletrolisadores indicados para o presente caso de estudo são de potência relativamente baixa, o valor considerado para o CAPEX de eletrolisadores alcalinos foi 900€/kW e para eletrolisadores PEM 1400€/kW.

Tabela 25 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>HySTAT 15-10 (Cummins)</b>	<b>McLyzer 20-30 (McPHY)</b>	<b>HySTAT 30-10 (Cummins)</b>
<b>Produção [kg]</b>	3222,97	4085,04	3829,31
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	67500	90000	135000
<b>CAPEX Total [€]</b>	205200	227700	272700
<b>OPEX [€/ANO]</b>	2403	2673	3182
<b>VAL = 0</b>	5,49€/kg	5,13€/kg	5,75€/kg
<b>VAL = 20864</b>	5,97€/kg	5,53€/kg	6,13€/kg
<b>TIR = 8,08%</b>	5,81€/kg	5,43€/kg	6,09€/kg

Tendo em conta os dados presentes na tabela 25, é possível concluir que o eletrolisador alcalino que permite um retorno do investimento efetuado com um valor de comercialização mais baixo é o McLYZER 20-30. O gráfico de produção de hidrogénio do mesmo, em função da eletricidade disponível, pode ser consultado na figura 30.

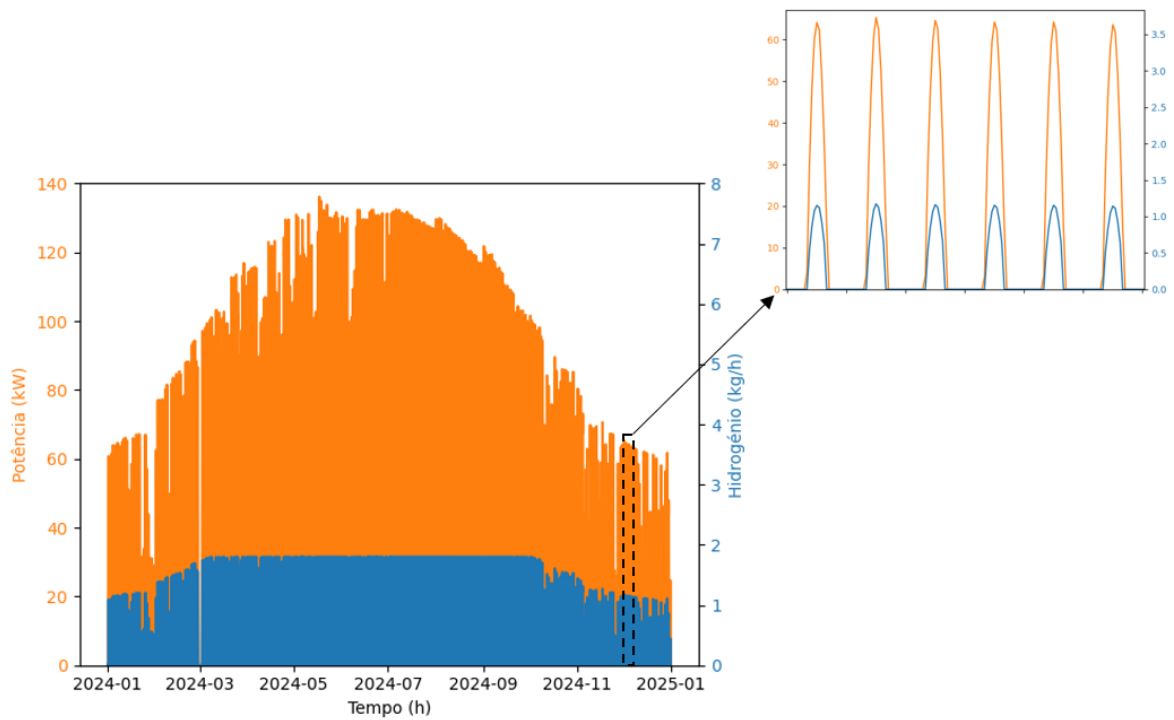


Figura 30 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 1.

Para os eletrolisadores PEM, os valores de comercialização obtidos podem ser consultados na tabela 26.

Tabela 26 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>EL 20 (H2B2)</b>	<b>EL 30 (H2B2)</b>	<b>C 30 (Nel)</b>
<b>Produção [kg]</b>	3956,34	4041,05	3726,79
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	149240	230720	245000
<b>CAPEX Total [€]</b>	286940	368420	382700
<b>OPEX [€/ANO]</b>	2744	3328	3420
<b>VAL = 0</b>	6,09€/kg	7,61€/kg	8,56€/kg
<b>VAL = 20864</b>	6,49€/kg	8,00€/kg	8,98€/kg
<b>TIR = 8,08%</b>	6,46€/kg	8,08€/kg	9,08€/kg

O eletrolisador PEM que permite um preço de venda mais baixo para o hidrogénio é o EL 20. O seu gráfico de produção pode ser consultado na figura 31.

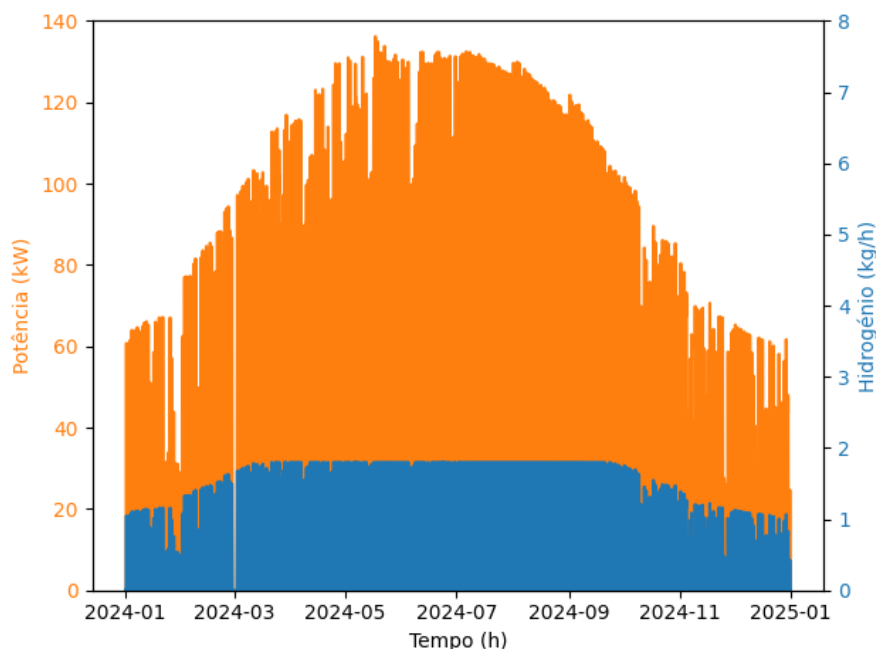


Figura 31 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 1.

## 5.2 Caso de Estudo 2

Neste caso, uma vez que a instalação fotovoltaica é igual à do caso de estudo anterior os custos associados são também os mesmos, sendo os custos de CAPEX 137700€, e os custos de OPEX em 1547€/ano. No entanto, tendo em conta que a produção elétrica é substancialmente inferior (209817 kWh), se a eletricidade fosse vendida à rede, nas mesmas condições do caso de estudo anterior, ao fim de 25 anos, o projeto teria um TIR de 4,59% e um VAL negativo, de -2267€.

Como foi visto anteriormente, os eletrolisadores do presente caso de estudo são os mesmos do caso de estudo anterior, assim sendo, os custos de CAPEX são os mesmos e os de OPEX são ligeiramente inferiores.

Uma vez que a eletricidade disponível é menor, a produção de hidrogénio é também menor, o que implica que o preço de comercialização tenha de ser superior. Para os eletrolisadores alcalinos, os diferentes preços de comercialização do hidrogénio estão disponíveis na tabela 27.

Tabela 27 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 2.

Eletrolisador	HySTAT 15-10 (Cummins)	McLyzer 20-30 (McPHY)	HySTAT 30-10 (Cummins)
<b>Produção [kg]</b>	2795,87	3424,85	3523,43
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	67500	90000	135000
<b>CAPEX Total [€]</b>	205200	227700	272700
<b>OPEX [€/ANO]</b>	2389	2660	3163
<b>VAL = 0</b>	6,32€/kg	5,73€/kg	6,66€/kg
<b>VAL = -2267</b>	6,26€/kg	5,68€/kg	6,61€/kg
<b>TIR = 4,59%</b>	4,94€/kg	4,47€/kg	5,20€/kg

Apesar da subida, expectável, nos preços necessários de comercialização, o eletrolisador alcalino com melhores resultados para o presente caso de estudo continua a ser o McLyzer 20-30.

O gráfico de produção do mesmo pode ser consultado na figura 32.

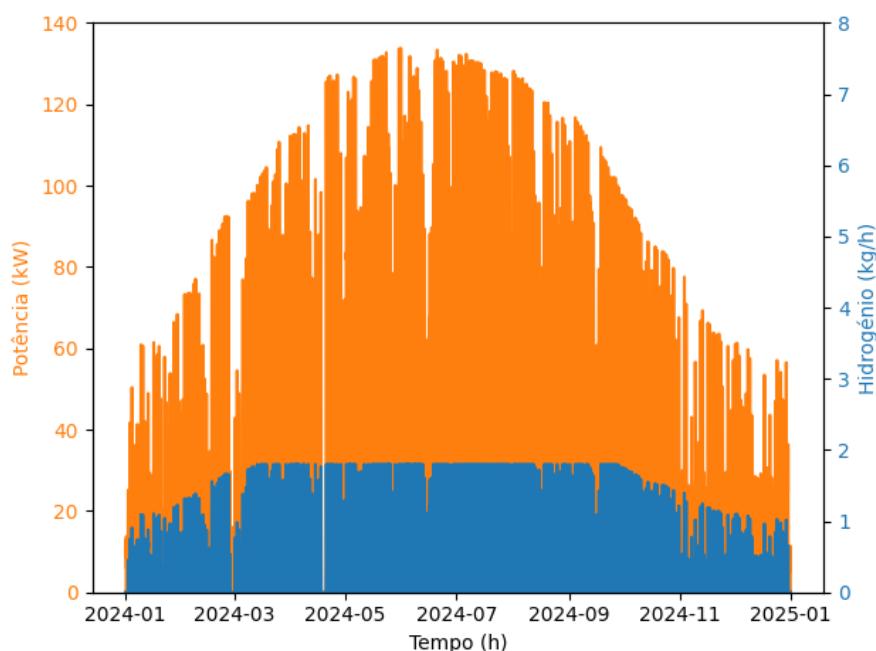


Figura 32 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 2.

Para os eletrolisadores PEM, os eletrolisadores considerados são os mesmos, os custos de CAPEX são iguais, e os custos de OPEX são, novamente, substancialmente inferiores.

Na tabela 28, podem ser consultados os preços de comercialização necessários.

Tabela 28 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 2.

<b>Eletrolisador</b>	<b>EL 20 (H2B2)</b>	<b>EL 30 (H2B2)</b>	<b>C 30 (Nel)</b>
<b>Produção [kg]</b>	3446,59	3488,05	3252,98
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	149240	230720	245000
<b>CAPEX Total [€]</b>	286940	368420	382700
<b>OPEX [€/ANO]</b>	2727	3310	3404
<b>VAL = 0</b>	6,99€/kg	8,81€/kg	9,81€/kg
<b>VAL = -2267</b>	6,94€/kg	8,77€/kg	9,75€/kg
<b>TIR = 4,59%</b>	5,42€/kg	6,82€/kg	7,59€/kg

De igual forma, o eletrolisador PEM mais indicado para esta instalação fotovoltaica é o EL 20. O gráfico da produção de hidrogénio, em função da produção fotovoltaica, pode ser consultado na figura 33.

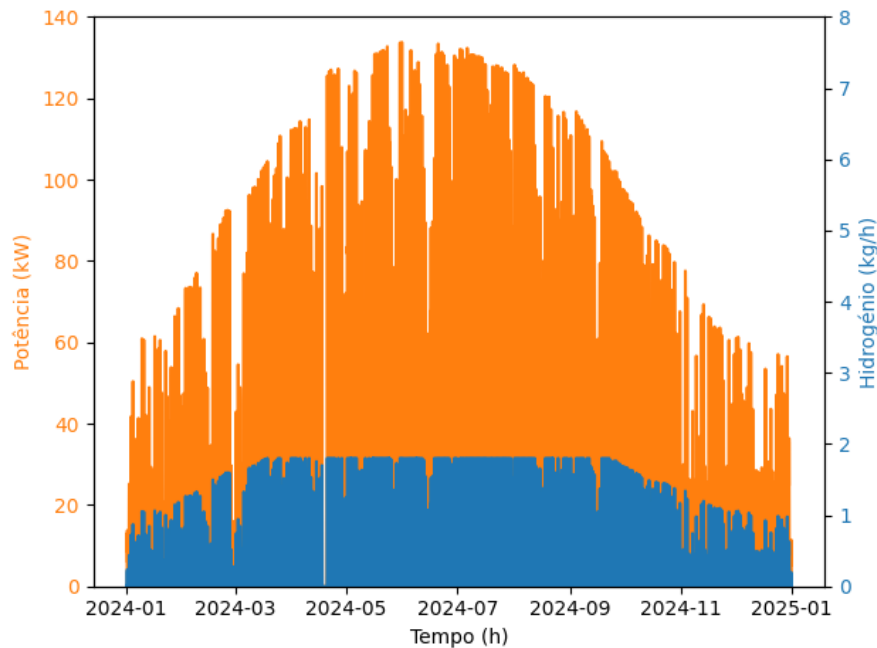


Figura 33 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 2.

No segundo caso de estudo, o valor de comercialização mais alto é aquele que permite um VAL nulo, o mesmo acontece, pois, o projeto fotovoltaico apresenta um VAL negativo e um TIR demasiado baixo, tendo em conta o período e condições de financiamento considerados.

### 5.3 Caso de Estudo 3 (3.1 e 3.2)

No presente caso de estudo a instalação fotovoltaica é substancialmente maior, os custos de CAPEX são, aproximadamente, 2754000€ e os custos de OPEX 30940€/Ano.

Considerado a produção anual (4310568 kWh) e os preços de venda previstos pelo OMIP, se a eletricidade fosse vendida à rede, tendo em conta as condições de financiamento descritas anteriormente, num período de 25 anos, o projeto teria um VAL de 41103€ e um TIR de 5,02%.

Em relação aos eletrolisadores, para os eletrolisadores alcalinos foi considerado um CAPEX de 700€/kW e para os eletrolisadores PEM um CAPEX de 1200€/kW.

Inicialmente serão estudados os resultados obtidos num cenário em que as perdas de armazenamento e os custos de transporte não são considerados. Os resultados obtidos para os eletrolisadores alcalinos podem ser consultados na tabela 29.

Tabela 29 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 3.1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>A300 (Nel)</b>	<b>A485 (Nel)</b>	<b>McLyzer 400-300 (McPhy)</b>
<b>Produção [kg]</b>	62415	69159	68473
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	1099000	1767500	1435000
<b>CAPEX Total [€]</b>	3853000	4521500	4189000
<b>OPEX [€/ANO]</b>	48700	58472	53700
<b>VAL = 0</b>	5,38€/kg	5,71€/kg	5,34€/kg
<b>VAL = 41103€</b>	5,43€/kg	5,76€/kg	5,38€/kg
<b>TIR = 5,02%</b>	4,38€/kg	4,66€/kg	4,35€/kg

Se, em outro cenário, se considerarem as perdas e os custos descritos anteriormente, os preços de comercialização sobem significativamente, os mesmos podem ser consultados na tabela 30.

Tabela 30 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores Alcalinos, caso de estudo 3.2.

<b>Eletrolisador</b>	<b>A300 (Nel)</b>	<b>A485 (Nel)</b>	<b>McLyzer 400-300 (McPhy)</b>
<b>Produção [kg]</b>	59918	66392	65734
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	1099000	1767500	1435000
<b>CAPEX Total [€]</b>	3853000	4521500	4189000
<b>OPEX [€/ANO]</b>	95869	164608	105174
<b>VAL = 0</b>	7,20€/kg	7,55€/kg	7,16€/kg
<b>VAL = 41103€</b>	7,25€/kg	7,60€/kg	7,21€/kg
<b>TIR = 5,02%</b>	6,16€/kg	6,45€/kg	6,13€/kg

Em ambos os casos, o eletrolisador com melhores resultados é o McLyzer 400-30, no entanto, é possível verificar que o armazenamento e, principalmente, o transporte têm uma influência significativa na viabilidade do projeto.

Na figura 34, pode ser consultada a produção do eletrolisador McLyzer 400-30, em função da produção fotovoltaica.

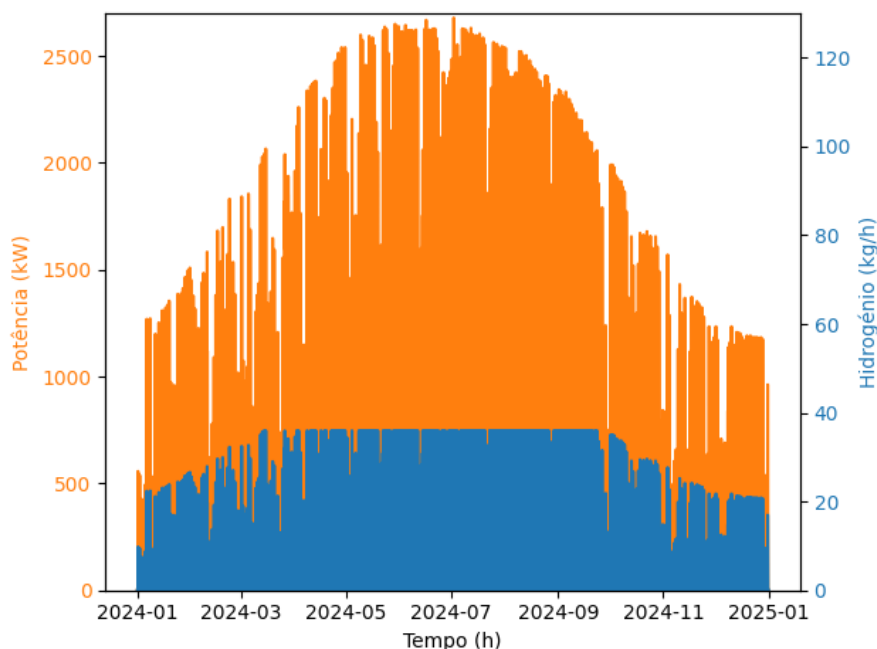


Figura 34 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador Alcalino), Caso de Estudo 3.1.

Em relação aos eletrolisadores PEM, se o transporte e o armazenamento do hidrogénio não forem considerados é possível obter os resultados presentes na tabela 31.

Tabela 31 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 3.1.

<b>Eletrolisador</b>	<b>2MW (H-Tec Systems)</b>	<b>MC 500 (Nel)</b>	<b>HyLYZER 500-30 (Cummins)</b>
<b>Produção [kg]</b>	76399	76342	79083
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	2400000	2940000	3000000
<b>CAPEX Total [€]</b>	5154000	5694000	5754000
<b>OPEX [€/ANO]</b>	53641	57959	58550
<b>VAL = 0</b>	5,72€/kg	6,31€/kg	6,16€/kg
<b>VAL = 41103€</b>	5,76€/kg	6,35€/kg	6,20€/kg
<b>TIR = 5,02%</b>	4,45€/kg	5,11€/kg	4,98€/kg

Por outro lado, se o transporte e armazenamento forem considerados, os resultados obtidos são significativamente diferentes, e podem ser consultados na tabela 32.

Tabela 32 - Preços Comercialização Hidrogénio Eletrolisadores PEM, caso de estudo 3.2.

<b>Eletrolisador</b>	<b>2MW (H-Tec Systems)</b>	<b>MC 500 (Nel)</b>	<b>HyLYZER 500-30 (Cummins)</b>
<b>Produção [kg]</b>	73343	73288	75919
<b>CAPEX Eletrolisador [€]</b>	2400000	2940000	3000000
<b>CAPEX Total [€]</b>	5154000	5694000	5754000
<b>OPEX [€/ANO]</b>	170709	175119	179916
<b>VAL = 0</b>	7,56€/kg	8,17€/kg	8,01€/kg
<b>VAL = 41103€</b>	7,60€/kg	8,22€/kg	8,05€/kg
<b>TIR = 5,02%</b>	6,43€/kg	6,92€/kg	6,79€/kg

Para ambos os casos o eletrolisador com melhores resultados é o eletrolisador da H-Tec Systems, no entanto, tal como no caso dos eletrolisadores alcalinos, o transporte e armazenamento têm uma influência significativa no projeto.

A produção do eletrolisador em questão pode ser consultada na figura 35.

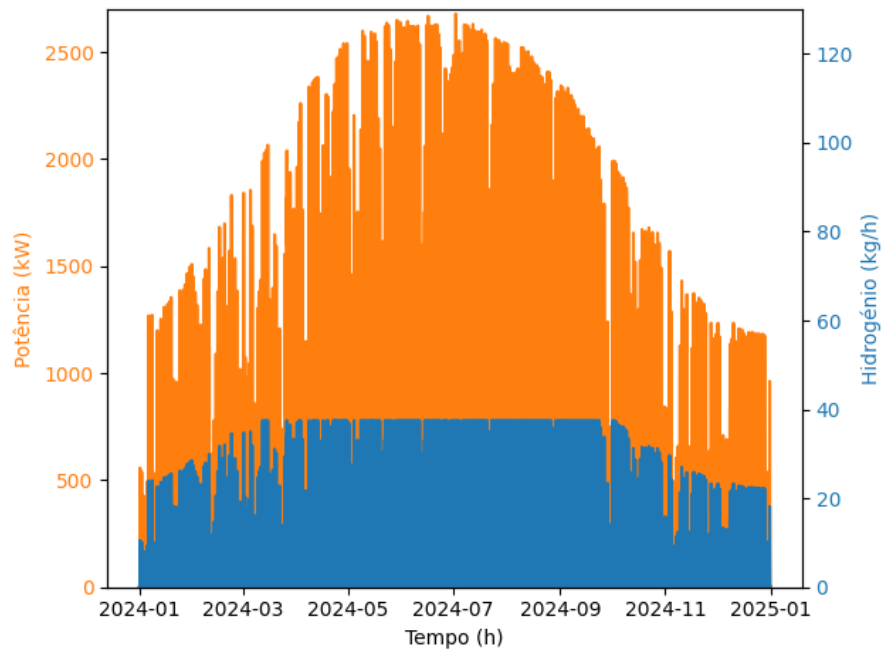


Figura 35 - Produção de Hidrogénio (Eletrolisador PEM), Caso de Estudo 3.1.



## 6 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

O desenvolvimento do presente trabalho permitiu retirar algumas conclusões em relação à implementação do hidrogénio enquanto vetor energético. Tendo em conta o panorama energético e com o intuito de cumprir as metas previstas nos acordos climáticos, a necessidade de adesão a fontes de energia mais limpas e o potencial do hidrogénio verde como substituto de diferentes combustíveis fósseis, atualmente utilizados, é inquestionável.

No entanto, como foi possível perceber nos diferentes casos de estudo, do ponto de vista económico o hidrogénio verde ainda não consegue competir com outras fontes de energia.

Como foi referido no presente trabalho, cerca de 96% do hidrogénio usado atualmente é proveniente de fontes poluentes. O mesmo acontece, pois, o hidrogénio produzido através de fontes poluentes tem um custo de produção inferior a 2€/kg, no presente trabalho, o custo de produção mais baixo obtido é superior a 5€/kg.

