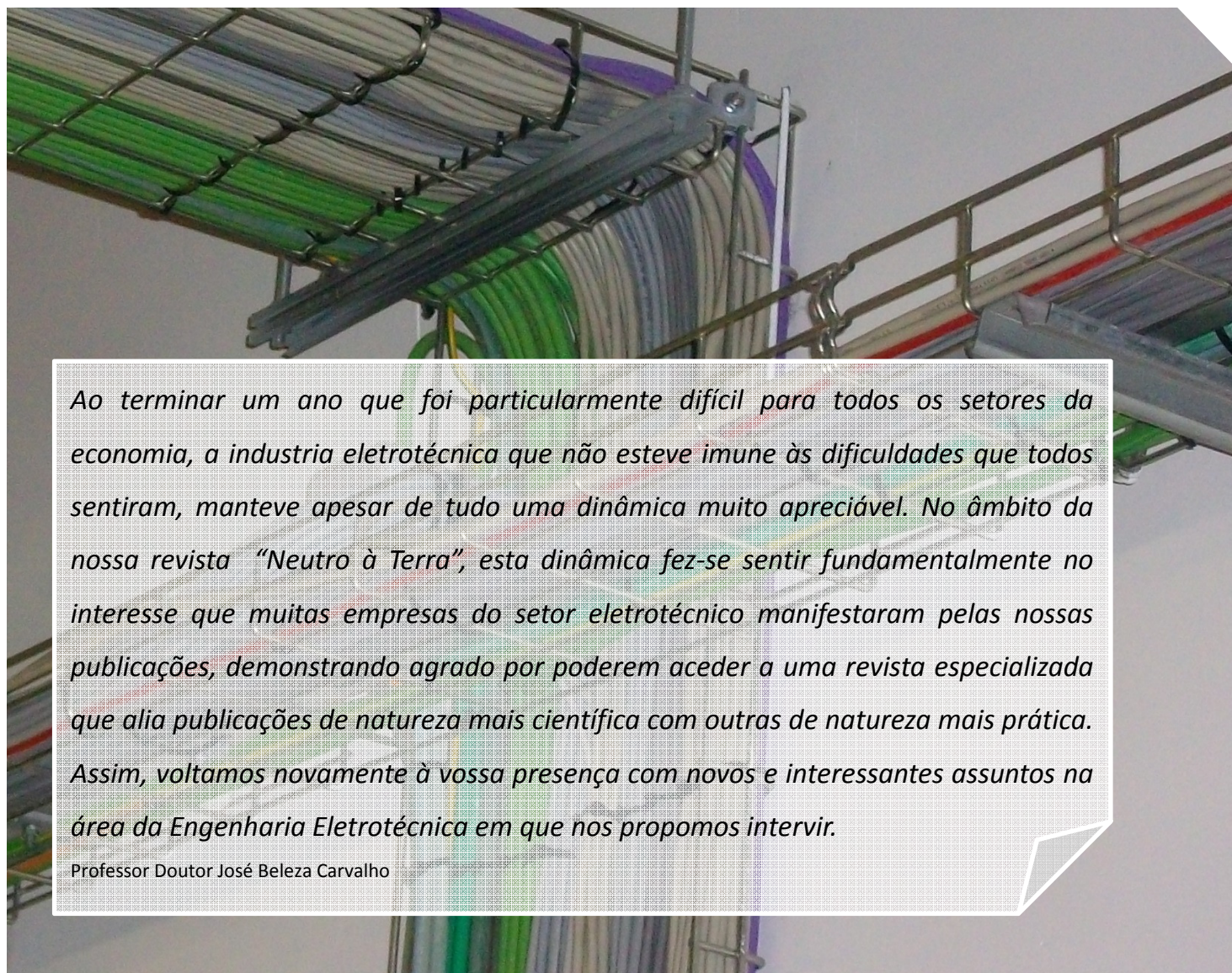




# NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº12 | Dezembro de 2013

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>



*Ao terminar um ano que foi particularmente difícil para todos os setores da economia, a indústria eletrotécnica que não esteve imune às dificuldades que todos sentiram, manteve apesar de tudo uma dinâmica muito apreciável. No âmbito da nossa revista “Neutro à Terra”, esta dinâmica fez-se sentir fundamentalmente no interesse que muitas empresas do setor eletrotécnico manifestaram pelas nossas publicações, demonstrando agrado por poderem aceder a uma revista especializada que alia publicações de natureza mais científica com outras de natureza mais prática. Assim, voltamos novamente à vossa presença com novos e interessantes assuntos na área da Engenharia Eletrotécnica em que nos propomos intervir.*

Professor Doutor José Beleza Carvalho



**Máquinas  
Elétricas**  
Pág.5



**Energias  
Renováveis**  
Pág. 11



**Instalações  
Elétricas**  
Pág. 29



**Telecomunicações**  
Pág. 45



**Segurança**  
Pág. 51



**Eficiência  
Energética**  
Pág.55



**Automação  
Domótica**  
Pág. 61

## Índice

### 03| Editorial

### 05| Máquinas Elétricas

Diagnóstico remoto de defeitos de cargas acopladas a um motor de indução.

António Manuel Luzano de Quadros Flores

### 11| Energias Renováveis

A tecnologia fotovoltaica de película fina. Afinal como estamos?

Nogueira F. , Paiva D. , Resende C.

### 17| Energy Storage Systems (Sistemas de Armazenamento de Energia)

Fábio Pereira

### 29| Instalações Elétricas

Secção ótima.

José Caldeirinha

### 37| Proposta de metodologia para avaliação de software comercial destinado ao projeto de engenharia da construção!

Ana Paula de Freitas Assis Antunes Duarte

### 45| Telecomunicações

*Power Over Ethernet*. A solução de vanguarda nas comunicações baseadas em IP.

Sérgio Filipe Carvalho Ramos

### 51| Segurança

Deteção automática de incêndios. Detetores lineares de calor e de fumos.

António Augusto Araújo Gomes

### 55| Eficiência Energética

Eficiência Energética na Iluminação Pública.

Roque Filipe Mesquita Brandão

### 61| Automação e Domótica

ISO 50001 norma mundial para a eficiência energética. Porquê uma norma mundial?

Paulo Alexandre Caldeira Branco

### 68| Autores

## FICHA TÉCNICA

DIRETOR:

Doutor José António Beleza Carvalho

SUBDIRETORES:

Eng.º António Augusto Araújo Gomes  
Doutor Roque Filipe Mesquita Brandão  
Eng.º Sérgio Filipe Carvalho Ramos

PROPRIEDADE:

Área de Máquinas e Instalações Elétricas  
Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

CONTATOS:

jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:

ISSN: 1647-5496



## Estimados leitores

Ao terminar um ano que foi particularmente difícil para todos os setores da economia, a indústria eletrotécnica que não esteve imune às dificuldades que todos sentiram, manteve apesar de tudo uma dinâmica muito apreciável. No âmbito da nossa revista “Neutro à Terra”, esta dinâmica fez-se sentir fundamentalmente no interesse que muitas empresas do setor eletrotécnico manifestaram pelas nossas publicações, demonstrando agrado por poderem aceder a uma revista especializada que alia publicações de natureza mais científica com outras de natureza mais prática. Assim, voltamos novamente à vossa presença com novos e interessantes assuntos na área da Engenharia Eletrotécnica em que nos propomos intervir. Nesta edição da revista merecem particular destaque os temas relacionados com as máquinas elétricas, as energias renováveis e a eficiência energética, as instalações elétricas, os sistemas de segurança e as telecomunicações.

No âmbito da publicação de artigos de cariz mais científicos, nesta edição da revista publica-se um artigo que analisa o desempenho de um motor de indução trifásico quando sujeito a uma perturbação da carga acoplada ao veio rotórico. No caso em análise, trata-se de um dente partido numa roda dentada de um redutor de velocidade. Este tipo de defeito produz uma interferência periódica com frequência igual à frequência de rotação da roda dentada que possui o dente partido. Neste artigo apresenta-se uma abordagem teórica dos fenómenos internos do motor de indução na presença de uma interferência periódica da carga mecânica revelando a presença de frequências características na corrente absorvida.

