

Este estudo faz parte da iniciativa Future Energy Leaders Portugal (FELPT) e tem por objetivo analisar a sustentabilidade, segurança e resiliência do setor elétrico nacional. Os FELPT contam com o apoio da Associação Portuguesa de Energia.

## Pontos-chave



A descarbonização do sistema elétrico é alcançada através do descomissionamento de centrais termoelétricas convencionais e da sua substituição por geração de base renovável, conjuntamente com o incremento de medidas de eficiência energética.



Algumas fontes de geração renovável são caracterizadas pela sua variabilidade e falta de controlabilidade, o que leva a que sejam necessários mecanismos de coordenação para uma operação eficaz do sistema.



As comunidades de energia podem ter um papel de facilitador na oferta e operação dos serviços de flexibilidade necessários para uma operação mais segura do sistema.



A redução do número de grandes geradores síncronos ligados aos sistemas elétricos, tem provocado a diminuição da inércia, sendo necessário encontrar alternativas viáveis para garantir uma maior segurança na gestão dos sistemas elétricos.

## RESUMO

A transição energética pretende acelerar e efetivar uma abrangente e categórica descarbonização da nossa sociedade, para assim mitigar os efeitos das alterações climáticas.

No que respeita ao sistema elétrico, observam-se duas grandes alterações: por um lado, uma significativa integração de capacidade de geração renovável variável, por outro, um significativo aumento do consumo, devido à eletrificação da economia.

Em Portugal, a produção hidroelétrica é uma das mais relevantes para o Sistema Elétrico Nacional, sendo o *mix* energético fortemente influenciado pela sua disponibilidade. Dependendo do ano, a produção hidroelétrica tem variado entre os 7 e os 13 TWh/ano, o que corresponde a valores entre 15% a 30% do consumo nacional. Este nível de variação é complementado, tipicamente, por outras fontes de produção despacháveis, como o gás natural, e pelo eventual recurso à interligação elétrica com Espanha. O recurso eólico já representa cerca de 30% da produção de eletricidade. Nos últimos anos, o contributo do carvão diminuiu significativamente (13.6 TWh em 2017 para 2.2 TWh em 2020), até as duas centrais disponíveis terem sido descomissionadas em 2021.

Uma elevada integração de energia renovável variável e, conseqüentemente, a redução de potência firme no sistema, origina vários desafios, tanto para a segurança operacional, como para o abastecimento do Sistema Elétrico Nacional, abordados neste *White Paper*. São avaliadas diferentes tecnologias, por forma a determinar o respetivo potencial para aumentar a resiliência operacional do sistema. Na panóplia de possibilidades a estudar, incluem-se diversos serviços de sistema (armazenamento sazonal, flexibilização de consumos, soluções para balanceamento e monitorização do sistema), métodos para incrementar a coordenação entre os operadores da rede de transporte e distribuição (ORT e ORD), bem como formas de providenciar inércia sintética ao sistema. Por último, será importante refletir sobre o futuro planeamento do sistema elétrico nacional, como parte integrante da península ibérica e em contexto europeu, bem como o seu papel num sistema elétrico europeu que se espera muito mais interligado e cooperante.

## INTRODUÇÃO

***A missão dos operadores das redes de transporte é continuar a facilitar o caminho para a descarbonização total da produção de eletricidade, desenvolvendo a infraestrutura de transmissão e interligação e novas ferramentas de operação dos sistemas que garantirão que esse caminho se conseguirá percorrer sem pôr em risco a garantia de abastecimento e a qualidade de serviço aos consumidores.***

**Albino Marques, Diretor de Relações Institucionais, REN**

As fontes de energia, que abasteceram o nosso planeta num passado recente, estão a sofrer uma profunda transformação. As alterações climáticas afiguram-se cada vez mais impactantes, pelo que a aposta no processo de transição energética não é uma opção, mas sim uma obrigação, a bem da sustentabilidade do planeta. Assim, as fontes renováveis de produção de energia deverão ser a principal aposta para que os objetivos de sustentabilidade possam ser cumpridos. Os consideráveis avanços observados fizeram com que as energias renováveis se tornassem viáveis do ponto de vista tecnológico, economicamente atrativas e capazes de satisfazer as necessidades energéticas a uma escala assinalável.

O recente conflito bélico com a invasão da Ucrânia pela Federação Russa amplificou a já existente crise do gás natural, colocando uma enorme pressão no preço desta fonte energética. Este inesperado conflito promoveu uma mudança de paradigma no que à segurança de abastecimento diz respeito. A enorme dependência europeia do gás natural russo alertou os decisores políticos europeus para a importância dos recursos energéticos endógenos, onde as energias renováveis se enquadram na sua plenitude. Perante esta nova realidade, os governos europeus lançaram planos para acelerar a descarbonização, alavancando o processo de transição energética.

Devido à variabilidade do consumo, o sistema elétrico sempre precisou de determinado grau de flexibilidade, por forma a assegurar o equilíbrio geração/carga. Na sua perspetiva tradicional, a flexibilidade provém, essencialmente, da geração com centrais térmicas ou hidroelétricas (onde se inclui a bombagem), às quais se juntam as interligações.

Porém, a integração massiva de geração renovável variável introduz novos desafios ao sector elétrico. Manter o equilíbrio entre a geração e o consumo, sem colocar em causa a integridade do sistema elétrico, torna a segurança

operacional mais desafiante. A não controlabilidade do recurso primário (como o vento e o sol), obriga a incrementar a flexibilidade do sistema elétrico através de outros mecanismos, como é o caso da gestão do consumo, que passará a ter um papel mais ativo na segurança do sistema.

A descentralização e digitalização terão um papel cada vez mais importante nos sistemas de energia, viabilizando a operacionalização das comunidades energéticas. Estas permitirão aos cidadãos ter um papel ativo, tanto no consumo como na produção de energia, com conseqüente benefício para os intervenientes, podendo providenciar Serviços Sistema, contribuindo, assim, para a segurança do sistema elétrico.

Outro requisito fundamental na gestão do sistema elétrico, é a manutenção da frequência dentro dos limites estabelecidos, mesmo face a perturbações na operação. A velocidade a que a frequência se altera vai depender da inércia do sistema que, atualmente, é salvaguardada pelas grandes máquinas síncronas rotativas, como os turbogeradores térmicos e hídricos. Com o avançar da transição energética e o conseqüente decréscimo do número de máquinas síncronas acopladas à rede elétrica, observa-se uma continua diminuição da inércia natural no sistema elétrico. Ou seja, verifica-se uma diminuição da capacidade do sistema para resistir a perturbações, pelo que será necessário recorrer a outros mecanismos, que têm vindo a ser desenvolvidos, como a emulação através de inércia sintética.

## Segurança Operacional

Na última década, as fontes de energia renováveis assumiram já mais de metade de toda a produção elétrica em Portugal, com valores a oscilar entre 41% (2017) e 66% (2021). Esta variação está relacionada, em grande medida, com disponibilidade hídrica que, por sua vez, depende da pluviosidade anual nas bacias hidrográficas que alimentam as albufeiras. O potencial hidroelétrico é um dos principais fatores da segurança de abastecimento do sistema elétrico em Portugal.