É possível efetuar uma comparação entre hidrogénio verde e outras fontes de energia. No presente trabalho, o custo de produção obtido para o hidrogénio verde varia entre, aproximadamente, 5 e 8 euros por quilo (€/kg). Considerando que o poder calorífico do hidrogénio é de 39,41kWh/kg, podemos calcular que o custo de produção do hidrogénio varia entre 127 e 203 euros por megawatt-hora (€/MWh). Para efeito de comparação, de acordo com os dados do website da REN, o preço médio anual do gás natural é de cerca de 35€/MWh, no presente ano, e o preço médio anual de eletricidade é de, aproximadamente, 92€/MWh, também no presente ano. Falando de combustíveis rodoviários, nomeadamente gasolina, se o preço por litro rondar os 1,75€, considerando que o poder calorífico é de, aproximadamente, 12,22 kWh/kg e a densidade 0,73, é possível perceber que o custo da gasolina, em euros por megawatt-hora, ronda os 197€/MWh.

No presente trabalho, através da comparação direta entre eletrolisadores alcalinos e PEM, foi possível perceber que os alcalinos ainda têm um custo de produção mais baixo. No entanto, os eletrolisadores PEM têm tido um destaque maior nos últimos tempos e um decréscimo mais acentuado nos custos associados aos mesmos. Como acontece com todo o tipo de tecnologia, prevê-se que com o amadurecimento das diferentes tecnologias de eletrólise os seus custos também diminuam e, conseqüentemente, o preço de produção do hidrogénio.

Existem outras conclusões a reter do presente trabalho, como se pode observar na comparação entre os casos de estudo 1 e 2, o recurso renovável tem uma influência importante na produção de hidrogénio, assim sendo, antes de proceder a implementação da instalação é necessário efetuar um estudo sobre as condições de radiação do local, de forma a maximizar a quantidade de eletricidade produzida e, conseqüentemente, a produção de hidrogénio. Como foi visto nos mesmos, o mesmo eletrolisador, e a mesma instalação fotovoltaica, apresentavam diferenças nos preços de comercialização necessários, de até cerca de 0,90€/kg nos eletrolisadores alcalinos, e 1,2€/kg nos eletrolisadores PEM.

Outro ponto que foi alvo de destaque do presente trabalho foi a influência do armazenamento e do transporte de hidrogénio, como se pode verificar no terceiro caso de estudo a influência dos mesmos é de elevado destaque, sendo que os preços de comercialização apresentaram diferenças próximas dos 2 euros comparando os dois cenários. Assim sendo, é possível concluir que a produção de hidrogénio, atualmente, é mais justificada em situações que o mesmo seja consumido localmente, ao invés de situações em que o mesmo tenha de ser transportado.

Uma outra questão relevante no contexto do trabalho, que foi destacada no terceiro capítulo, diz respeito ao tempo de funcionamento do eletrolisador, um eletrolisador que seja alimentado, exclusivamente, por uma instalação fotovoltaica, de acordo com os casos estudados, tem um funcionamento anual na ordem dos 40%, o que significa que no restante tempo o eletrolisador não tem qualquer tipo de utilidade. Com isto, surge uma dúvida que pode ter interesse enquanto

trabalho futuro, a dúvida diz respeito a aumentar a atividade do eletrolisador, um estudo interessante seria a alimentação do eletrolisador através de energia eólica ou até através de um sistema híbrido que incorporasse tanto o uso de energia fotovoltaica como de eólica, seria interessante perceber quais os resultados obtidos para o preço de comercialização do hidrogénio e também para o tempo de funcionamento do eletrolisador.

Como foi dito anteriormente, o hidrogénio verde ainda não é competitivo economicamente, no entanto, a sua principal vantagem está relacionada com o facto de o mesmo poder ser considerado uma fonte de energia limpa. Atualmente, empresas de diferentes setores pagam elevadas quantias monetárias de acordo com a quantidade de carbono que emitem, um estudo de potencial interesse seria perceber, para diferentes casos de estudo, qual o valor a ser taxado por cada tonelada de dióxido de carbono emitida a partir do qual fosse benéfico recorrer à utilização de hidrogénio verde enquanto potencial substituo de diferentes combustíveis fósseis.

O hidrogénio verde é um vetor energético com elevado potencial e grandes esforços têm sido feitos de forma a proceder à sua implementação. Apesar de o mesmo ainda não ser economicamente viável, a sua implementação pode estar apenas dependente de uma questão temporal, seja através de um maior amadurecimento das tecnologias de eletrólise, através do aumento de taxas sobre a utilização de fontes poluentes, ou através de apoios e incentivos à sua utilização.

## Referências

- Aamir, Muhammad, Maria Malik, Wajeehah Shahid, Syed Zaheer, Ud Din, Nadia Anwar, e Faryal Idrees. 2022. «Materials for Photovoltaics: Overview, Generations, Recent Advancements and Future Prospects». Em . <https://doi.org/10.5772/intechopen.101449>.
- Aceves, Salvador M., Francisco Espinosa-Loza, Elias Ledesma-Orozco, Timothy O. Ross, Andrew H. Weisberg, Tobias C. Brunner, e Oliver Kircher. 2010. «High-Density Automotive Hydrogen Storage with Cryogenic Capable Pressure Vessels». *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (3): 1219–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.069>.
- Ahmed, Mahmoud, e Ibrahim Dincer. 2019. «A Review on Photoelectrochemical Hydrogen Production Systems: Challenges and Future Directions». *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (5): 2474–2507. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.037>.
- Andersson, Joakim, e Stefan Grönkvist. 2019. «Large-Scale Storage of Hydrogen». *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (23): 11901–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.063>.
- Arunachalam, Prabhakarn, e Abdullah M. Al Mayouf. 2019. «Chapter 28 - Photoelectrochemical Water Splitting». Em *Noble Metal-Metal Oxide Hybrid Nanoparticles*, editado por Satyabrata Mohapatra, Tuan Anh Nguyen, e Phuong Nguyen-Tri, 585–606. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814134-2.00028-0>.
- Asdrubali, Francesco, e Umberto Desideri, eds. 2019. «Chapter 7 - High Efficiency Plants and Building Integrated Renewable Energy Systems». Em *Handbook of Energy Efficiency in Buildings*, 441–595. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812817-6.00040-1>.
- Barthelemy, H., M. Weber, e F. Barbier. 2017. «Hydrogen Storage: Recent Improvements and Industrial Perspectives». *International Journal of Hydrogen Energy*, Special issue on The 6th International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015), 19-21 October 2015, Yokohama, Japan, 42 (11): 7254–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.178>.
- Bosio, Karen. 2021. «Technical and economic analysis of state-of-the-art electrolytic systems for hydrogen production». Laurea, Politecnico di Torino. <https://webthesis.biblio.polito.it/17436/>.
- Buttler, Alexander, e Hartmut Spliethoff. 2018. «Current Status of Water Electrolysis for Energy Storage, Grid Balancing and Sector Coupling via Power-to-Gas and Power-to-Liquids: A Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (fevereiro): 2440–54. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.003>.
- Calvin, Katherine, Dipak Dasgupta, Gerhard Krinner, Aditi Mukherji, Peter W. Thorne, Christopher Trisos, José Romero, et al. 2023. «IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.» First. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Cardella, U., L. Decker, e H. Klein. 2017. «Roadmap to Economically Viable Hydrogen Liquefaction». *International Journal of Hydrogen Energy*, Special Issue on The 21st World Hydrogen Energy Conference (WHEC 2016), 13-16 June 2016, Zaragoza, Spain, 42 (19): 13329–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.068>.

- Carneiro, Joaquim A. O. 2010. «Módulos fotovoltaicos: características e associações». workingPaper. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>.
- Carpetis, C. 1988. «Storage, Transport and Distribution of Hydrogen». Em *Hydrogen as an Energy Carrier: Technologies, Systems, Economy*, editado por Carl-Jochen Winter e Joachim Nitsch, 249–89. Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61561-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61561-0_10).
- Choe, Changgwon, Seunghyun Cheon, Jiwon Gu, e Hankwon Lim. 2022. «Critical Aspect of Renewable Syngas Production for Power-to-Fuel via Solid Oxide Electrolysis: Integrative Assessment for Potential Renewable Energy Source». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 161 (junho): 112398. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112398>.
- Demirci, Umit B. 2018. «About the Technological Readiness of the H<sub>2</sub> Generation by Hydrolysis of B(-N)-H Compounds». *Energy Technology* 6 (3): 470–86. <https://doi.org/10.1002/ente.201700486>.
- Díaz-Real, Jesús, Thomas Holm, e Nicolas Alonso-Vante. 2020. «Photoelectrochemical hydrogen production (PEC H<sub>2</sub>)». Em , 255–89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817110-3.00009-6>.
- Direção-Geral de Energia e Geologia. 2019. «Integração do Hidrogénio nas cadeias de valor – Sistemas energéticos integrados, mais limpos e inteligentes». <https://www.dgeg.gov.pt/media/1snnvdag/p2-integra%C3%A7%C3%A3o-do-hidro%C3%A9nio-nas-cadeias-de-valor-sistemas-energ%C3%A9ticos-integrados-mais-limpos-e-inteligentes.pdf>.
- Dunlap-Shohl, Wiley A., Yuanyuan Zhou, Nitin P. Padture, e David B. Mitzi. 2019. «Synthetic Approaches for Halide Perovskite Thin Films». *Chemical Reviews* 119 (5): 3193–3295. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00318>.
- European Commission. s.d. «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM». Acedido a 4 de maio de 2023. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#TMY](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY).
- Fang, Qingping, Ludger Blum, Norbert H. Menzler, e Detlef Stolten. 2017. «Solid Oxide Electrolyzer Stack with 20,000 h of Operation». *ECS Transactions* 78 (1): 2885. <https://doi.org/10.1149/07801.2885ecst>.
- Fekete, James R., Jeffrey W. Sowards, e Robert L. Amaro. 2015. «Economic Impact of Applying High Strength Steels in Hydrogen Gas Pipelines». *International Journal of Hydrogen Energy* 40 (33): 10547–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.090>.
- FSEC. s.d. «Cells, Modules, Panels and Arrays». *FSEC®* (blog). Acedido a 20 de março de 2023. <https://energyresearch.ucf.edu/consumer/solar-technologies/solar-electricity-basics/cells-modules-panels-and-arrays/>.
- Goetzberger, Adolf, Christopher Hebling, e Hans-Werner Schock. 2003. «Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook». *Materials Science and Engineering: R: Reports* 40 (1): 1–46. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(02\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(02)00092-X).
- Hauch, A., R. Küngas, P. Blennow, A.B. Hansen, J.B. Hansen, B.V. Mathiesen, e M.B. Mogensen. 2020. «Recent Advances in Solid Oxide Cell Technology for Electrolysis». *Science* 370 (6513). <https://doi.org/10.1126/science.aba6118>.
- Hren, Robert, Annamaria Vujanović, Yee Van Fan, Jiří Jaromír Klemeš, Damjan Krajnc, e Lidija Čuček. 2023. «Hydrogen Production, Storage and Transport for Renewable Energy and Chemicals: An Environmental Footprint Assessment». *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews* 173 (março): 113113.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113113>.
- International Energy Agency. 2019. «The Future of Hydrogen», junho.
- IRENA. 2020. «Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5C Climate Goal».
- . 2022. «Renewable Power Generation Costs in 2021». <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>.
- Joyce, António. 2009. «Solar Fotovoltaica». Em *Energias Renováveis*.
- Khan, Muhammad Arif, Hongbin Zhao, Wenwen Zou, Zhe Chen, Wenjuan Cao, Jianhui Fang, Jiaqiang Xu, Lei Zhang, e JiuJun Zhang. 2018. «Recent Progresses in Electrocatalysts for Water Electrolysis». *Electrochemical Energy Reviews* 1 (4): 483–530. <https://doi.org/10.1007/s41918-018-0014-z>.
- Klebanoff, Leonard E., Kevin C. Ott, Lin J. Simpson, Kathleen O'Malley, e Ned T. Stetson. 2014. «Accelerating the Understanding and Development of Hydrogen Storage Materials: A Review of the Five-Year Efforts of the Three DOE Hydrogen Storage Materials Centers of Excellence». *Metallurgical and Materials Transactions E* 1 (2): 81–117. <https://doi.org/10.1007/s40553-014-0011-z>.
- Klell, Manfred. 2010. «Storage of Hydrogen in the Pure Form», agosto, 1–37. <https://doi.org/10.1002/9783527629800.ch1>.
- Kruck, Olaf, Fritz Crotogino, Ruth Prelicz, e Tobias Rudolph. 2013. «Overview on all Known Underground Storage Technologies for Hydrogen». HyUnder. [https://hyunder.eu/wp-content/uploads/2016/01/D3.1\\_Overview-of-all-known-underground-storage-technologies.pdf](https://hyunder.eu/wp-content/uploads/2016/01/D3.1_Overview-of-all-known-underground-storage-technologies.pdf).
- Li, Jimmy, Jeffrey Allen, Jerad Stager, e Anthony Ku. 2020. «Paths to low-cost hydrogen energy at a scale for transportation applications in the USA and China via liquid-hydrogen distribution networks». *Clean Energy* 4 (março). <https://doi.org/10.1093/ce/zkz033>.
- Lincot, Daniel. 2017. «The New Paradigm of Photovoltaics: From Powering Satellites to Powering Humanity». *Comptes Rendus Physique, Demain l'énergie*, 18 (7): 381–90. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.09.003>.
- Luceño-Sánchez, José Antonio, Ana María Díez-Pascual, e Rafael Peña Capilla. 2019. «Materials for Photovoltaics: State of Art and Recent Developments». *International Journal of Molecular Sciences* 20 (4): 976. <https://doi.org/10.3390/ijms20040976>.
- Marques Lameirinhas, Ricardo A., João Paulo N. Torres, e João P. de Melo Cunha. 2022. «A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications». *Energies* 15 (5): 1823. <https://doi.org/10.3390/en15051823>.
- Martín-Chivelet, Nuria. 2016. «Photovoltaic Potential and Land-Use Estimation Methodology». *Energy* 94 (janeiro): 233–42. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.108>.
- Moradi, Ramin, e Katrina M. Groth. 2019. «Hydrogen Storage and Delivery: Review of the State of the Art Technologies and Risk and Reliability Analysis». *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (23): 12254–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>.

- Navitas Solar. 2022. «Types of losses in the solar system | LinkedIn». 30 de julho de 2022. [https://www.linkedin.com/pulse/types-losses-solar-system-navitassolar/?trk=pulse-article\\_more-articles\\_related-content-card](https://www.linkedin.com/pulse/types-losses-solar-system-navitassolar/?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card).
- Nechache, Aziz, e Stéphane Hody. 2021. «Alternative and Innovative Solid Oxide Electrolysis Cell Materials: A Short Review». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149 (outubro): 111322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111322>.
- Ogden, Joan, Amy Myers Jaffe, Daniel Scheitrum, Zane McDonald, e Marshall Miller. 2018. «Natural Gas as a Bridge to Hydrogen Transportation Fuel: Insights from the Literature». *Energy Policy* 115 (abril): 317–29. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.049>.
- Paidar, M., V. Fateev, e K. Bouzek. 2016. «Membrane Electrolysis—History, Current Status and Perspective». *Electrochimica Acta* 209 (agosto): 737–56. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.209>.
- Pastuszak, Justyna, e Paweł Węgierek. 2022. «Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development». *Materials* 15 (agosto). <https://doi.org/10.3390/ma15165542>.
- Philipps, Dr Simon, Fraunhofer Ise, Werner Warmuth, e PSE Projects GmbH. 2023. «Photovoltaics Report», fevereiro.
- Popov, S. P., e O. A. Baldynov. 2019. «Evaluation of Energy Efficiency of the Long Distance Energy Transport Systems for Renewable Energy». *E3S Web of Conferences* 114: 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911402003>.
- Richter, Armin, Martin Hermle, e Stefan W. Glunz. 2013. «Reassessment of the Limiting Efficiency for Crystalline Silicon Solar Cells». *IEEE Journal of Photovoltaics* 3 (4): 1184–91. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2013.2270351>.
- Schmidt, O., A. Gambhir, I. Staffell, A. Hawkes, J. Nelson, e S. Few. 2017. «Future Cost and Performance of Water Electrolysis: An Expert Elicitation Study». *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (52): 30470–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>.
- Shen, Fengyu, Ruofan Wang, e Michael C. Tucker. 2020. «Long Term Durability Test and Post Mortem for Metal-Supported Solid Oxide Electrolysis Cells». *Journal of Power Sources* 474 (outubro): 228618. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228618>.
- Shiva Kumar, S., e V. Himabindu. 2019. «Hydrogen Production by PEM Water Electrolysis – A Review». *Materials Science for Energy Technologies* 2 (3): 442–54. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>.
- Shiva Kumar, S., e Hankwon Lim. 2022. «An Overview of Water Electrolysis Technologies for Green Hydrogen Production». *Energy Reports* 8 (novembro): 13793–813. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.127>.
- Stolten, Detlef, Remzi C. Samsun, e Nancy Garland. 2016. *Fuel Cells: Data, Facts, and Figures*. John Wiley & Sons.
- Suman, Preetika Sharma, e Parveen Goyal. 2020. «Evolution of PV Technology from Conventional to Nano-Materials». *Materials Today: Proceedings*, International Conference on Aspects of Materials Science and Engineering, 28 (janeiro): 1593–97. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.846>.
- SunEarthTools. s.d. «Cálculo da posição do sol no céu para cada local sobre a terra a qualquer hora do dia». Acedido a 24 de maio de 2023. [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=pt#annual](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt#annual).

- Tietze, Vanessa, Sebastian Luhr, e Detlef Stolten. 2016. «Bulk Storage Vessels for Compressed and Liquid Hydrogen». Em *Hydrogen Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology*, 659–90. <https://doi.org/10.1002/9783527674268.ch27>.
- Topolski, Kevin, Evan P. Reznicek, Burcin Cakir Erdener, Chris W. San Marchi, Joseph A. Ronevich, Lisa Fring, Kevin Simmons, Omar Jose Guerra Fernandez, Bri-Mathias Hodge, e Mark Chung. 2022. «Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology». NREL/TP-5400-81704. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States). <https://doi.org/10.2172/1893355>.
- Trasatti, S. 1999. «Water Electrolysis: Who First?» *Journal of Electroanalytical Chemistry* 476 (1): 90–91. [https://doi.org/10.1016/S0022-0728\(99\)00364-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0728(99)00364-2).
- United States Department of Energy. s.d. «Hydrogen Production: Photoelectrochemical Water Splitting». Energy.Gov. Acedido a 16 de março de 2023. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-photoelectrochemical-water-splitting>.
- US Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. 2017. «Hydrogen Delivery Technical Team Roadmap». <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/us-drive-hydrogen-delivery-technical-team-roadmap>.
- Valenti, G. 2016. «2 - Hydrogen Liquefaction and Liquid Hydrogen Storage». Em *Compendium of Hydrogen Energy*, editado por Ram B. Gupta, Angelo Basile, e T. Nejat Veziroğlu, 27–51. Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-362-1.00002-X>.
- Vidas, Leonardo, e Rui Castro. 2021. «Recent Developments on Hydrogen Production Technologies: State-of-the-Art Review with a Focus on Green-Electrolysis». *Applied Sciences* 11 (23): 11363. <https://doi.org/10.3390/app112311363>.
- Yodwong, Burin, Damien Guilbert, Matheepot Phattanasak, Wattana Kaewmanee, Melika Hinaje, e Gianpaolo Vitale. 2020. «AC-DC Converters for Electrolyzer Applications: State of the Art and Future Challenges». *Electronics* 9 (6): 912. <https://doi.org/10.3390/electronics9060912>.
- Züttel, Andreas. 2003. «Materials for Hydrogen Storage». *Materials Today* 6 (9): 24–33. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(03\)00922-2](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00922-2).

## ANEXO A: Catálogos Eletrolisadores Alcalinos

Series	Pressure (barg)	Output range of H2 (Nm3/h)	Output range of O2 (Nm3/h)	Electrical power @ nominal load (kW)
Baby	1	0.4	0.2	3
P	1 - 2.5	1 - 1.6	0.5 - 0.8	6 - 9
M	1 - 2.5	2.4 - 4.4	1.2 - 2.2	14 - 26
H	4 - 8	3 - 10	1.5 - 5	18 - 60

Series	Pressure (barg)	Rated output of H2 (Nm3/h)	Power class	Specific consumption at rated output (kWh/Nm3)
McLyzer 20-30	30	20	100 kW	4.65

Figura A1 - Eletrolisadores Alcalinos, McPhy (1/2).



Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	McLyzer 200	McLyzer 400	McLyzer 800	McLyzer 3200
<b>Power class</b>	1 MW	2 MW	4 MW	16 MW
<b>Electrolyzer type</b>	Pressurized alkaline			
<b>Number of stacks</b>	1	4	4	16
<b>System design lifetime (mechanical)</b>	> 20 years			
<b>H<sub>2</sub> OUTPUT</b>				
<b>H<sub>2</sub> nominal flow rate</b>	200 Nm <sup>3</sup> /h	400 Nm <sup>3</sup> /h	800 Nm <sup>3</sup> /h	3200 Nm <sup>3</sup> /h
<b>H<sub>2</sub> purity</b>	> 99.998 % after gas cleaning			
<b>H<sub>2</sub> delivery pressure</b>	27 to 30 bar (g), depending on configuration			
<b>PERFORMANCES</b>				
<b>Stack DC consumption, BoL</b>	4,65 kWh/Nm <sup>3</sup>	4,65 kWh/Nm <sup>3</sup>	4,65 kWh/Nm <sup>3</sup>	4,65 kWh/Nm <sup>3</sup>
<b>System AC consumption, BoL</b>	5,1 kWh/Nm <sup>3</sup>	5,0 kWh/Nm <sup>3</sup>	5,0 kWh/Nm <sup>3</sup>	5,0 kWh/Nm <sup>3</sup>
<b>Operation range</b>	20 - 100 %	20 - 100 %	20 - 100 %	10 - 100 %
<b>Reaction time</b>	< 30s from hot stand-by to 100 % electrical load			
<b>Ramp-up   Ramp-down<sup>2</sup></b>	>5 %/s   20 %/s			
<b>DIMENSIONS (L x W x H) &amp; WEIGHTS<sup>3</sup></b>				
<b>Stack (per unit)</b>	2.7 x 1.5 x 1.7 m / 9.5 tons			
<b>Stacks &amp; process unit</b>	9.0 x 3.0 x 3.5 m	9.1 x 6.2 x 3.5 m	8.9 x 6.4 x 5.8 m	26 x 25 x 8 m
<b>Electrical unit</b>	6.1 x 2.4 x 2.9 m	6.1 x 3.0 x 2.9 m	9.2 x 2.4 x 2.9 m	26 x 14 x 6 m
<b>Auxiliaries unit</b>	6.1 x 3.0 x 3.0 m	6.1 x 3.0 x 3.0 m	12.0 x 3.0 x 3.0 m	Project specific
<b>INSTALLATION AREA REQUIREMENTS</b>				
<b>Installation area requirements</b>	All equipments delivered in containers	Stacks & process units in building	Stacks in building, process unit outdoor	
<b>Ambient temperature</b>	-20°C   +35°C		+5°C   +40°C	
<b>UTILITIES</b>				
<b>Demineralized water</b>	ca 1 l/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>			
<b>Electrolyte</b>	30 % KOH aqueous solution			

Figura A2 - Eletrolisadores Alcalinos, McPhy (2/2).

