

## SISTEMAS HÍBRIDOS DE ARMAZENAMENTO E PRODUÇÃO DE ENERGIA

### RESUMO

O presente documento tem como objetivo o estudo das características técnicas e económicas de sistemas de armazenamento de energia e as possibilidades, vantagens e condicionantes da sua integração em centrais de produção de energia intermitente.

Numa fase posterior será apresentado o caso de estudo composto por três partes, sendo a primeira uma avaliação técnica da reconversão da central termoelétrica, respeitando o projeto proposto pela Endesa; seguindo-se uma análise do comportamento distinto do sistema de armazenamento de energia elétrica e da produção de hidrogénio, durante 3 meses de inverno e 3 meses de verão.

### 1. Introdução

A transição energética, levou a que se tivesse de procurar uma alternativa aos sistemas clássicos de produção de energia elétrica.

A transição para produção de energia elétrica proveniente de fontes de energia renovável implicarão o desenvolvimento de soluções que reduzirão a sua intermitência. Das diversas possibilidades para se combater esta situação a melhor implicaria o desenvolvimento das tecnologias de armazenamento. Assim, o seu progresso e otimização serão fundamentais para permitir a expansão dos centros produtores renováveis, criando-se uma perfeita sinergia entre estes e os restante sistema elétricos de energia, com otimização do seu aproveitamento operacional e económico.

A função desempenhada pelos sistemas de armazenamento de energia no sistema elétrico é de extrema importância, pois permitirão compensar e regular as flutuações de disponibilidade operacional, diárias e anuais, das centrais

produtoras de energia renovável, tais como energia solar e eólica, em que estão instalados. Eles serão utilizados para o nivelamento de cargas, como fonte de alimentação de reserva centralizada e descentralizada, e como apoio à gestão da rede elétrica e à estabilidade da mesma.

As redes elétricas do futuro exigirão que a energia proveniente de centros produtores de baixa potência, microprodução/miniprodução, sejam integradas de forma mais eficiente, ajudando a criar um sistema elétrico de energia sustentável, evolutivo e estável.

As tecnologias de armazenamento de energia são a chave para conseguir estes objetivos, permitindo que as fontes de energia renovável, em que a imprevisibilidade é intrínseca, sejam compensadas (nos períodos em que a sua produção é reduzida) pela energia armazenada, que é produzida nos períodos em que a potencia gerada é superior à carga.

Além disso pretende-se que a integração de sistemas de armazenamento em aproveitamentos já existentes, assim como em futuros, permita ajudar a regular a qualidade do serviço que a rede elétrica oferece, aumentando a fiabilidade e suportando o seu crescimento.

Em última instância é desejável que o sistema elétrico de energia se comporte como um todo, de forma dinâmica e rapidamente ajustável.

### 2. Sistemas Híbridos de Armazenamento de Energia

A combinação de diferentes componentes em sistemas híbridos para se aproveitar os distintos benefícios, sempre foi uma perspetiva atrativa.

Nos últimos anos, surgiram alguns projetos bem sucedidos, tanto para o armazenamento de energia solar como para o armazenamento de energia eólica.

Os sistemas de armazenamento de energia em baterias combinada com os apoios financeiros para a proliferação do investimento de produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis têm vindo a crescer nos últimos anos.

Então a que se refere o termo: “híbrido”, no mundo do armazenamento de energia?

Embora a ideia não seja nova, a aplicação destes sistemas na rede elétrica têm vindo a aumentar nos últimos anos, devido às necessidades energéticas crescentes.

Os sistemas híbridos de energia, assentam no conceito da combinação e configuração de vários tipos diferentes de dois ou mais tipos de sistemas de armazenamento de energia para formar um único sistema.

Não existe uma solução única de armazenamento de energia que seja ideal para todas as aplicações às quais a rede está sujeita.

Normalmente, estes sistemas são concebidos para aplicações de alta potência (ou seja, modo “sprinter que fornece muita energia em curtos períodos) ou aplicações de alta densidade energética (ou seja, modo “maratona” que fornece uma potência mais baixa e constante durante longos períodos), no entanto estas situações provocam situações de stress nos sistemas, reduzindo significativamente a sua vida útil, o seu desempenho e aumentando os custos de manutenção.