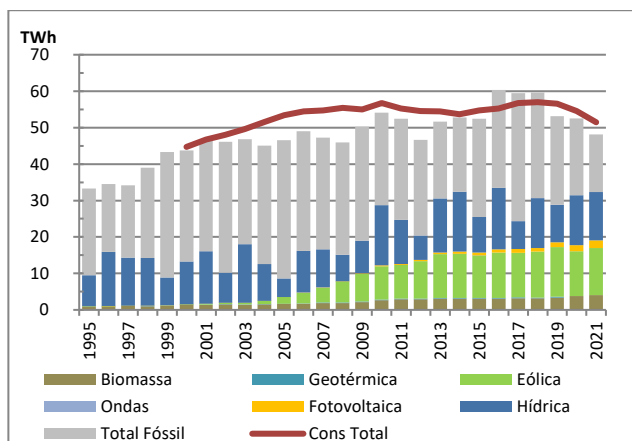


Figura 1- Produção de Eletricidade por fonte de energia (Fonte: DGEG)

Ao longo dos últimos anos, a quantidade de eletricidade produzida, a partir de fontes renováveis, tem crescido significativamente, sendo a geração eólica o principal impulsionador deste crescimento.

A crescente incorporação de geração renovável variável introduz novos desafios para a segurança operacional do sistema elétrico, uma vez que a sua gestão fica condicionada à disponibilidade destes recursos. Para garantir uma segurança operacional robusta é importante conhecer, para cada momento, qual a efetiva disponibilidade de cada recurso, e ter geração suficiente que possa suprir a variabilidade do consumo.

O Centro de Despacho do Sistema Elétrico Nacional (SEN) atribui, em cada período horário, o programa de produção de eletricidade para cada centro electroprodutor, de acordo com a sua disponibilidade, com base numa ordem de mérito resultante do encontro de ofertas do MIBEL.

Num futuro onde se ambicione um sistema 100% renovável, as vicissitudes das fontes renováveis implicam desafios para a segurança operacional, por múltiplas razões: a incerteza da disponibilidade eólica, a limitação de produção inerente ao período de radiação solar, a dependência da pluviosidade na segurança de abastecimento para suprir o consumo e a ausência de potência firme e com rápida capacidade de resposta, que assegure o abastecimento ininterrupto e com qualidade a todos os consumidores.

Cada uma das tecnologias de produção elétrica renovável tem características distintas de capacidade, disponibilidade, variabilidade e previsibilidade; que pretendemos neste capítulo apresentar de forma simplificada, identificando os respetivos desafios e oportunidades.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de utilização horária de potência disponível para várias componentes do *mix* energético de produção e consumo de eletricidade. Destacam-se:

- A estabilidade da biomassa;
- A importância da interligação;
- Baixo fator de utilização da eólica ou fotovoltaica;
- Amplitude da bombagem hídrica.

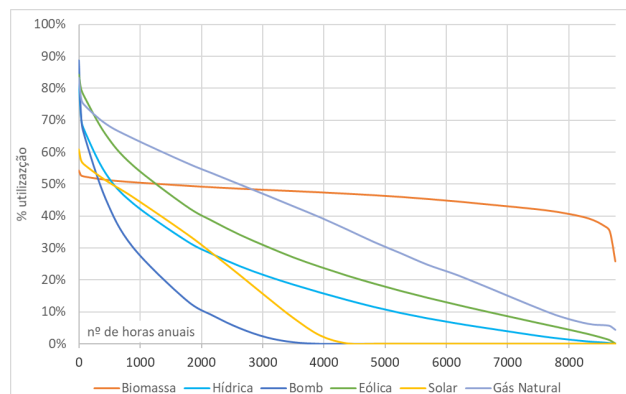


Figura 2 – Potência média 2017 – 21 (Fonte: REN datahub)

Na próxima década está planeado um forte crescimento da geração fotovoltaica, acompanhado com um esforço também importante na hídrica e eólica, contribuindo no seu global para um aumento do *mix* renovável. Está criada uma oportunidade única, cujo sucesso será diretamente proporcional à capacidade de conjugação das valências de cada uma das fontes de produção de eletricidade renovável que, em seguida se descrevem.

### Biomassa

Em Portugal, a produção elétrica a partir da biomassa representa uma potência firme relevante, cuja média anual (373 MW) é cerca de 85% do valor máximo verificado anualmente (420 MW). Em 2021, esta fonte produziu cerca de 3.5 TWh, representando quase 7% da produção nacional de eletricidade.

As centrais elétricas alimentadas a biomassa baseiam-se em sistemas termoelétricos ou de cogeração. Os sistemas termoelétricos assumem-se como uma solução de valorização energética dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU, também classificados como biomassa) ou dos resíduos florestais.

Por outro lado, maior parte da capacidade existente está associada à Cogeração, sendo indissociável da atividade industrial. Isto significa que esta produção não é totalmente programável, mas estável e previsível. A dimensão da cogeração de biomassa em Portugal é alavancada pela indústria da fileira florestal.

A valorização da biomassa residual florestal como fonte de energia limpa permite promover o dinamismo do setor florestal, alavancando a limpeza e preservação da floresta e representando uma fonte de valor económico distribuído no território.

Uma maior aposta nesta fonte de energia pode ser parte de uma estratégia mais ampla de sustentabilidade e gestão do território, não estando previsto, contudo, que o contributo da biomassa venha a sofrer alterações significativas.

## Hídrica

A tecnologia hidroelétrica é, atualmente, a fonte renovável com maior potência instalada em Portugal, com aproximadamente 8 GW declarados, tendo-se verificado valores máximos de 6 GW de produção em ponta. Esta fonte de produção é fundamental para a sustentabilidade, segurança operacional e de abastecimento do SEN, destacando-se como principais características:

1. A **disponibilidade de volume** apresenta variações anuais muito expressivas: por exemplo, em 2017 verificou-se uma seca severa, foram produzidos 7.4 TWh (13.5% do total) de energia hidroelétrica, e em 2020, um ano com pluviosidade abundante, 13.9 TWh (28%); O inverno de 2021/22 foi singular pela sua baixa pluviosidade. A energia produzida em cada ano corresponde à Figura 3;

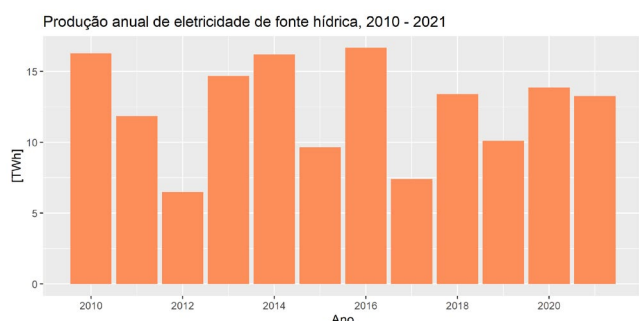


Figura 3 – Produção hídrica (Fonte: REN datahub)

2. **Sazonalidade** – os maiores índices de pluviosidade ocorrem no inverno onde resultam, em maiores índices de produção hidroelétrica neste período do ano, em oposição ao verão. Nestes períodos têm sido registados períodos de vários dias consecutivos de produção elétrica 100% renovável no SEN, impulsionados por forte disponibilidade hídrica e eólica;
3. Capacidade de **armazenamento** - as albufeiras, além de reservas de água, são também reservatórios de energia potencial, disponível para utilizar quando necessário. As instalações com bombagem, reforçam a potencialidade de armazenamento, contribuindo para maior flexibilidade do sistema energético, (atualmente a potência instalada de bombagem é de cerca de 3.5 GW);
4. **Flexibilidade** de curto prazo – dentro dos critérios de gestão dos recursos hídricos, nomeadamente da gestão das cotas dos aproveitamentos, é possível alocar a energia disponível nos períodos onde este recurso é mais necessário, nomeadamente em ausência de disponibilidade de outras fontes renováveis. Esta característica permite uma boa complementaridade com a geração renovável variável, na perspetiva de segurança de abastecimento;

5. **Planeamento** – nas centrais hídricas, sobretudo nas com grandes albufeiras, é possível prever, em determinada medida, a disponibilidade e assim fazer um planeamento de curto e médio prazo da sua utilização, incrementando a flexibilidade do sistema.