### Alkaline Electrolyzers | HySTAT® Series

Product	H2 Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	System efficiency (kWh/kg)	Indicative power rating (kW)*	Output pressure (bar)	Outdoor / Indoor	Size
HySTAT® 10-10	10	55-60	50	10	Outdoor & Indoor	20ft container
HySTAT® 15-10	15	55-60	75	10	Outdoor & Indoor	20ft container
HySTAT® 30-10	30	55-60	150	10	Outdoor & Indoor	20ft container
HySTAT® 60-10	60	55-60	300	10	Outdoor & Indoor	40ft container
HySTAT® 70-10	70	55-60	350	10	Outdoor & Indoor	40ft container
HySTAT® 100-10	100	55-60	500	10	Outdoor & Indoor	40ft container

Figura A3 - Eletrolisadores Alcalinos, Cummins (1/2).

	Alkaline			PEM (Proton Exchange Membrane)		
	HySTAT®-15-10	HySTAT®-60-10	HySTAT®-100-10	HyLYZER® -500-30	HyLYZER® -1.000-30	HyLYZER® -4.000-30
Output pressure	10 barg (27 barg optional)			30 barg		
Design	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor	Indoor
Number of cell stacks	1	4	6	2	2	8
Nominal hydrogen flow	15 Nm <sup>3</sup> /h	60 Nm <sup>3</sup> /h	100 Nm <sup>3</sup> /h	500 Nm <sup>3</sup> /h	1.000 Nm <sup>3</sup> /h	4.000 Nm <sup>3</sup> /h
Nominal input power	80 kW	300 kW	500 kW	2.5 MW	5 MW	20 MW
AC power consumption (utilities included, at nominal capacity)	5.0 to 5.4 kWh/Nm <sup>3</sup>			≤ 5.1 kWh/Nm <sup>3</sup>	DC power consumption: 4.3 kWh/Nm <sup>3</sup> ± 0.1 (at nameplate hydrogen flow)	
Turndown ratio	40-100%	10-100%	5-100%	5-100%	5-125%	
Hydrogen purity	99.998% O <sub>2</sub> < 2 ppm, N <sub>2</sub> < 12 ppm (higher purities optional)			99.998% O <sub>2</sub> < 2 ppm, N <sub>2</sub> < 12 ppm (higher purities optional)		
Tap water consumption	<1.4 liters / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>			<1.4 liters / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>		
Footprint (in containers)	1 x 20 ft	1 x 40 ft	1 x 40 ft	2 x 40 ft	(LxWxH) 8.4 x 2.3 x 3.0 m	20 x 25 m (500 m <sup>2</sup> )
Utilities (AC-DC rectifiers, reverse osmosis, cooling, instrument air, H <sub>2</sub> dryer)	Incl.	Incl.	Incl.	Incl.	Optional	Optional

Figura A4 - Eletrolisadores Alcalinos, Cummins (2/2).

## Technical Overview HyProvide® A-series

Container solution at 100% production	A90	A180	Cell stack at 100% production	
Max effect (kW)	450	900	Power consumption [kWh/kg hydrogen]	53.0
Nominal hydrogen production [Nm <sup>3</sup> /hour   kg/hour]	90   8.1	180   16.2	Efficiency - Higher Heat Value (HHV) [%]	74
Hydrogen outlet pressure [barg]	30		Current [A DC]	1800
Hydrogen production gas purity [vol%]	>99.998			
Water content in hydrogen - with dryer [ppm]	<5			
Oxygen production gas purity - expected [vol%]	>97.5			
Cell stack & power supply consumption [kWh/kg H <sub>2</sub> ]	57.0			
Input connections	3 ph 400 +/- 10% 50 Hz			
Tap water consumption - expected [l/kg hydrogen]	33.4			
Communication interface	Ethernet/Modbus/OPC-UA			
Control software	HyProManager™			
Ambient temperature [°C]	-20 to 30 (0-100%)/ 30 to 35 (0-75%)			
Dry weight of container [t]	19.1	31.6		



Figura A5 - Eletrolisadores Alcalinos, Green Hydrogen Systems.

SPECIFICATIONS	A150	A300	A485
Net Production Rate	50 to 150 Nm <sup>3</sup> /h	150 to 300 Nm <sup>3</sup> /h	300 to 485 Nm <sup>3</sup> /h
Production Capacity Dynamic Range <sup>1</sup>	15 to 100% of flow range	15 to 100% of flow range	15 to 100% of flow range
Power Consumption at Stack <sup>2</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>
Purity – with optional purification	99.99 to 99.998%	99.99 to 99.998%	99.99-99.998%
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v
Delivery Pressure	1 to 200 barg	1 to 200 barg	1 to 200 barg
Dimensions/Footprint	~150 m <sup>2</sup>	~200 m <sup>2</sup>	~225 m <sup>2</sup>
Ambient Temperature			
Process Room	2 to 40°C	2 to 40°C	2 to 40°C
Rectifier Room	2 to 35°C	2 to 35°C	2 to 35°C
Electrolyte	25% KOH solution	25% KOH solution	25% KOH solution
Feed Water Consumption	~1 l/Nm <sup>3</sup>	~1 l/Nm <sup>3</sup>	~1 l/Nm <sup>3</sup>

Figura A6 - Eletrolisadores Alcalinos, Nel (1/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

A1000	A2000	A4000	A20000
600 to 970 Nm <sup>3</sup> /h	1,200 to 1,940 Nm <sup>3</sup> /h	2,400 to 3,880 Nm <sup>3</sup> /h	15,520 to 19,400 Nm <sup>3</sup> /h
15 to 100% of flow range	7.5 to 100% of flow range	3.75 to 100% of flow range	1 to 100% of flow range
3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	3.8 to 4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>
99.99 to 99.998%	99.99 to 99.998%	99.99 to 99.998%	99.99 to 99.998%
< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v
< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v
1 to 200 barg	1 to 200 barg	1 to 200 barg	1 to 200 barg
~225 m <sup>2</sup>	~350 m <sup>2</sup>	~770 m <sup>2</sup>	Depends on configuration
2 to 40°C	2 to 40°C	2 to 40°C	2 to 40°C
2 to 35°C	2 to 35°C	2 to 35°C	2 to 35°C
25% KOH solution	25% KOH solution	25% KOH solution	25% KOH solution
~1 l/Nm <sup>3</sup>	~1 l/Nm <sup>3</sup>	~1 l/Nm <sup>3</sup>	~1 l/Nm <sup>3</sup>

Figura A7 - Eletrolisadores Alcalinos, Nel (2/2).

	10 MW module	20 MW module
Design capacity H <sub>2</sub>	2000 Nm <sup>3</sup> /h	4000 Nm <sup>3</sup> /h
Efficiency electrolyzer (DC)	> 82% <sub>HHV</sub> *	> 82% <sub>HHV</sub> *
Power consumption (DC)	max. 4.3 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	max. 4.3 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
Water consumption	<1 l/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	<1 l/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
Standard operation window	10% - 100%	10% - 100%
H <sub>2</sub> product quality at electrolyzer outlet	> 99.95% purity (dry basis)	> 99.95% purity (dry basis)
H <sub>2</sub> product quality after treatment (optional)	as required by customer, up to 99.999%	as required by customer, up to 99.999%
H <sub>2</sub> product pressure at module outlet	~300 mbar	~300 mbar
Operating temperature	up to 90 °C	up to 90 °C

\* HHV = calculated with reference to higher heating value of hydrogen.  
All values may vary depending on operating conditions.

Figura A8 - Eletrolisadores Alcalinos, Thyssenkrupp.

## ANEXO B: Catálogos Eletrolisadores PEM

SPECIFICATIONS	MC250	MC500
Net Production Rate		
Nm <sup>3</sup> /h	246 Nm <sup>3</sup> /h	492 Nm <sup>3</sup> /h
kg/24 h	531 kg/24 h	1,061 kg/24 h
Production Capacity Dynamic Range	10 to 100%	10 to 100%
Average Power Consumption at Stack <sup>1</sup>	4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>	4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>
Purity – with optional high purity dryer	99.9995%	99.9995%
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 1 ppm v	< 1 ppm v
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 5 ppm v	< 5 ppm v
Delivery Pressure	30 barg	30 barg
Dimensions		
Footprint	NA	NA
Process Container – W x D x H	12.2 m x 2.5 m x 3 m	12.2 m x 2.5 m x 3 m
Rectifier/Transformer Container – W x D x H	6.1 m x 2.5 m x 2.6 m	12.2 m x 2.5 m x 3 m
Ambient Temperature <sup>2</sup>	-20 to 40°C	-20 to 40°C
Electrolyte	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane
Feed Water Consumption	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>

Figura B1 – Eletrolisadores PEM, Nel (1/5).

M2000	M3000	M4000	M5000
1,968 Nm <sup>3</sup> /h	2,952 Nm <sup>3</sup> /h	3,936 Nm <sup>3</sup> /h	4,920 Nm <sup>3</sup> /h
4,247 kg/24 h	6,371 kg/24 h	8,495 kg/24 h	10,618 kg/24 h
10 to 100%	10 to 100%	10 to 100%	10 to 100%
4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>	4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>	4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>	4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>
99.9995%	99.9995%	99.9995%	99.9995%
< 1 ppm v	< 1 ppm v	< 1 ppm v	< 1 ppm v
< 5 ppm v	< 5 ppm v	< 5 ppm v	< 5 ppm v
30 barg	30 barg	30 barg	30 barg
Depends on configuration	Depends on configuration	Depends on configuration	Depends on configuration
NA	NA	NA	NA
NA	NA	NA	NA
10 to 40°C	10 to 40°C	10 to 40°C	10 to 40°C
Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane
0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>

Figura B2 - Eletrolisadores PEM, Nel (2/5).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

SPECIFICATIONS	C10	C20	C30
Nominal Production Rate	10 Nm <sup>3</sup> /h	20 Nm <sup>3</sup> /h	30 Nm <sup>3</sup> /h
Production Capacity Dynamic Range	0 to 100%	0 to 100%	0 to 100%
Power Consumption by System	6.2 kWh/Nm <sup>3</sup>	6 kWh/Nm <sup>3</sup>	5.8 kWh/Nm <sup>3</sup>
Purity	99.9998%	99.9998%	99.9998%
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 1 ppm v	< 1 ppm v	< 1 ppm v
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 2 ppm v	< 2 ppm v	< 2 ppm v
Delivery Pressure	30 barg	30 barg	30 barg
Dimensions			
Electrolyser Enclosure – W x D x H	2.5 m x 1.2 m x 2 m	2.5 m x 1.2 m x 2 m	2.5 m x 1.2 m x 2 m
Power Supply Enclosure – W x D x H	1.7 m x 1 m x 2 m	1.7 m x 1 m x 2 m	1.7 m x 1 m x 2 m
Ambient Temperature	5 to 40°C	5 to 40°C	5 to 40°C
Electrolyte	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane
Feed Water Consumption	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>

Figura B3 - Eletrolisadores PEM, Nel (3/5).

SPECIFICATIONS	H2	H4	H6
Nominal Production Rate	2 Nm <sup>3</sup> /h	4 Nm <sup>3</sup> /h	6 Nm <sup>3</sup> /h
Production Capacity Dynamic Range	0 to 100%	0 to 100%	0 to 100%
Power Consumption by System	7.3 kWh/Nm <sup>3</sup>	7 kWh/Nm <sup>3</sup>	6.8 kWh/Nm <sup>3</sup>
Purity	99.9995%	99.9995%	99.9995%
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 1 ppm v	< 1 ppm v	< 1 ppm v
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 5 ppm v	< 5 ppm v	< 5 ppm v
Delivery Pressure	15 barg/30 barg option	15 barg/30 barg option	15 barg/30 barg option
Dimensions – W x D x H	1.8 m x 0.8 m x 1.9 m	1.8 m x 0.8 m x 1.9 m	1.8 m x 0.8 m x 1.9 m
Ambient Temperature	5 to 50°C	5 to 50°C	5 to 50°C
Electrolyte	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane
Feed Water Consumption	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>

Figura B4 - Eletrolisadores PEM, Nel (4/5).

SPECIFICATIONS	S10	S20	S40
Nominal Production Rate	0.27 Nm <sup>3</sup> /h	0.53 Nm <sup>3</sup> /h	1.05 Nm <sup>3</sup> /h
Production Capacity Dynamic Range	0 to 100%	0 to 100%	0 to 100%
Power Consumption by System	6.1 kWh/Nm <sup>3</sup>	6.1 kWh/Nm <sup>3</sup>	6.1 kWh/Nm <sup>3</sup>
Purity	99.9995%	99.9995%	99.9995%
O <sub>2</sub> -Content in H <sub>2</sub>	< 1 ppm v	< 1 ppm v	< 1 ppm v
H <sub>2</sub> O-Content in H <sub>2</sub>	< 5 ppm v	< 5 ppm v	< 5 ppm v
Delivery Pressure	13.8 barg	13.8 barg	13.8 barg
Dimensions – W x D x H	0.8 m x 1 m x 1.1 m	0.8 m x 1 m x 1.1 m	0.8 m x 1 m x 1.1 m
Ambient Temperature	5 to 40°C/5 to 50°C option	5 to 40°C	5 to 40°C
Electrolyte	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane	Proton Exchange Membrane
Feed Water Consumption	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>	0.9 l/Nm <sup>3</sup>

Figura B5 - Eletrolisadores PEM, Nel (5/5).

### Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 0.5 Nm<sup>3</sup>/h (1.08 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 1-20 barg (14.5-290 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9% ; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999% ; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

### Electrical requirements

---

- Voltage: 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 3.2 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 6.5 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B6 - Eletrolisador PEM (EL 0.5N), H2B2.

### Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 1 Nm<sup>3</sup>/h (2.15 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 1 – 20 barg (14.5-290 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9% ; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999% ; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

### Electrical requirements

---

- Voltage: 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 6.3 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 6.3 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B7 - Eletrolisador PEM (EL 1N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 2 Nm<sup>3</sup>/h (4.31 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 1 – 20 barg (14.5-290 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 12 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 6 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B8 - Eletrolisador PEM (EL 2N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 10.05 Nm<sup>3</sup>/h (21.68 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 53.2 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.3 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B9 - Eletrolisador PEM (EL 10N), H2B2.



## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 20 Nm<sup>3</sup>/h (43 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 106.6 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.2 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B10 - Eletrolisador PEM (EL 20N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 31.7 Nm<sup>3</sup>/h (68.40 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 164.8 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.2 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B11 - Eletrolisador PEM (EL 30N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 63.3 Nm<sup>3</sup>/h (136.58 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 329.2 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.2 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B12 - Eletrolisador PEM (EL 60N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 100 Nm<sup>3</sup>/h (215 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stacks): 515 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.1 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B13 - Eletrolisador PEM (EL 100N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 200 Nm<sup>3</sup>/h (430 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 -100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stack): 1,030 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.1 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B14 - Eletrolisador PEM (EL 200N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 400 Nm<sup>3</sup>/h (860 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 – 100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stacks): 2,060 KW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.1 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B15 - Eletrolisador PEM (EL 400N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 600 Nm<sup>3</sup>/h (1,290 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 – 100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stacks): 3,100 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack): 5.1 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B16 - Eletrolisador PEM (EL 600N), H2B2.

## Hydrogen gas production

---

- Max. nominal hydrogen flow: 800 Nm<sup>3</sup>/h (1,726 kg/day)
- Hydrogen flow range: 10 – 100%
- Operating pressure: 15 – 40 barg (217-580 psig)
- Hydrogen purity (before gas purification): > 99.9%; < 25 ppm O<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O saturated
- Hydrogen purity (after gas purification): 99.999%; < 5 ppm O<sub>2</sub>; < 5 ppm H<sub>2</sub>O

## Electrical requirements

---

- Voltage: 3 x 400 VAC ± 10% (3Ph+N) / 3 x 480 VAC ± 10% (3Ph+N)
- Frequency: 50 Hz ± 5% / 60 Hz ± 3%
- Power (BoP + Stacks): 4,130 kW
- Stack consumption: 4.7 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>
- AC power consumption (BoP + stack)(\*): 5.1 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Figura B17 - Eletrolisador PEM (EL 800N), H2B2.

## PEM Electrolyzers | HyLYZER® Series

Product	H2 Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	System efficiency (kWh/kg)	Equivalent power rating (MW)*	Output pressure (bar)	Outdoor / Indoor	Size Process module	Size Power module
HyLYZER® 200-30	200	≤ 55	1	30	Outdoor	40ft container	20ft container
HyLYZER® 250-30	250	≤ 55	1,25	30	Outdoor	40ft container	20ft container
HyLYZER® 400-30	400	≤ 54	2	30	Outdoor	40ft container	40ft container
HyLYZER® 500-30	500	≤ 54	2,5	30	Outdoor	40ft container	40ft container
HyLYZER® 1000-30	1000	≤ 51	5	30	Indoor	27.7ft x 7.5ft 8.5m x 2.3m	14.8ft x 8.2ft 4.5m x 2.5m
HyLYZER® 4000-30	4000	≤ 51	20	30	Indoor	50ft x 25ft 15.2m x 7.5m	23ft x 30ft 7m x 9m

Figura B18 - Eletrolisadores PEM, Cummins (1/2).

	Alkaline			PEM (Proton Exchange Membrane)		
	HySTAT®-15-10	HySTAT®-60-10	HySTAT®-100-10	HyLYZER® -500-30	HyLYZER® -1.000-30	HyLYZER® -4.000-30
Output pressure	10 barg (27 barg optional)			30 barg		
Design	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor/outdoor	Indoor	Indoor
Number of cell stacks	1	4	6	2	2	8
Nominal hydrogen flow	15 Nm <sup>3</sup> /h	60 Nm <sup>3</sup> /h	100 Nm <sup>3</sup> /h	500 Nm <sup>3</sup> /h	1.000 Nm <sup>3</sup> /h	4.000 Nm <sup>3</sup> /h
Nominal input power	80 kW	300 kW	500 kW	2.5 MW	5 MW	20 MW
AC power consumption (utilities included, at nominal capacity)	5.0 to 5.4 kWh/Nm <sup>3</sup>			≤ 5.1 kWh/Nm <sup>3</sup>	DC power consumption: 4.3 kWh/Nm <sup>3</sup> ± 0.1 (at nameplate hydrogen flow)	
Turndown ratio	40-100%	10-100%	5-100%	5-100%	5-125%	
Hydrogen purity	99.998% O2 < 2 ppm, N2 < 12 ppm (higher purities optional)			99.998% O2 < 2 ppm, N2 < 12 ppm (higher purities optional)		
Tap water consumption	<1.4 liters / Nm <sup>3</sup> H2			<1.4 liters / Nm <sup>3</sup> H2		
Footprint (in containers)	1 x 20 ft	1 x 40 ft	1 x 40 ft	2 x 40 ft	(LxWxH) 8.4 x 2.3 x 3.0 m	20 x 25 m (500 m <sup>2</sup> )
Utilities (AC-DC rectifiers, reverse osmosis, cooling, instrument air, H2 dryer)	Incl.	Incl.	Incl.	Incl.	Optional	Optional

Figura B19 - Eletrolisadores PEM, Cummins (2/2).

## ME450 Parameters




<b>H<sub>2</sub> production nominal</b>	450 kg/d   210 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Energy consumption<sup>1</sup></b>	4.7 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>   53 kWh/kg
<b>System efficiency<sup>1</sup></b>	75 %
<b>Performance class</b>	1 MW
<b>H<sub>2</sub> production modulation range</b>	42 – 210 Nm <sup>3</sup> /h   20 – 100 %
<b>H<sub>2</sub> purity</b>	5.0 (meets ISO 14687:2019 Table 2)
<b>Load change</b>	30 s (Standby to nominal load)
<b>H<sub>2</sub> output pressure</b>	20 – 30 bar(g)
<b>Heat recovery</b>	Heat output: 170 kW BoL   350 kW EoL 57°C handover at customer system   >90% system efficiency
<b>H<sub>2</sub>O required quality</b>	TrinkwV 2020   EU Directive 2020/2184-EU
<b>H<sub>2</sub>O consumption nominal</b>	260 kg/h (at 10° dH)
<b>Power supply electrolysis<sup>2</sup></b>	3 x 480 V Y, 3 x 480 V ▲ /50 Hz (acc. ICE 600038) Connecting power: 1.325 MVA
<b>Power supply periphery</b>	3 x 400 V / 50 Hz (acc. ICE 600038) Connecting value: 150 kW
<b>Dimensions LxWxH</b>	40' Container, incl. attachments ca. 13.2 x 4.0 x 5.7 m
<b>Weight</b>	ca. 36 t (operational)
<b>Ambient temperature</b>	-20°C to +40°C

Technical changes reserved  
<sup>1</sup> standard conditions: BoL, 15°C outdoor temperature, 30bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure and 200 Nm<sup>3</sup>/h, based on Higher Heating Value (HHV)  
<sup>2</sup> Transformer is required for galvanic isolation

Figura B20 - Eletrolisadores PEM, H-Tec Systems (1/3).

## 2 MW HCS Parameters




<b>H<sub>2</sub> production nominal</b>	900 kg/d   420 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Energy consumption<sup>1</sup></b>	4,7 kWh / Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>   53 kWh/kg H <sub>2</sub>
<b>System efficiency<sup>1</sup></b>	75 %
<b>Performance class</b>	2 MW
<b>H<sub>2</sub> production modulation range</b>	42 – 420 Nm <sup>3</sup> /h   10 – 100 %
<b>H<sub>2</sub> purity</b>	99,9 % (3.0)
<b>H<sub>2</sub> purity including optional hydrogen treatment</b>	99.999 % (5.0, meets ISO 14687:2019)
<b>H<sub>2</sub> output pressure</b>	15 – 30 bar(g)
<b>H<sub>2</sub> output pressure including optional hydrogen treatment</b>	20 – 30 bar(g)
<b>Load change</b>	30 s (standby to nominal load)
<b>H<sub>2</sub>O required quality including optional fresh water treatment</b>	TrinkwV 2020   EU Directive 2020/2184-EU
<b>H<sub>2</sub>O required quality without optional fresh water treatment</b>	DI water (fully desalinated)
<b>DI water consumption nominal</b>	600 kg/h
<b>Dimensions</b>	3 Outdoor containers / indoor skids 6.8 x 2.7 x 3.2 m each
<b>Ambient temperature</b>	-20°C to +40°C

Technical changes reserved  
<sup>1</sup> standard conditions: BoL, 15°C outdoor temperature, 30bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure and 400 Nm<sup>3</sup>/h, based on Higher Heating Value (HHV)

Figura B21 - Eletrolisadores PEM, H-Tec Systems (2/3).