A utilização de energias renováveis estão cada vez mais presentes na produção de eletricidade, pois permitem diminuir a utilização dos combustíveis fósseis na produção convencional de energia elétrica. Em contrapartida, as energias renováveis conduzem a problemas de imprevisibilidade, devido ao facto de este tipo de produção estar dependente das condições climáticas adequadas, da época do ano e até da hora do dia. No setor elétrico é fundamental garantir o equilíbrio entre a produção e o consumo, como tal, os sistemas de armazenamento de energia elétrica, designados por *Energy Storage Systems* na literatura anglo-saxónica, podem ser usados para contribuir para esse equilíbrio. Estes sistemas permitem atenuar o problema da intermitência de produção, que é uma lacuna das energias renováveis. Nesta edição da revista publica-se um interessante artigo que analisa os diferentes tipos de armazenamento de energia, salientando a sua importância na exploração eficiente dos atuais Sistemas Elétricos de Energia.

No âmbito das instalações elétricas, publica-se um artigo que pode ser muito útil a quem tem como função dimensionar circuitos e redes de distribuição de energia elétrica. O dimensionamento da secção de um condutor elétrico deve assentar na satisfação de requisitos de natureza técnica e de natureza económica. Nem sempre a secção que satisfaz o requisito de natureza técnica, secção mínima, é a secção ótima para executar um circuito. No artigo que é publicado é feita uma análise técnica e económica sobre o dimensionamento da secção que minimiza os custos de exploração da instalação, tendo como base o regime de carga, o tempo de vida útil da instalação e o período de tempo necessário para que o investimento inicial seja amortizado.

A iluminação pública é responsável por 3% do consumo de energia elétrica em Portugal, tendo havido um crescimento do consumo neste setor entre 2000 e 2011 de cerca de 55%, com uma taxa média de crescimento anual de cerca de 5,1%. No ano de 2011, os custos com a iluminação pública rondaram os 170 M€, sendo que grande parte foram assegurados pelos Municípios. Atendendo ao panorama financeiro delicado de grande parte das autarquias do País, e sabendo que a iluminação pública tem um peso considerável nas despesas anuais de energia elétrica, faz sentido que se concentre aqui um esforço para tornar mais eficientes estas instalações. Nesta edição da revista “Neutro à Terra”, apresenta-se um artigo sobre as tecnologias possíveis de adotar que podem permitir economias diretas nos consumos de energia e/ou levar a um aumento da vida útil das lâmpadas, permitindo uma redução dos custos de manutenção das instalações de iluminação pública.

Nesta edição da revista “Neutro à Terra” pode-se ainda encontrar outros assuntos muito interessantes e atuais, como um artigo que aborda a Tecnologia Fotovoltaica de Película Fina, um artigo muito importante sobre Detecção Automática de Incêndios, um artigo sobre Avaliação do Software Comercial Destinado ao Projeto de Engenharia da Construção e, no âmbito das telecomunicações, um interessante e agradável artigo sobre *Power Over Ethernet*, onde é feita uma resenha histórica sobre a evolução das tecnologias das telecomunicações desde Alexander Bell até aos nossos dias.

No âmbito do tema “Divulgação”, que pretende divulgar os laboratórios do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, onde muitas vezes são realizados trabalhos que posteriormente são publicados nesta revista, apresenta-se o Laboratório de Eletromagnetismo – Eng<sup>o</sup> Mesquita Guimarães.

Esperando que esta edição da revista “Neutro à Terra” satisfaça novamente as expectativas dos nossos leitores, e desejando a todos um Bom Ano de 2014, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, dezembro de 2013

José António Beleza Carvalho

## ENERGY STORAGE SYSTEMS

## (SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA)

## 1. Sistemas de Armazenamento de Energia

O armazenamento de energia pode ser efetuado sobre cinco categorias, designadamente, elétrica, eletromecânica, mecânica, térmica e química. Contudo, o assunto aqui debatido é sobre meios de armazenamento de energia elétrica, sendo que o armazenamento de eletricidade é usualmente efetuado recorrendo a outros géneros de energia, tais como, química, mecânica, térmica ou, até, em energia potencial. [1].

Há nos dias de hoje uma crescente preocupação na forma como é gerido o setor elétrico, uma vez que este implica um elevado impacto ambiental. Neste sentido tem havido algumas alterações, nomeadamente, no que diz respeito à produção de energia elétrica. A utilização de energias renováveis estão cada vez mais presentes na produção de eletricidade (Figura 1), pois permitem diminuir de forma indireta a utilização dos combustíveis fósseis, sendo esta a principal vantagem face às centrais de produção convencionais.

Em contrapartida, as energias renováveis conduzem a problemas de imprevisibilidade, devido ao facto de este tipo de produção estar dependente das condições climáticas, época do ano e da hora do dia, por exemplo, a geração de energia eólica está condicionada pela presença ou não do vento com determinadas características [1] [2].

No setor elétrico é muito importante manter o equilíbrio entre a produção e o consumo, como tal, os sistemas de armazenamento de energia elétrica, designado por *energy storage systems* (ESS) na literatura anglo-saxónica, podem ser usados para contribuir para esse equilíbrio. Como tal, estes sistemas permitem atenuar o problema da intermitência de produção, que é uma lacuna das energias renováveis [1] [3].

Deste modo, o uso dos ESS's permitem uma maior racionalidade tanto nos recursos energéticos como a nível económico, pois a produção de energia elétrica traduzem custos avultados. Assim, reforça-se a necessidade de incorporar os ESS's na rede elétrica de energia.

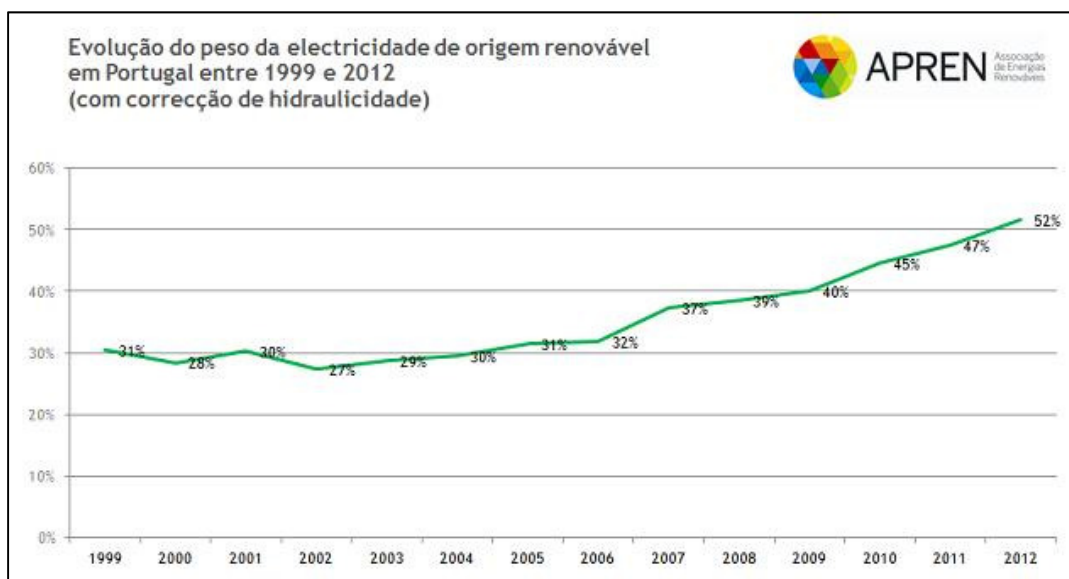


Figura 1 - Evolução do peso da eletricidade de origem renovável em Portugal entre 1999 e 2012 [2]

Os ESS's, quando integrados num sistema elétrico, são unidades cuja utilização é destinada a duas funções, ou seja, podem funcionar como “carga”, caso estejam a armazenar energia elétrica, ou podem funcionar como “gerador” nos períodos em que estes estão a descarregar energia elétrica para a rede.