Num futuro próximo, até 2024, destaca-se a entrada em operação da totalidade do complexo hidroelétrico do Alto Tâmega, com um acréscimo de 1.15 GW, dos quais 880 MW reversíveis, representando uma importante capacidade adicional de armazenamento no SEN. Estima-se que o complexo, totalmente operacional, produzirá 1.766 TWh de energia anualmente (cerca de 3% produção total nacional atual).

Num sistema elétrico com maior incorporação de energia de fontes renováveis variáveis, a flexibilidade e a capacidade de armazenamento, das centrais hídricas terá um contributo essencial para a estabilidade do sistema, providenciando uma importante complementaridade a estas fontes de produção.

### Stress Hídrico em 2022

No primeiro trimestre de 2022, a situação de seca extrema que afetou uma parte significativa do território nacional, levou a restrições na gestão das bacias hidrográficas, que levou a uma menor utilização da capacidade instalada em centrais hidroelétricas.

Comparando os valores de produção média no primeiro trimestre, Figura 4, verifica-se uma diminuição da potência média hídrica em 0.55 GW (36%), de 2021 para 2022, enquanto o aumento nas centrais de ciclo combinado foi de 0.34 GW (+27%), observando-se também um aumento de 0.73 GW (135%) no saldo importador. Comparando os dados entre os anos de 2017 e 2022, anos em que se verificou extrema seca meteorológica, constata-se uma redução semelhante da produção elétrica a partir da fonte hídrica. No entanto, o saldo importador médio em 2017 foi negativo, exportando 300 MW, enquanto em 2022 houve uma importação média, de 1 270 MW. Esta diferença deve-se à produção a partir de centrais a carvão em 2017, e que deixaram de integrar o *mix* energético português ao longo de 2021.

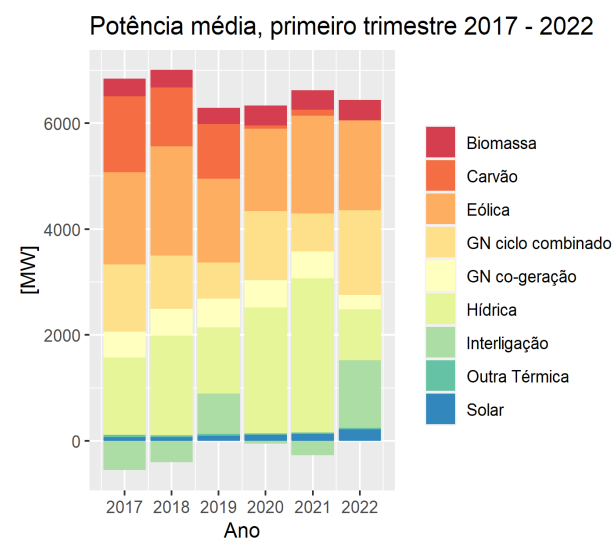


Figura 4 - Potência média por fonte de energia (Fonte: REN datahub)

Torna-se também relevante compreender como opera o sistema elétrico durante as horas de maior consumo neste período (as 100 horas de maior consumo equivalem aproximadamente ao top 5%). Nesse caso, em média, durante as 100 horas de maior consumo, a produção de centrais hídricas foi de 2.84 GW em 2022, quando em 2020 foi de 4.11 GW. Em 2022, a potência de centrais de ciclo combinado foi de 2.4 GW e de fonte eólica foi de 1.77 GW. Nos anos anteriores, durante o período de maior consumo, o sistema elétrico apresentou saldo exportador, no entanto em 2022, apresentou um saldo importador de 0.36 GW.

## Eólica

A tecnologia eólica registou, em Portugal, um crescimento muito expressivo nos últimos 20 anos, em particular entre 2003 e 2013. A produção elétrica, que até então estava concentrada em grandes centros de produção, passou a estar mais distribuída, tendo os projetos sido desenvolvidos a partir das localizações com melhores condições de eolicidade.

Tabela 1 - Capacidade eólica instalada em Portugal

Ano	2000	2010	2020
Potência [MW]	83	3 914	5 502

A geração eólica é atualmente bastante expressiva, com 5.5 GW de capacidade instalada, que, em termos de médias anuais produzem aproximadamente 13 TWh. Verificamos, no gráfico da Figura 5, que a quantidade anual de eletricidade produzida a partir desta fonte apresenta uma tendência de crescimento estável. A taxa anual de utilização da potência instalada, situa-se entre os 26% e 29%, sendo por isso mais consistente que a fonte hídrica. Numa perspetiva de segurança de abastecimento é possível estimar, a longo prazo, qual a quantidade de energia anual disponível de fonte eólica.

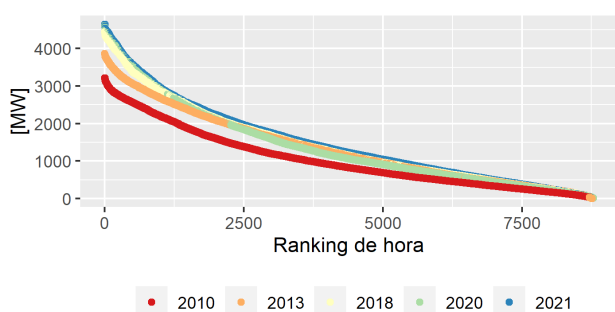


Figura 5 – Curva de duração de produção eólica (Fonte: REN datahub)

O grande desafio associado a esta fonte energética é a incerteza na previsão e variabilidade no curto prazo, em contraponto com a geração solar, que segue o um padrão mais previsível da disponibilidade da radiação

solar. Neste contexto, a complexidade da gestão do sistema elétrico pode ser impactada por um incremento de capacidade eólica instalada.

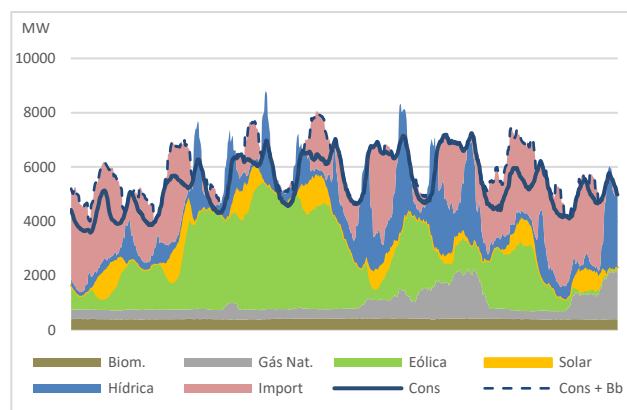


Figura 6 – Energia elétrica produzida, por fonte, de 17 a 24 de abril de 2022 (Fonte: REN datahub)

Conforme mostra o gráfico da Figura 6, em abril de 2022, a produção eólica registou um valor mínimo de produção de 119 MW, mas também um máximo histórico de 4 741 MW. Durante o período acima referido, encontramos também variações de produção, em períodos de 1 hora, superiores a 800 MW, representando perto de 15% do consumo. Estes exemplos são comuns e tipicamente podem ser resolvidos com incremento de potência hídrica ou de origem fóssil, nomeadamente gás natural. Demonstra-se assim o motivo pelo qual esta fonte nunca poderá ser considerada base de fornecimento do SEN.

Na próxima década, é expectável que se adicionem 4 GW de potência eólica no SEN, como refere o PNEC 2030<sup>1</sup>. Nesse cenário, teríamos um aumento de quase 80% na potência instalada, que pode levar a que cerca de 20 TWh de energia elétrica sejam produzidos por ano nessas condições.