Normalmente os sistemas híbridos de armazenamento combinam soluções de armazenamento “sprinter” e “maratona” para satisfazer aplicações com requisitos diametralmente opostos, por exemplo, respostas rápidas versus redução de picos.

No entanto, o armazenamento híbrido, oferece outras formas de redução dos custos. Dois ou mais sistemas podem partilhar uma grande parte dos sistemas de controlo, assim

como a sua estrutura e o sistema de ligação à rede, reduzindo-se significativamente os custos iniciais e de manutenção.

Atualmente, alguns dos sistemas que podem ser combinados para se poder criar um sistema híbrido são:

- Supercondensadores;
- Bobinas Supercondutoras
- Volante de Inércia
- Baterias Eletroquímicas
- Hidrogénio
- Bombagem hidroelétrica

### 3. Armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogénio verde

Uma das soluções mais promissoras para a produção e armazenamento limpos de energia é o uso do hidrogénio. Este, ao contrário do petróleo ou do carvão, não é uma fonte primária de energia, mas um portador de energia, tal como a eletricidade.

O hidrogénio pode ser produzido ou extraído de matérias ricas neste elemento, como o carvão, o gás natural, a biomassa ou a água. Atualmente, o principal método para a produção de hidrogénio é a sua extração do gás natural, sobretudo metano, através de uma técnica designada por *Steam Methane Reforming* (SMR). Este estilo de produção não é sustentável e está associado a 830 milhões de toneladas de dióxido de carbono emitidas por ano, correspondendo a 2,3% de todas as emissões globais.

A reformação de gás natural possui um fator de emissões de 8,9 Kg CO<sub>2</sub>/Kg H<sub>2</sub>, enquanto a gasificação a partir de carvão têm um fator superior: 29,33 Kg CO<sub>2</sub>/Kg H<sub>2</sub>. Atualmente são produzidas 8,2 milhões de toneladas de hidrogénio proveniente de combustíveis fósseis e a maioria provém da reformação de gás natural.

A aplicação desta tecnologia como forma de armazenamento nos sistemas elétricos é vantajosa, pois o hidrogénio é um vetor de energia ideal, dado que:

- Pode ser obtido a partir da eletricidade e convertido na mesma, com taxas de alta eficiência;
- Pode ser produzido a partir de água, sendo esta um dos elementos mais abundantes na natureza;
- Trata-se de um combustível renovável;
- Comparativamente a outros combustíveis, o hidrogénio consegue ser transformado em energia de forma mais diversificada e eficiente;
- Consegue ser armazenado na sua forma gasosa, líquida ou sólida/metálica;
- Pode ser transportado em tubos e tanques ao longo de grandes distâncias;
- Trata-se de um combustível conciliável com as preocupações ambientais, dado que não liberta poluentes na sua combustão;
- Permite uma grande variedade de aplicações.

#### **4. Armazenamento de energia elétrica na forma de baterias elétricas**

Devido à sua flexibilidade e amplo campo de aplicação em diversas áreas (desde a microeletrónica, passando pelos veículos elétricos e híbridos, até aplicações fixas em centrais de produção de energia elétrica e redes inteligentes) frequentemente associadas a fontes de energia renovável, as tecnologias de armazenamento eletroquímico são capazes de executar uma variedade de funções com impacto positivo na flexibilidade do sistema energético global, melhorar a eficiência, reduzir o impacto ambiental, aumentar a diversificação de fontes de energia primária e expandir substancialmente a contribuição das fontes de energias renováveis.

O armazenamento da energia utilizando este tipo de tecnologia só é possível através de reações eletroquímicas no interior dos acumuladores (baterias), tendo em conta a capacidade de transformar energia química em energia elétrica e vice-versa.

Sendo uma tecnologia vastamente explorada e com um grande historial de aplicações, o armazenamento de energia em baterias químicas é um processo que engloba diversos tipos de compostos químicos, com diferentes comportamentos, performances e capacidades.

De entre os vários tipos podem ser enunciados os mais utilizados atualmente:

- Chumbo-Ácido;
- Níquel-Cádmio;
- Iões de Lítio;

### **5. Aplicação de sistemas híbridos de energia em Portugal**

#### **5.1 Açores – Ilha Terceira**

Um dos maiores sistemas autónomos de armazenamento de energia por bateria da Europa está a ser instalado nesta ilha dos Açores.