Essencialmente, um ESS armazena energia quando há excesso de produção em relação à procura num determinado momento, permitindo assim, diminuir o desperdício de energia elétrica. Com a possibilidade de reserva de energia consegue-se diminuir o dispêndio de recursos naturais na geração da mesma, nomeadamente, redução de combustíveis fósseis [2] [3].

Este artigo pretende salientar a importância dos ESS's em aproveitar a energia produzida em excesso, e assim ter a possibilidade de a utilizar numa fase posterior de maior necessidade energética ou, caso seja mais vantajoso, vendê-la.

## 2. Características dos ESS's

Segundo [4], um ESS é constituído por quatro principais componentes como pode ser observado na Figura 2.

Verifica-se, portanto, que os quatro componentes correspondem aos sistemas de carregamento e de descarregamento, ao processo de monitorização e controlo, e claro, aos próprios mecanismos de armazenamento.

Posteriormente, o ESS deve-se encontrar interligado com a rede elétrica de modo a ocorrer as devidas trocas de energia.

O elemento designado por “Mecanismo de Armazenamento” corresponde ao próprio meio de armazenamento, e como tal, estabelece os limites da capacidade de armazenar energia do sistema. Como já foi referido anteriormente, existem diversas tecnologias de armazenamento, que posteriormente serão descritas no ponto 4.

Outro elemento presente no sistema de armazenamento é o “Sistema de Carregamento”, que tem a função de converter a energia proveniente do sistema num outro tipo de energia (caso necessário), de modo a que esta possa ser armazenada. Para além deste equipamento, no ESS está também presente o “Sistema de Descarregamento”, com funções contrárias às do anterior, ou seja, este equipamento permite pegar na energia armazenada e convertê-la de forma a poder ser utilizada na rede.

Por exemplo, na Figura 3 pode-se ver um processo de armazenagem de energia térmica, que quando necessária pode ser transformada em energia elétrica.

Por último, há o “Sistema de Controlo”, que por sua vez, consiste em dois subsistemas. O primeiro corresponde à fase de monitorizar e controlar o equipamento em si e o segundo diz respeito ao sistema de controlo do sistema de armazenamento.

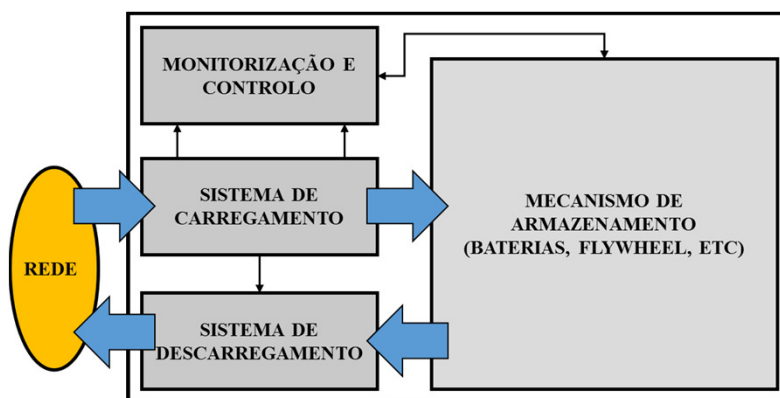


Figura 2 - Princípio básico do funcionamento de um ESS – adaptado de [4]

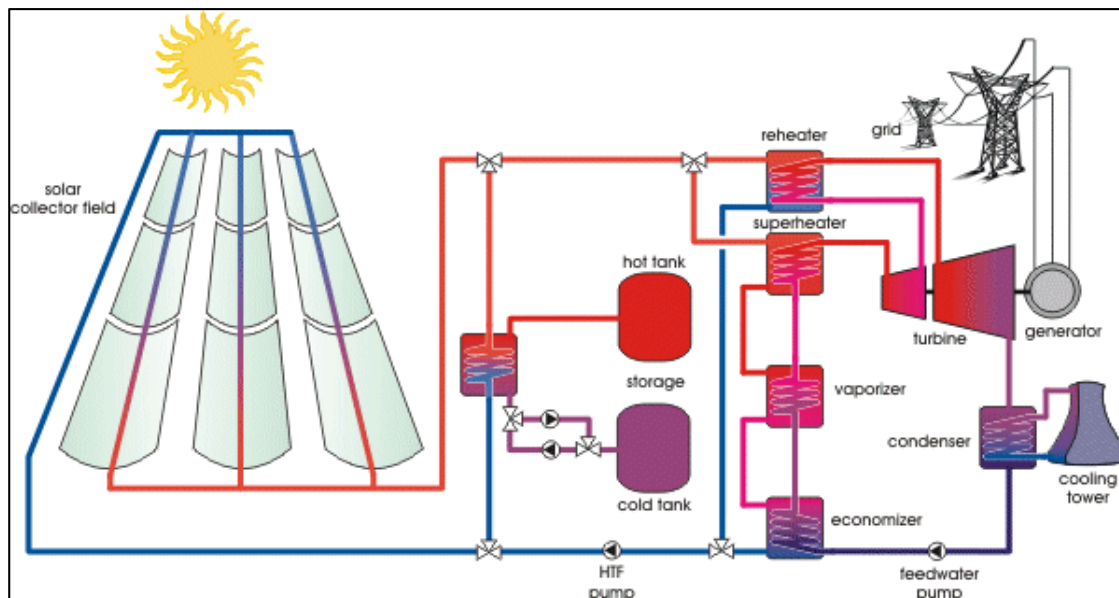


Figura 3 – Esquema de um armazenamento de energia térmica através do uso da energia solar [5]

Isto é, por exemplo, de uma forma geral a tecnologia de armazenamento *flywheels*, armazena energia utilizando um aceleração no rotor (*flywheel*) atingindo velocidades muito altas, o que permite conservar energia no sistema como energia rotacional. Em suma, quando a *flywheel* está descarregar energia o motor inverte o seu campo, passando a funcionar como gerador. Nesta situação a velocidade de rotação do *flywheel* do motor é reduzida por consequência do princípio da conservação da energia, em situações de carregamento de energia existe um aumento na velocidade do *flywheel*.

Portanto, neste sistema a primeira fase de controlo, corresponde, por exemplo, aos sinais que devem ser enviados ao equipamento para ser ativado e assim, mudar o funcionamento de gerador para motor, permitindo a passagem de fluxo de energia para o motor, de modo a acelerar o *flywheel* do mesmo (fase de armazenamento de energia).

Da mesma forma deve-se controlar o ciclo de descarga. Isto é, esta fase, não é nada mais do que efetuar um diagnóstico do sistema e dar “ordens” de modo a que o sistema possa funcionar corretamente, sendo também responsável pela ativação das proteções, em caso de necessidade.

A segunda fase de controlo consiste em determinar fatores como definição do preço a que deve ser vendida a energia, verificação da quantidade de energia necessária a descarregar para a rede, de modo a satisfazer a procura num determinado momento, entre outros fatores.

### 3. Vantagens Técnicas e Económicas dos ESS's

A implementação dos ESS's acarretam diversas vantagens, nomeadamente, técnicas e económicas, que serão descritas de seguida.

#### 3.1. Vantagens Técnicas

Como já foi referido no ponto 1, os ESS's conduzem a vantagens relacionadas com a possibilidade de diminuir o desperdício da energia.

Atualmente, existem dois modos de produção de energia para o qual o armazenamento é claramente importante:

- Produção de energia convencional:

Neste caso o armazenamento de energia poderá compensar uma perda temporária da produção de uma das unidades geradoras.

Visto que, existe uma obrigação contratual com a demanda por parte das concessionárias, se ocorrer alguma falha de abastecimento de eletricidade, estas poderão incorrer de penalidades, tais como, multas avultadas. Com a possibilidade de armazenar a energia esta situação pode ser precavida.

Portanto, o nível de energia é comparável ao estipulado e a quantidade de energia armazenada deve ser um compromisso entre a duração desejável da reserva de energia e as possíveis penalidades [3].