Em conclusão, apesar de a fonte renovável eólica poder ser considerada insegura, pela sua imprevisibilidade, pode fornecer um importante contributo no mix de produção, sobretudo na dimensão de segurança de abastecimento e dependência de importação. Contudo, é necessário assegurar que as consequências na resiliência do sistema elétrico sejam resolúveis com soluções complementares, quer do ponto de vista de controlo quer de capacidade de reserva (hídrica, importação, ou gás natural).

## Fotovoltaica

Esta fonte de energia deverá registar, na presente década, um crescimento muito expressivo, podendo até 2030 tornar-se na tecnologia com maior potência instalada em Portugal. Este grande crescimento foi potenciado pela redução do custo dos painéis, que alavancou a viabilidade de investimento, desde as soluções descentralizadas (doméstico, edifícios ou indústria) até grandes centrais de produção centralizada, cujos projetos previstos anunciam

<sup>1</sup><https://participa.pt/contents/consultationdocument/imported/2585/670002.pdf>

<https://participa.pt/pt/consulta/plano-nacional-de-energia-e-clima-2030>

capacidades instaladas acima da ponta de consumo nacional.

Entre 2010 e 2021, a potência máxima verificada de parques solares aumentou de 100 MW para perto de 900 MW.

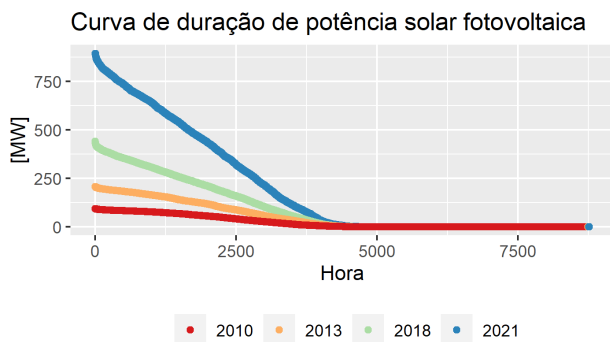


Figura 7 – Curva de duração de produção de energia fotovoltaica (Fonte: REN datahub)

Como referido anteriormente, até 2030, espera-se um aumento muito significativo da potência fotovoltaica instalada, estimando o PNEC2030, que atinja valores superiores a 9GW (representando um volume anual de 15TWh). Colocando em perspetiva com o consumo atual em Portugal, esta potência implica a complementaridade com soluções de armazenamento de grande dimensão, como por exemplo: bombagem hídrica, conversão em combustíveis renováveis, armazenamento térmico, baterias convencionais ou ainda através da mobilidade elétrica.

Por outro lado, a elevada amplitude de produção em conjunto com a imprevisibilidade da eólica, pode aumentar as dificuldades na gestão operacional, desde logo pelos próprios sistemas de controlo e mecanismos de atuação (software e hardware). É fundamental estudar, desde já, soluções tecnológicas que permitam um controlo seguro dos vários fenómenos resultantes da sobreposição da energia proveniente destas fontes renováveis. A produção de hidrogénio e a bombagem hídrica afiguram-se como soluções possíveis para superar esta situação.

À semelhança da geração eólica, o custo marginal desta fonte de energia também é muito próximo de zero e, no longo prazo, é possível conhecer a quantidade de energia disponível. Outra vantagem acrescida é algum nível de previsibilidade, que permite, antecipadamente, fazer um adequado planeamento da gestão do sistema elétrico. Isto significa que existe uma boa complementaridade entre as fontes solar e hídrica.

## Contexto Ibérico

O relatório de monitorização de segurança de abastecimento do SEN<sup>2</sup> alerta para a potencial falta de adequabilidade da capacidade instalada para os potenciais consumos, devido ao descomissionamento das centrais termoelétricas de Sines e Pego, enquanto se aguarda pela integração do complexo eletroprodutor do Tâmega. Isto significa que Portugal, durante alguns

períodos, fica dependente da capacidade de importar eletricidade de Espanha, para salvaguardar a sua segurança de abastecimento.

Atualmente, Portugal tem cerca de 21 GW de potência instalada, sendo que 4 GW são em centrais de ciclo combinado, 1 GW em cogeração a Gás Natural, 7.1 GW em centrais hídricas, 5.5 GW de eólica. A interligação com Espanha pode superar os 5 GW. Por seu lado, o consumo máximo elétrico português ronda 9.8 GW. Com potenciais aumentos de consumos e com o imperativo de existir sempre alguma redundância, o nível de capacidade despachável existente poderá não ser adequado e consequentemente não garantir um nível de segurança de abastecimento adequado.

Por outro lado, devido à forte interligação elétrica entre Portugal e Espanha, e ao relativo isolamento do sistema ibérico de sistemas exteriores, este espaço é referido, como uma ‘ilha elétrica’. Assim, importa também analisar o potencial renovável e a capacidade existente não só em Portugal, mas em toda a região ibérica.

A ponta de consumo no sistema elétrico Espanhol nos últimos 5 anos foi de 38 GW, o que somado ao máximo Português perfaz 48 GW. A capacidade instalada no sistema Ibérico é de 130 GW, onde 36.5 GW são em Gás Natural, 7 GW em nuclear, 7 GW em carvão, mais de 20 GW em hídrico, e 20 GW em eólico. Fazendo uma estimativa da capacidade despachável disponível, existirão cerca de 70 GW. Assim sendo, em termos ibéricos, a adequabilidade da potência existente é bastante superior ao que se verifica apenas em Portugal.

Na próxima década, existe uma expectativa da integração de considerável capacidade solar e eólica, podendo atingir 30 GW de solar e 40 GW de eólica. Com tal capacidade instalada, anualmente poderão ser produzidos cerca de 150 TWh/ ano destas fontes, o que equivale a 50% do consumo elétrico atual na Ibéria.

De forma a evitar disrupções futuras, o planeamento e tomada de decisão sobre a infraestrutura do sistema deve ser efetuado atempadamente. A avaliação das opções deve contemplar questões técnicas, a componente estratégica, e a viabilidade económica, de forma a otimizar a utilização da infraestrutura e a rentabilidade dos investimentos e dos recursos já existentes. Devido à forte integração do sistema português com o espanhol, este planeamento e a operação da infraestrutura na Península Ibérica devem ser realizados, cada vez mais, de forma coordenada. Devido ao relativo isolamento do sistema ibérico com o resto da Europa, é extremamente importante aumentar o nível de interligações com outros sistemas adjacentes (França, Reino Unido e Norte de África), para permitir maior flexibilidade e robustez do sistema, e potencializar o uso dos recursos na Península Ibérica numa maior variedade de condições e mercados.

Uma reflexão que desejamos fomentar é se o portefólio de capacidade instalada tem capacidade de despacho adequada a este valor e ao futuro que se perspetiva.

<sup>2</sup><https://www.dgeg.gov.pt/media/hp5p13zr/rmsa-e-2021.pdf>.

## Serviços de Sistema

O incremento da produção renovável variável no SEN eleva a uma crescente relevância os serviços de sistema no controlo e gestão da rede, que se torna cada vez mais suscetível a fatores não controláveis, nomeadamente climáticos. Entende-se como serviços de sistema todo o conjunto de ferramentas que a operação do sistema elétrico tem ao seu dispor.

Se, por um lado, é esperado que no futuro exista uma maior probabilidade de mais centros electroprodutores ficarem fora do *market clearance*, também as instalações de consumo ficarão mais expostas, caso falhe a capacidade de produção, quando não houver vento ou sol.