# 10 MW Block Parameters



<b>H<sub>2</sub> production nominal</b>	4600 kg/d   2130 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Energy consumption<sup>1</sup></b>	4.6 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>   51 kWh/kg
<b>System efficiency<sup>1</sup></b>	77 %
<b>Performance class</b>	10 MW
<b>H<sub>2</sub> production modulation range</b>	213 – 2130 Nm <sup>3</sup> /h   10 – 100 %
<b>H<sub>2</sub> purity including optional hydrogen purification</b>	3.0 or 5.0 (meets ISO 14687:2019 Table 2)
<b>H<sub>2</sub> purity without optional hydrogen purification</b>	Water saturated at 65 °C and 30 bar(g)
<b>H<sub>2</sub> output pressure</b>	30 bar (g)
<b>Load change</b>	30 s (Minimal load to nominal load)
<b>H<sub>2</sub>O required quality including optional fresh water treatment</b>	TrinkwV 2020   EU Directive 2020/2184-EU
<b>H<sub>2</sub>O required quality without optional fresh water treatment</b>	DI water (fully desalinated)
<b>DI water consumption nominal</b>	1850 kg/h
<b>Dimensions LxWxH (Indoor)</b>	ca. 10 x 24 x 4.5 m
<b>Temperature (Indoor)</b>	+5 °C to + 40 °C

Technical changes reserved  
<sup>1</sup> Battery limit for the efficiency: stacks and converters; standard conditions: BoL (Begin of Life), 15 °C, 30 bar(g) H<sub>2</sub> transfer pressure, 2000 Nm<sup>3</sup>/h, based on Higher Heating Value (HHV)

Figura B22 - Eletrolisadores PEM, H-Tec Systems (3/3).



## Silyzer 300 Fact Sheet













	Hydrogen production	335 kg/h
	Plant efficiency (HHV <sup>1</sup> )	>75.5%
	Power demand	17.5 MW
	Start-up time	<1 min, enabled for PFRS <sup>2</sup>
	Dynamics in range	10%/s in 0 – 100%
	Minimal load	20% single module
	Dimension full Mod. Array	15.0 x 7.5 x 3.5 m
	Array lifetime	>20 a (Module ≈10 a)
	Plant availability	~95%
	Demin water consumption	10 l/kg H <sub>2</sub>
	Dry gas quality <sup>3</sup>	99,9999%
	Delivery pressure	Customized

Figura B23 - Eletrolisador PEM, Siemens.

## ANEXO C: Preços de Venda Eletricidade, OMIP































PTEL Base Futures - Year													
Contract name	SESSION INFO			LAST DEAL			END OF DAY INFO			REFERENCE PRICES		Transparency info	
	Best bid (€/MWh)	Best Ask (€/MWh)	Volume (MWh)	Price (€/MWh)	Time	Volume (MWh)	Open Interest	Nr of Contracts	OTC volume (MWh)	D (€/MWh)	D-1 (€/MWh)		
 FPB YR-24	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	25	0	0	119.79	120.54		
 FPB YR-25	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	87.29	88.29		
 FPB YR-26	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	67.54	67.54		
 FPB YR-27	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	61.04	61.54		
 FPB YR-28	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	53.54	54.04		
 FPB YR-29	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	49.26	49.76		
 FPB YR-30	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	47.63	48.13		
 FPB YR-31	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	46.45	46.95		
 FPB YR-32	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	44.95	45.45		
 FPB YR-33	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0	44.95	45.45		

Figura C1 - Preços de venda de eletricidade considerados, OMIP.

## ANEXO D: Fluxos de Caixa

		Ano Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Eletricidade				28,975 €	21,223 €	16,235 €	14,793 €	12,990 €	11,961 €	11,569 €	11,286 €	10,925 €	10,925 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>343,598.1</b>	<b>- €</b>	<b>28,975 €</b>	<b>21,223 €</b>	<b>16,235 €</b>	<b>14,793 €</b>	<b>12,990 €</b>	<b>11,961 €</b>	<b>11,569 €</b>	<b>11,286 €</b>	<b>10,925 €</b>	<b>10,925 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Opex		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-49,551 €</b>	<b>0 €</b>	<b>-1,547 €</b>	<b>-1,578 €</b>	<b>-1,609 €</b>	<b>-1,642 €</b>	<b>-1,675 €</b>	<b>-1,708 €</b>	<b>-1,742 €</b>	<b>-1,777 €</b>	<b>-1,813 €</b>	<b>-1,849 €</b>
<b>Investimento Inicial (CAPEX)</b>			<b>-137,700 €</b>										
<b>Fluxo de Caixa Total</b>		<b>156,347 €</b>	<b>-137,700 €</b>	<b>27,428 €</b>	<b>19,645 €</b>	<b>14,626 €</b>	<b>13,151 €</b>	<b>11,316 €</b>	<b>10,253 €</b>	<b>9,827 €</b>	<b>9,509 €</b>	<b>9,113 €</b>	<b>9,076 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>6.2%</b>		1.000	0.941	0.886	0.835	0.786	0.740	0.696	0.656	0.617	0.581	0.547
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>	20,864 €	-137,700 €	25,823 €	17,413 €	12,205 €	10,333 €	8,370 €	7,140 €	6,443 €	5,870 €	5,296 €	4,966 €
<b>TIR</b>	<b>8.08%</b>												

Figura D1 - Caso de Estudo 1 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
11,144 €	11,367 €	11,594 €	11,826 €	12,062 €	12,304 €	12,550 €	12,801 €	13,057 €	13,318 €	13,584 €	13,856 €	14,133 €	14,416 €	14,704 €
<b>11,144 €</b>	<b>11,367 €</b>	<b>11,594 €</b>	<b>11,826 €</b>	<b>12,062 €</b>	<b>12,304 €</b>	<b>12,550 €</b>	<b>12,801 €</b>	<b>13,057 €</b>	<b>13,318 €</b>	<b>13,584 €</b>	<b>13,856 €</b>	<b>14,133 €</b>	<b>14,416 €</b>	<b>14,704 €</b>
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-1,886 €</b>	<b>-1,924 €</b>	<b>-1,962 €</b>	<b>-2,001 €</b>	<b>-2,041 €</b>	<b>-2,082 €</b>	<b>-2,124 €</b>	<b>-2,166 €</b>	<b>-2,209 €</b>	<b>-2,254 €</b>	<b>-2,299 €</b>	<b>-2,345 €</b>	<b>-2,392 €</b>	<b>-2,439 €</b>	<b>-2,488 €</b>
<b>9,258 €</b>	<b>9,443 €</b>	<b>9,632 €</b>	<b>9,825 €</b>	<b>10,021 €</b>	<b>10,222 €</b>	<b>10,426 €</b>	<b>10,635 €</b>	<b>10,847 €</b>	<b>11,064 €</b>	<b>11,285 €</b>	<b>11,511 €</b>	<b>11,741 €</b>	<b>11,976 €</b>	<b>12,216 €</b>
0.515	0.485	0.457	0.430	0.405	0.381	0.359	0.338	0.318	0.299	0.282	0.265	0.250	0.235	0.221
4,769 €	4,580 €	4,398 €	4,223 €	4,056 €	3,895 €	3,740 €	3,592 €	3,449 €	3,312 €	3,181 €	3,054 €	2,933 €	2,817 €	2,705 €

Figura D2 - Caso de Estudo 1 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.97€)				19,237 €	19,621 €	20,014 €	20,414 €	20,822 €	21,239 €	21,664 €	22,097 €	22,539 €	22,990 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>616,159.2</b>	<b>- €</b>	<b>19,237 €</b>	<b>19,621 €</b>	<b>20,014 €</b>	<b>20,414 €</b>	<b>20,822 €</b>	<b>21,239 €</b>	<b>21,664 €</b>	<b>22,097 €</b>	<b>22,539 €</b>	<b>22,990 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-3,407 €		-106 €	-108 €	-111 €	-113 €	-115 €	-117 €	-120 €	-122 €	-125 €	-127 €
OeM		-24,023 €		-750 €	-765 €	-780 €	-796 €	-812 €	-828 €	-845 €	-862 €	-879 €	-896 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-76,980 €</b>		<b>-2,403 €</b>	<b>-2,451 €</b>	<b>-2,500 €</b>	<b>-2,550 €</b>	<b>-2,601 €</b>	<b>-2,654 €</b>	<b>-2,707 €</b>	<b>-2,761 €</b>	<b>-2,816 €</b>	<b>-2,872 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-67,500 €	-67,500 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-205,200 €</b>	<b>-205,200 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>333,979 €</b>	<b>-205,200 €</b>	<b>16,833 €</b>	<b>17,170 €</b>	<b>17,513 €</b>	<b>17,864 €</b>	<b>18,221 €</b>	<b>18,585 €</b>	<b>18,957 €</b>	<b>19,336 €</b>	<b>19,723 €</b>	<b>20,117 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>	20,864 €	-205,200 €	15,675 €	14,888 €	14,140 €	13,430 €	12,756 €	12,115 €	11,507 €	10,929 €	10,381 €	9,859 €
<b>TIR</b>	<b>8.42%</b>												

Figura D3 - C.E.1, HySTAT 15-10 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
23,450 €	23,918 €	24,397 €	24,885 €	25,382 €	25,890 €	26,408 €	26,936 €	27,475 €	28,024 €	28,585 €	29,157 €	29,740 €	30,334 €	30,941 €
<b>23,450 €</b>	<b>23,918 €</b>	<b>24,397 €</b>	<b>24,885 €</b>	<b>25,382 €</b>	<b>25,890 €</b>	<b>26,408 €</b>	<b>26,936 €</b>	<b>27,475 €</b>	<b>28,024 €</b>	<b>28,585 €</b>	<b>29,157 €</b>	<b>29,740 €</b>	<b>30,334 €</b>	<b>30,941 €</b>
-130 €	-132 €	-135 €	-138 €	-140 €	-143 €	-146 €	-149 €	-152 €	-155 €	-158 €	-161 €	-164 €	-168 €	-171 €
-914 €	-933 €	-951 €	-970 €	-990 €	-1,009 €	-1,030 €	-1,050 €	-1,071 €	-1,093 €	-1,114 €	-1,137 €	-1,159 €	-1,183 €	-1,206 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-2,930 €</b>	<b>-2,988 €</b>	<b>-3,048 €</b>	<b>-3,109 €</b>	<b>-3,171 €</b>	<b>-3,235 €</b>	<b>-3,299 €</b>	<b>-3,365 €</b>	<b>-3,433 €</b>	<b>-3,501 €</b>	<b>-3,571 €</b>	<b>-3,643 €</b>	<b>-3,716 €</b>	<b>-3,790 €</b>	<b>-3,866 €</b>
<b>20,520 €</b>	<b>20,930 €</b>	<b>21,349 €</b>	<b>21,776 €</b>	<b>22,211 €</b>	<b>22,656 €</b>	<b>23,109 €</b>	<b>23,571 €</b>	<b>24,042 €</b>	<b>24,523 €</b>	<b>25,014 €</b>	<b>25,514 €</b>	<b>26,024 €</b>	<b>26,545 €</b>	<b>27,075 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
9,364 €	8,894 €	8,448 €	8,023 €	7,621 €	7,238 €	6,874 €	6,529 €	6,201 €	5,890 €	5,594 €	5,313 €	5,047 €	4,793 €	4,553 €

Figura D4 - C.E.1, HySTAT 15-10 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.53€)				21,182 €	21,606 €	22,038 €	22,479 €	22,928 €	23,387 €	23,855 €	24,332 €	24,818 €	25,315 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>678,471.8</b>	<b>- €</b>	<b>21,182 €</b>	<b>21,606 €</b>	<b>22,038 €</b>	<b>22,479 €</b>	<b>22,928 €</b>	<b>23,387 €</b>	<b>23,855 €</b>	<b>24,332 €</b>	<b>24,818 €</b>	<b>25,315 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-4,048 €		-126 €	-129 €	-131 €	-134 €	-137 €	-140 €	-142 €	-145 €	-148 €	-151 €
OeM		-32,030 €		-1,000 €	-1,020 €	-1,040 €	-1,061 €	-1,082 €	-1,104 €	-1,126 €	-1,149 €	-1,172 €	-1,195 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-85,629 €</b>		<b>-2,673 €</b>	<b>-2,727 €</b>	<b>-2,781 €</b>	<b>-2,837 €</b>	<b>-2,894 €</b>	<b>-2,952 €</b>	<b>-3,011 €</b>	<b>-3,071 €</b>	<b>-3,132 €</b>	<b>-3,195 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-90,000 €	-90,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-227,700 €</b>	<b>-227,700 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>365,143 €</b>	<b>-227,700 €</b>	<b>18,509 €</b>	<b>18,879 €</b>	<b>19,257 €</b>	<b>19,642 €</b>	<b>20,035 €</b>	<b>20,435 €</b>	<b>20,844 €</b>	<b>21,261 €</b>	<b>21,686 €</b>	<b>22,120 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>	20,864 €	-227,700 €	17,235 €	16,369 €	15,548 €	14,767 €	14,025 €	13,321 €	12,652 €	12,017 €	11,414 €	10,841 €
<b>TIR</b>	<b>8.32%</b>												

Figura D5 - C.E.1, McLyzer 20-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
25,821 €	26,337 €	26,864 €	27,401 €	27,949 €	28,508 €	29,079 €	29,660 €	30,253 €	30,858 €	31,476 €	32,105 €	32,747 €	33,402 €	34,070 €
<b>25,821 €</b>	<b>26,337 €</b>	<b>26,864 €</b>	<b>27,401 €</b>	<b>27,949 €</b>	<b>28,508 €</b>	<b>29,079 €</b>	<b>29,660 €</b>	<b>30,253 €</b>	<b>30,858 €</b>	<b>31,476 €</b>	<b>32,105 €</b>	<b>32,747 €</b>	<b>33,402 €</b>	<b>34,070 €</b>
-154 €	-157 €	-160 €	-163 €	-167 €	-170 €	-173 €	-177 €	-180 €	-184 €	-188 €	-192 €	-195 €	-199 €	-203 €
-1,219 €	-1,243 €	-1,268 €	-1,294 €	-1,319 €	-1,346 €	-1,373 €	-1,400 €	-1,428 €	-1,457 €	-1,486 €	-1,516 €	-1,546 €	-1,577 €	-1,608 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,259 €</b>	<b>-3,324 €</b>	<b>-3,390 €</b>	<b>-3,458 €</b>	<b>-3,527 €</b>	<b>-3,598 €</b>	<b>-3,670 €</b>	<b>-3,743 €</b>	<b>-3,818 €</b>	<b>-3,895 €</b>	<b>-3,972 €</b>	<b>-4,052 €</b>	<b>-4,133 €</b>	<b>-4,216 €</b>	<b>-4,300 €</b>
<b>22,562 €</b>	<b>23,013 €</b>	<b>23,474 €</b>	<b>23,943 €</b>	<b>24,422 €</b>	<b>24,910 €</b>	<b>25,409 €</b>	<b>25,917 €</b>	<b>26,435 €</b>	<b>26,964 €</b>	<b>27,503 €</b>	<b>28,053 €</b>	<b>28,614 €</b>	<b>29,187 €</b>	<b>29,770 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
10,296 €	9,779 €	9,288 €	8,822 €	8,379 €	7,958 €	7,559 €	7,179 €	6,819 €	6,476 €	6,151 €	5,842 €	5,549 €	5,270 €	5,006 €

Figura D6 - C.E.1, McLyzer 20-30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.13€)				25,041 €	25,542 €	26,053 €	26,574 €	27,106 €	27,648 €	28,201 €	28,765 €	29,340 €	29,927 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>802,085.6</b>	<b>- €</b>	<b>25,041 €</b>	<b>25,542 €</b>	<b>26,053 €</b>	<b>26,574 €</b>	<b>27,106 €</b>	<b>27,648 €</b>	<b>28,201 €</b>	<b>28,765 €</b>	<b>29,340 €</b>	<b>29,927 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-4,318 €		-135 €	-138 €	-140 €	-143 €	-146 €	-149 €	-152 €	-155 €	-158 €	-161 €
OeM		-48,045 €		-1,500 €	-1,530 €	-1,561 €	-1,592 €	-1,624 €	-1,656 €	-1,689 €	-1,723 €	-1,757 €	-1,793 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-101,914 €</b>		<b>-3,182 €</b>	<b>-3,245 €</b>	<b>-3,310 €</b>	<b>-3,377 €</b>	<b>-3,444 €</b>	<b>-3,513 €</b>	<b>-3,583 €</b>	<b>-3,655 €</b>	<b>-3,728 €</b>	<b>-3,803 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-135,000 €	-135,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-272,700 €</b>	<b>-272,700 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>427,471 €</b>	<b>-272,700 €</b>	<b>21,860 €</b>	<b>22,297 €</b>	<b>22,743 €</b>	<b>23,198 €</b>	<b>23,662 €</b>	<b>24,135 €</b>	<b>24,618 €</b>	<b>25,110 €</b>	<b>25,612 €</b>	<b>26,124 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>	20,864 €	-272,700 €	20,355 €	19,333 €	18,362 €	17,440 €	16,565 €	15,733 €	14,943 €	14,193 €	13,480 €	12,803 €
<b>TIR</b>	<b>8.17%</b>												

Figura D7 - C.E.1, HySTAT 30-10 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
30,525 €	31,136 €	31,759 €	32,394 €	33,042 €	33,703 €	34,377 €	35,064 €	35,765 €	36,481 €	37,210 €	37,955 €	38,714 €	39,488 €	40,278 €
<b>30,525 €</b>	<b>31,136 €</b>	<b>31,759 €</b>	<b>32,394 €</b>	<b>33,042 €</b>	<b>33,703 €</b>	<b>34,377 €</b>	<b>35,064 €</b>	<b>35,765 €</b>	<b>36,481 €</b>	<b>37,210 €</b>	<b>37,955 €</b>	<b>38,714 €</b>	<b>39,488 €</b>	<b>40,278 €</b>
-164 €	-168 €	-171 €	-174 €	-178 €	-181 €	-185 €	-189 €	-193 €	-196 €	-200 €	-204 €	-208 €	-213 €	-217 €
-1,828 €	-1,865 €	-1,902 €	-1,940 €	-1,979 €	-2,019 €	-2,059 €	-2,100 €	-2,142 €	-2,185 €	-2,229 €	-2,273 €	-2,319 €	-2,365 €	-2,413 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,879 €</b>	<b>-3,956 €</b>	<b>-4,035 €</b>	<b>-4,116 €</b>	<b>-4,198 €</b>	<b>-4,282 €</b>	<b>-4,368 €</b>	<b>-4,455 €</b>	<b>-4,544 €</b>	<b>-4,635 €</b>	<b>-4,728 €</b>	<b>-4,823 €</b>	<b>-4,919 €</b>	<b>-5,017 €</b>	<b>-5,118 €</b>
<b>26,647 €</b>	<b>27,180 €</b>	<b>27,723 €</b>	<b>28,278 €</b>	<b>28,843 €</b>	<b>29,420 €</b>	<b>30,009 €</b>	<b>30,609 €</b>	<b>31,221 €</b>	<b>31,845 €</b>	<b>32,482 €</b>	<b>33,132 €</b>	<b>33,795 €</b>	<b>34,470 €</b>	<b>35,160 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
12,160 €	11,550 €	10,970 €	10,419 €	9,896 €	9,399 €	8,927 €	8,479 €	8,053 €	7,649 €	7,265 €	6,900 €	6,554 €	6,225 €	5,912 €

Figura D8 - C.E.1, HySTAT 30-10 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.49€)				25,664 €	26,177 €	26,700 €	27,234 €	27,779 €	28,335 €	28,901 €	29,479 €	30,069 €	30,670 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>822,011.8</b>	<b>- €</b>	<b>25,664 €</b>	<b>26,177 €</b>	<b>26,700 €</b>	<b>27,234 €</b>	<b>27,779 €</b>	<b>28,335 €</b>	<b>28,901 €</b>	<b>29,479 €</b>	<b>30,069 €</b>	<b>30,670 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-4,182 €		-131 €	-133 €	-136 €	-139 €	-141 €	-144 €	-147 €	-150 €	-153 €	-156 €
OeM		-34,144 €		-1,066 €	-1,087 €	-1,109 €	-1,131 €	-1,154 €	-1,177 €	-1,200 €	-1,224 €	-1,249 €	-1,274 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-87,877 €</b>		<b>-2,744 €</b>	<b>-2,798 €</b>	<b>-2,854 €</b>	<b>-2,911 €</b>	<b>-2,970 €</b>	<b>-3,029 €</b>	<b>-3,090 €</b>	<b>-3,151 €</b>	<b>-3,215 €</b>	<b>-3,279 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-149,240 €	-149,240 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-286,940 €</b>	<b>-286,940 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>447,195 €</b>	<b>-286,940 €</b>	<b>22,920 €</b>	<b>23,378 €</b>	<b>23,846 €</b>	<b>24,323 €</b>	<b>24,809 €</b>	<b>25,306 €</b>	<b>25,812 €</b>	<b>26,328 €</b>	<b>26,854 €</b>	<b>27,392 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>TIR</b>	<b>8.13%</b>	20,864 €	-286,940 €	21,342 €	20,271 €	19,253 €	18,286 €	17,368 €	16,496 €	15,668 €	14,881 €	14,134 €	13,424 €

Figura D9 - C.E.1, EL 20 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
31,284 €	31,909 €	32,548 €	33,199 €	33,863 €	34,540 €	35,231 €	35,935 €	36,654 €	37,387 €	38,135 €	38,897 €	39,675 €	40,469 €	41,278 €
<b>31,284 €</b>	<b>31,909 €</b>	<b>32,548 €</b>	<b>33,199 €</b>	<b>33,863 €</b>	<b>34,540 €</b>	<b>35,231 €</b>	<b>35,935 €</b>	<b>36,654 €</b>	<b>37,387 €</b>	<b>38,135 €</b>	<b>38,897 €</b>	<b>39,675 €</b>	<b>40,469 €</b>	<b>41,278 €</b>
-159 €	-162 €	-166 €	-169 €	-172 €	-176 €	-179 €	-183 €	-186 €	-190 €	-194 €	-198 €	-202 €	-206 €	-210 €
-1,299 €	-1,325 €	-1,352 €	-1,379 €	-1,407 €	-1,435 €	-1,463 €	-1,493 €	-1,523 €	-1,553 €	-1,584 €	-1,616 €	-1,648 €	-1,681 €	-1,715 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,344 €</b>	<b>-3,411 €</b>	<b>-3,479 €</b>	<b>-3,549 €</b>	<b>-3,620 €</b>	<b>-3,692 €</b>	<b>-3,766 €</b>	<b>-3,842 €</b>	<b>-3,918 €</b>	<b>-3,997 €</b>	<b>-4,077 €</b>	<b>-4,158 €</b>	<b>-4,241 €</b>	<b>-4,326 €</b>	<b>-4,413 €</b>
<b>27,939 €</b>	<b>28,498 €</b>	<b>29,068 €</b>	<b>29,649 €</b>	<b>30,242 €</b>	<b>30,847 €</b>	<b>31,464 €</b>	<b>32,094 €</b>	<b>32,735 €</b>	<b>33,390 €</b>	<b>34,058 €</b>	<b>34,739 €</b>	<b>35,434 €</b>	<b>36,143 €</b>	<b>36,865 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
12,750 €	12,110 €	11,502 €	10,924 €	10,376 €	9,855 €	9,360 €	8,890 €	8,444 €	8,020 €	7,617 €	7,235 €	6,871 €	6,526 €	6,199 €

Figura D10 - C.E.1, EL 20 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 8€)				32,316 €	32,962 €	33,621 €	34,294 €	34,979 €	35,679 €	36,393 €	37,120 €	37,863 €	38,620 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>1,035,078.6</b>	<b>- €</b>	<b>32,316 €</b>	<b>32,962 €</b>	<b>33,621 €</b>	<b>34,294 €</b>	<b>34,979 €</b>	<b>35,679 €</b>	<b>36,393 €</b>	<b>37,120 €</b>	<b>37,863 €</b>	<b>38,620 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-4,271 €		-133 €	-136 €	-139 €	-142 €	-144 €	-147 €	-150 €	-153 €	-156 €	-159 €
OeM		-52,786 €		-1,648 €	-1,681 €	-1,715 €	-1,749 €	-1,784 €	-1,820 €	-1,856 €	-1,893 €	-1,931 €	-1,970 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-106,608 €</b>	<b>-3,328 €</b>	<b>-3,395 €</b>	<b>-3,463 €</b>	<b>-3,532 €</b>	<b>-3,603 €</b>	<b>-3,675 €</b>	<b>-3,748 €</b>	<b>-3,823 €</b>	<b>-3,900 €</b>	<b>-3,978 €</b>		
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €		-137,700 €									
CAPEX Eletrolisador		-230,720 €		-230,720 €									
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-368,420 €</b>	<b>-368,420 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>560,050 €</b>	<b>-368,420 €</b>	<b>28,987 €</b>	<b>29,567 €</b>	<b>30,158 €</b>	<b>30,762 €</b>	<b>31,377 €</b>	<b>32,004 €</b>	<b>32,644 €</b>	<b>33,297 €</b>	<b>33,963 €</b>	<b>34,642 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>TIR</b>	<b>7.97%</b>		-368,420 €	26,992 €	25,637 €	24,349 €	23,127 €	21,966 €	20,863 €	19,815 €	18,820 €	17,875 €	16,978 €

Figura D11 - C.E.1, EL 30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
39,393 €	40,180 €	40,984 €	41,804 €	42,640 €	43,493 €	44,362 €	45,250 €	46,155 €	47,078 €	48,019 €	48,980 €	49,959 €	50,958 €	51,978 €
<b>39,393 €</b>	<b>40,180 €</b>	<b>40,984 €</b>	<b>41,804 €</b>	<b>42,640 €</b>	<b>43,493 €</b>	<b>44,362 €</b>	<b>45,250 €</b>	<b>46,155 €</b>	<b>47,078 €</b>	<b>48,019 €</b>	<b>48,980 €</b>	<b>49,959 €</b>	<b>50,958 €</b>	<b>51,978 €</b>
-163 €	-166 €	-169 €	-173 €	-176 €	-179 €	-183 €	-187 €	-190 €	-194 €	-198 €	-202 €	-206 €	-210 €	-214 €
-2,009 €	-2,049 €	-2,090 €	-2,132 €	-2,175 €	-2,218 €	-2,262 €	-2,308 €	-2,354 €	-2,401 €	-2,449 €	-2,498 €	-2,548 €	-2,599 €	-2,651 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-4,057 €</b>	<b>-4,138 €</b>	<b>-4,221 €</b>	<b>-4,306 €</b>	<b>-4,392 €</b>	<b>-4,480 €</b>	<b>-4,569 €</b>	<b>-4,661 €</b>	<b>-4,754 €</b>	<b>-4,849 €</b>	<b>-4,946 €</b>	<b>-5,045 €</b>	<b>-5,146 €</b>	<b>-5,248 €</b>	<b>-5,353 €</b>
<b>35,335 €</b>	<b>36,042 €</b>	<b>36,763 €</b>	<b>37,498 €</b>	<b>38,248 €</b>	<b>39,013 €</b>	<b>39,793 €</b>	<b>40,589 €</b>	<b>41,401 €</b>	<b>42,229 €</b>	<b>43,074 €</b>	<b>43,935 €</b>	<b>44,814 €</b>	<b>45,710 €</b>	<b>46,624 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
16,125 €	15,316 €	14,547 €	13,816 €	13,123 €	12,464 €	11,838 €	11,244 €	10,679 €	10,143 €	9,634 €	9,150 €	8,690 €	8,254 €	7,840 €

Figura D12 - C.E.1, EL 30 (2/2).



Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 8.89€)			33,471 €	34,140 €	34,823 €	35,519 €	36,230 €	36,954 €	37,693 €	38,447 €	39,216 €	40,000 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>1,072,072.4</b>	<b>- €</b>	<b>33,471 €</b>	<b>34,140 €</b>	<b>34,823 €</b>	<b>35,519 €</b>	<b>36,230 €</b>	<b>36,954 €</b>	<b>37,693 €</b>	<b>38,447 €</b>	<b>39,216 €</b>	<b>40,000 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-3,939 €	-123 €	-125 €	-128 €	-131 €	-133 €	-136 €	-139 €	-141 €	-144 €	-147 €	
OeM		-56,053 €	-1,750 €	-1,785 €	-1,821 €	-1,857 €	-1,894 €	-1,932 €	-1,971 €	-2,010 €	-2,050 €	-2,091 €	
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €	-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-109,543 €</b>	<b>-3,420 €</b>	<b>-3,488 €</b>	<b>-3,558 €</b>	<b>-3,629 €</b>	<b>-3,702 €</b>	<b>-3,776 €</b>	<b>-3,851 €</b>	<b>-3,928 €</b>	<b>-4,007 €</b>	<b>-4,087 €</b>		
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-245,000 €	-245,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-382,700 €</b>	<b>-382,700 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>579,829 €</b>	<b>-382,700 €</b>	<b>30,051 €</b>	<b>30,652 €</b>	<b>31,265 €</b>	<b>31,890 €</b>	<b>32,528 €</b>	<b>33,178 €</b>	<b>33,842 €</b>	<b>34,519 €</b>	<b>35,209 €</b>	<b>35,913 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
<b>VAL</b>	<b>20,864 €</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>TIR</b>	<b>7.95%</b>		-382,700 €	27,982 €	26,577 €	25,243 €	23,975 €	22,771 €	21,628 €	20,542 €	19,511 €	18,531 €	17,601 €

Figura D13 - C.E.1, C 30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
40,800 €	41,616 €	42,449 €	43,298 €	44,164 €	45,047 €	45,948 €	46,867 €	47,804 €	48,760 €	49,736 €	50,730 €	51,745 €	52,780 €	53,835 €
<b>40,800 €</b>	<b>41,616 €</b>	<b>42,449 €</b>	<b>43,298 €</b>	<b>44,164 €</b>	<b>45,047 €</b>	<b>45,948 €</b>	<b>46,867 €</b>	<b>47,804 €</b>	<b>48,760 €</b>	<b>49,736 €</b>	<b>50,730 €</b>	<b>51,745 €</b>	<b>52,780 €</b>	<b>53,835 €</b>
-150 €	-153 €	-156 €	-159 €	-162 €	-166 €	-169 €	-172 €	-176 €	-179 €	-183 €	-186 €	-190 €	-194 €	-198 €
-2,133 €	-2,176 €	-2,219 €	-2,264 €	-2,309 €	-2,355 €	-2,402 €	-2,450 €	-2,499 €	-2,549 €	-2,600 €	-2,652 €	-2,705 €	-2,760 €	-2,815 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-4,169 €</b>	<b>-4,252 €</b>	<b>-4,337 €</b>	<b>-4,424 €</b>	<b>-4,513 €</b>	<b>-4,603 €</b>	<b>-4,695 €</b>	<b>-4,789 €</b>	<b>-4,885 €</b>	<b>-4,982 €</b>	<b>-5,082 €</b>	<b>-5,184 €</b>	<b>-5,287 €</b>	<b>-5,393 €</b>	<b>-5,501 €</b>
<b>36,631 €</b>	<b>37,364 €</b>	<b>38,111 €</b>	<b>38,874 €</b>	<b>39,651 €</b>	<b>40,444 €</b>	<b>41,253 €</b>	<b>42,078 €</b>	<b>42,920 €</b>	<b>43,778 €</b>	<b>44,654 €</b>	<b>45,547 €</b>	<b>46,458 €</b>	<b>47,387 €</b>	<b>48,334 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
16,717 €	15,878 €	15,080 €	14,323 €	13,604 €	12,921 €	12,272 €	11,656 €	11,071 €	10,515 €	9,987 €	9,485 €	9,009 €	8,557 €	8,127 €

Figura D14 - C.E.1, C 30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

		Ano Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Eletricidade				25,291 €	18,525 €	14,171 €	12,912 €	11,339 €	10,440 €	10,098 €	9,851 €	9,536 €	9,536 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>299,911.5</b>	<b>- €</b>	<b>25,291 €</b>	<b>18,525 €</b>	<b>14,171 €</b>	<b>12,912 €</b>	<b>11,339 €</b>	<b>10,440 €</b>	<b>10,098 €</b>	<b>9,851 €</b>	<b>9,536 €</b>	<b>9,536 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Opex		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-49,551 €</b>	<b>0 €</b>	<b>-1,547 €</b>	<b>-1,578 €</b>	<b>-1,609 €</b>	<b>-1,642 €</b>	<b>-1,675 €</b>	<b>-1,708 €</b>	<b>-1,742 €</b>	<b>-1,777 €</b>	<b>-1,813 €</b>	<b>-1,849 €</b>
<b>Investimento Inicial (CAPEX)</b>			<b>-137,700 €</b>										
<b>Fluxo de Caixa Total</b>		<b>112,661 €</b>	<b>-137,700 €</b>	<b>23,744 €</b>	<b>16,947 €</b>	<b>12,562 €</b>	<b>11,270 €</b>	<b>9,664 €</b>	<b>8,732 €</b>	<b>8,356 €</b>	<b>8,074 €</b>	<b>7,724 €</b>	<b>7,687 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>6.2%</b>		1.000	0.941	0.886	0.835	0.786	0.740	0.696	0.656	0.617	0.581	0.547
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-137,700 €</b>	<b>22,355 €</b>	<b>15,021 €</b>	<b>10,483 €</b>	<b>8,855 €</b>	<b>7,148 €</b>	<b>6,081 €</b>	<b>5,479 €</b>	<b>4,984 €</b>	<b>4,489 €</b>	<b>4,206 €</b>
<b>TIR</b>	<b>6.01%</b>												

Figura D15 - Caso de Estudo 2 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
9,727 €	9,921 €	10,120 €	10,322 €	10,529 €	10,739 €	10,954 €	11,173 €	11,397 €	11,625 €	11,857 €	12,094 €	12,336 €	12,583 €	12,834 €
<b>9,727 €</b>	<b>9,921 €</b>	<b>10,120 €</b>	<b>10,322 €</b>	<b>10,529 €</b>	<b>10,739 €</b>	<b>10,954 €</b>	<b>11,173 €</b>	<b>11,397 €</b>	<b>11,625 €</b>	<b>11,857 €</b>	<b>12,094 €</b>	<b>12,336 €</b>	<b>12,583 €</b>	<b>12,834 €</b>
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-1,886 €</b>	<b>-1,924 €</b>	<b>-1,962 €</b>	<b>-2,001 €</b>	<b>-2,041 €</b>	<b>-2,082 €</b>	<b>-2,124 €</b>	<b>-2,166 €</b>	<b>-2,209 €</b>	<b>-2,254 €</b>	<b>-2,299 €</b>	<b>-2,345 €</b>	<b>-2,392 €</b>	<b>-2,439 €</b>	<b>-2,488 €</b>
<b>7,841 €</b>	<b>7,998 €</b>	<b>8,158 €</b>	<b>8,321 €</b>	<b>8,487 €</b>	<b>8,657 €</b>	<b>8,830 €</b>	<b>9,007 €</b>	<b>9,187 €</b>	<b>9,371 €</b>	<b>9,558 €</b>	<b>9,749 €</b>	<b>9,944 €</b>	<b>10,143 €</b>	<b>10,346 €</b>
0.515	0.485	0.457	0.430	0.405	0.381	0.359	0.338	0.318	0.299	0.282	0.265	0.250	0.235	0.221
4,039 €	3,879 €	3,725 €	3,577 €	3,435 €	3,299 €	3,168 €	3,042 €	2,921 €	2,805 €	2,694 €	2,587 €	2,484 €	2,386 €	2,291 €

Figura D16 - Caso de Estudo 2 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.26€)				17,500 €	17,850 €	18,207 €	18,571 €	18,943 €	19,322 €	19,708 €	20,102 €	20,504 €	20,914 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>560,538.7</b>	<b>- €</b>	<b>17,500 €</b>	<b>17,850 €</b>	<b>18,207 €</b>	<b>18,571 €</b>	<b>18,943 €</b>	<b>19,322 €</b>	<b>19,708 €</b>	<b>20,102 €</b>	<b>20,504 €</b>	<b>20,914 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-2,955 €		-92 €	-94 €	-96 €	-98 €	-100 €	-102 €	-104 €	-106 €	-108 €	-110 €
OeM		-24,023 €		-750 €	-765 €	-780 €	-796 €	-812 €	-828 €	-845 €	-862 €	-879 €	-896 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-76,529 €</b>		<b>-2,389 €</b>	<b>-2,437 €</b>	<b>-2,486 €</b>	<b>-2,536 €</b>	<b>-2,586 €</b>	<b>-2,638 €</b>	<b>-2,691 €</b>	<b>-2,745 €</b>	<b>-2,799 €</b>	<b>-2,855 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-67,500 €	-67,500 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-205,200 €</b>	<b>-205,200 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>278,810 €</b>	<b>-205,200 €</b>	<b>15,111 €</b>	<b>15,413 €</b>	<b>15,721 €</b>	<b>16,036 €</b>	<b>16,357 €</b>	<b>16,684 €</b>	<b>17,017 €</b>	<b>17,358 €</b>	<b>17,705 €</b>	<b>18,059 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-205,200 €</b>	14,071 €	13,364 €	12,693 €	12,056 €	11,451 €	10,876 €	10,330 €	9,811 €	9,318 €	8,851 €
<b>TIR</b>	<b>7.28%</b>												

Figura D17 - C.E.2, HySTAT 15-10 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
21,333 €	21,759 €	22,195 €	22,638 €	23,091 €	23,553 €	24,024 €	24,505 €	24,995 €	25,495 €	26,004 €	26,525 €	27,055 €	27,596 €	28,148 €
<b>21,333 €</b>	<b>21,759 €</b>	<b>22,195 €</b>	<b>22,638 €</b>	<b>23,091 €</b>	<b>23,553 €</b>	<b>24,024 €</b>	<b>24,505 €</b>	<b>24,995 €</b>	<b>25,495 €</b>	<b>26,004 €</b>	<b>26,525 €</b>	<b>27,055 €</b>	<b>27,596 €</b>	<b>28,148 €</b>
-112 €	-115 €	-117 €	-119 €	-122 €	-124 €	-127 €	-129 €	-132 €	-134 €	-137 €	-140 €	-143 €	-145 €	-148 €
-914 €	-933 €	-951 €	-970 €	-990 €	-1,009 €	-1,030 €	-1,050 €	-1,071 €	-1,093 €	-1,114 €	-1,137 €	-1,159 €	-1,183 €	-1,206 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-2,912 €</b>	<b>-2,971 €</b>	<b>-3,030 €</b>	<b>-3,091 €</b>	<b>-3,153 €</b>	<b>-3,216 €</b>	<b>-3,280 €</b>	<b>-3,346 €</b>	<b>-3,412 €</b>	<b>-3,481 €</b>	<b>-3,550 €</b>	<b>-3,621 €</b>	<b>-3,694 €</b>	<b>-3,768 €</b>	<b>-3,843 €</b>
<b>18,420 €</b>	<b>18,789 €</b>	<b>19,164 €</b>	<b>19,548 €</b>	<b>19,939 €</b>	<b>20,337 €</b>	<b>20,744 €</b>	<b>21,159 €</b>	<b>21,582 €</b>	<b>22,014 €</b>	<b>22,454 €</b>	<b>22,903 €</b>	<b>23,361 €</b>	<b>23,829 €</b>	<b>24,305 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
8,406 €	7,984 €	7,583 €	7,202 €	6,841 €	6,497 €	6,171 €	5,861 €	5,567 €	5,287 €	5,022 €	4,770 €	4,530 €	4,303 €	4,087 €

Figura D18 - C.E.2, HySTAT 15-10 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.68€)			19,446 €	19,835 €	20,232 €	20,637 €	21,049 €	21,470 €	21,900 €	22,338 €	22,785 €	23,240 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>622,875.2</b>	<b>- €</b>	<b>19,446 €</b>	<b>19,835 €</b>	<b>20,232 €</b>	<b>20,637 €</b>	<b>21,049 €</b>	<b>21,470 €</b>	<b>21,900 €</b>	<b>22,338 €</b>	<b>22,785 €</b>	<b>23,240 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-3,620 €		-113 €	-115 €	-118 €	-120 €	-122 €	-125 €	-127 €	-130 €	-132 €	-135 €	
OeM	-32,030 €		-1,000 €	-1,020 €	-1,040 €	-1,061 €	-1,082 €	-1,104 €	-1,126 €	-1,149 €	-1,172 €	-1,195 €	
Opex (fotovoltaico)	-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-85,201 €</b>		<b>-2,660 €</b>	<b>-2,713 €</b>	<b>-2,767 €</b>	<b>-2,823 €</b>	<b>-2,879 €</b>	<b>-2,937 €</b>	<b>-2,996 €</b>	<b>-3,056 €</b>	<b>-3,117 €</b>	<b>-3,179 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-137,700 €	-137,700 €											
CAPEX Eletrolisador	-90,000 €	-90,000 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-227,700 €</b>	<b>-227,700 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>309,974 €</b>	<b>-227,700 €</b>	<b>16,786 €</b>	<b>17,122 €</b>	<b>17,465 €</b>	<b>17,814 €</b>	<b>18,170 €</b>	<b>18,534 €</b>	<b>18,904 €</b>	<b>19,282 €</b>	<b>19,668 €</b>	<b>20,061 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-227,700 €</b>	<b>15,631 €</b>	<b>14,846 €</b>	<b>14,101 €</b>	<b>13,393 €</b>	<b>12,720 €</b>	<b>12,082 €</b>	<b>11,475 €</b>	<b>10,899 €</b>	<b>10,352 €</b>	<b>9,832 €</b>
<b>TIR</b>	<b>7.29%</b>												

Figura D19 - C.E.2, McLyzer 20-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
23,705 €	24,179 €	24,663 €	25,156 €	25,659 €	26,172 €	26,696 €	27,230 €	27,774 €	28,330 €	28,896 €	29,474 €	30,064 €	30,665 €	31,278 €
<b>23,705 €</b>	<b>24,179 €</b>	<b>24,663 €</b>	<b>25,156 €</b>	<b>25,659 €</b>	<b>26,172 €</b>	<b>26,696 €</b>	<b>27,230 €</b>	<b>27,774 €</b>	<b>28,330 €</b>	<b>28,896 €</b>	<b>29,474 €</b>	<b>30,064 €</b>	<b>30,665 €</b>	<b>31,278 €</b>
-138 €	-141 €	-143 €	-146 €	-149 €	-152 €	-155 €	-158 €	-161 €	-165 €	-168 €	-171 €	-175 €	-178 €	-182 €
-1,219 €	-1,243 €	-1,268 €	-1,294 €	-1,319 €	-1,346 €	-1,373 €	-1,400 €	-1,428 €	-1,457 €	-1,486 €	-1,516 €	-1,546 €	-1,577 €	-1,608 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,243 €</b>	<b>-3,307 €</b>	<b>-3,374 €</b>	<b>-3,441 €</b>	<b>-3,510 €</b>	<b>-3,580 €</b>	<b>-3,652 €</b>	<b>-3,725 €</b>	<b>-3,799 €</b>	<b>-3,875 €</b>	<b>-3,953 €</b>	<b>-4,032 €</b>	<b>-4,112 €</b>	<b>-4,195 €</b>	<b>-4,278 €</b>
<b>20,463 €</b>	<b>20,872 €</b>	<b>21,289 €</b>	<b>21,715 €</b>	<b>22,149 €</b>	<b>22,592 €</b>	<b>23,044 €</b>	<b>23,505 €</b>	<b>23,975 €</b>	<b>24,455 €</b>	<b>24,944 €</b>	<b>25,443 €</b>	<b>25,951 €</b>	<b>26,470 €</b>	<b>27,000 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
9,338 €	8,869 €	8,424 €	8,001 €	7,599 €	7,218 €	6,855 €	6,511 €	6,184 €	5,874 €	5,579 €	5,299 €	5,033 €	4,780 €	4,540 €

Figura D20 - C.E.2, McLyzer 20-30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.61€)				23,301 €	23,767 €	24,242 €	24,727 €	25,221 €	25,726 €	26,240 €	26,765 €	27,300 €	27,846 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>746,322.9</b>	<b>- €</b>	<b>23,301 €</b>	<b>23,767 €</b>	<b>24,242 €</b>	<b>24,727 €</b>	<b>25,221 €</b>	<b>25,726 €</b>	<b>26,240 €</b>	<b>26,765 €</b>	<b>27,300 €</b>	<b>27,846 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-3,724 €		-116 €	-119 €	-121 €	-123 €	-126 €	-128 €	-131 €	-134 €	-136 €	-139 €
OeM		-48,045 €		-1,500 €	-1,530 €	-1,561 €	-1,592 €	-1,624 €	-1,656 €	-1,689 €	-1,723 €	-1,757 €	-1,793 €
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-101,321 €</b>		<b>-3,163 €</b>	<b>-3,227 €</b>	<b>-3,291 €</b>	<b>-3,357 €</b>	<b>-3,424 €</b>	<b>-3,493 €</b>	<b>-3,562 €</b>	<b>-3,634 €</b>	<b>-3,706 €</b>	<b>-3,780 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-135,000 €	-135,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-272,700 €</b>	<b>-272,700 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>372,302 €</b>	<b>-272,700 €</b>	<b>20,137 €</b>	<b>20,540 €</b>	<b>20,951 €</b>	<b>21,370 €</b>	<b>21,797 €</b>	<b>22,233 €</b>	<b>22,678 €</b>	<b>23,131 €</b>	<b>23,594 €</b>	<b>24,066 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-272,700 €</b>	18,751 €	17,810 €	16,915 €	16,066 €	15,259 €	14,493 €	13,766 €	13,074 €	12,418 €	11,794 €
<b>TIR</b>	<b>7.31%</b>												

Figura D21 - C.E.2, HySTAT 30-10 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
28,403 €	28,971 €	29,551 €	30,142 €	30,745 €	31,359 €	31,987 €	32,626 €	33,279 €	33,944 €	34,623 €	35,316 €	36,022 €	36,743 €	37,477 €
<b>28,403 €</b>	<b>28,971 €</b>	<b>29,551 €</b>	<b>30,142 €</b>	<b>30,745 €</b>	<b>31,359 €</b>	<b>31,987 €</b>	<b>32,626 €</b>	<b>33,279 €</b>	<b>33,944 €</b>	<b>34,623 €</b>	<b>35,316 €</b>	<b>36,022 €</b>	<b>36,743 €</b>	<b>37,477 €</b>
-142 €	-145 €	-147 €	-150 €	-153 €	-156 €	-160 €	-163 €	-166 €	-169 €	-173 €	-176 €	-180 €	-183 €	-187 €
-1,828 €	-1,865 €	-1,902 €	-1,940 €	-1,979 €	-2,019 €	-2,059 €	-2,100 €	-2,142 €	-2,185 €	-2,229 €	-2,273 €	-2,319 €	-2,365 €	-2,413 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,856 €</b>	<b>-3,933 €</b>	<b>-4,012 €</b>	<b>-4,092 €</b>	<b>-4,174 €</b>	<b>-4,257 €</b>	<b>-4,342 €</b>	<b>-4,429 €</b>	<b>-4,518 €</b>	<b>-4,608 €</b>	<b>-4,700 €</b>	<b>-4,794 €</b>	<b>-4,890 €</b>	<b>-4,988 €</b>	<b>-5,088 €</b>
<b>24,547 €</b>	<b>25,038 €</b>	<b>25,539 €</b>	<b>26,050 €</b>	<b>26,571 €</b>	<b>27,102 €</b>	<b>27,644 €</b>	<b>28,197 €</b>	<b>28,761 €</b>	<b>29,336 €</b>	<b>29,923 €</b>	<b>30,521 €</b>	<b>31,132 €</b>	<b>31,754 €</b>	<b>32,390 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
11,202 €	10,640 €	10,106 €	9,598 €	9,116 €	8,658 €	8,224 €	7,811 €	7,419 €	7,046 €	6,692 €	6,356 €	6,037 €	5,734 €	5,446 €