- Produção de energia renovável:

Em relação a este tipo de produção, o armazenamento tem o intuito de armazenar em horas em que a procura é baixa e utilizar esta energia durante o período de horas de pico. O objetivo desta situação é, uma vez mais, garantir o compromisso contratual. No entanto, nesta situação o custo de armazenamento deve ser considerado. Além disso, a energia armazenada somente poderá satisfazer uma parte da capacidade nominal de produção [3].

### 3.2. Vantagens Económicas

Atualmente, e cada vez mais, existe um grande número de consumidores com necessidades de energia de grande alcance.

O consumo diário dos utilizadores caracteriza-se pela forte instabilidade, isto é, ao longo das 24 horas do dia, o consumo diário não é constante, como se pode observar na Figura 4. Nesta verifica-se que a energia necessária para satisfazer o consumo nas horas de pico é, praticamente, o dobro do valor necessário para satisfazer a procura nas horas de menor consumo [6].

Sabendo que o dimensionamento dos componentes da rede elétrica correspondem ao momento de maior procura, constata-se que na grande maioria do tempo esses componentes encontram-se sobredimensionados. Portanto, existe a possibilidade de nivelar a energia produzida considerando o valor médio da procura ao longo do dia ao invés do que é efetuado atualmente. Pode-se, então, produzir energia a um nível mais reduzido do que o valor de pico, permitindo a diminuição do dimensionamento dos componentes da rede. Assim, ter-se-ia uma situação de produção praticamente constante, onde a introdução dos ESS's na rede elétrica era necessária. Ou seja, apesar de constante o valor produzido, a energia total produzida teria de satisfazer de igual modo a demanda, cujos ESS's teriam a função de armazenar a energia quando era em excesso e entregá-la à rede quando existisse falta dela.

Esta situação permitiria poupar nos gastos obtidos com o sobredimensionamento dos componentes da rede elétrica, contudo, para esta situação ser viável as tecnologias de armazenamento de energia elétrica teriam de estar num patamar mais evoluído [3].

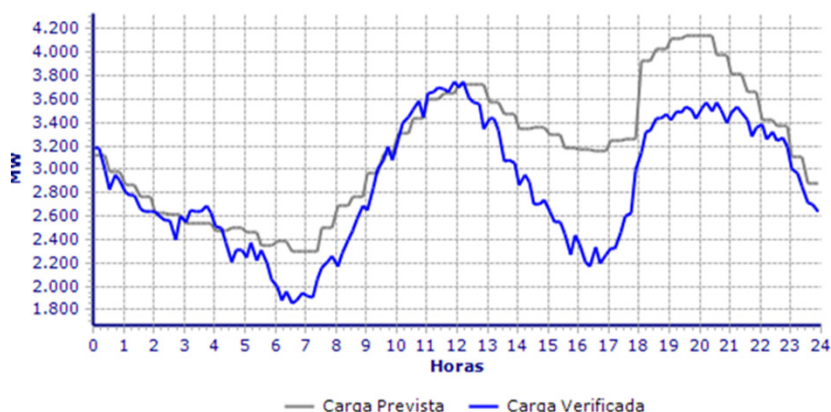


Figura 4 - Diagrama de cargas verificados no dia 04/11/2012 [6]



#### 4. Comparação entre as Tecnologias de Armazenamento de Energia

Presentemente existem diversas tecnologias para o armazenamento de energia elétrica, que podem ser agrupadas conforme a Figura 5. Como se pode verificar, e anteriormente já referido, pode-se dividir as tecnologias em 5 grandes categorias, nomeadamente [7]:

- elétrica;
- eletroquímica;
- química;
- mecânica;
- térmica.

As tecnologias de armazenamento de energia podem ser classificadas consoante a sua capacidade [8]:

- Grande escala (GW):

Armazenamento térmico, armazenamento de energia por bombeamento de água (*pumped hydro energy storage* – PHES), armazenamento de energia por ar comprimido (*compressed air energy storage* – CAES), armazenamento químico (por exemplo, hidrogénio em larga escala > 100MW, até semanas e meses);

- Média escala (MW):

- Potência:
  - supercondensadores, armazenamento de energia por supercondutores magnéticos (*superconducting magnetic energy storage* – SMES), flywheels;
- Energia:
  - Baterias, tais como, chumbo ácido (lead-acid – LA), iões de lítio (Li-ion), baterias de fluxo e NaS (enxofre de sódio);
- Energia e potência:
  - baterias de LA e Li-ion;
- Armazenamento de energia de hidrogénio, CAES, PHES. (pequena escala, 10MW <P> 100MW, horas ou dias).

- Micro escala (kW):

- Potência:
  - supercondensadores, flywheels;
- Energia:
  - baterias, tais como, chumbo ácido e Li-ion;
- Energia e Potência:
  - baterias de Li-ion.

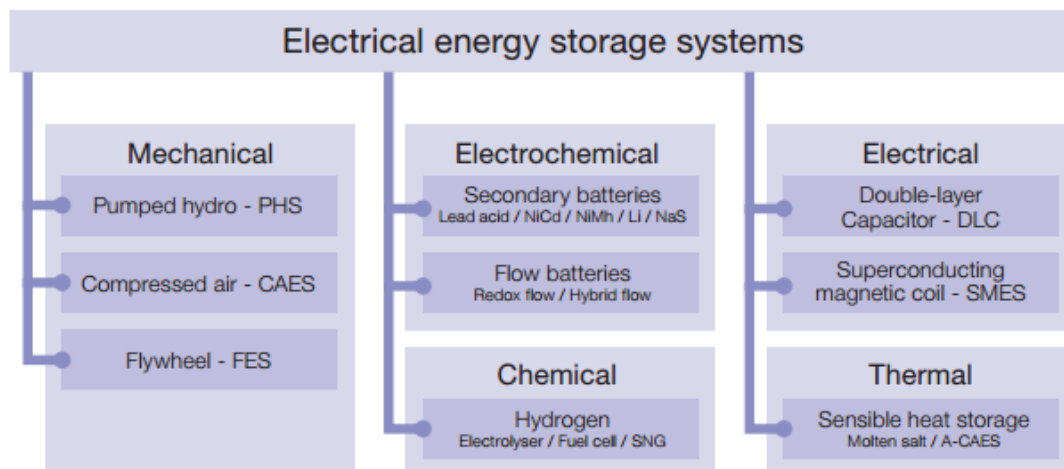


Figura 5 - Tecnologias de armazenamento de energia elétrica [7]

#### 4.1. Unidades de Armazenamento Eléctricas

Dentro das unidades de armazenamento com características eléctricas tem-se: camada dupla de condensadores (*double-layer capacitors* – *DLC*) e armazenamento de energia por supercondutores magnéticos (*superconducting magnetic energy storage* – *SMES*).

##### Camada dupla de condensadores (DLC):

Esta tecnologia é também conhecida por supercondensadores [7], sendo os mais recentes dispositivos inovadores na área de armazenamento de energia eléctrica. Pois, em comparação com a bateria ou o condensador tradicional, o supercondensador possui uma estabilidade no ciclo quase ilimitada, bem como uma capacidade de potência extremamente elevada, uma baixa densidade de energia e custos de investimento elevados [9].

As duas principais características são os valores extremamente altos da sua capacitância, da ordem de muitos milhares de faradays, para além da possibilidade de carga e descarga muito rápido devido à baixa resistência interna, recursos que as baterias convencionais não possuem [7].

Geralmente, os supercondensadores usufruem uma vida útil entre 8-10 anos, tendo uma eficiência de 95%. São bastantes confiáveis, sem manutenção e podem trabalhar em diversos ambientes e temperaturas. Estas unidades são “amigas” do ambiente e facilmente podem ser recicladas ou neutralizadas [3] [7].

Tal como sistemas de baterias, os condensadores podem trabalhar em corrente contínua. Este facto impõe a utilização de sistemas electrónicos de potência, tal como é apresentado na Figura 6.