Os operadores da rede de transporte e distribuição terão de responder a vários desafios para garantir a estabilidade e resiliência dos sistemas elétricos, em todos os pontos da rede. Dos principais serviços que constituem hoje de garantia de segurança do SEN, destacamos:

- Bombagem hídrica (armazena excesso de produção);
- Áreas de balanço (equilíbrio de produção e consumo);
- Reserva de regulação (deslastre de cargas de consumo não essenciais, nomeadamente bombagem);
- Banda de Reserva de Regulação (redução de consumo em indústrias eletrointensivas);

O SEN deve procurar evoluir no intuito de monitorizar e controlar a sua operação de forma mais integrada e rápida, que permita uma maior flexibilidade de adaptação e de controlo automático. Os consumidores ficarão mais suscetíveis, o que significa, também, que deverão existir ferramentas para controlo de alguns consumos não essenciais em momentos de quebra de produção. Por outro lado, deve ainda aumentar a sua capacidade de armazenamento de energia, para tirar proveito das horas com excesso de produção, evitando o desperdício de energia.

Como exercício de reflexão, apontamos algumas outras soluções, mais disruptivas, que se poderão tornar presentes, quer por via da variabilidade de preços, quer mesmo para garantia da segurança e estabilidade operacional do sistema:

- Estabelecer uma relação entre o operador de transporte e distribuição de rede, para melhor gestão de recursos;
- Recurso a comunidades de energia para agilizar a integração de renováveis e serviços de flexibilidade;
- Investimento em equipamento que permita uma mais abrangente monitorização e controlo da rede elétrica;
- Utilização de excedentes de produção elétrica para a síntese de novos combustíveis renováveis;

- Planeamento da utilização energia – períodos preferenciais para carregamento de veículos elétricos;
- Armazenamento de energia em veículos elétricos e reversibilidade para serviço do sistema;
- Deslastre seletivo de cargas não essenciais – para grandes clientes de serviços ou mesmo domésticos a obrigatoriedade de vários níveis de consumo em cada instalação em função da prioridade definida;
- Armazenamento doméstico de energia;
- Aumento significativo da capacidade comercial da interligação ibérica com outros sistemas (Norte de África, França, Reino Unido e Itália).

## Flexibilidade do Consumo

Em cenários futuros, em que a operação do sistema elétrico será caracterizada por uma mais significativa integração de produção renovável, a flexibilidade do consumo fará parte da equação. Em face da elevada variabilidade da produção renovável, a capacidade de ajustar, parcialmente, alguns consumos de acordo com essa produção será determinante para um aproveitamento eficiente dos recursos renováveis, assim como para fornecimento de serviços de sistemas (ex: possibilidade de reduzir consumos para mitigar problemas na rede de transporte ou distribuição). Os dispositivos de uma habitação podem ajustar o consumo de energia em resposta a incentivos ou outros sinais enviados pelos operadores das redes de transporte e distribuição. Simultaneamente, a adoção destas soluções deverá procurar respeitar a manutenção de níveis adequados de conforto e as preferências pessoais do consumidor. Além disso, coletivamente, um grande número de consumidores pode ser coordenado para dar resposta a incentivos ou solicitações dos operadores de rede. Este efeito de escalabilidade e agregação, através de uma ação coordenada de um conjunto de consumidores, poderá ser uma ferramenta importante no fornecimento de serviços de sistema, sobretudo em períodos críticos da operação da rede elétrica. Nesse sentido, as comunidades de energia têm nesta possibilidade mais um benefício económico, promovendo um papel mais ativo dos consumidores na segurança de abastecimento.

## Coordenação Transporte - Distribuição

O aumento da produção distribuída ligada à rede de distribuição e a diminuição progressiva da geração convencional traz desafios ao equilíbrio entre oferta e procura, o que enfatiza a relevância de explorar a flexibilidade que pode ser fornecida pelos recursos distribuídos. No entanto, a crescente descentralização do sistema elétrico aumenta a complexidade operacional e as responsabilidades dos Operadores da Rede de Distribuição (ORDs). Por outro lado, a escassez

de serviços de sistema é uma preocupação, especialmente para os Operadores da Rede de Transporte (ORTs), pois estes asseguram a função de gestão global do sistema. A redução de unidades convencionais que fornecem serviços de sistema, torna necessário uma coordenação mais integrada e permanente entre ORTs e ORDs para otimizar totalmente o uso de recursos distribuídos e manter a segurança do abastecimento.

Cada operador do sistema, ORT e ORD, é responsável pela segurança operacional e qualidade de serviço na sua rede, e está, portanto, incumbido de monitorizar e interagir com os respetivos utilizadores. Para a operação eficiente de um sistema elétrico com uma forte integração de Recursos Distribuídos de Energia (RDEs), a partilha de informações entre ORTs e ORDs é essencial para maximizar os benefícios que os RDEs podem proporcionar ao sistema e facilitar a respetiva integração. Maior interação entre ORDs e ORTs permite uma melhor utilização dos RDEs e aumenta a flexibilidade do sistema. Por exemplo, normalmente, os ORTs têm informações reduzidas sobre os recursos ligados na rede de distribuição, como capacidade, tipo de produção, características, padrões de consumo e produção. O número de RDEs deverá aumentar na rede de distribuição através de veículos elétricos, sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento. A falta de visibilidade do ORT sobre os RDEs ao nível da distribuição pode levar a erros na previsão de carga e produção, que podem afetar a fiabilidade e a segurança de abastecimento do sistema elétrico. Os ORDs terão uma responsabilidade acrescida de monitorizar mais ativamente a produção e carga ligada na sua rede e controlar recursos, para manter a estabilidade no funcionamento do sistema elétrico e resolver restrições locais na rede de distribuição. Para tal, as interações e a coordenação entre os operadores de rede precisarão ser aprimoradas tanto para ações operacionais de curto prazo (operação em tempo real), como para o planeamento e expansão da rede para o longo prazo

## Comunidades de Energia

Em 2016, a União Europeia, no âmbito do pacote “Energia Limpa para todos os Europeus”<sup>3</sup>, acordou numa atualização da estrutura de política energética europeia, que visa acelerar, transformar e consolidar a transição energética com um papel ativo do utilizador final, garantindo o cumprimento do Acordo de Paris<sup>4</sup> para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e, simultaneamente, promover a criação de emprego e o crescimento económico. Portugal, nesse mesmo ano, na Conferência das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, assumiu o compromisso de alcançar a neutralidade carbónica até 2050.

Neste sentido, foi aprovada a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da utilização de fontes de energia renováveis, que introduz as Comunidades de Energia Renovável (CER), prescrevendo a obrigação dos Estados Membros

assegurarem “... que as comunidades de energia renovável estejam em condições de participar nos regimes de apoio disponíveis, em pé de igualdade com outros grandes participantes”.

No âmbito do PNEC2030, merece particular relevância a produção local e descentralizada de energia a partir de fontes renováveis, para alcançar o objetivo de redução da dependência energética do país, quer por via do autoconsumo, individual e coletivo, quer pelo desenvolvimento de CER, onde é possível produzir e gerir energia, partilhando custos e benefícios entre os seus membros.

As CER têm por objetivo principal propiciar aos membros benefícios ambientais, económicos e sociais, tendo a capacidade de produzir energia a partir de fontes renováveis, consumir, armazenar, comprar e vender energia aos seus membros, ou a terceiros. Podem ainda aceder a todos os mercados de energia, incluindo o de serviços de sistema, tanto diretamente como através de agregação e de forma não discriminatória.

Para se verificar um contributo positivo das CER para o SEN é importante que sejam planeadas com os seguintes pressupostos:

- A descentralização e a democratização, pela evolução de consumidores passivos para agentes ativos, capazes de consumir e flexibilizar o consumo, armazenar e produzir energia a partir de fontes renováveis, podendo partilhar a energia produzida no seio da sua comunidade sem a interferência de terceiros, minimizando custos e maximizando proveitos;
- A otimização do uso de energia, através da interação com a rede e prestação de serviços de sistema e de flexibilidade para apoiar a operação, robustez e resiliência da rede elétrica;
- A digitalização, através da aposta nas novas tecnologias de informação e comunicação, possibilitando às CER uma gestão dinâmica, inteligente e segura dos seus ativos de energia distribuída.