Figura D22 - C.E.2, HySTAT 30-10 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.94€)			23,924 €	24,403 €	24,891 €	25,389 €	25,896 €	26,414 €	26,943 €	27,482 €	28,031 €	28,592 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>766,303.9</b>	<b>- €</b>	<b>23,924 €</b>	<b>24,403 €</b>	<b>24,891 €</b>	<b>25,389 €</b>	<b>25,896 €</b>	<b>26,414 €</b>	<b>26,943 €</b>	<b>27,482 €</b>	<b>28,031 €</b>	<b>28,592 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-3,643 €		-114 €	-116 €	-118 €	-121 €	-123 €	-126 €	-128 €	-131 €	-133 €	-136 €	
OeM	-34,144 €		-1,066 €	-1,087 €	-1,109 €	-1,131 €	-1,154 €	-1,177 €	-1,200 €	-1,224 €	-1,249 €	-1,274 €	
Opex (fotovoltaico)	-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-87,338 €</b>		<b>-2,727 €</b>	<b>-2,781 €</b>	<b>-2,837 €</b>	<b>-2,894 €</b>	<b>-2,952 €</b>	<b>-3,011 €</b>	<b>-3,071 €</b>	<b>-3,132 €</b>	<b>-3,195 €</b>	<b>-3,259 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-137,700 €	-137,700 €											
CAPEX Eletrolisador	-149,240 €	-149,240 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-286,940 €</b>	<b>-286,940 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>392,026 €</b>	<b>-286,940 €</b>	<b>21,198 €</b>	<b>21,622 €</b>	<b>22,054 €</b>	<b>22,495 €</b>	<b>22,945 €</b>	<b>23,404 €</b>	<b>23,872 €</b>	<b>24,349 €</b>	<b>24,836 €</b>	<b>25,333 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-286,940 €</b>	<b>19,739 €</b>	<b>18,747 €</b>	<b>17,806 €</b>	<b>16,912 €</b>	<b>16,063 €</b>	<b>15,256 €</b>	<b>14,490 €</b>	<b>13,763 €</b>	<b>13,072 €</b>	<b>12,415 €</b>
<b>TIR</b>	<b>7.31%</b>												

Figura D23 - C.E.2, EL 20 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
29,164 €	29,747 €	30,342 €	30,949 €	31,568 €	32,199 €	32,843 €	33,500 €	34,170 €	34,853 €	35,550 €	36,261 €	36,987 €	37,726 €	38,481 €
<b>29,164 €</b>	<b>29,747 €</b>	<b>30,342 €</b>	<b>30,949 €</b>	<b>31,568 €</b>	<b>32,199 €</b>	<b>32,843 €</b>	<b>33,500 €</b>	<b>34,170 €</b>	<b>34,853 €</b>	<b>35,550 €</b>	<b>36,261 €</b>	<b>36,987 €</b>	<b>37,726 €</b>	<b>38,481 €</b>
-139 €	-141 €	-144 €	-147 €	-150 €	-153 €	-156 €	-159 €	-162 €	-166 €	-169 €	-172 €	-176 €	-179 €	-183 €
-1,299 €	-1,325 €	-1,352 €	-1,379 €	-1,407 €	-1,435 €	-1,463 €	-1,493 €	-1,523 €	-1,553 €	-1,584 €	-1,616 €	-1,648 €	-1,681 €	-1,715 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-3,324 €</b>	<b>-3,390 €</b>	<b>-3,458 €</b>	<b>-3,527 €</b>	<b>-3,598 €</b>	<b>-3,670 €</b>	<b>-3,743 €</b>	<b>-3,818 €</b>	<b>-3,894 €</b>	<b>-3,972 €</b>	<b>-4,052 €</b>	<b>-4,133 €</b>	<b>-4,215 €</b>	<b>-4,300 €</b>	<b>-4,386 €</b>
<b>25,840 €</b>	<b>26,357 €</b>	<b>26,884 €</b>	<b>27,421 €</b>	<b>27,970 €</b>	<b>28,529 €</b>	<b>29,100 €</b>	<b>29,682 €</b>	<b>30,275 €</b>	<b>30,881 €</b>	<b>31,499 €</b>	<b>32,128 €</b>	<b>32,771 €</b>	<b>33,426 €</b>	<b>34,095 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
11,792 €	11,200 €	10,638 €	10,104 €	9,596 €	9,114 €	8,657 €	8,222 €	7,809 €	7,417 €	7,045 €	6,691 €	6,355 €	6,036 €	5,733 €

Figura D24 - C.E.2, EL 20 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 8.77€)			30,575 €	31,186 €	31,810 €	32,446 €	33,095 €	33,757 €	34,432 €	35,121 €	35,823 €	36,540 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>979,325.0</b>	<b>- €</b>	<b>30,575 €</b>	<b>31,186 €</b>	<b>31,810 €</b>	<b>32,446 €</b>	<b>33,095 €</b>	<b>33,757 €</b>	<b>34,432 €</b>	<b>35,121 €</b>	<b>35,823 €</b>	<b>36,540 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-3,687 €		-115 €	-117 €	-120 €	-122 €	-125 €	-127 €	-130 €	-132 €	-135 €	-138 €	
OeM	-52,786 €		-1,648 €	-1,681 €	-1,715 €	-1,749 €	-1,784 €	-1,820 €	-1,856 €	-1,893 €	-1,931 €	-1,970 €	
Opex (fotovoltaico)	-49,551 €		-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-106,024 €</b>		<b>-3,310 €</b>	<b>-3,376 €</b>	<b>-3,444 €</b>	<b>-3,513 €</b>	<b>-3,583 €</b>	<b>-3,655 €</b>	<b>-3,728 €</b>	<b>-3,802 €</b>	<b>-3,878 €</b>	<b>-3,956 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-137,700 €	-137,700 €											
CAPEX Eletrolisador	-230,720 €	-230,720 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-368,420 €</b>	<b>-368,420 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>504,881 €</b>	<b>-368,420 €</b>	<b>27,265 €</b>	<b>27,810 €</b>	<b>28,366 €</b>	<b>28,934 €</b>	<b>29,512 €</b>	<b>30,103 €</b>	<b>30,705 €</b>	<b>31,319 €</b>	<b>31,945 €</b>	<b>32,584 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-2,267 €</b>	<b>-368,420 €</b>	<b>25,388 €</b>	<b>24,113 €</b>	<b>22,903 €</b>	<b>21,753 €</b>	<b>20,661 €</b>	<b>19,623 €</b>	<b>18,638 €</b>	<b>17,702 €</b>	<b>16,813 €</b>	<b>15,969 €</b>
<b>TIR</b>	<b>7.33%</b>												

Figura D25 - C.E.2, EL 30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
37,271 €	38,016 €	38,776 €	39,552 €	40,343 €	41,150 €	41,973 €	42,812 €	43,669 €	44,542 €	45,433 €	46,341 €	47,268 €	48,214 €	49,178 €
<b>37,271 €</b>	<b>38,016 €</b>	<b>38,776 €</b>	<b>39,552 €</b>	<b>40,343 €</b>	<b>41,150 €</b>	<b>41,973 €</b>	<b>42,812 €</b>	<b>43,669 €</b>	<b>44,542 €</b>	<b>45,433 €</b>	<b>46,341 €</b>	<b>47,268 €</b>	<b>48,214 €</b>	<b>49,178 €</b>
-140 €	-143 €	-146 €	-149 €	-152 €	-155 €	-158 €	-161 €	-164 €	-168 €	-171 €	-174 €	-178 €	-182 €	-185 €
-2,009 €	-2,049 €	-2,090 €	-2,132 €	-2,175 €	-2,218 €	-2,262 €	-2,308 €	-2,354 €	-2,401 €	-2,449 €	-2,498 €	-2,548 €	-2,599 €	-2,651 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-4,035 €</b>	<b>-4,116 €</b>	<b>-4,198 €</b>	<b>-4,282 €</b>	<b>-4,368 €</b>	<b>-4,455 €</b>	<b>-4,544 €</b>	<b>-4,635 €</b>	<b>-4,728 €</b>	<b>-4,822 €</b>	<b>-4,919 €</b>	<b>-5,017 €</b>	<b>-5,117 €</b>	<b>-5,220 €</b>	<b>-5,324 €</b>
<b>33,236 €</b>	<b>33,900 €</b>	<b>34,578 €</b>	<b>35,270 €</b>	<b>35,975 €</b>	<b>36,695 €</b>	<b>37,429 €</b>	<b>38,177 €</b>	<b>38,941 €</b>	<b>39,720 €</b>	<b>40,514 €</b>	<b>41,324 €</b>	<b>42,151 €</b>	<b>42,994 €</b>	<b>43,854 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
15,167 €	14,406 €	13,682 €	12,995 €	12,343 €	11,723 €	11,135 €	10,575 €	10,044 €	9,540 €	9,061 €	8,606 €	8,174 €	7,764 €	7,374 €

Figura D26 - C.E.2, EL 30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 9.75€)			31,733 €	32,367 €	33,015 €	33,675 €	34,348 €	35,035 €	35,736 €	36,451 €	37,180 €	37,923 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>1,016,402.5</b>	<b>- €</b>	<b>31,733 €</b>	<b>32,367 €</b>	<b>33,015 €</b>	<b>33,675 €</b>	<b>34,348 €</b>	<b>35,035 €</b>	<b>35,736 €</b>	<b>36,451 €</b>	<b>37,180 €</b>	<b>37,923 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-3,438 €	-107 €	-109 €	-112 €	-114 €	-116 €	-119 €	-121 €	-123 €	-126 €	-128 €	
OeM		-56,053 €	-1,750 €	-1,785 €	-1,821 €	-1,857 €	-1,894 €	-1,932 €	-1,971 €	-2,010 €	-2,050 €	-2,091 €	
Opex (fotovoltaico)		-49,551 €	-1,547 €	-1,578 €	-1,609 €	-1,642 €	-1,675 €	-1,708 €	-1,742 €	-1,777 €	-1,813 €	-1,849 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-109,042 €</b>	<b>-3,404 €</b>	<b>-3,472 €</b>	<b>-3,542 €</b>	<b>-3,613 €</b>	<b>-3,685 €</b>	<b>-3,759 €</b>	<b>-3,834 €</b>	<b>-3,911 €</b>	<b>-3,989 €</b>	<b>-4,069 €</b>		
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-137,700 €	-137,700 €										
CAPEX Eletrolisador		-245,000 €	-245,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-382,700 €</b>	<b>-382,700 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>524,660 €</b>	<b>-382,700 €</b>	<b>28,328 €</b>	<b>28,895 €</b>	<b>29,473 €</b>	<b>30,062 €</b>	<b>30,663 €</b>	<b>31,277 €</b>	<b>31,902 €</b>	<b>32,540 €</b>	<b>33,191 €</b>	<b>33,855 €</b>	
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	-2,267 €	-2,267 €	-382,700 €	26,378 €	25,054 €	23,796 €	22,601 €	21,466 €	20,388 €	19,365 €	18,392 €	17,469 €	16,592 €
TIR	7.33%												

Figura D27 - C.E.2, C 30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
38,682 €	39,455 €	40,245 €	41,049 €	41,870 €	42,708 €	43,562 €	44,433 €	45,322 €	46,228 €	47,153 €	48,096 €	49,058 €	50,039 €	51,040 €
<b>38,682 €</b>	<b>39,455 €</b>	<b>40,245 €</b>	<b>41,049 €</b>	<b>41,870 €</b>	<b>42,708 €</b>	<b>43,562 €</b>	<b>44,433 €</b>	<b>45,322 €</b>	<b>46,228 €</b>	<b>47,153 €</b>	<b>48,096 €</b>	<b>49,058 €</b>	<b>50,039 €</b>	<b>51,040 €</b>
-131 €	-133 €	-136 €	-139 €	-142 €	-144 €	-147 €	-150 €	-153 €	-156 €	-160 €	-163 €	-166 €	-169 €	-173 €
-2,133 €	-2,176 €	-2,219 €	-2,264 €	-2,309 €	-2,355 €	-2,402 €	-2,450 €	-2,499 €	-2,549 €	-2,600 €	-2,652 €	-2,705 €	-2,760 €	-2,815 €
-1,886 €	-1,924 €	-1,962 €	-2,001 €	-2,041 €	-2,082 €	-2,124 €	-2,166 €	-2,209 €	-2,254 €	-2,299 €	-2,345 €	-2,392 €	-2,439 €	-2,488 €
<b>-4,150 €</b>	<b>-4,233 €</b>	<b>-4,318 €</b>	<b>-4,404 €</b>	<b>-4,492 €</b>	<b>-4,582 €</b>	<b>-4,673 €</b>	<b>-4,767 €</b>	<b>-4,862 €</b>	<b>-4,959 €</b>	<b>-5,059 €</b>	<b>-5,160 €</b>	<b>-5,263 €</b>	<b>-5,368 €</b>	<b>-5,476 €</b>
<b>34,532 €</b>	<b>35,223 €</b>	<b>35,927 €</b>	<b>36,646 €</b>	<b>37,378 €</b>	<b>38,126 €</b>	<b>38,889 €</b>	<b>39,666 €</b>	<b>40,460 €</b>	<b>41,269 €</b>	<b>42,094 €</b>	<b>42,936 €</b>	<b>43,795 €</b>	<b>44,671 €</b>	<b>45,564 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
15,759 €	14,968 €	14,216 €	13,502 €	12,824 €	12,180 €	11,569 €	10,988 €	10,436 €	9,912 €	9,415 €	8,942 €	8,493 €	8,066 €	7,661 €

Figura D28 - C.E.2, C 30 (2/2).



Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

		Ano Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Eletricidade				519,596 €	380,580 €	291,136 €	265,272 €	232,943 €	214,494 €	207,468 €	202,381 €	195,915 €	195,915 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>6,161,507.2</b>	<b>- €</b>	<b>519,596 €</b>	<b>380,580 €</b>	<b>291,136 €</b>	<b>265,272 €</b>	<b>232,943 €</b>	<b>214,494 €</b>	<b>207,468 €</b>	<b>202,381 €</b>	<b>195,915 €</b>	<b>195,915 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Opex		-991,017 €		-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-991,017 €</b>	<b>0 €</b>	<b>-30,940 €</b>	<b>-31,559 €</b>	<b>-32,190 €</b>	<b>-32,834 €</b>	<b>-33,490 €</b>	<b>-34,160 €</b>	<b>-34,843 €</b>	<b>-35,540 €</b>	<b>-36,251 €</b>	<b>-36,976 €</b>
<b>Investimento Inicial (CAPEX)</b>			<b>-2,754,000 €</b>										
<b>Fluxo de Caixa Total</b>		<b>2,416,490 €</b>	<b>-2,754,000 €</b>	<b>488,656 €</b>	<b>349,021 €</b>	<b>258,946 €</b>	<b>232,439 €</b>	<b>199,453 €</b>	<b>180,334 €</b>	<b>172,624 €</b>	<b>166,841 €</b>	<b>159,664 €</b>	<b>158,939 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>6.2%</b>		1.000	0.941	0.886	0.835	0.786	0.740	0.696	0.656	0.617	0.581	0.547
<b>VAL</b>	<b>41,103 €</b>	41,103 €	-2,754,000 €	460,059 €	309,366 €	216,092 €	182,620 €	147,533 €	125,585 €	113,181 €	102,987 €	92,789 €	86,962 €
<b>TIR</b>	<b>6.40%</b>												

Figura D29 - Caso de Estudo 3 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
199,834 €	203,830 €	207,907 €	212,065 €	216,306 €	220,632 €	225,045 €	229,546 €	234,137 €	238,820 €	243,596 €	248,468 €	253,437 €	258,506 €	263,676 €
<b>199,834 €</b>	<b>203,830 €</b>	<b>207,907 €</b>	<b>212,065 €</b>	<b>216,306 €</b>	<b>220,632 €</b>	<b>225,045 €</b>	<b>229,546 €</b>	<b>234,137 €</b>	<b>238,820 €</b>	<b>243,596 €</b>	<b>248,468 €</b>	<b>253,437 €</b>	<b>258,506 €</b>	<b>263,676 €</b>
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-37,716 €</b>	<b>-38,470 €</b>	<b>-39,239 €</b>	<b>-40,024 €</b>	<b>-40,825 €</b>	<b>-41,641 €</b>	<b>-42,474 €</b>	<b>-43,323 €</b>	<b>-44,190 €</b>	<b>-45,074 €</b>	<b>-45,975 €</b>	<b>-46,895 €</b>	<b>-47,833 €</b>	<b>-48,789 €</b>	<b>-49,765 €</b>
<b>162,118 €</b>	<b>165,360 €</b>	<b>168,668 €</b>	<b>172,041 €</b>	<b>175,482 €</b>	<b>178,991 €</b>	<b>182,571 €</b>	<b>186,223 €</b>	<b>189,947 €</b>	<b>193,746 €</b>	<b>197,621 €</b>	<b>201,573 €</b>	<b>205,605 €</b>	<b>209,717 €</b>	<b>213,911 €</b>
0.515	0.485	0.457	0.430	0.405	0.381	0.359	0.338	0.318	0.299	0.282	0.265	0.250	0.235	0.221
83,511 €	80,196 €	77,013 €	73,956 €	71,020 €	68,201 €	65,494 €	62,895 €	60,398 €	58,001 €	55,699 €	53,488 €	51,365 €	49,326 €	47,368 €

Figura D30 - Caso de Estudo 3 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.43€)			338,666 €	345,440 €	352,348 €	359,395 €	366,583 €	373,915 €	381,393 €	389,021 €	396,802 €	404,738 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>10,847,582.7</b>	<b>- €</b>	<b>338,666 €</b>	<b>345,440 €</b>	<b>352,348 €</b>	<b>359,395 €</b>	<b>366,583 €</b>	<b>373,915 €</b>	<b>381,393 €</b>	<b>389,021 €</b>	<b>396,802 €</b>	<b>404,738 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-65,973 €	-2,060 €	-2,101 €	-2,143 €	-2,186 €	-2,229 €	-2,274 €	-2,320 €	-2,366 €	-2,413 €	-2,462 €	
OeM		-502,876 €	-15,700 €	-16,014 €	-16,334 €	-16,661 €	-16,994 €	-17,334 €	-17,681 €	-18,034 €	-18,395 €	-18,763 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-1,559,866 €</b>	<b>-48,700 €</b>	<b>-49,674 €</b>	<b>-50,667 €</b>	<b>-51,681 €</b>	<b>-52,714 €</b>	<b>-53,768 €</b>	<b>-54,844 €</b>	<b>-55,941 €</b>	<b>-57,059 €</b>	<b>-58,201 €</b>		
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €	-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador		-1,099,000 €	-1,099,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-3,853,000 €</b>	<b>-3,853,000 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>5,434,717 €</b>	<b>-3,853,000 €</b>	<b>289,967 €</b>	<b>295,766 €</b>	<b>301,681 €</b>	<b>307,715 €</b>	<b>313,869 €</b>	<b>320,147 €</b>	<b>326,549 €</b>	<b>333,080 €</b>	<b>339,742 €</b>	<b>346,537 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
VAL	41,103 €	41,103 €	1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
TIR	7.50%		-3,853,000 €	270,007 €	256,450 €	243,574 €	231,344 €	219,728 €	208,696 €	198,217 €	188,265 €	178,812 €	169,834 €

Figura D31 - C.E.3.1, A300 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
412,832 €	421,089 €	429,511 €	438,101 €	446,863 €	455,800 €	464,916 €	474,215 €	483,699 €	493,373 €	503,240 €	513,305 €	523,571 €	534,043 €	544,723 €
<b>412,832 €</b>	<b>421,089 €</b>	<b>429,511 €</b>	<b>438,101 €</b>	<b>446,863 €</b>	<b>455,800 €</b>	<b>464,916 €</b>	<b>474,215 €</b>	<b>483,699 €</b>	<b>493,373 €</b>	<b>503,240 €</b>	<b>513,305 €</b>	<b>523,571 €</b>	<b>534,043 €</b>	<b>544,723 €</b>
-2,511 €	-2,561 €	-2,612 €	-2,664 €	-2,718 €	-2,772 €	-2,828 €	-2,884 €	-2,942 €	-3,001 €	-3,061 €	-3,122 €	-3,184 €	-3,248 €	-3,313 €
-19,138 €	-19,521 €	-19,911 €	-20,310 €	-20,716 €	-21,130 €	-21,553 €	-21,984 €	-22,423 €	-22,872 €	-23,329 €	-23,796 €	-24,272 €	-24,757 €	-25,252 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-59,365 €</b>	<b>-60,552 €</b>	<b>-61,763 €</b>	<b>-62,998 €</b>	<b>-64,258 €</b>	<b>-65,543 €</b>	<b>-66,854 €</b>	<b>-68,191 €</b>	<b>-69,555 €</b>	<b>-70,946 €</b>	<b>-72,365 €</b>	<b>-73,812 €</b>	<b>-75,289 €</b>	<b>-76,795 €</b>	<b>-78,330 €</b>
<b>353,468 €</b>	<b>360,537 €</b>	<b>367,748 €</b>	<b>375,103 €</b>	<b>382,605 €</b>	<b>390,257 €</b>	<b>398,062 €</b>	<b>406,023 €</b>	<b>414,144 €</b>	<b>422,427 €</b>	<b>430,875 €</b>	<b>439,493 €</b>	<b>448,282 €</b>	<b>457,248 €</b>	<b>466,393 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
161,306 €	153,207 €	145,515 €	138,208 €	131,269 €	124,678 €	118,418 €	112,472 €	106,825 €	101,461 €	96,367 €	91,528 €	86,933 €	82,568 €	78,422 €

Figura D32 - C.E.3.1, A300 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma											
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 7.25€)			434,453 €	443,142 €	452,005 €	461,045 €	470,266 €	479,671 €	489,264 €	499,050 €	509,031 €	519,211 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>13,915,653.1</b>	<b>- €</b>	<b>434,453 €</b>	<b>443,142 €</b>	<b>452,005 €</b>	<b>461,045 €</b>	<b>470,266 €</b>	<b>479,671 €</b>	<b>489,264 €</b>	<b>499,050 €</b>	<b>509,031 €</b>	<b>519,211 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-63,333 €	-1,977 €	-2,017 €	-2,057 €	-2,098 €	-2,140 €	-2,183 €	-2,227 €	-2,271 €	-2,317 €	-2,363 €	
OeM		-502,876 €	-15,700 €	-16,014 €	-16,334 €	-16,661 €	-16,994 €	-17,334 €	-17,681 €	-18,034 €	-18,395 €	-18,763 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
Transporte (€/kg/100/km)		-3,070,706 €	-95,869 €	-97,786 €	-99,742 €	-101,737 €	-103,771 €	-105,847 €	-107,964 €	-110,123 €	-112,326 €	-114,572 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-4,627,933 €</b>	<b>-144,486 €</b>	<b>-147,376 €</b>	<b>-150,323 €</b>	<b>-153,330 €</b>	<b>-156,396 €</b>	<b>-159,524 €</b>	<b>-162,715 €</b>	<b>-165,969 €</b>	<b>-169,288 €</b>	<b>-172,674 €</b>		
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €											
CAPEX Eletrolisador		-1,099,000 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-3,853,000 €</b>	<b>-3,853,000 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>5,434,720 €</b>	<b>-3,853,000 €</b>	<b>289,967 €</b>	<b>295,766 €</b>	<b>301,681 €</b>	<b>307,715 €</b>	<b>313,869 €</b>	<b>320,147 €</b>	<b>326,550 €</b>	<b>333,081 €</b>	<b>339,742 €</b>	<b>346,537 €</b>	
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,104 €	41,104 €	-3,853,000 €	270,007 €	256,450 €	243,574 €	231,344 €	219,728 €	208,696 €	198,217 €	188,265 €	178,812 €	169,834 €
TIR	7.50%												