A *Siemens Smart Infrastructure*, em parceria com a *Fluence*, recebeu um contrato do fornecedor português de energia EDA para construir o sistema de armazenamento de energia na ilha Terceira, considerada a segunda maior ilha em termos de consumo elétrico do arquipélago dos Açores.

Este sistema irá aumentar a segurança do fornecimento e absorver e armazenar a energia excedente produzida por fontes renováveis e reenvia-la de volta à rede durante períodos de pico de consumo ou baixa produção .

A substituição de uma parte do fornecimento de energia baseada em gasóleo por energias renováveis deverá resultar numa redução de 1150 toneladas no consumo anual de gasóleo e numa diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> em mais de 3500 toneladas por ano. Isto corresponde aproximadamente às emissões de cerca de 1500 automóveis que percorram cerca de 20000 km por ano.

## 5.2 Central Termoelétrica do Pego

A Endesa irá desenvolver um projeto relacionado com a transição do Pego, que combina a hibridização de fontes renováveis e o seu armazenamento, naquela que será a combinação de baterias com a produção de hidrogénio, com iniciativas de desenvolvimento económico e social.

A empresa recebeu um direito de ligação à Rede Elétrica de Serviço Público de 224 MVA para instalar 365 MWp de energia solar, 264 MW de energia eólica com armazenamento integrado de 186,6 MW e um eletrolisador de 500 kW para a produção de hidrogénio verde. A hibridização destas tecnologias permitirá otimizar a produção e obter um elevado fator de carga, colocando Portugal na vanguarda da Europa relativamente ao desenvolvimento e utilização destas energias.

## 6. Análise e desenvolvimento do projeto para a Central Termoelétrica do Pego

Foram considerados dois cenários principais, cujas diferenças consistem no modo de exploração e gestão da instalação e consequentemente das características técnicas relacionadas com o sistema de armazenamento de energia associado a um sistema de produção de hidrogénio.

Os resultados obtidos através da colocação de várias hipóteses de exploração servirão para comparar e avaliar a viabilidade económica e técnica dos diversos cenários considerados, de modo a identificar as conjunturas a que melhor se adequam e em quais delas a sua contribuição possa ser mais valiosa.

### 6.1. Adaptação do Modelo

O modelo apresentado para a realização das simulações tem como principais constituintes os seguintes componentes: central solar, central eólica, armazenamento de energia, produção de hidrogénio, ligação à rede elétrica nacional.

Apesar de ser possível fazer uma análise do comportamento da rede durante um ano inteiro, será apenas analisado o comportamento desta durante 3 meses de inverno e 3 meses de verão.

### 6.1. Cenário 1 – Análise do comportamento da central híbrida para os meses de verão

Foi feita uma análise inicial para os três meses de verão (junho, julho e agosto), incluindo as condições metrológicas necessárias para o modelo *simulink*. Na Figura 1 está apresentada a radiação solar horária que incidiu durante o ano de 2022; na Figura 2, a temperatura horária para o mesmo o ano; por fim, na Figura 3, é apresentada a velocidade do vento para a mesma região.

Ao fazer-se uma análise mais detalhada dos gráficos apresentados é possível observar-se que o dia com maior radiação solar foi 01/07/2022, com um valor de 947 w/m<sup>2</sup>. O dia com maior temperatura foi 13/07/2022, com um valor de 42,4 °C. O dia com maior velocidade do vento foi 15/06/2022 com um valor de 10,2 m/s.