As CER são uma oportunidade para os cidadãos e para as empresas, incluindo as industriais, que poderão, por um lado, descarbonizar-se, através do autoconsumo de base renovável, reduzindo a sua pegada ecológica e, por outro lado, podem também aumentar a sua competitividade, pela redução dos custos com energia, pelo autoconsumo e pela gestão otimizada dos fluxos energéticos, cujos excedentes poderão ser partilhados com a comunidade envolvente, podendo ainda ter uma participação ativa no SEN, com o fornecimento de flexibilidade de carga e outros serviços de sistema relevantes à rede.

<sup>3</sup> [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en)

<sup>4</sup> [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en)



## Armazenamento Sazonal

O armazenamento sazonal de energia é um processo que acomoda ciclos anuais de consumo de eletricidade e geração de energia proveniente de fontes renováveis, armazenando energia durante uma parte do ano e utilizando-a posteriormente, dependendo das necessidades de consumo. O armazenamento sazonal está bastante relacionado com as variações sazonais de temperatura, pluviosidade, velocidade do vento e irradiação solar, visto que estas determinam as necessidades de calor e frio, bem como a capacidade de geração de energia solar e eólica.

Como já amplamente discutido, as fontes de energia renovável conduzem a desafios, no que toca a exploração e planeamento do sistema elétrico, que resultam da variabilidade temporal destas fontes de energia. Desta forma, é necessária potência firme para satisfazer a procura quando existem condições adversas associadas a anos secos, períodos de baixa eolicidade e reduzida insolação.

O recurso a centrais térmicas de ciclo combinado a gás natural continuará a ser uma realidade, contudo, apontando o caminho da descarbonização, o armazenamento sazonal de energia renovável poderá desempenhar um papel de relevo no que toca à capacidade de fornecer ao sistema a potência com a flexibilidade necessária para este se adaptar à variabilidade de produção renovável. O aumento da flexibilidade no sistema, por exemplo, através do armazenamento sazonal, acaba por atuar nas duas vertentes (oferta e procura) através da utilização do potencial excedente de geração de origem renovável de modo a fornecer potência disponível, livre de emissões de carbono. As tecnologias de armazenamento sazonal devem possuir determinadas características:

- Baixa percentagem de perdas, visto que irá ser armazenada ao longo de vários meses;
- Capacidade suficiente para acomodar as variações de carga;
- Em larga escala com custo aceitável comparativamente ao expectável em receita, no que toca às variações de preço na eletricidade entre o inverno e o verão;
- Elevada eficiência de conversão, uma vez que, à larga escala, um pequeno desperdício pode representar perdas significativas em valor absoluto.

A nível de tecnologias de armazenamento sazonal, existe já uma panóplia de soluções disponíveis, nomeadamente:

- Centrais hídricas com recurso a bombagem, combinadas com os excessos de produção solar e eólica, representam uma solução de armazenamento totalmente renovável já amplamente utilizada;
- Armazenamento em larga escala de gases sintéticos (como hidrogénio, metanol, metano ou amónia) produzidos a partir de fontes renováveis;
- Outras tecnologias inovadoras como o armazenamento de energia potencial gravítica.

No que toca à produção de energia renovável, dados meteorológicos mostram que normalmente existe um excesso consistente de oferta no Verão e escassez no Inverno, que, se combinados, resolveriam uma questão importante na descarbonização do fornecimento de eletricidade. Desta forma, a ideia de armazenamento sazonal mostra-se bastante atrativa. Contudo, existem alguns desafios:

- Do lado da oferta, apenas parte do potencial de eletricidade excedentária está economicamente disponível para armazenamento a longo prazo. As utilizações competitivas são economicamente mais viáveis com menos horas de funcionamento. Estas outras utilizações reduzem o volume de eletricidade disponível e aumentam o preço da eletricidade;
- Do lado da procura, o armazenamento sazonal também tem de competir com outras opções, sobretudo com o gás natural com tributação do carbono. Esta opção é ainda mais rentável.

Se a necessidade de fornecimento de eletricidade totalmente descarbonizada e livre de combustíveis fósseis for suficientemente elevada, isto refletir-se-á num preço de carbono significativamente mais elevado associado às tecnologias convencionais, tornando o armazenamento sazonal uma opção economicamente viável. E quando a necessidade for suficientemente elevada, o armazenamento sazonal transforma-se automaticamente numa oportunidade de negócio.

## Inércia do Sistema

Historicamente, o Sistema Elétrico era composto por múltiplos geradores em rotação, sincronizados com a rede a uma determinada frequência, padronizada a 50 Hz. no espaço europeu. Nesse sentido, a frequência é utilizada como a principal métrica para avaliar a fiabilidade e estabilidade do sistema.

A capacidade do sistema electroprodutor para salvaguardar o equilíbrio geração-consumo, foi analisada com maior detalhe nos pontos anteriores. Igualmente importante é a capacidade do sistema elétrico para manter a frequência dentro de limites aceitáveis face a desequilíbrios, quer do lado da geração quer do lado do consumo. Quando ocorre uma perturbação, que introduz um desequilíbrio no sistema, é necessário voltar a equilibrar o sistema rapidamente para que a frequência não saia dos limites admissíveis, estabelecidos nos códigos de rede. A taxa a que a frequência se altera vai depender da inércia do sistema, que é garantida pelas grandes máquinas rotativas, como é o caso dos geradores térmicos e hídricos. Em suma, a inércia confere ao sistema capacidade de resposta instantânea a perturbações que causem desequilíbrio entre a geração e o consumo. O estudo da inércia é um ponto determinante num contexto de transição energética, onde a quantidade de máquinas síncronas acopladas à rede se encontra em contínua diminuição, reduzindo a inércia natural do sistema.

A inércia pode ser definida como a resistência de um objeto a alterações no seu estado de movimento, incluindo alterações de velocidade (rotacional no caso das grandes máquinas rotativas aqui referidas) e de direção. No caso das máquinas síncronas dos geradores convencionais, a inércia, ou mais especificamente a constante de inércia ( $H$ ) é dada por:

$$H = \frac{\text{Energia}_{\text{cinética}}}{S}$$

Sendo,  $S$  a potência nominal da máquina.

Assim, a energia cinética armazenada pelas massas girantes destas grandes máquinas é dada por:

$$\text{Energia}_{\text{cinética}} = H \times S$$

Devido a sua grande massa, estas máquinas rotativas têm uma constante de inércia elevada, o que implica que têm também uma elevada capacidade de armazenar energia cinética proveniente da rotação das suas turbinas. Esta característica faz com que, na ocorrência de um desequilíbrio do sistema, a frequência de rotação das turbinas se altere a um ritmo lento, contribuindo, juntamente com os mecanismos automáticos de controlo de frequência do sistema, para a manutenção da estabilidade do mesmo.

A inércia dos sistemas tem sido, historicamente, uma importante fonte de fiabilidade nas redes elétricas. A predominância de grandes centrais térmicas e hídricas nos sistemas atuais, tem representado uma fonte de energia armazenada constantemente disponível para fornecer o tempo necessário para responder a falhas de geração ou outro tipo de falhas do sistema.