Figura D33 - C.E.3.2, A300 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
529,596 €	540,187 €	550,991 €	562,011 €	573,251 €	584,716 €	596,411 €	608,339 €	620,506 €	632,916 €	645,574 €	658,485 €	671,655 €	685,088 €	698,790 €
<b>529,596 €</b>	<b>540,187 €</b>	<b>550,991 €</b>	<b>562,011 €</b>	<b>573,251 €</b>	<b>584,716 €</b>	<b>596,411 €</b>	<b>608,339 €</b>	<b>620,506 €</b>	<b>632,916 €</b>	<b>645,574 €</b>	<b>658,485 €</b>	<b>671,655 €</b>	<b>685,088 €</b>	<b>698,790 €</b>
-2,410 €	-2,459 €	-2,508 €	-2,558 €	-2,609 €	-2,661 €	-2,714 €	-2,769 €	-2,824 €	-2,881 €	-2,938 €	-2,997 €	-3,057 €	-3,118 €	-3,180 €
-19,138 €	-19,521 €	-19,911 €	-20,310 €	-20,716 €	-21,130 €	-21,553 €	-21,984 €	-22,423 €	-22,872 €	-23,329 €	-23,796 €	-24,272 €	-24,757 €	-25,252 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-116,864 €	-119,201 €	-121,585 €	-124,017 €	-126,497 €	-129,027 €	-131,607 €	-134,239 €	-136,924 €	-139,663 €	-142,456 €	-145,305 €	-148,211 €	-151,175 €	-154,199 €
<b>-176,128 €</b>	<b>-179,650 €</b>	<b>-183,243 €</b>	<b>-186,908 €</b>	<b>-190,646 €</b>	<b>-194,459 €</b>	<b>-198,348 €</b>	<b>-202,315 €</b>	<b>-206,362 €</b>	<b>-210,489 €</b>	<b>-214,699 €</b>	<b>-218,993 €</b>	<b>-223,373 €</b>	<b>-227,840 €</b>	<b>-232,397 €</b>
<b>353,468 €</b>	<b>360,537 €</b>	<b>367,748 €</b>	<b>375,103 €</b>	<b>382,605 €</b>	<b>390,257 €</b>	<b>398,062 €</b>	<b>406,023 €</b>	<b>414,144 €</b>	<b>422,427 €</b>	<b>430,875 €</b>	<b>439,493 €</b>	<b>448,283 €</b>	<b>457,248 €</b>	<b>466,393 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
161,306 €	153,207 €	145,515 €	138,208 €	131,269 €	124,678 €	118,418 €	112,472 €	106,825 €	101,461 €	96,367 €	91,528 €	86,933 €	82,568 €	78,422 €

Figura D34 - C.E.3.2, A300 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma											
		2023 0	2024 1	2025 2	2026 3	2027 4	2028 5	2029 6	2030 7	2031 8	2032 9	2033 10	
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.76€)			398,217 €	406,182 €	414,305 €	422,591 €	431,043 €	439,664 €	448,457 €	457,427 €	466,575 €	475,907 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>12,755,021.2</b>	<b>- €</b>	<b>398,217 €</b>	<b>406,182 €</b>	<b>414,305 €</b>	<b>422,591 €</b>	<b>431,043 €</b>	<b>439,664 €</b>	<b>448,457 €</b>	<b>457,427 €</b>	<b>466,575 €</b>	<b>475,907 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-73,101 €		-2,282 €	-2,328 €	-2,374 €	-2,422 €	-2,470 €	-2,520 €	-2,570 €	-2,622 €	-2,674 €	-2,727 €	
OeM	-808,765 €		-25,250 €	-25,755 €	-26,270 €	-26,796 €	-27,331 €	-27,878 €	-28,436 €	-29,004 €	-29,584 €	-30,176 €	
Opex (fotovoltaico)	-991,017 €		-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-1,872,884 €</b>		<b>-58,472 €</b>	<b>-59,642 €</b>	<b>-60,835 €</b>	<b>-62,051 €</b>	<b>-63,292 €</b>	<b>-64,558 €</b>	<b>-65,849 €</b>	<b>-67,166 €</b>	<b>-68,510 €</b>	<b>-69,880 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-2,754,000 €	-2,754,000 €											
CAPEX Eletrolisador	-1,767,500 €	-1,767,500 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-4,521,500 €</b>	<b>-4,521,500 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>6,360,638 €</b>	<b>-4,521,500 €</b>	<b>339,745 €</b>	<b>346,540 €</b>	<b>353,471 €</b>	<b>360,540 €</b>	<b>367,751 €</b>	<b>375,106 €</b>	<b>382,608 €</b>	<b>390,260 €</b>	<b>398,066 €</b>	<b>406,027 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
VAL	41,103 €	41,103 €	1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
TIR	7.49%		-4,521,500 €	316,359 €	300,475 €	285,388 €	271,059 €	257,449 €	244,522 €	232,245 €	220,584 €	209,508 €	198,989 €

Figura D35 - C.E.3.1, A485 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
485,425 €	495,133 €	505,036 €	515,137 €	525,439 €	535,948 €	546,667 €	557,600 €	568,752 €	580,127 €	591,730 €	603,565 €	615,636 €	627,949 €	640,508 €
<b>485,425 €</b>	<b>495,133 €</b>	<b>505,036 €</b>	<b>515,137 €</b>	<b>525,439 €</b>	<b>535,948 €</b>	<b>546,667 €</b>	<b>557,600 €</b>	<b>568,752 €</b>	<b>580,127 €</b>	<b>591,730 €</b>	<b>603,565 €</b>	<b>615,636 €</b>	<b>627,949 €</b>	<b>640,508 €</b>
-2,782 €	-2,838 €	-2,894 €	-2,952 €	-3,011 €	-3,072 €	-3,133 €	-3,196 €	-3,260 €	-3,325 €	-3,391 €	-3,459 €	-3,528 €	-3,599 €	-3,671 €
-30,780 €	-31,395 €	-32,023 €	-32,664 €	-33,317 €	-33,983 €	-34,663 €	-35,356 €	-36,063 €	-36,784 €	-37,520 €	-38,271 €	-39,036 €	-39,817 €	-40,613 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-71,277 €</b>	<b>-72,703 €</b>	<b>-74,157 €</b>	<b>-75,640 €</b>	<b>-77,153 €</b>	<b>-78,696 €</b>	<b>-80,270 €</b>	<b>-81,875 €</b>	<b>-83,513 €</b>	<b>-85,183 €</b>	<b>-86,887 €</b>	<b>-88,624 €</b>	<b>-90,397 €</b>	<b>-92,205 €</b>	<b>-94,049 €</b>
<b>414,147 €</b>	<b>422,430 €</b>	<b>430,879 €</b>	<b>439,497 €</b>	<b>448,286 €</b>	<b>457,252 €</b>	<b>466,397 €</b>	<b>475,725 €</b>	<b>485,240 €</b>	<b>494,944 €</b>	<b>504,843 €</b>	<b>514,940 €</b>	<b>525,239 €</b>	<b>535,744 €</b>	<b>546,459 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
188,998 €	179,508 €	170,495 €	161,935 €	153,804 €	146,081 €	138,747 €	131,780 €	125,163 €	118,879 €	112,910 €	107,241 €	101,856 €	96,742 €	91,885 €

Figura D36 - C.E.3.1, A485 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 7,60€)			504,353 €	514,440 €	524,729 €	535,224 €	545,928 €	556,847 €	567,984 €	579,343 €	590,930 €	602,749 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>16,154,585.5</b>	<b>- €</b>	<b>504,353 €</b>	<b>514,440 €</b>	<b>524,729 €</b>	<b>535,224 €</b>	<b>545,928 €</b>	<b>556,847 €</b>	<b>567,984 €</b>	<b>579,343 €</b>	<b>590,930 €</b>	<b>602,749 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água			-2,191 €	-2,235 €	-2,279 €	-2,325 €	-2,372 €	-2,419 €	-2,467 €	-2,517 €	-2,567 €	-2,618 €	
OeM			-25,250 €	-25,755 €	-26,270 €	-26,796 €	-27,331 €	-27,878 €	-28,436 €	-29,004 €	-29,584 €	-30,176 €	
Opex (fotovoltaico)			-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
Transporte (€/kg/100/km)			-106,227 €	-108,352 €	-110,519 €	-112,729 €	-114,984 €	-117,283 €	-119,629 €	-122,022 €	-124,462 €	-126,951 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-5,272,448 €</b>		<b>-164,608 €</b>	<b>-167,900 €</b>	<b>-171,258 €</b>	<b>-174,683 €</b>	<b>-178,177 €</b>	<b>-181,741 €</b>	<b>-185,375 €</b>	<b>-189,083 €</b>	<b>-192,865 €</b>	<b>-196,722 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico			-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador			-1,767,500 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-4,521,500 €</b>		<b>-4,521,500 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>6,360,638 €</b>		<b>-4,521,500 €</b>	<b>339,745 €</b>	<b>346,540 €</b>	<b>353,471 €</b>	<b>360,540 €</b>	<b>367,751 €</b>	<b>375,106 €</b>	<b>382,608 €</b>	<b>390,260 €</b>	<b>398,066 €</b>	<b>406,027 €</b>
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,103 €	41,103 €	-4,521,500 €	316,359 €	300,475 €	285,388 €	271,059 €	257,449 €	244,522 €	232,245 €	220,584 €	209,508 €	198,989 €
TIR	7.49%												

Figura D37 - C.E.3.2, A485 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
614,804 €	627,100 €	639,642 €	652,435 €	665,483 €	678,793 €	692,369 €	706,216 €	720,341 €	734,747 €	749,442 €	764,431 €	779,720 €	795,314 €	811,221 €
<b>614,804 €</b>	<b>627,100 €</b>	<b>639,642 €</b>	<b>652,435 €</b>	<b>665,483 €</b>	<b>678,793 €</b>	<b>692,369 €</b>	<b>706,216 €</b>	<b>720,341 €</b>	<b>734,747 €</b>	<b>749,442 €</b>	<b>764,431 €</b>	<b>779,720 €</b>	<b>795,314 €</b>	<b>811,221 €</b>
-2,671 €	-2,724 €	-2,779 €	-2,834 €	-2,891 €	-2,949 €	-3,008 €	-3,068 €	-3,129 €	-3,192 €	-3,256 €	-3,321 €	-3,387 €	-3,455 €	-3,524 €
-30,780 €	-31,395 €	-32,023 €	-32,664 €	-33,317 €	-33,983 €	-34,663 €	-35,356 €	-36,063 €	-36,784 €	-37,520 €	-38,271 €	-39,036 €	-39,817 €	-40,613 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-129,490 €	-132,080 €	-134,722 €	-137,416 €	-140,165 €	-142,968 €	-145,827 €	-148,744 €	-151,719 €	-154,753 €	-157,848 €	-161,005 €	-164,225 €	-167,510 €	-170,860 €
<b>-200,656 €</b>	<b>-204,670 €</b>	<b>-208,763 €</b>	<b>-212,938 €</b>	<b>-217,197 €</b>	<b>-221,541 €</b>	<b>-225,972 €</b>	<b>-230,491 €</b>	<b>-235,101 €</b>	<b>-239,803 €</b>	<b>-244,599 €</b>	<b>-249,491 €</b>	<b>-254,481 €</b>	<b>-259,570 €</b>	<b>-264,762 €</b>
<b>414,147 €</b>	<b>422,430 €</b>	<b>430,879 €</b>	<b>439,497 €</b>	<b>448,286 €</b>	<b>457,252 €</b>	<b>466,397 €</b>	<b>475,725 €</b>	<b>485,240 €</b>	<b>494,944 €</b>	<b>504,843 €</b>	<b>514,940 €</b>	<b>525,239 €</b>	<b>535,744 €</b>	<b>546,459 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
188,998 €	179,508 €	170,495 €	161,935 €	153,804 €	146,081 €	138,747 €	131,780 €	125,163 €	118,879 €	112,910 €	107,241 €	101,856 €	96,742 €	91,885 €

Figura D38 - C.E.3.2, A485 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma											
		2023 0	2024 1	2025 2	2026 3	2027 4	2028 5	2029 6	2030 7	2031 8	2032 9	2033 10	
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.38€)			368,686 €	376,059 €	383,581 €	391,252 €	399,077 €	407,059 €	415,200 €	423,504 €	431,974 €	440,614 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>11,809,115.8</b>	<b>- €</b>	<b>368,686 €</b>	<b>376,059 €</b>	<b>383,581 €</b>	<b>391,252 €</b>	<b>399,077 €</b>	<b>407,059 €</b>	<b>415,200 €</b>	<b>423,504 €</b>	<b>431,974 €</b>	<b>440,614 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-72,376 €		-2,260 €	-2,305 €	-2,351 €	-2,398 €	-2,446 €	-2,495 €	-2,545 €	-2,596 €	-2,647 €	-2,700 €	
OeM	-656,621 €		-20,500 €	-20,910 €	-21,328 €	-21,755 €	-22,190 €	-22,634 €	-23,086 €	-23,548 €	-24,019 €	-24,499 €	
Opex (fotovoltaico)	-991,017 €		-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-1,720,015 €</b>		<b>-53,700 €</b>	<b>-54,774 €</b>	<b>-55,869 €</b>	<b>-56,986 €</b>	<b>-58,126 €</b>	<b>-59,289 €</b>	<b>-60,474 €</b>	<b>-61,684 €</b>	<b>-62,918 €</b>	<b>-64,176 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-2,754,000 €	-2,754,000 €											
CAPEX Eletrolisador	-1,435,000 €	-1,435,000 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-4,189,000 €</b>	<b>-4,189,000 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>5,900,101 €</b>	<b>-4,189,000 €</b>	<b>314,986 €</b>	<b>321,286 €</b>	<b>327,712 €</b>	<b>334,266 €</b>	<b>340,951 €</b>	<b>347,770 €</b>	<b>354,726 €</b>	<b>361,820 €</b>	<b>369,056 €</b>	<b>376,438 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
VAL	41,103 €	41,103 €	1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
TIR	7.49%		-4,189,000 €	293,305 €	278,578 €	264,590 €	251,305 €	238,687 €	226,703 €	215,320 €	204,509 €	194,240 €	184,488 €

Figura D39 - C.E.3.1, McLYZER 400-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
449,426 €	458,414 €	467,583 €	476,934 €	486,473 €	496,203 €	506,127 €	516,249 €	526,574 €	537,106 €	547,848 €	558,805 €	569,981 €	581,380 €	593,008 €
<b>449,426 €</b>	<b>458,414 €</b>	<b>467,583 €</b>	<b>476,934 €</b>	<b>486,473 €</b>	<b>496,203 €</b>	<b>506,127 €</b>	<b>516,249 €</b>	<b>526,574 €</b>	<b>537,106 €</b>	<b>547,848 €</b>	<b>558,805 €</b>	<b>569,981 €</b>	<b>581,380 €</b>	<b>593,008 €</b>
-2,754 €	-2,810 €	-2,866 €	-2,923 €	-2,982 €	-3,041 €	-3,102 €	-3,164 €	-3,227 €	-3,292 €	-3,358 €	-3,425 €	-3,493 €	-3,563 €	-3,634 €
-24,989 €	-25,489 €	-25,999 €	-26,519 €	-27,049 €	-27,590 €	-28,142 €	-28,705 €	-29,279 €	-29,865 €	-30,462 €	-31,071 €	-31,693 €	-32,326 €	-32,973 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-65,460 €</b>	<b>-66,769 €</b>	<b>-68,104 €</b>	<b>-69,466 €</b>	<b>-70,855 €</b>	<b>-72,273 €</b>	<b>-73,718 €</b>	<b>-75,192 €</b>	<b>-76,696 €</b>	<b>-78,230 €</b>	<b>-79,795 €</b>	<b>-81,391 €</b>	<b>-83,019 €</b>	<b>-84,679 €</b>	<b>-86,372 €</b>
<b>383,966 €</b>	<b>391,646 €</b>	<b>399,479 €</b>	<b>407,468 €</b>	<b>415,618 €</b>	<b>423,930 €</b>	<b>432,409 €</b>	<b>441,057 €</b>	<b>449,878 €</b>	<b>458,875 €</b>	<b>468,053 €</b>	<b>477,414 €</b>	<b>486,962 €</b>	<b>496,701 €</b>	<b>506,635 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
175,225 €	166,427 €	158,070 €	150,134 €	142,595 €	135,436 €	128,635 €	122,177 €	116,042 €	110,216 €	104,682 €	99,426 €	94,434 €	89,692 €	85,189 €

Figura D40 - C.E.3.1, McLYZER 400-30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 7.21€)			473,770 €	483,245 €	492,910 €	502,768 €	512,824 €	523,080 €	533,542 €	544,213 €	555,097 €	566,199 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>15,174,988.1</b>	<b>- €</b>	<b>473,770 €</b>	<b>483,245 €</b>	<b>492,910 €</b>	<b>502,768 €</b>	<b>512,824 €</b>	<b>523,080 €</b>	<b>533,542 €</b>	<b>544,213 €</b>	<b>555,097 €</b>	<b>566,199 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-69,481 €	-2,169 €	-2,213 €	-2,257 €	-2,302 €	-2,348 €	-2,395 €	-2,443 €	-2,492 €	-2,542 €	-2,592 €	
OeM		-656,621 €	-20,500 €	-20,910 €	-21,328 €	-21,755 €	-22,190 €	-22,634 €	-23,086 €	-23,548 €	-24,019 €	-24,499 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
Transporte (€/kg/100/km)		-3,368,768 €	-105,174 €	-107,278 €	-109,423 €	-111,612 €	-113,844 €	-116,121 €	-118,443 €	-120,812 €	-123,229 €	-125,693 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-5,085,887 €</b>		<b>-158,784 €</b>	<b>-161,959 €</b>	<b>-165,198 €</b>	<b>-168,502 €</b>	<b>-171,872 €</b>	<b>-175,310 €</b>	<b>-178,816 €</b>	<b>-182,392 €</b>	<b>-186,040 €</b>	<b>-189,761 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €	-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador		-1,435,000 €	-1,435,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-4,189,000 €</b>		<b>-4,189,000 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>5,900,101 €</b>	<b>-4,189,000 €</b>	<b>314,986 €</b>	<b>321,286 €</b>	<b>327,712 €</b>	<b>334,266 €</b>	<b>340,951 €</b>	<b>347,770 €</b>	<b>354,726 €</b>	<b>361,820 €</b>	<b>369,056 €</b>	<b>376,438 €</b>	
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,103 €	41,103 €	-4,189,000 €	293,305 €	278,578 €	264,590 €	251,305 €	238,687 €	226,703 €	215,320 €	204,509 €	194,240 €	184,488 €
TIR	7.49%												

Figura D41 - C.E.3.2, McLYZER 400-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
577,523 €	589,073 €	600,855 €	612,872 €	625,129 €	637,632 €	650,384 €	663,392 €	676,660 €	690,193 €	703,997 €	718,077 €	732,438 €	747,087 €	762,029 €
<b>577,523 €</b>	<b>589,073 €</b>	<b>600,855 €</b>	<b>612,872 €</b>	<b>625,129 €</b>	<b>637,632 €</b>	<b>650,384 €</b>	<b>663,392 €</b>	<b>676,660 €</b>	<b>690,193 €</b>	<b>703,997 €</b>	<b>718,077 €</b>	<b>732,438 €</b>	<b>747,087 €</b>	<b>762,029 €</b>
-2,644 €	-2,697 €	-2,751 €	-2,806 €	-2,862 €	-2,919 €	-2,978 €	-3,037 €	-3,098 €	-3,160 €	-3,223 €	-3,288 €	-3,354 €	-3,421 €	-3,489 €
-24,989 €	-25,489 €	-25,999 €	-26,519 €	-27,049 €	-27,590 €	-28,142 €	-28,705 €	-29,279 €	-29,865 €	-30,462 €	-31,071 €	-31,693 €	-32,326 €	-32,973 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-128,207 €	-130,771 €	-133,387 €	-136,054 €	-138,775 €	-141,551 €	-144,382 €	-147,270 €	-150,215 €	-153,219 €	-156,284 €	-159,409 €	-162,597 €	-165,849 €	-169,166 €
<b>-193,556 €</b>	<b>-197,427 €</b>	<b>-201,376 €</b>	<b>-205,404 €</b>	<b>-209,512 €</b>	<b>-213,702 €</b>	<b>-217,976 €</b>	<b>-222,335 €</b>	<b>-226,782 €</b>	<b>-231,318 €</b>	<b>-235,944 €</b>	<b>-240,663 €</b>	<b>-245,476 €</b>	<b>-250,386 €</b>	<b>-255,393 €</b>
<b>383,966 €</b>	<b>391,646 €</b>	<b>399,479 €</b>	<b>407,468 €</b>	<b>415,618 €</b>	<b>423,930 €</b>	<b>432,408 €</b>	<b>441,057 €</b>	<b>449,878 €</b>	<b>458,875 €</b>	<b>468,053 €</b>	<b>477,414 €</b>	<b>486,962 €</b>	<b>496,701 €</b>	<b>506,635 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
175,225 €	166,427 €	158,070 €	150,134 €	142,595 €	135,436 €	128,635 €	122,177 €	116,042 €	110,216 €	104,682 €	99,426 €	94,434 €	89,692 €	85,189 €

Figura D42 - C.E.3.2, McLYZER 400-30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 5.76€)			440,304 €	449,110 €	458,092 €	467,254 €	476,599 €	486,131 €	495,854 €	505,771 €	515,886 €	526,204 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>14,103,073.0</b>	<b>- €</b>	<b>440,304 €</b>	<b>449,110 €</b>	<b>458,092 €</b>	<b>467,254 €</b>	<b>476,599 €</b>	<b>486,131 €</b>	<b>495,854 €</b>	<b>505,771 €</b>	<b>515,886 €</b>	<b>526,204 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-80,754 €	-2,521 €	-2,572 €	-2,623 €	-2,675 €	-2,729 €	-2,784 €	-2,839 €	-2,896 €	-2,954 €	-3,013 €	
OeM		-640,606 €	-20,000 €	-20,400 €	-20,808 €	-21,224 €	-21,649 €	-22,082 €	-22,523 €	-22,974 €	-23,433 €	-23,902 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-1,712,377 €</b>	<b>-53,461 €</b>	<b>-54,530 €</b>	<b>-55,621 €</b>	<b>-56,733 €</b>	<b>-57,868 €</b>	<b>-59,025 €</b>	<b>-60,206 €</b>	<b>-61,410 €</b>	<b>-62,638 €</b>	<b>-63,891 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €	-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador		-2,400,000 €	-2,400,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-5,154,000 €</b>	<b>-5,154,000 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>7,236,696 €</b>	<b>-5,154,000 €</b>	<b>386,843 €</b>	<b>394,580 €</b>	<b>402,471 €</b>	<b>410,521 €</b>	<b>418,731 €</b>	<b>427,106 €</b>	<b>435,648 €</b>	<b>444,361 €</b>	<b>453,248 €</b>	<b>462,313 €</b>
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>												
<b>VAL</b>	<b>41,103 €</b>												
<b>TIR</b>	<b>7.47%</b>												
			1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
			-5,154,000 €	360,215 €	342,129 €	324,951 €	308,635 €	293,138 €	278,420 €	264,440 €	251,163 €	238,552 €	226,574 €

Figura D43 - C.E.3.1, 2MW (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
536,728 €	547,463 €	558,412 €	569,580 €	580,972 €	592,591 €	604,443 €	616,532 €	628,863 €	641,440 €	654,269 €	667,354 €	680,701 €	694,315 €	708,202 €
<b>536,728 €</b>	<b>547,463 €</b>	<b>558,412 €</b>	<b>569,580 €</b>	<b>580,972 €</b>	<b>592,591 €</b>	<b>604,443 €</b>	<b>616,532 €</b>	<b>628,863 €</b>	<b>641,440 €</b>	<b>654,269 €</b>	<b>667,354 €</b>	<b>680,701 €</b>	<b>694,315 €</b>	<b>708,202 €</b>
-3,073 €	-3,135 €	-3,197 €	-3,261 €	-3,327 €	-3,393 €	-3,461 €	-3,530 €	-3,601 €	-3,673 €	-3,746 €	-3,821 €	-3,898 €	-3,976 €	-4,055 €
-24,380 €	-24,867 €	-25,365 €	-25,872 €	-26,390 €	-26,917 €	-27,456 €	-28,005 €	-28,565 €	-29,136 €	-29,719 €	-30,313 €	-30,920 €	-31,538 €	-32,169 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-65,169 €</b>	<b>-66,472 €</b>	<b>-67,802 €</b>	<b>-69,158 €</b>	<b>-70,541 €</b>	<b>-71,952 €</b>	<b>-73,391 €</b>	<b>-74,859 €</b>	<b>-76,356 €</b>	<b>-77,883 €</b>	<b>-79,440 €</b>	<b>-81,029 €</b>	<b>-82,650 €</b>	<b>-84,303 €</b>	<b>-85,989 €</b>
<b>471,559 €</b>	<b>480,991 €</b>	<b>490,610 €</b>	<b>500,423 €</b>	<b>510,431 €</b>	<b>520,640 €</b>	<b>531,052 €</b>	<b>541,674 €</b>	<b>552,507 €</b>	<b>563,557 €</b>	<b>574,828 €</b>	<b>586,325 €</b>	<b>598,051 €</b>	<b>610,012 €</b>	<b>622,213 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
215,198 €	204,393 €	194,130 €	184,383 €	175,125 €	166,332 €	157,981 €	150,048 €	142,514 €	135,359 €	128,562 €	122,107 €	115,976 €	110,153 €	104,622 €

Figura D44 - C.E.3.1, 2MW (2/2).



Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 7.6€)			557,552 €	568,703 €	580,077 €	591,679 €	603,512 €	615,583 €	627,894 €	640,452 €	653,261 €	666,326 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>17,858,560.0</b>	<b>- €</b>	<b>557,552 €</b>	<b>568,703 €</b>	<b>580,077 €</b>	<b>591,679 €</b>	<b>603,512 €</b>	<b>615,583 €</b>	<b>627,894 €</b>	<b>640,452 €</b>	<b>653,261 €</b>	<b>666,326 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-77,524 €	-2,420 €	-2,469 €	-2,518 €	-2,568 €	-2,620 €	-2,672 €	-2,726 €	-2,780 €	-2,836 €	-2,893 €	
Oem		-640,606 €	-20,000 €	-20,400 €	-20,808 €	-21,224 €	-21,649 €	-22,082 €	-22,523 €	-22,974 €	-23,433 €	-23,902 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
Transporte (€/kg/100/km)		-3,758,717 €	-117,349 €	-119,696 €	-122,090 €	-124,531 €	-127,022 €	-129,563 €	-132,154 €	-134,797 €	-137,493 €	-140,243 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-5,467,864 €</b>		<b>-170,709 €</b>	<b>-174,123 €</b>	<b>-177,606 €</b>	<b>-181,158 €</b>	<b>-184,781 €</b>	<b>-188,477 €</b>	<b>-192,246 €</b>	<b>-196,091 €</b>	<b>-200,013 €</b>	<b>-204,013 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €	-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador		-2,400,000 €	-2,400,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-5,154,000 €</b>												
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>7,236,696 €</b>	<b>-5,154,000 €</b>	<b>386,843 €</b>	<b>394,580 €</b>	<b>402,471 €</b>	<b>410,521 €</b>	<b>418,731 €</b>	<b>427,106 €</b>	<b>435,648 €</b>	<b>444,361 €</b>	<b>453,248 €</b>	<b>462,313 €</b>	
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,103 €	41,103 €	-5,154,000 €	360,215 €	342,129 €	324,951 €	308,635 €	293,138 €	278,420 €	264,440 €	251,163 €	238,552 €	226,574 €
TIR	7.47%												

Figura D45 - C.E.3.2, 2MW (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
679,653 €	693,246 €	707,111 €	721,253 €	735,678 €	750,392 €	765,400 €	780,708 €	796,322 €	812,248 €	828,493 €	845,063 €	861,964 €	879,203 €	896,788 €
<b>679,653 €</b>	<b>693,246 €</b>	<b>707,111 €</b>	<b>721,253 €</b>	<b>735,678 €</b>	<b>750,392 €</b>	<b>765,400 €</b>	<b>780,708 €</b>	<b>796,322 €</b>	<b>812,248 €</b>	<b>828,493 €</b>	<b>845,063 €</b>	<b>861,964 €</b>	<b>879,203 €</b>	<b>896,788 €</b>
-2,950 €	-3,009 €	-3,070 €	-3,131 €	-3,194 €	-3,257 €	-3,323 €	-3,389 €	-3,457 €	-3,526 €	-3,596 €	-3,668 €	-3,742 €	-3,817 €	-3,893 €
-24,380 €	-24,867 €	-25,365 €	-25,872 €	-26,390 €	-26,917 €	-27,456 €	-28,005 €	-28,565 €	-29,136 €	-29,719 €	-30,313 €	-30,920 €	-31,538 €	-32,169 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-143,048 €	-145,908 €	-148,827 €	-151,803 €	-154,839 €	-157,936 €	-161,095 €	-164,317 €	-167,603 €	-170,955 €	-174,374 €	-177,862 €	-181,419 €	-185,047 €	-188,748 €
<b>-208,093 €</b>	<b>-212,255 €</b>	<b>-216,500 €</b>	<b>-220,830 €</b>	<b>-225,247 €</b>	<b>-229,752 €</b>	<b>-234,347 €</b>	<b>-239,034 €</b>	<b>-243,815 €</b>	<b>-248,691 €</b>	<b>-253,665 €</b>	<b>-258,738 €</b>	<b>-263,913 €</b>	<b>-269,191 €</b>	<b>-274,575 €</b>
<b>471,559 €</b>	<b>480,991 €</b>	<b>490,610 €</b>	<b>500,423 €</b>	<b>510,431 €</b>	<b>520,640 €</b>	<b>531,052 €</b>	<b>541,674 €</b>	<b>552,507 €</b>	<b>563,557 €</b>	<b>574,828 €</b>	<b>586,325 €</b>	<b>598,051 €</b>	<b>610,012 €</b>	<b>622,213 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
215,198 €	204,393 €	194,130 €	184,383 €	175,125 €	166,332 €	157,981 €	150,048 €	142,514 €	135,359 €	128,562 €	122,107 €	115,976 €	110,153 €	104,622 €

Figura D46 - C.E.3.2, 2MW (2/2).



Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 8.22€)			602,172 €	614,216 €	626,500 €	639,030 €	651,811 €	664,847 €	678,144 €	691,707 €	705,541 €	719,652 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>19,287,758.6</b>	<b>- €</b>	<b>602,172 €</b>	<b>614,216 €</b>	<b>626,500 €</b>	<b>639,030 €</b>	<b>651,811 €</b>	<b>664,847 €</b>	<b>678,144 €</b>	<b>691,707 €</b>	<b>705,541 €</b>	<b>719,652 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água		-77,465 €	-2,419 €	-2,467 €	-2,516 €	-2,567 €	-2,618 €	-2,670 €	-2,724 €	-2,778 €	-2,834 €	-2,890 €	
OeM		-784,742 €	-24,500 €	-24,990 €	-25,490 €	-26,000 €	-26,520 €	-27,050 €	-27,591 €	-28,143 €	-28,706 €	-29,280 €	
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €	-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
Transporte (€/kg/100/km)		-3,755,899 €	-117,261 €	-119,606 €	-121,998 €	-124,438 €	-126,927 €	-129,465 €	-132,055 €	-134,696 €	-137,390 €	-140,138 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-5,609,124 €</b>		<b>-175,119 €</b>	<b>-178,622 €</b>	<b>-182,194 €</b>	<b>-185,838 €</b>	<b>-189,555 €</b>	<b>-193,346 €</b>	<b>-197,213 €</b>	<b>-201,157 €</b>	<b>-205,180 €</b>	<b>-209,284 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €	-2,754,000 €										
CAPEX Eletrolisador		-2,940,000 €	-2,940,000 €										
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-5,694,000 €</b>		<b>-5,694,000 €</b>										
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>7,984,635 €</b>	<b>-5,694,000 €</b>	<b>427,053 €</b>	<b>435,594 €</b>	<b>444,306 €</b>	<b>453,192 €</b>	<b>462,256 €</b>	<b>471,501 €</b>	<b>480,931 €</b>	<b>490,550 €</b>	<b>500,361 €</b>	<b>510,368 €</b>	
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,103 €	41,103 €	-5,694,000 €	397,658 €	377,691 €	358,727 €	340,716 €	323,608 €	307,360 €	291,927 €	277,270 €	263,348 €	250,125 €
TIR	7.47%												

Figura D49 - C.E.3.2, MC 500 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
734,045 €	748,726 €	763,700 €	778,974 €	794,554 €	810,445 €	826,653 €	843,187 €	860,050 €	877,251 €	894,796 €	912,692 €	930,946 €	949,565 €	968,556 €
<b>734,045 €</b>	<b>748,726 €</b>	<b>763,700 €</b>	<b>778,974 €</b>	<b>794,554 €</b>	<b>810,445 €</b>	<b>826,653 €</b>	<b>843,187 €</b>	<b>860,050 €</b>	<b>877,251 €</b>	<b>894,796 €</b>	<b>912,692 €</b>	<b>930,946 €</b>	<b>949,565 €</b>	<b>968,556 €</b>
-2,948 €	-3,007 €	-3,067 €	-3,129 €	-3,191 €	-3,255 €	-3,320 €	-3,386 €	-3,454 €	-3,523 €	-3,594 €	-3,666 €	-3,739 €	-3,814 €	-3,890 €
-29,865 €	-30,463 €	-31,072 €	-31,693 €	-32,327 €	-32,974 €	-33,633 €	-34,306 €	-34,992 €	-35,692 €	-36,406 €	-37,134 €	-37,877 €	-38,634 €	-39,407 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-142,940 €	-145,799 €	-148,715 €	-151,689 €	-154,723 €	-157,818 €	-160,974 €	-164,193 €	-167,477 €	-170,827 €	-174,243 €	-177,728 €	-181,283 €	-184,908 €	-188,607 €
<b>-213,469 €</b>	<b>-217,739 €</b>	<b>-222,094 €</b>	<b>-226,535 €</b>	<b>-231,066 €</b>	<b>-235,688 €</b>	<b>-240,401 €</b>	<b>-245,209 €</b>	<b>-250,113 €</b>	<b>-255,116 €</b>	<b>-260,218 €</b>	<b>-265,422 €</b>	<b>-270,731 €</b>	<b>-276,146 €</b>	<b>-281,668 €</b>
<b>520,575 €</b>	<b>530,987 €</b>	<b>541,606 €</b>	<b>552,439 €</b>	<b>563,487 €</b>	<b>574,757 €</b>	<b>586,252 €</b>	<b>597,977 €</b>	<b>609,937 €</b>	<b>622,136 €</b>	<b>634,578 €</b>	<b>647,270 €</b>	<b>660,215 €</b>	<b>673,420 €</b>	<b>686,888 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
237,567 €	225,638 €	214,309 €	203,549 €	193,328 €	183,621 €	174,402 €	165,645 €	157,328 €	149,429 €	141,926 €	134,800 €	128,031 €	121,603 €	115,497 €

Figura D50 - C.E.3.2, MC 500 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033											
		Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 6.2€)			490,070 €	499,872 €	509,869 €	520,067 €	530,468 €	541,077 €	551,899 €	562,937 €	574,196 €	585,680 €	
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>	<b>15,697,104.7</b>	<b>- €</b>	<b>490,070 €</b>	<b>499,872 €</b>	<b>509,869 €</b>	<b>520,067 €</b>	<b>530,468 €</b>	<b>541,077 €</b>	<b>551,899 €</b>	<b>562,937 €</b>	<b>574,196 €</b>	<b>585,680 €</b>	
<b>CUSTOS</b>													
Água	-83,591 €		-2,610 €	-2,662 €	-2,715 €	-2,769 €	-2,825 €	-2,881 €	-2,939 €	-2,998 €	-3,058 €	-3,119 €	
OeM	-800,757 €		-25,000 €	-25,500 €	-26,010 €	-26,530 €	-27,061 €	-27,602 €	-28,154 €	-28,717 €	-29,291 €	-29,877 €	
Opex (fotovoltaico)	-991,017 €		-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €	
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>	<b>-1,875,366 €</b>		<b>-58,550 €</b>	<b>-59,721 €</b>	<b>-60,915 €</b>	<b>-62,133 €</b>	<b>-63,376 €</b>	<b>-64,644 €</b>	<b>-65,937 €</b>	<b>-67,255 €</b>	<b>-68,600 €</b>	<b>-69,972 €</b>	
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico	-2,754,000 €	-2,754,000 €											
CAPEX Eletrolisador	-3,000,000 €	-3,000,000 €											
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>	<b>-5,754,000 €</b>	<b>-5,754,000 €</b>											
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>	<b>8,067,739 €</b>	<b>-5,754,000 €</b>	<b>431,521 €</b>	<b>440,151 €</b>	<b>448,954 €</b>	<b>457,933 €</b>	<b>467,092 €</b>	<b>476,434 €</b>	<b>485,962 €</b>	<b>495,682 €</b>	<b>505,595 €</b>	<b>515,707 €</b>	
<b>Taxa de Desconto</b>	<b>7.4%</b>		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
<b>VAL</b>	<b>41,103 €</b>	41,103 €	-5,754,000 €	401,818 €	381,642 €	362,480 €	344,280 €	326,994 €	310,575 €	294,981 €	280,170 €	266,103 €	252,742 €
<b>TIR</b>	<b>7.47%</b>												

Figura D51 - C.E.3.1, HyLYZER 500-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
597,393 €	609,341 €	621,528 €	633,958 €	646,638 €	659,570 €	672,762 €	686,217 €	699,941 €	713,940 €	728,219 €	742,783 €	757,639 €	772,792 €	788,248 €
<b>597,393 €</b>	<b>609,341 €</b>	<b>621,528 €</b>	<b>633,958 €</b>	<b>646,638 €</b>	<b>659,570 €</b>	<b>672,762 €</b>	<b>686,217 €</b>	<b>699,941 €</b>	<b>713,940 €</b>	<b>728,219 €</b>	<b>742,783 €</b>	<b>757,639 €</b>	<b>772,792 €</b>	<b>788,248 €</b>
-3,181 €	-3,245 €	-3,310 €	-3,376 €	-3,443 €	-3,512 €	-3,583 €	-3,654 €	-3,727 €	-3,802 €	-3,878 €	-3,955 €	-4,035 €	-4,115 €	-4,198 €
-30,475 €	-31,084 €	-31,706 €	-32,340 €	-32,987 €	-33,647 €	-34,320 €	-35,006 €	-35,706 €	-36,420 €	-37,149 €	-37,892 €	-38,649 €	-39,422 €	-40,211 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
<b>-71,372 €</b>	<b>-72,799 €</b>	<b>-74,255 €</b>	<b>-75,740 €</b>	<b>-77,255 €</b>	<b>-78,800 €</b>	<b>-80,376 €</b>	<b>-81,984 €</b>	<b>-83,623 €</b>	<b>-85,296 €</b>	<b>-87,002 €</b>	<b>-88,742 €</b>	<b>-90,517 €</b>	<b>-92,327 €</b>	<b>-94,174 €</b>
<b>526,021 €</b>	<b>536,542 €</b>	<b>547,273 €</b>	<b>558,218 €</b>	<b>569,382 €</b>	<b>580,770 €</b>	<b>592,386 €</b>	<b>604,233 €</b>	<b>616,318 €</b>	<b>628,644 €</b>	<b>641,217 €</b>	<b>654,041 €</b>	<b>667,122 €</b>	<b>680,465 €</b>	<b>694,074 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
240,052 €	227,999 €	216,551 €	205,678 €	195,351 €	185,542 €	176,226 €	167,378 €	158,974 €	150,992 €	143,411 €	136,210 €	129,371 €	122,875 €	116,706 €

Figura D52 - C.E.3.1, HyLYZER 500-30 (2/2).

Modelo de produção de hidrogénio verde baseado em energia fotovoltaica.

	Ano	Soma	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>PROVEITOS</b>													
Hidrogénio (1KG = 8.05€)				611,436 €	623,665 €	636,139 €	648,861 €	661,839 €	675,075 €	688,577 €	702,348 €	716,395 €	730,723 €
<b>TOTAL DE PROVEITOS OPERACIONAIS</b>		<b>19,584,493.8</b>	<b>- €</b>	<b>611,436 €</b>	<b>623,665 €</b>	<b>636,139 €</b>	<b>648,861 €</b>	<b>661,839 €</b>	<b>675,075 €</b>	<b>688,577 €</b>	<b>702,348 €</b>	<b>716,395 €</b>	<b>730,723 €</b>
<b>CUSTOS</b>													
Água		-80,246 €		-2,505 €	-2,555 €	-2,607 €	-2,659 €	-2,712 €	-2,766 €	-2,821 €	-2,878 €	-2,935 €	-2,994 €
OeM		-800,757 €		-25,000 €	-25,500 €	-26,010 €	-26,530 €	-27,061 €	-27,602 €	-28,154 €	-28,717 €	-29,291 €	-29,877 €
Opex (fotovoltaico)		-991,017 €		-30,940 €	-31,559 €	-32,190 €	-32,834 €	-33,490 €	-34,160 €	-34,843 €	-35,540 €	-36,251 €	-36,976 €
Transporte (€/kg/100/km)		-3,890,733 €		-121,470 €	-123,900 €	-126,378 €	-128,905 €	-131,483 €	-134,113 €	-136,795 €	-139,531 €	-142,322 €	-145,168 €
<b>TOTAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS</b>		<b>-5,762,755 €</b>		<b>-179,916 €</b>	<b>-183,514 €</b>	<b>-187,184 €</b>	<b>-190,928 €</b>	<b>-194,747 €</b>	<b>-198,642 €</b>	<b>-202,614 €</b>	<b>-206,667 €</b>	<b>-210,800 €</b>	<b>-215,016 €</b>
<b>INVESTIMENTO</b>													
CAPEX Fotovoltaico		-2,754,000 €		-2,754,000 €									
CAPEX Eletrolisador		-3,000,000 €		-3,000,000 €									
<b>TOTAL DO INVESTIMENTO</b>		<b>-5,754,000 €</b>		<b>-5,754,000 €</b>									
<b>FLUXO DE CAIXA TOTAL DO PROJETO</b>		<b>8,067,739 €</b>		<b>-5,754,000 €</b>	<b>431,521 €</b>	<b>440,151 €</b>	<b>448,954 €</b>	<b>457,933 €</b>	<b>467,092 €</b>	<b>476,434 €</b>	<b>485,962 €</b>	<b>495,682 €</b>	<b>505,595 €</b>
Taxa de Desconto	7.4%		1.000	0.931	0.867	0.807	0.752	0.700	0.652	0.607	0.565	0.526	0.490
VAL	41,103 €	41,103 €	-5,754,000 €	401,818 €	381,642 €	362,480 €	344,280 €	326,994 €	310,575 €	294,981 €	280,170 €	266,103 €	252,742 €
TIR	7.47%												

Figura D53 - C.E.3.2, HyLYZER 500-30 (1/2).

2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
745,338 €	760,244 €	775,449 €	790,958 €	806,777 €	822,913 €	839,371 €	856,159 €	873,282 €	890,747 €	908,562 €	926,734 €	945,268 €	964,174 €	983,457 €
<b>745,338 €</b>	<b>760,244 €</b>	<b>775,449 €</b>	<b>790,958 €</b>	<b>806,777 €</b>	<b>822,913 €</b>	<b>839,371 €</b>	<b>856,159 €</b>	<b>873,282 €</b>	<b>890,747 €</b>	<b>908,562 €</b>	<b>926,734 €</b>	<b>945,268 €</b>	<b>964,174 €</b>	<b>983,457 €</b>
-3,054 €	-3,115 €	-3,177 €	-3,241 €	-3,306 €	-3,372 €	-3,439 €	-3,508 €	-3,578 €	-3,650 €	-3,723 €	-3,797 €	-3,873 €	-3,951 €	-4,030 €
-30,475 €	-31,084 €	-31,706 €	-32,340 €	-32,987 €	-33,647 €	-34,320 €	-35,006 €	-35,706 €	-36,420 €	-37,149 €	-37,892 €	-38,649 €	-39,422 €	-40,211 €
-37,716 €	-38,470 €	-39,239 €	-40,024 €	-40,825 €	-41,641 €	-42,474 €	-43,323 €	-44,190 €	-45,074 €	-45,975 €	-46,895 €	-47,833 €	-48,789 €	-49,765 €
-148,072 €	-151,033 €	-154,054 €	-157,135 €	-160,278 €	-163,483 €	-166,753 €	-170,088 €	-173,490 €	-176,959 €	-180,499 €	-184,109 €	-187,791 €	-191,547 €	-195,378 €
<b>-219,316 €</b>	<b>-223,703 €</b>	<b>-228,177 €</b>	<b>-232,740 €</b>	<b>-237,395 €</b>	<b>-242,143 €</b>	<b>-246,986 €</b>	<b>-251,925 €</b>	<b>-256,964 €</b>	<b>-262,103 €</b>	<b>-267,345 €</b>	<b>-272,692 €</b>	<b>-278,146 €</b>	<b>-283,709 €</b>	<b>-289,383 €</b>
<b>526,021 €</b>	<b>536,542 €</b>	<b>547,273 €</b>	<b>558,218 €</b>	<b>569,382 €</b>	<b>580,770 €</b>	<b>592,386 €</b>	<b>604,233 €</b>	<b>616,318 €</b>	<b>628,644 €</b>	<b>641,217 €</b>	<b>654,041 €</b>	<b>667,122 €</b>	<b>680,465 €</b>	<b>694,074 €</b>
0.456	0.425	0.396	0.368	0.343	0.319	0.297	0.277	0.258	0.240	0.224	0.208	0.194	0.181	0.168
240,052 €	227,999 €	216,551 €	205,678 €	195,351 €	185,542 €	176,226 €	167,378 €	158,974 €	150,992 €	143,411 €	136,210 €	129,371 €	122,875 €	116,706 €

Figura D54 - C.E.3.2, HyLYZER 500-30 (2/2).