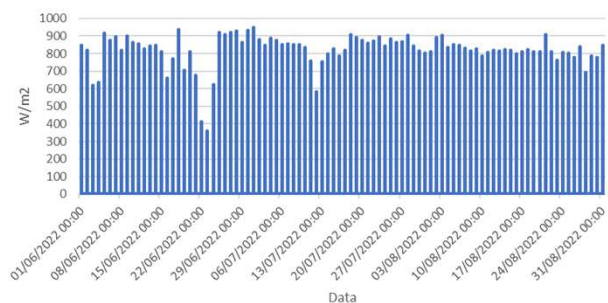


Figura 1. Radiação solar dos meses de verão - Abrantes

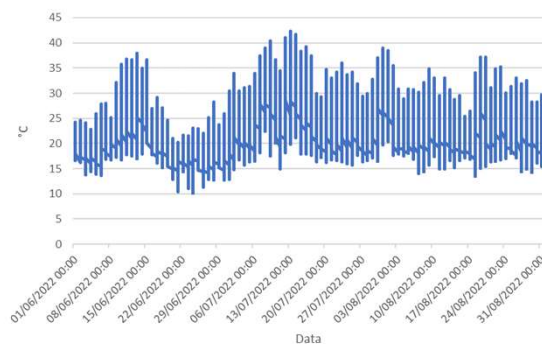


Figura 2. Temperatura dos meses de verão - Abrantes

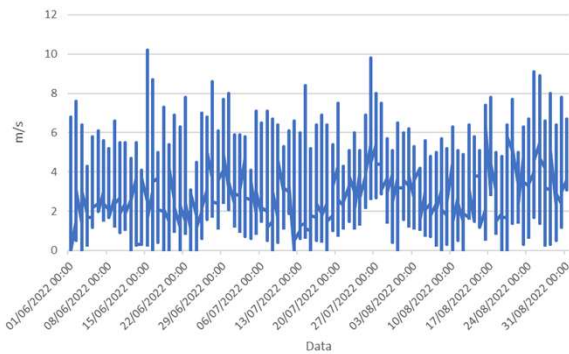


Figura 3. Velocidade do vento dos meses de verão - Abrantes

Depois de serem inseridos os dados meteorológicos no modelo *simulink* obteve-se a produção eólica correspondente aos meses de verão, como se pode ver na Figura 4.

Analisando-se esta pode-se observar que ocorreram dois grandes picos na sua produção, estes correspondem respetivamente às datas de 15 de junho com uma potência de 22 MW, 26 de julho com uma potência de vento correspondente a 18 MW.

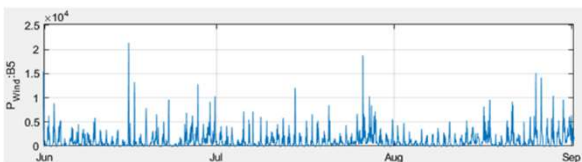


Figura 4. Potência eólica

Relativamente a produção solar para os mesmos meses, pode-se observar pela Figura 5 que a potência solar para tal situação teve um pico principal no dia 1 de Julho, cuja potência solar correspondente a este dia foi de 32 MW.

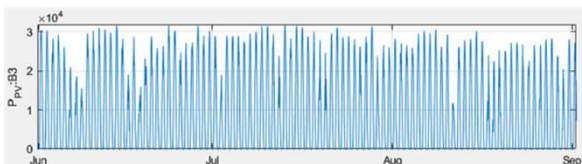


Figura 5. Potência solar

O comportamento da bateria para os meses de verão é apresentado na Figura 6; ou seja, durante os período diurnos esta encontra-se a carregar enquanto que durante os períodos noturnos ela descarrega para a rede; o seu carregamento é em grande parte dependente do sistema de produção solar, proveniente dos painéis.

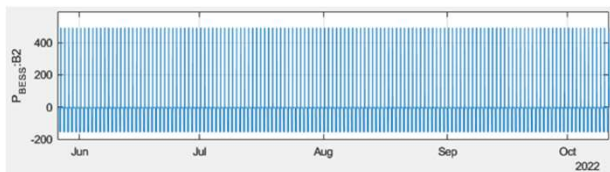


Figura 6. Potência de armazenamento na bateria

Relativamente a produção de hidrogénio durante estes meses, pode-se observar quando é que esta esteve em funcionamento a partir da Figura 7, além disso pode-se alterar manualmente a saída de funcionamento do eletrolisador (ver Figura 8).