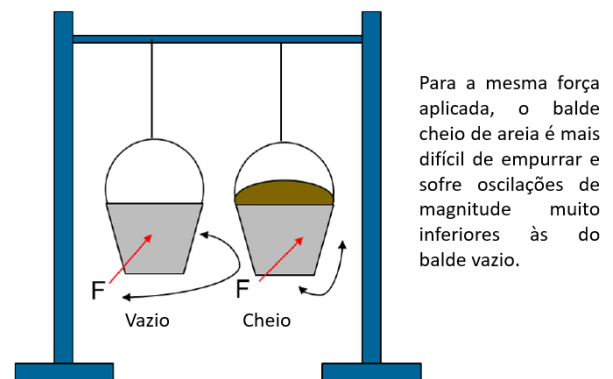


Figura 8 – Ilustração do mecanismo de inércia

### O impacto da geração renovável na inércia do sistema elétrico

Com a crescente penetração de energia renovável variável no *mix* energético do sistema electroprodutor, teme-se a diminuição da inércia do sistema e a conseqüente perda de fiabilidade. Ao contrário do que acontece com os geradores tradicionais, em que os seus terminais estão diretamente ligados à rede e a energia cinética armazenada nas suas massas girantes é automaticamente trocada com a rede em situação de desequilíbrio, as unidades de geração renovável são ligadas à rede através de conversores de potência eletrónicos que desacoplam os geradores da rede, o que implica que os mesmos não forneçam qualquer inércia ao sistema (mesmo no caso das turbinas dos geradores eólicos).

Assim, para que se cumpram as metas e objetivos estabelecidos, no atual contexto de transição energética, com o aumento da penetração de geração renovável no *mix* energético do sistema electroprodutor, deverão ser estudadas soluções para colmatar a

Um menor número máquinas síncronas reduz a quantidade de energia cinética imediatamente disponível após uma perturbação no sistema. Essa resposta da energia cinética da máquina é normalmente conhecida como resposta inercial. A redução da energia cinética do sistema diminui a resposta inercial, resultando num aumento da taxa inicial de variação de frequência (ROCOF-*Rate of change of frequency*).

A menos que outras ações de contenção sejam tomadas, isso afetará diretamente a estabilidade de frequência do sistema de energia. A frequência tornar-se-á mais volátil em cenários de baixa inércia. Consequentemente, níveis insuficientes de inércia podem ter sérios impactos na estabilidade do sistema, podendo resultar em grandes desvios de frequência que podem levar à violação dos limites de segurança de frequência e causar deslastre de cargas. Isso pode resultar num apagão em grandes áreas da rede ou no seu funcionamento em modo ilha.

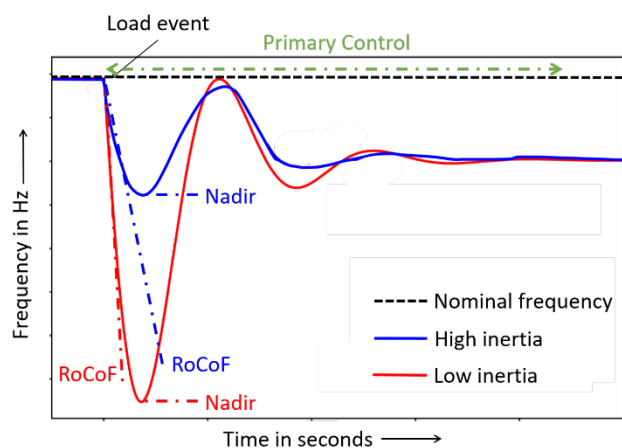


Figura 9 – Resposta em frequência com alta e baixa inércia <sup>5</sup>

As unidades de geração de energia elétrica com base nos recursos eólicos e solar estão ligadas à rede elétrica através dos denominados inversores. Um inversor é um dispositivo de eletrônica de potência que converte corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), e encontra-se ligado de forma assíncrona a uma rede elétrica síncrona. Ao contrário de um sistema de energia convencional, com um grande número de geradores síncronos, num sistema baseado em inversores ligados à rede de forma assíncrona, a energia elétrica gerada pela unidade é apenas controlada pelas malhas de controlo do inversor. Os recursos baseados em inversores têm crescido significativamente em todos os sistemas elétricos e continuarão a aumentar com a evolução do processo de descarbonização do setor elétrico. A ampla integração de recursos assíncronos baseados em inversores terá um impacto na estabilidade do sistema de energia. Contrariamente aos geradores síncronos convencionais, esses recursos não respondem automaticamente a quaisquer distúrbios na rede elétrica. Os inversores não fornecem uma resposta inercial natural na sequência de desequilíbrios de frequência, contudo, eles têm a capacidade de emular essa resposta através dos controladores eletrônicos de potência.

## Como operar um sistema sem inércia mecânica

Em resposta a estas crescentes preocupações, muitas soluções têm sido propostas para complementar a falta de inércia do sistema, resultante da integração de produção renovável. As soluções de sistemas síncronos incluem:

- A manutenção de inércia síncrona no sistema sem restringir a geração renovável ao despachar parcialmente unidades térmicas convencionais,
- Monitorização e imposição de valores mínimos de inércia;
- Inclusão de hidroelétricas com capacidade de bombagem;
- Condensadores síncronos e estabilizadores rotativos (máquina síncrona projetada com grande massa).

Existem também várias soluções de sistemas de recursos assíncronos que podem explorar a capacidade dos inversores para fornecer inércia sintética através de sistemas de armazenamento de energia, *flywheels*, turbinas eólicas, painéis solares, e ligações de alta tensão em corrente contínua (HVDC) entre sistemas síncronos.

Por exemplo, quando os parques eólicos fornecem resposta inercial e controlo de frequência primário para eventos de sub-frequência, o ponto de operação inicial deve estar abaixo da potência máxima disponível; ou seja, o parque fornece reserva primária. Neste modelo de operação, há capacidade para aumentar a injeção de potência em resposta a uma perturbação do sistema. Quanto aos sistemas fotovoltaicos, a forma mais comum de obter resposta inercial é operá-los abaixo do ponto ótimo de operação ou a utilização de dispositivos de armazenamento para ajudar no controlo de frequência. No entanto, operar abaixo do ponto ótimo de funcionamento corresponde a uma diminuição de energia gerada, incorrendo em redução de proveitos o que exige avaliações detalhadas para justificar, tanto em termos de custo económico, quanto de impacto nas metas de energia renovável.

No caso da Península Ibérica, a geração solar fotovoltaica será o grande motor de crescimento das energias de fonte renovável. A solução para manutenção dos níveis adequados de inércia passará por dotar os (futuros) parques solares fotovoltaicos de mecanismos que permitam “substituir” a inércia que deixou de existir devido ao desacoplamento dos grandes centros electroprodutores. Tais mecanismos não faziam parte dos requisitos técnicos necessários para a ligação de centros electroprodutores à rede elétrica, enquanto a falta de inercia não constituía uma ameaça para o funcionamento do sistema.

<sup>5</sup> <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/24/6485/htm>

“

**A fiabilidade garante-se no planeamento, que está cada vez mais difícil de fazer dada a enorme incerteza quanto às entradas e saídas da grande produção**

Pedro Carvalho, Prof. Catedrático no Instituto Superior Técnico

”

Os novos requisitos enquadram-se essencialmente em 3 vertentes: requisitos de frequência, de robustez e de tensão, detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 - Requisitos de ligação

Tipo	Requisito
Frequência	Capacidade de manter o parque ligado à rede dentro de uma gama de frequências
	Capacidade de suportar taxas de variação de frequência (ROCOF)
	Capacidade de modelar a potência ativa em resposta a variações de frequência
Robustez	Capacidade de suportar cavas de tensão
	Capacidade de recuperação de potência ativa após defeito
Tensão	Capacidade de permanecer ligado à rede elétrica dentro de uma gama de tensões
	Capacidade dinâmica de injeção de potência reativa durante defeito
	Capacidade estática de absorção / injeção de potência reativa
	Funcionamento em modo de controlo de potência reativa, modo de controlo de fator de potência e modo de controlo de tensão

Estes requisitos de ligação podem ser garantidos, pelos geradores de energia renovável, através da utilização de soluções de eletrónica de potência. Uma das soluções que tem vindo a ser desenvolvida é a emulação de inércia sintética.