Ao longo dos últimos anos têm vindo a ser aplicados em produtos electrónicos, usados como UPS's em caso de falha momentânea de tensão e aplicados em veículos eléctricos, onde podem ser utilizados nos processos de aceleração e travagem regenerativa [7].

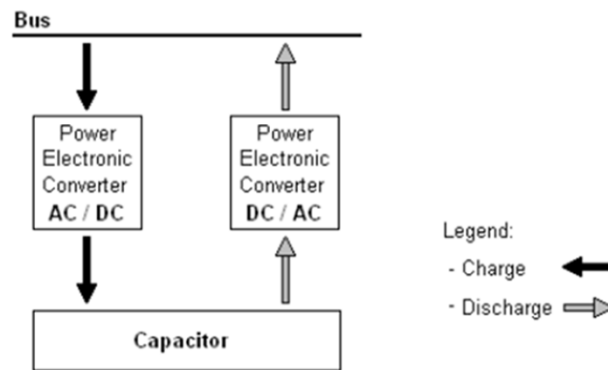


Figura 6 – Diagrama de operação de um dispositivo supercondensador [9]

##### Supercondutores magnéticos (SMES):

Os SMES funciona de acordo com o princípio da eletrodinâmica. Isto é, armazena energia sob a forma de um campo magnético que é criado através de um fluxo de corrente contínua por uma bobina supercondutora. Para armazenar energia proveniente de um barramento de energia, precedentemente a corrente alternada deve ser convertida em corrente contínua e, assim, possa ser injetada na bobina. O processo contrário também é aplicável, sendo que a corrente contínua armazenada tem de ser convertida em alternada, de modo a ser possível injetá-la na rede eléctrica. Para tal, entre o barramento e a bobina terá de haver conversores electrónicos de potência. O diagrama de operação do dispositivo SMES é apresentado na Figura 7 [9].

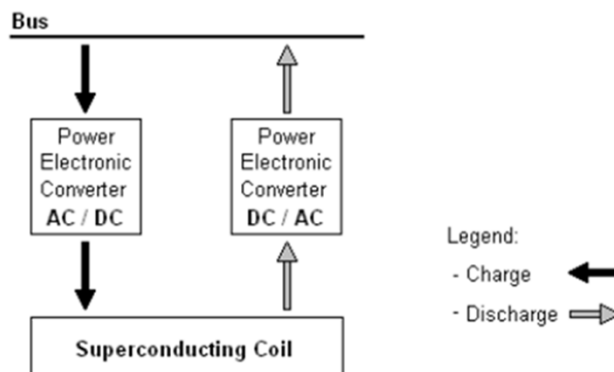


Figura 7 – Diagrama de operação de um dispositivo SMES [9]

Portanto, o componente principal deste sistema de armazenamento é feito de uma bobina de material supercondutor, sendo que os restantes componentes incluem equipamentos de condicionamento de energia e um sistema de refrigeração criogênica resfriada [7].

A principal vantagem dos SMES é o tempo de resposta, ou seja, se uma determinada potência é requerida, esta fica disponível quase instantaneamente. Além disso, o sistema é caracterizado pela sua elevada eficiência, perto de 95% para um ciclo de carga e descarga [3]. Contudo, a confiabilidade global depende crucialmente do sistema de refrigeração [7].

Além disso, estes sistemas são capazes de descarregar quase a totalidade da energia armazenada, ao contrário das baterias. Estas unidades de armazenamento são muito úteis para aplicações que requerem operação contínua com um grande número de ciclos completos carga-descarga. O tempo de resposta rápido (inferior a 100ms) destes sistemas torna-os ideais para regular a estabilidade da rede (nivelamento de carga). A sua principal desvantagem é o sistema de refrigeração que é muito caro e faz operações mais complexas.

#### 4.2. Unidades de Armazenamento Eletroquímicas

As baterias armazenam energia sob a forma eletroquímica através da criação de iões eletricamente carregados. Isto é, quando a bateria está a carregar a corrente contínua é convertida em energia química, quando a bateria descarrega, a energia é novamente convertida num fluxo de eletrões sob a forma de corrente contínua [9].

A Figura 8 apresenta a operação entre uma bateria e a rede elétrica de energia.

Deste modo, a utilização de baterias implicam o uso de conversores eletrónicos de potência, a fim de converter a corrente alternada em corrente contínua nos períodos de carregamento e, vice-versa, no processo de descarga. [9]

A tecnologia das baterias está subdividida em dois conceitos: baterias secundárias e baterias de fluxo (Figura 5) [7].

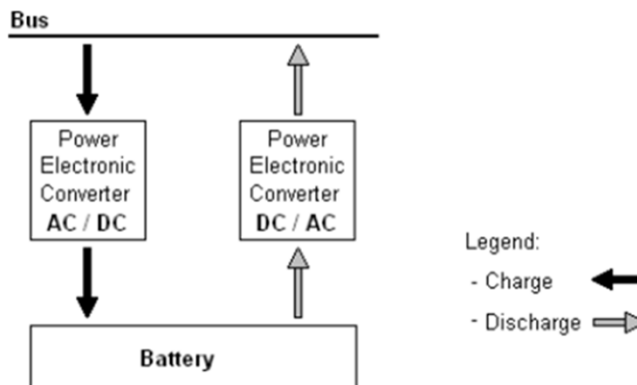


Figura 8 – Diagrama de operação de uma bateria [9]

As baterias secundárias usam elétrodos para ambas as situações, tanto para o processo de transferência de eletrões como para armazenar os produtos ou reagentes provenientes das reações em estado sólido do elétrodo [9].

Deste grupo fazem parte as baterias: chumbo-ácido (lead-acid – LA), níquel-cádmio (NiCd), hidreto metálico de níquel (NiMH), iões lítio (Li-ion), enxofre de sódio (NaS), entre outras [7].

#### Características gerais:

- LA:

São aplicadas em sistemas de alimentação de emergência, como base dos sistemas fotovoltaicos, sistemas de baterias para a mitigação das flutuações de energia eólica e como baterias de arranque de veículos.

Possuem uma vida útil típica entre 6 a 15 anos, normalmente com uma vida de 1500 ciclos. Com eficiência entre 80% a 90%, tendo um custo relativamente baixo [7].

- NiCd e NiMH:

Atualmente, não são muito usadas devido ao perigo da toxicidade do cádmio, sendo substituídas pelas NiMH. Contudo, este tipo de baterias comparando com as LA, possuem um ligeiro aumento da densidade de energia e o número de ciclos é mais elevado [7].

- Li-ion:

As suas aplicações hoje em dia são muito importantes, para computadores portáteis, telemóveis, bicicletas elétricas, veículos elétricos, entre outras.

Possuem uma elevada densidade de energia e têm custos relativamente baixos devido à sua produção em massa. A sua eficiência ronda os 95% e os 98% [7].

- NaS:

Os ciclos de vida típicos é de cerca de 4 500 ciclos e têm um tempo de descarga entre 6,0 horas para 7,2 horas. Tem uma eficiência cerca de 75% e permitem resposta rápida. A principal desvantagem é o facto que para manter a temperatura de operação é necessária uma fonte de calor, sendo que reduz parcialmente o desempenho da bateria [7].

Dentro das baterias de fluxo fazem parte as de fluxo redox e as de fluxo híbrido. As primeiras são dispositivos de armazenamento que convertem energia elétrica em energia potencial química através do uso de duas soluções de eletrólitos líquidos e, posteriormente, liberando a energia armazenada durante a descarga. Os dois eletrólitos são separados por uma membrana semipermeável. Esta membrana permite o fluxo de iões, mas impede a mistura dos líquidos. O contacto elétrico é feito através de condutores inertes nos líquidos. Como os iões fluem através da membrana, uma corrente elétrica é induzida nos condutores. [9]

Estes tipos são baterias redox de vanádio (VRB) (Figura 9), as baterias de brometo de polisulfureto (PSB) e do zinco bromo (ZnBr) [9].