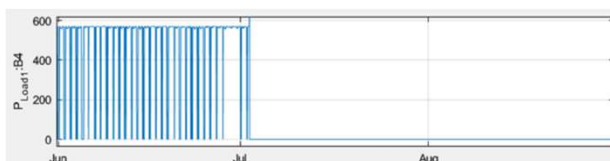


Figura 7. Funcionamento do eletrolisador

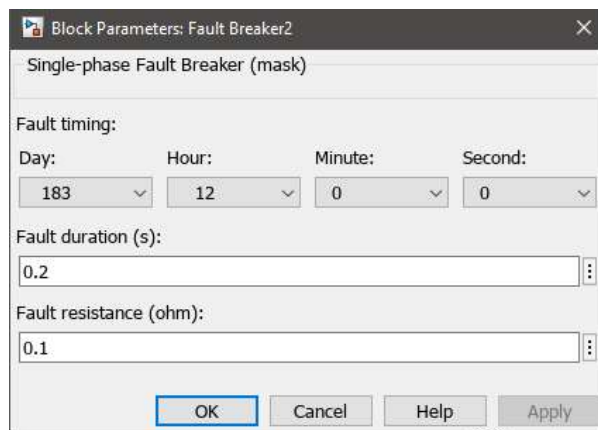


Figura 8. Seleção dos dias de utilização do eletrolisador

A produção de hidrogénio durante este período, assim como a quantidade de energia consumida, a quantidade de água consumida e os custos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Produção relativa as diferentes hipóteses de eletrolisadores nos meses de verão

Eletrolisador	Dias de Funcionamento	Hidrogénio produzido por dia (Kg)	Energia consumida por dia (kWh)	Água consumida por hora (L/h)
PEM	33	5346	316 800	60192
AEL	33	5346	316 800	60192
SOE	33	10395	356 400	103752

$$H.P.=D.F.\times H.P.D.$$

H.P. – Hidrogénio Produzido

D.F. – Dias de Funcionamento

H.P.D. – Hidrogénio Produzido por Dia

$$E.C.=D.F.\times E.C.D.$$

E.C. – Energia Consumida

E.C.D. – Energia Consumida por Dia

$$A.C.=D.F.\times A.C.D.$$

A.C. – Água Consumida

A.C.D. – Água Consumida por Dia

Analisando-se a mesma tabela é possível concluir-se que o sistema ideal seria o SOE.

## 6.2. Cenário 2 – Análise do comportamento da central híbrida para os meses de inverno

Durante os meses de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro), é apresentada na Figura 9 a radiação solar horária que incidiu durante os meses de inverno durante ano de 2022, assim como, na Figura 10, a temperatura horária para o mesmo período; por fim, na Figura 11 é apresentada a velocidade do vento para a mesma região.

Ao fazer-se uma análise geral dos gráficos apresentados, é possível observar-se que o dia com maior radiação solar foi 22/02/2022, com um valor de 649 w/m<sup>2</sup>. O dia com maior

temperatura foi 22/02/2022, com um valor de 22,6 °C. O dia com maior velocidade do vento foi 11/12/2022 com um valor de 12,4 m/s.