### Inércia Sintética

Refere-se à capacidade de transferir energia da rede para os equipamentos (por exemplo, pás de turbinas eólicas, campos magnéticos de máquinas e tecnologias de armazenamento) e vice-versa, usando diferentes esquemas de controlo. O objetivo é imitar parte do comportamento da inércia fornecida instantaneamente pelos geradores síncronos, mesmo que os dispositivos não sejam tecnicamente sincronizados com a rede elétrica.

Neste momento, existem no norte de Portugal alguns parques eólicos mais recentes com interface eletrónica com esse propósito. Outro exemplo são as centrais hídricas de velocidade variável, como é o caso de Idanha-a-Nova. Estes mecanismos, apesar de não oferecerem inércia ao sistema, diminuem o seu tempo de resposta, permitindo conservar a frequência do sistema dentro dos limites desejados.

## Conclusão

A transição energética é uma arma fundamental no combate às alterações climáticas. Em particular, o sector elétrico irá registar uma assinalável mudança, para um sistema maioritariamente baseado em fontes de energia renovável.

Portugal tem boas condições para alcançar um *mix* de produção de eletricidade 100% renovável. Não obstante, o caminho é longo e cheio de desafios, sendo vital uma boa complementaridade entre todas as tecnologias renováveis, bem como novas soluções disruptivas e inovadoras que irão contribuir para superar esse desafio.

A geração hidroelétrica foi a primeira e é ainda considerada a principal fonte renovável de produção de energia elétrica em Portugal. Apesar de fortemente influenciada pela pluviosidade anual, tem um impacto significativo na produção de eletricidade. As barragens constituem não só uma solução de armazenamento de água, como também uma solução robusta de armazenamento energia a curto e longo prazo. A complementaridade com outras fontes de produção é extremamente importante, principalmente quando existe capacidade de bombagem associada. Não obstante, a variabilidade na produção entre anos chuvosos e secos pode atingir os 30% da capacidade, o que significa que um sistema elétrico altamente dependente da geração hidroelétrica fique suscetível à disponibilidade anual de fonte primária de energia – dependente da pluviosidade.

Entre 2000 e 2020, houve um forte crescimento da potência eólica instalada, o que permitiu incrementar substancialmente o peso das renováveis no *mix* energético do país. A geração eólica garante um considerável volume de energia anual, contudo a não controlabilidade do recurso primário aliada à sua incerteza, fazem com que o seu contributo para segurança operacional não seja considerável. A presente década observará um elevado incremento da geração fotovoltaica. A redução do custo desta tecnologia permite acesso fácil aos consumidores particulares, alavancando os investimentos descentralizados do sistema elétrico.

O sistema elétrico tem tido um grande crescimento na produção e dependência renovável. Com o incremento de geração renovável variável, a gestão do sistema elétrico torna-se mais complexa e desafiante, pelo que é fundamental estudar e implementar soluções que reforcem a estabilidade operacional. Por outro lado, e como mencionado anteriormente, a crescente integração de fontes de energia renovável variável tem contribuído para a descentralização da produção de energia elétrica. Nesse contexto, surgem novos desafios para a gestão e operação do sistema elétrico, gerando a necessidade de um papel mais ativo dos operadores do sistema de distribuição (ORDs), para que estes passem a ter um papel mais ativo para a coordenação da segurança de abastecimento com os ORTs (Operadores das Redes de Transporte).

É de crescente importância a aquisição, tratamento e utilização de uma maior quantidade de dados (*big data*), em tempo real, sobre os fluxos de energia das redes elétricas, nomeadamente produção e consumo descentralizado. A informação agregada, para apoio à decisão, contribuirá para uma maior flexibilidade nas operações das Redes de Transporte e Distribuição, através de serviços de sistema. Para atingir a meta 100% renovável, o vetor de consumo terá de desempenhar um papel mais ativo para equilíbrio do sistema, por exemplo através das comunidades de energia ou no carregamento de veículos elétricos.

A redução do número de grandes geradores síncronos (maioritariamente geração térmica) ligados aos sistemas elétricos, no âmbito do processo de transição energética, tem provocado alterações na inércia. A sua substituição por recursos baseados em inversores, particularmente eólica, solar e certos tipos de baterias de armazenamento de energia, tem dois efeitos antagónicos: primeiro, esses recursos diminuem a quantidade de inércia disponível no sistema; por outro lado esses recursos podem responder mais rápido do que os recursos convencionais, reduzindo a quantidade de inércia tradicionalmente necessária. Todavia, isso representa uma mudança de paradigma no fornecimento da resposta inercial e de frequência. A combinação de inércia e resposta de frequência mecânica pode ser substituída pela resposta de frequência baseada em eletrónica de potência dos recursos baseados em inversores (inércia sintética) e, pela resposta rápida de cargas, contribuindo estas soluções para a manutenção da segurança operacional do sistema elétrico.

Gostaríamos de colocar como nota final a importância do aumento da capacidade de interligação com a Europa continental como medida de fortalecimento da segurança de abastecimento e da segurança operacional do Sistema Elétrico Ibérico. Esta solução permitirá aumentar o trânsito de energia, permitindo à Europa importar eletricidade de fonte renovável, da qual seremos cada vez mais excedentários em algumas horas de pico de produção, nomeadamente fotovoltaica e eólica; e por outro lado reduzindo a utilização de *back-up* fóssil na Península Ibérica em momentos de baixa produção renovável. A outra vantagem, em particular para a Ibéria, assenta no aumento da inércia global do sistema, nomeadamente pela elevada produção nuclear em França, com geradores síncronos, para manter a frequência do sistema.

# AUTORES

ANDREIA CARREIRO

BRUNA TAVARES

HUGO RIBEIRO

JOSÉ SARILHO

MÁRIO COUTO

NUNO BAIRINHAS

PEDRO FRADE

VASCO ZEFERINA

# AGRADECIMENTOS

Os membros do programa Future Energy Leaders Portugal agradecem as sugestões recebidas da Professora Maria da Graça Carvalho, Professor Pedro Carvalho e Engenheiro António Albino Marques.

Os agradecimentos estendem-se ao Engenheiro Bento Morais Sarmiento, à Marisa Serra, Ana Sousa e Pedro Ferreira.

Sobre a APE – Associação Portuguesa de Energia

A Associação Portuguesa de Energia é uma instituição privada, de utilidade pública, sem fins lucrativos, constituída em 1989 que desenvolve atividade na área da energia sustentável, procurando dinamizar a reflexão e o debate em áreas ligadas à evolução do sector energético e desenvolver ações que reforcem o seu papel na economia e na qualidade de vida em Portugal. A APE assegura a representação nacional no Conselho Mundial de Energia (*World Energy Council*), tendo como associados as principais empresas e organismos públicos do sector energético, bem como da indústria transformadora e dos serviços.

Mais informação disponível em [www.apenergia.pt](http://www.apenergia.pt)

Sobre o FELPT

O FELPT é uma iniciativa que visa promover o debate sobre questões prementes do sector energético, ajudar a moldar soluções para o futuro do sector no contexto português.

O programa FELPT assenta em ideias criativas com potencial inovador para desafiar o pensamento convencional e explorar novas estratégias para o futuro dos sistemas energéticos, oferecendo aos jovens profissionais uma oportunidade única de aprender, desenvolver competências e participar no debate de questões de energia.

Para mais informação sobre o programa FELPT siga-nos em:



Contactos:

FELPT Board e-mail: [felpt@apenergia.pt](mailto:felpt@apenergia.pt)

Associação Portuguesa de Energia e-mail: [geral@apenergia.pt](mailto:geral@apenergia.pt)