Nas baterias de fluxo híbrido uma das massas ativas é armazenada internamente no interior da célula eletroquímica, enquanto o outro permanece no

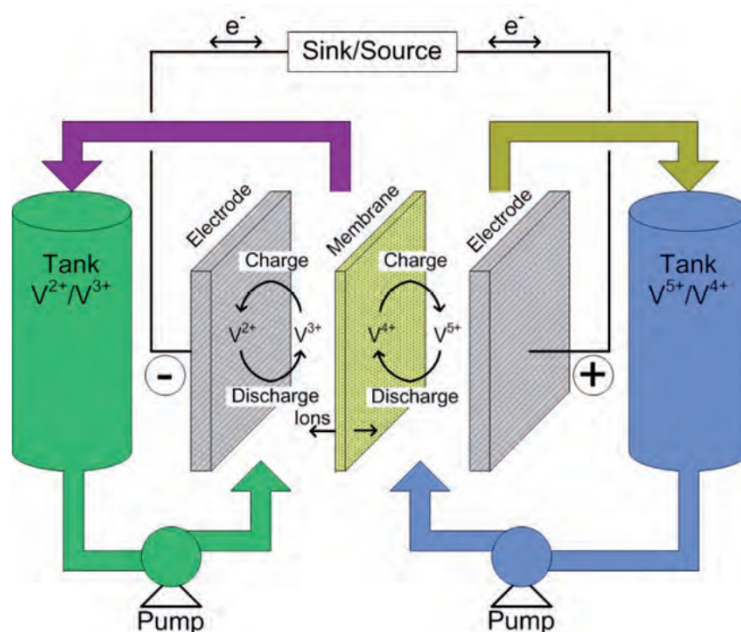


Figura 9 – Esquema de uma bateria de VRB [7]

eletrólito líquido, que são armazenadas externamente num reservatório. Portanto, as células de fluxo híbrido combinam características de baterias secundárias convencionais e baterias de fluxo redox. A capacidade da bateria depende do tamanho da célula eletroquímica [7]. Exemplo típico é o sistema de ZnBr híbridos [9].

#### 4.3. Unidades de Armazenamento Químicas

Algumas das tecnologias presentes nesta categoria são as células de combustível de hidrogénio e o gás natural sintético (*synthetic natural gas* – SNG) [3] [7].

O principal objetivo do sistema de armazenamento de energia química é usar o "excesso" de energia elétrica para a produção de hidrogénio via eletrólise da água. Neste caso é possível usar o hidrogénio como um portador de energia, seja como hidrogénio puro ou como SNG [7].

Embora a eficiência global do hidrogénio e do SNG seja baixa quando comparado a outras tecnologias de armazenamento, como PHS e Li-ion, o armazenamento de energia química é a única que permite o armazenamento de grandes quantidades de energia, até à faixa TWh, e por maiores períodos de tempo [7].



Esta tecnologia também pode ser aplicada a sectores, como o transporte, aquecimento e a indústria química.

#### Células de combustível de hidrogénio:

O sistema de armazenamento de hidrogénio consiste em três componentes principais: eletrólise, que consome eletricidade nas horas de menor consumo para produzir hidrogénio; a célula de combustível, que utiliza o hidrogénio e o oxigénio do ar para gerar eletricidade; e um reservatório de hidrogénio para garantir os recursos adequados quando são necessários [3].

Existem muitos tipos de células de combustível, sendo a mais conhecida a pilha alcalina de combustível entre as demais.

As diferenças básicas entre estes tipos de baterias são os eletrólitos utilizados, temperatura de funcionamento, o design e o seu campo de aplicação. Além disso, cada tipo tem necessidades de combustível específico [3] [7].

Esta tecnologia pode ser usada na produção descentralizada (particularmente de baixas potências, de emergências, entre outras), fornecimento espontâneo relacionado ou não à rede, potência média [3].

#### **4.4. Unidades de Armazenamento Mecânicas**

Existem três tipos de tecnologias dentro desta categoria:

##### Armazenamento de energia pelo bombeamento de água (pumped-hydro – PH):

Esta tecnologia utiliza a energia com origem numa fonte renovável nas horas de pouco consumo, para bombear a água de uma albufeira a jusante de uma barragem para uma albufeira a montante. Assim, a PH permite que a água possa ser mais do que uma vez turbinada, e como a água é um recurso que é gratuito, esta situação só trás vantagens ao setor de produção elétrica, como se pode comprovar pela Figura 10. Atualmente é mais utilizada para aplicações de alta potência (algumas dezenas de GWh ou 100 de MW).

A principal desvantagem desta tecnologia é a necessidade de um sítio com diferentes elevações para poder bombear a água e, esta possa ser utilizada num sistema hidroelétrico para produzir eletricidade [3] [7] [9].

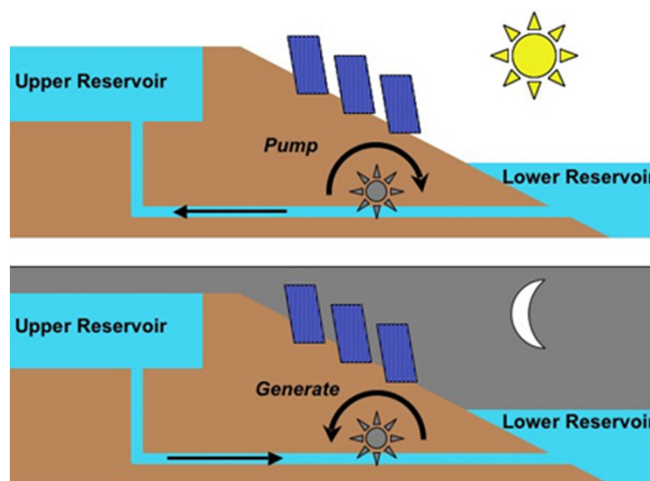


Figura 10 – Exemplo de um sistema de bombagem [10]

##### Flywheel:

Esta tecnologia utiliza dois tipos de acumuladores de energia, ou são constituídas por um *flywheel* (volante) maciço ou composto, para além de um motor/gerador e suportes especiais (muitas vezes magnéticos). Uma das características das *flywheels* é a capacidade de fazer inúmeros ciclos (entre 10.000 e 100.000 ciclos) [3] [7].

Este sistema permite armazenar energia elétrica sob a forma de energia cinética, daí os *flywheels* terem elevados requisitos, de modo a poderem atingir elevadas velocidades [7].

O armazenamento de energia cinética pode ser usado na distribuição de eletricidade em meios urbanos através de baterias de grande capacidade, comparáveis aos reservatórios de água, com o objetivo de maximizar a eficiência das unidades de produção. Por exemplo, em grandes instalações com cerca de 40 unidades (25kW–25kWh), estes são capazes de armazenar 1MW que pode ser libertado em menos de 1 hora [3].

#### Armazenamento de energia a ar comprimido (CAES):

É um dispositivo com base numa turbina a gás, onde os processos de compressão e combustão estão divididos. Durante a carga, o compressor é acoplado à máquina elétrica, que trabalha como motor, comprimindo o ar. Após a compressão, o ar é armazenado em cavernas subterrâneas seladas. A descarga do dispositivo consiste em gerar energia através do acoplamento de uma turbina a gás com uma máquina elétrica, funcionando como gerador, e fornecendo o ar comprimido armazenado para o processo de combustão [3] [9].

Um diagrama de operação de um sistema de armazenamento de energia a ar comprimido é apresentado na Figura 11 [9].

O ar pode ser comprimido e armazenado no subsolo, com tubagem de alta pressão (20-100 bar).

A densidade de energia neste tipo de sistemas é na ordem de 12 kWh/m<sup>3</sup>, enquanto a eficiência estimada é de cerca de 70% [3].

#### 4.5. Unidades de Armazenamento Térmicas

Existem dois tipos de sistemas de armazenamento térmico, dependendo se eles usam o calor sensível ou latente. As transferências de calor entre o acumulador térmico e o ambiente exterior são feitas através de um fluido de transferência de calor, isto é tem de haver diferença de temperaturas [3].