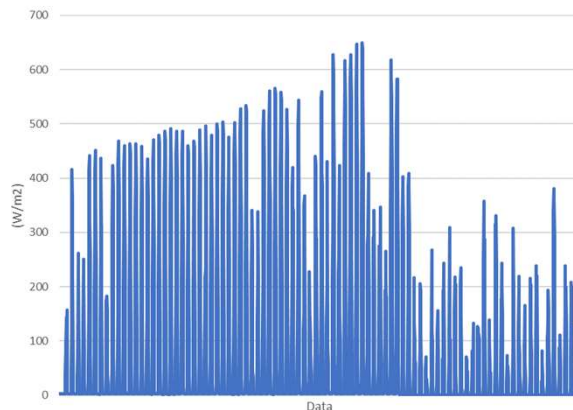


Figura 9. Radiação solar dos meses de inverno - Abrantes

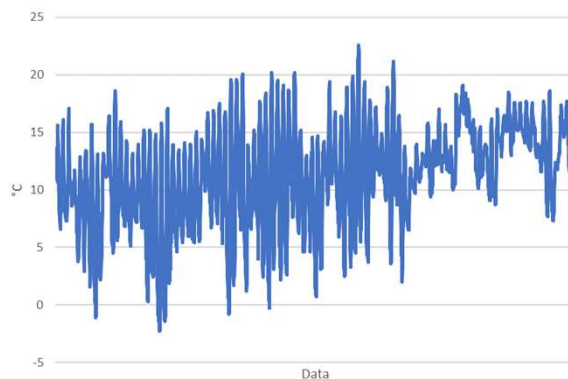


Figura 10. Temperatura dos meses de inverno - Abrantes

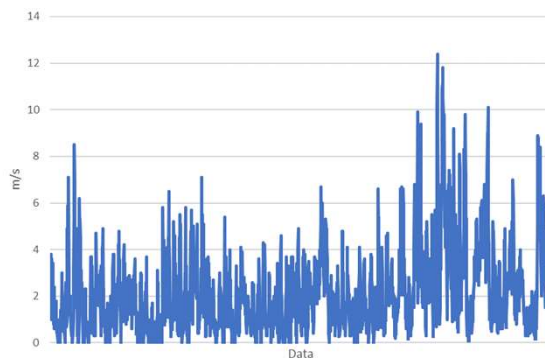


Figura 11. Velocidade do vento dos meses de inverno - Abrantes

Depois de serem inseridos os dados meteorológicos no modelo *simulink* obteve-se a produção eólica correspondente aos meses de inverno, como se pode ver na Figura 12 e na Figura 13; analisando-se esta pode-se observar um grande pico na sua produção, correspondendo à data de 11 de dezembro com uma potência de 38 MW.

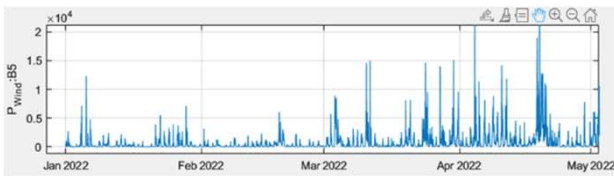


Figura 12. Potência eólica durante os meses de janeiro e fevereiro

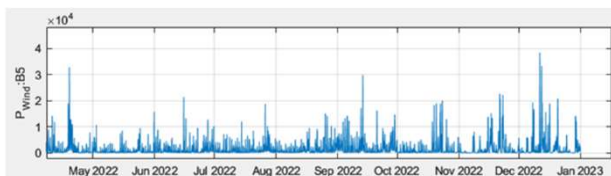


Figura 13. Potência eólica durante o mês de dezembro

Relativamente a produção solar para os mesmos meses, pode-se observar pela Figura 14 e Figura 15, que a potência solar para tal situação teve um pico principal no dia 18 de fevereiro cuja a potência solar correspondente a este dia foi de 20 MW.

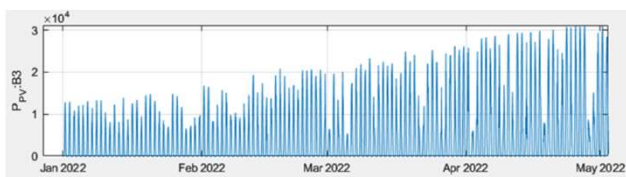


Figura 14. Potência solar durante os meses de janeiro e fevereiro

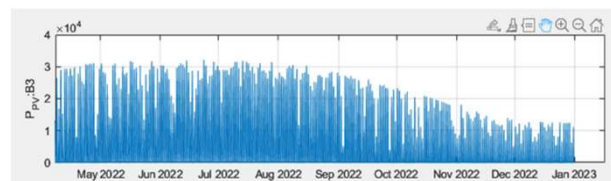


Figura 15. Potência solar durante o mês de dezembro

O comportamento da bateria para os meses de inverno é apresentada nas Figura 16 e Figura 17, ou seja, durante os períodos diurnos esta encontra-se a carregar enquanto que durante os períodos noturnos ela descarrega para a rede. O seu carregamento é em grande parte dependente do sistema de produção solar, proveniente dos painéis.