O armazenamento de calor latente corresponde há mudança do estado sólido para o líquido. Este tipo de armazenamento tem como vantagem armazenar grandes quantidades de energia num pequeno volume, o que permite uma maior eficiência na transferência de calor [7].

O armazenamento térmico de calor sensível é conseguido pelo aquecimento de um material em massa (sódio, sal fundido, água pressurizada, etc.) que não muda de estado durante a fase de acumulação. Assim, o calor é recuperado para produzir vapor de água, que conduz a um sistema de turboalternador [3].

Os sistemas de armazenamento térmico são implantados para superar o descompasso entre a procura e a oferta de energia térmica e, portanto, são importantes para a integração de fontes de energias renováveis [7].

#### 5. Considerações gerais

Como se verificou existem diversas tecnologias de armazenamento de energia, que também podem ser classificadas consoante o tempo de descarga de energia, como se pode observar na Figura 12.

Portanto, esta classificação divide-se em: curto e longo prazo de capacidade de descarga de energia. No primeiro grupo destacam-se as *flywheels*, supercondensadores e os supercondutores magnéticos. A longo prazo destacam-se as tecnologias de armazenamento de energia por bombeamento de água (*pumped hydro*), por ar comprimido, por baterias e por células de combustível de hidrogénio [9].

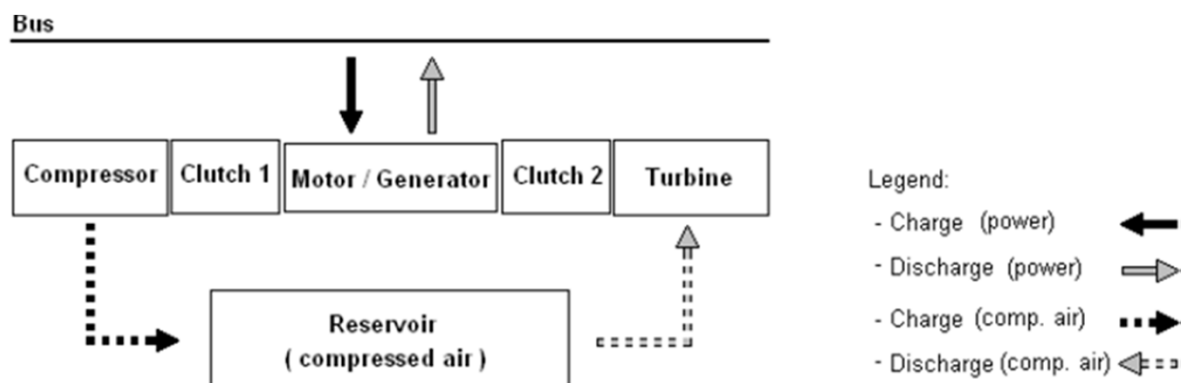


Figura 11 - Diagrama de operação de um armazenamento por compressão do ar [9]

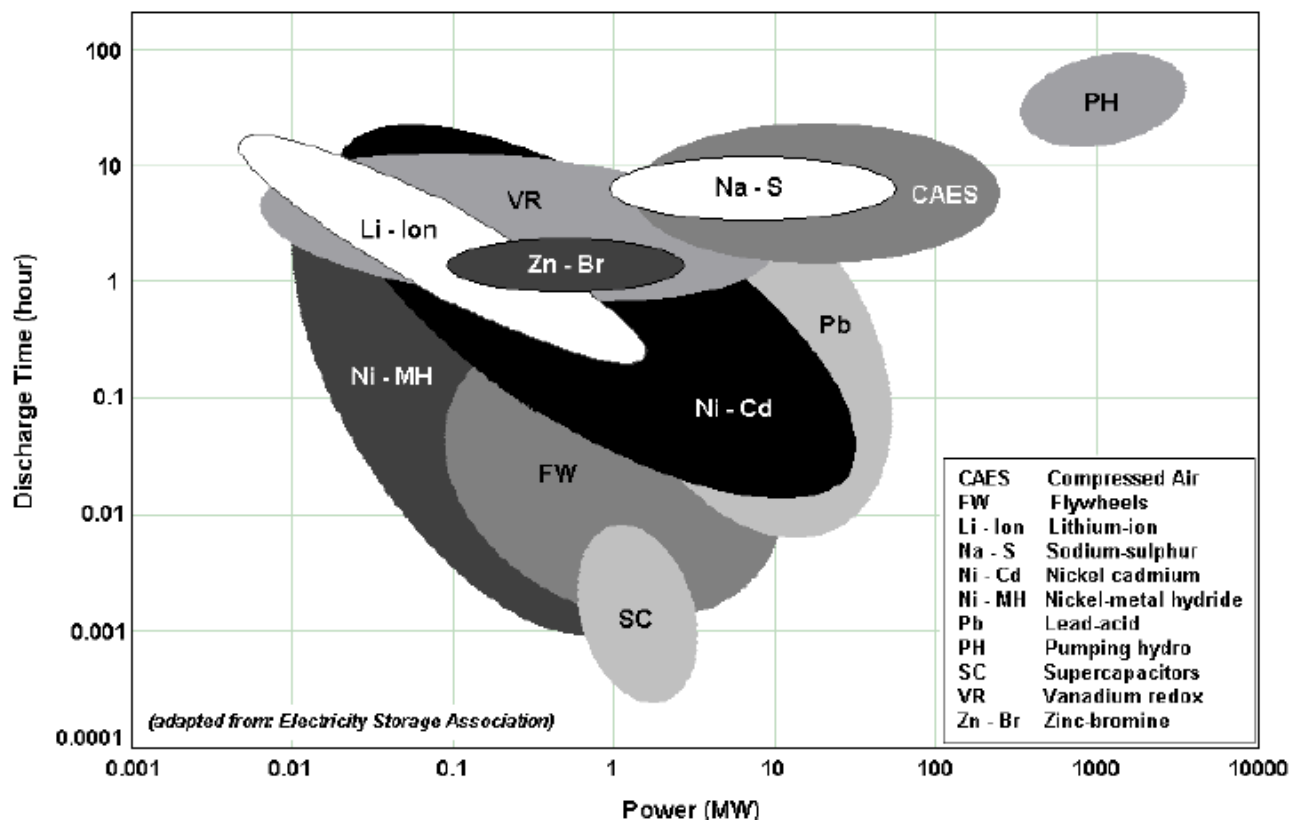


Figura 12 - Comparação entre as diversas tecnologias de armazenamento tendo em conta o tempo de descarga e a potência [9]

Posto isto, é de salientar que as diversas técnicas de armazenamento de energia disponíveis podem ser aplicadas a sistemas de energia elétrica.

Sendo que, estas acarretam custos associados ao armazenamento de energia, mas podem ser soluções rentáveis. Pois, permitem gerir a rede, garantindo o nivelamento da carga em tempo real, bem como uma melhor utilização de recursos renováveis evitando o corte de carga em tempos de menor produção [3].

Contudo, ainda existe a necessidade de melhorar as técnicas de armazenamento, de modo a que estas possam ser cada vez mais úteis e aplicadas no setor de energia elétrica.

## Referências

- [1] APREN, “Evolução da produção de eletricidade em Portugal entre 1999 e 2012 (c/correção de hidraulicidade)”, 2013.  
(<http://www.apren.pt/dadostecnicos/index.php?id=272&cat=266>)
- [2] Rudell A. “Storage and Fuel Cells. EPSRC SuperGen Workshop: Future Technologies for a Sustainable Electricity System”. University of Cambridge; 2003.
- [3] H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, “Energy storage systems—Characteristics and comparisons, Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Volume 12, Issue 5, June 2008, Pages 1221-1250, ISSN 1364-0321.

- [4] Quanta-technology, “Electric Energy Storage Systems”, 2013.  
([http://www.quanta-technology.com/sites/default/files/doc-files/Energy\\_Storage-12-01-13.pdf](http://www.quanta-technology.com/sites/default/files/doc-files/Energy_Storage-12-01-13.pdf))
- [5] Volker.quasching, “Solar thermal power plants”, 2013.  
(<http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals2/index.php>)
- [6] REN, “Diagrama de Carga da RNT”, 2012.  
(<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/DiagramadeCargadaRNT.aspx>)
- [7] IEC, “Electric Energy Storage”, 2011.  
(<http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>)
- [8] Comissão Europeia, “The future role and challenges of Energy Storage”, DG ENER Working Paper, 2013.  
([http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/energy-storage/2013/energy\\_storage.pdf](http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/energy-storage/2013/energy_storage.pdf))
- [9] Sergio Faias, Jorge Sousa and Rui Castro (2009). “Embedded Energy Storage Systems in the Power Grid for Renewable Energy Sources Integration, Renewable Energy, T J Hammons (Ed.), ISBN: 978-953-7619-52-7, InTech.  
(<http://www.intechopen.com/books/renewable-energy/embedded-energy-storage-systems-in-the-power-grid-for-renewable-energy-sources-integration>)
- [10] Creighton, “Storing energy”, 2013.  
([http://www.creighton.edu/green/energytutorials/forms\\_ofenergy/storingenergy/index.php](http://www.creighton.edu/green/energytutorials/forms_ofenergy/storingenergy/index.php))

<b>Divulgação:</b>	<b>Título:</b>	Instalações Elétricas de Baixa Tensão	<b>ISBN:</b>	9789897230264
	<b>Autor:</b>	António Augusto Araújo Gomes	<b>Nº Páginas:</b>	150
	<b>Editores:</b>	Publindústria	<b>Encadernação:</b>	Capa mole
	<b>Data:</b>	Fevereiro 2013		

António Augusto Araújo Gomes

## INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

### CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

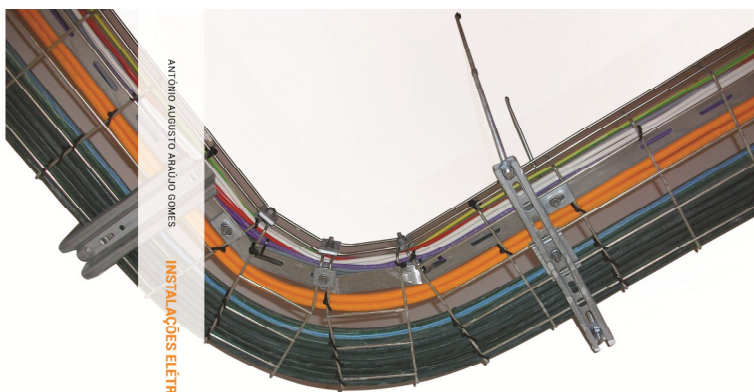
#### Sobre o livro

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia elétrica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre as canalizações elétricas aos diversos agentes eletrónicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, selecionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

#### Sobre o autor

Bacharel em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestre em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Assistente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Investigador do GECEAD – Grupo de Investigação em Engenharia do Condicionamento e Apoio à Unidade do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde esse mesmo ano.

Coordenador de Obras na CERBERUS – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro & Saneamento de Engenharia Lda, entre 2002 e 2006. Prestação de serviços de formação e/ou projeto e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversas entidades, nomeadamente NORMA – Consultores de Engenharia, S.A.; Schmal – Engenharia e Serviços, Lda; ENERO – Consultores de Engenharia Lda; TSQ – Instituto de Sêdada e Qualidade Químicos – Filial de Quadros Elétricos, S.A.; EP – Instituto Eletrotécnico Português; CERBERUS – Centro de Energia e Tecnologia ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações; IDT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico; EDV – Agência de Energia Entre Douro e Vouga.



António Augusto Araújo Gomes

## INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

### CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

SEGUNDO AS REGRAS TÉCNICAS  
DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO



Publindústria



Publindústria



## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Ana Paula de Freitas Assis Antunes**

**paula.assis@topinformatica.pt**

Licenciada em Engenharia Civil - Ramo Produção e mestre em Engenharia Civil - Opção de Estruturas, Geotecnia e Fundações pela Universidade do Minho.

Docente na Universidade do Minho nas disciplinas de Materiais de Construção, Geotecnia, Hidráulica Geral, Obras Marítimas e Fluviais, entre 1988 e 1990 e nas disciplinas de Estruturas de Betão I e II, desde 2005.

Sócia da empresa Top - Informática, Lda., exerce funções de direção técnica (desde 1991) e direção geral (desde 2001).

Foi sócia fundadora da empresa TDP - Projeto e Fiscalização, Lda., em 1991, exerceu funções de direção técnica e execução de projetos de engenharia civil entre 1991 e 1994.



### **Top Informática, Lda.**

Empresa fundada em 1988, é responsável pela conceção, adaptação e comercialização dos programas da CYPE para Portugal desde 1991. Dedicar grande parte dos seus recursos à identificação de requisitos regulamentares, da escola e práticas portuguesas, disponibilizando versões do software para a engenharia do projeto de construção. Encontra-se atualmente em fase de expansão para Angola, Moçambique e Cabo Verde.



**António Augusto Araújo Gomes**

**aag@isep.ipp.pt**

Mestre (pré-bolonha) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Doutorando na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia (UTAD). Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Obras na CERBERUS - Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica. Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 1999.



**António Manuel Luzano de Quadros Flores**

**(aqf@isep.ipp.pt)**

Doutorado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Especialidade de Sistemas de Energia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (2013);

Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; "M.B.A." em Gestão na Escola de Gestão do Porto da Universidade do Porto (1999);

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Produção, Transporte e Distribuição de Energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (1982);

Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1993;

Desenvolveu atividade na SOLIDAL no controlo de qualidade e manutenção, na EFACEC na área comercial de exportação de máquinas elétricas, na British United Shoe Machinery na área de manutenção, na ALCATEL-Austrália na área de manutenção, na ELECTROEXPRESS, em Sidney, na área de manutenção e instalações elétricas.



**Carlos Alberto Gomes Resende**

**1120937@isep.ipp.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrónica e Automação, pelo Instituto Superior Politécnico Gaya (ISPGaya).

Aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).



**Daniel Filipe da Silva Paiva**

**danielfspaiva@gmail.com**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), 2011.

Aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Bolseiro de Investigação em Eficiência Energética, GECAD, ISEP.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Fábio Emanuel dos Santos Nogueira**

**1130258@isep.ipp.pt**

Aluno do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Colaborador no Instituto Politécnico do Porto (IPP) e no GILT.ISEP.



**Fábio Joel Gouveia Pereira**

**1100343@isep.ipp.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, Portugal, 2013.

Aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto, Portugal.



**José Caldeirinha**

**jose.caldeirinha@certiel.pt**

Licenciado em engenharia eletrotécnica pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, mestre em engenharia eletrotécnica na área das energias renováveis, pela mesma Faculdade e especializado em Gestão pelo ISEG. Desde há 12 anos que é analista técnico do quadro da CERTIEL - Associação Certificadora de Instalações Elétricas, afeto ao Gabinete Técnico."



**CERTIEL – Associação Certificadora de Instalações Elétricas**

**Paulo Alexandre Caldeira Branco**

**paulo.branco@pt.abb.com**

Formação superior em engenharia eletrotécnica, na área de energia e sistemas de potência. Quadro superior da ABB, SA, no departamento de Marketing da Baixa Tensão. Responsável pelo suporte técnico e legislativo junto da área de projeto e consultoria.



**ABB, S.A.**

Quinta da Fonte, Edifício Plaza I, 2774-002 Paço de Arcos,

Tel. +351 214 256 000 Fax.+351 214 256 247

contactos.clientes@pt.abb.com

http://www.abb.pt/



**Roque Filipe Mesquita Brandão**

**rfb@isep.ipp.pt**

Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto, departamento de Engenharia Eletrotécnica.

Consultor técnico de alguns organismos públicos na área da eletrotecnia.



**Sérgio Filipe Carvalho Ramos**

**scr@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. Aluno de doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Instituto Superior Técnico de Lisboa. Docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do curso de Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica. Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 2002.