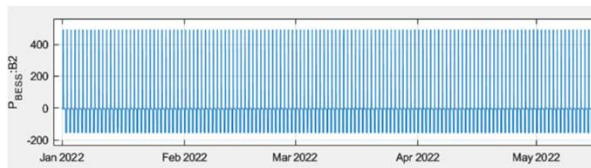


Figura 16. Potência de armazenamento na bateria durante os meses de janeiro e fevereiro

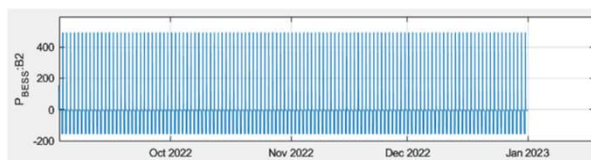


Figura 17. Potência de armazenamento na bateria durante o mês de dezembro

Relativamente à produção de hidrogénio durante estes meses, pode-se observar quando é que esta esteve em funcionamento (a partir da Figura 18). Além disso pode-se alterar manualmente a saída de funcionamento do eletrolisador (ver Figura 19). Na Figura 20 pode ver-se que durante o mês de dezembro o eletrolisador não funcionou, isto deveu-se à maneira como se projetaram os dias em que este devia operar.

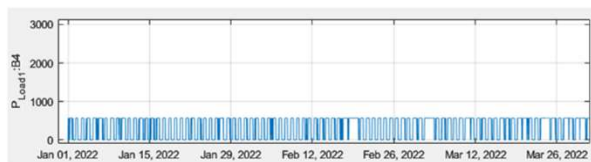


Figura 18. Funcionamento do eletrolisador durante os meses de janeiro e fevereiro

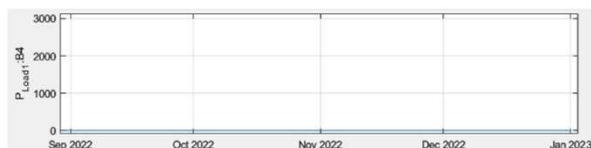


Figura 19. Funcionamento do eletrolisador durante o mês de dezembro

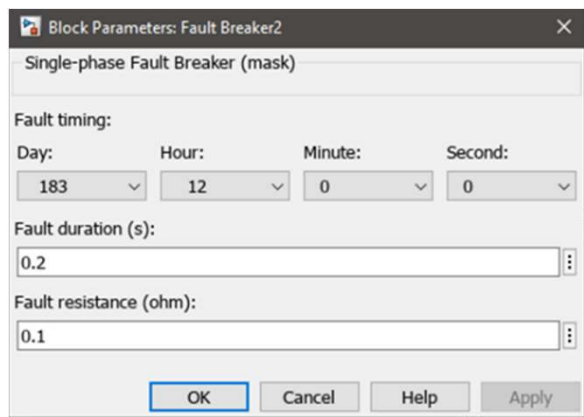


Figura 20. Escolha dos dias em que o eletrolisador funciona

A produção de hidrogénio durante este período, assim como a quantidade de energia consumida, a quantidade de água consumida e os custos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Produção relativa as diferentes hipóteses de eletrolisadores nos meses de inverno

Eletrolisador	Dias de Funcionamento	Hidrogénio produzido por dia (Kg)	Energia consumida por dia (kWh)	Água consumida por hora (L/h)
PEM	59	9558	566 400	107616
AEL	59	9558	566 400	107616
SOE	59	18585	637 200	185496

$$H.P.=D.F.\times H.P.D.$$

H.P. – Hidrogénio Produzido (Kg)

D.F. – Dias de Funcionamento

H.P.D. – Hidrogénio Produzido por Dia (Kg/Dia)

$$E.C.=D.F.\times E.C.D.$$

E.C. – Energia Consumida (kWh)

E.C.D. – Energia Consumida por Dia (kWh/dia)

$$A.C.=D.F.\times A.C.D.$$

A.C. – Água Consumida (l)

A.C.D. – Água Consumida por Dia (l/h)

Analisando-se a mesma tabela é possível concluir-se que o sistema ideal seria o SOE.

## 7. Conclusão

Foi possível concluir que, atualmente, a grande maioria dos sistemas de armazenamento concebidos em produção estão ajustados a aplicações de grande escala de potência e para ciclos de descarga rápidos, com o objetivo de contribuir para a qualidade de serviço da rede elétrica. Contudo, apesar desta tendência e com a crescente penetração de energia proveniente de centrais de produção de pequena e média escala baseadas em energias renováveis, há cada vez uma maior preocupação na adaptação e desenvolvimento de sistemas de armazenamento com as características necessárias.

[www.neutroaterra.blogspot.com](http://www.neutroaterra.blogspot.com)

