



Desafios no caminho para o net zero

Escolhendo o caminho ideal para um futuro de energia renovável

Conteúdo

Prefácio.....	3
Resumo executivo.....	4
Acelerando a transição energética global	6
Um chamado à ação para o setor de energia elétrica	15
Insights de mercado	16
Metodologia	19

Resumo do relatório

Este relatório avalia dois caminhos comumente considerados para alcançar o net zero no setor de energia elétrica em nível global. Os resultados indicam que a combinação de usinas de balanceamento de rede com fontes renováveis e armazenamento de energia oferece a rota mais viável e economicamente eficaz para acelerar a descarbonização e alcançar o net zero.



Anders Lindberg

Presidente, Wartsilä Energy e
Vice-Presidente Executivo
Wartsilä Corporation

Caminho ideal para Net Zero

O mundo está em um caminho cada vez mais estreito para alcançar o Net Zero até 2050 e limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C, conforme compromisso de mais de 190 países no Acordo de Paris.

//

O mundo está em um caminho cada vez mais estreito para alcançar emissões Net Zero até 2050."

O setor de energia elétrica é fundamental nos esforços globais de descarbonização, exigindo uma transformação rápida e em larga escala. Essa transformação requer a otimização dos sistemas elétricos para permitir grandes reduções de emissões, mantendo a confiabilidade e acessibilidade energética para residências, indústrias e negócios em todo o mundo. Para isso, precisamos de múltiplas tecnologias energéticas trabalhando juntas.

Nosso estudo demonstra que as tecnologias de balanceamento de rede são essenciais para uma transição rápida e econômica para 100% de energia renovável. Embora a implantação em larga escala de renováveis seja indispensável, é necessário garantir a confiabilidade do sistema mesmo quando o vento não sopra ou o sol não brilha.

Essa flexibilidade deve vir de várias fontes, como motores flexíveis da rede e armazenamento de energia por meio de baterias, componentes essenciais para uma rápida descarbonização.

A transição também exige ações coordenadas de governos, reguladores, empresas de serviços públicos e operadores de rede. É crucial expandir rapidamente a capacidade renovável, redesenhar os mercados de eletricidade para flexibilidade e preparar-se para a futura integração de combustíveis sustentáveis.

Embora a necessidade de ampliar renováveis e armazenamento seja amplamente reconhecida, precisamos de uma abordagem regulatória e política mais holística para criar sistemas elétricos que funcionem hoje, nos levem ao net zero e sejam preparados para o futuro. Este relatório apresenta o caminho ideal para alcançar esse objetivo. As emissões Net Zero estão em um ponto decisivo. Ação decisiva é necessária agora para garantir que escolhemos o caminho certo.



Malin Östman
Vice Presidente,
Estratégia e Desenvolvimento de Negócios

Resumo executivo

Dada a urgência de ações globais coordenadas para alcançar o Net Zero até 2050, alcançar maior alinhamento sobre o caminho mais eficaz para metas de descarbonização é essencial para um progresso significativo. Para apoiar este objetivo, a Wärtsilä iniciou uma análise global de modelagem do sistema elétrico para avaliar o impacto de caminhos amplamente discutidos de descarbonização.

Este relatório avalia dois caminhos para alcançar emissões net zero no setor elétrico até 2050.

Caminho 1: Renováveis e armazenamento baseia-se exclusivamente na expansão de fontes de energia renovável variável, como solar e eólica, e sistemas de armazenamento de energia.

Caminho 2: Balanceado incorpora usinas de balanceamento de rede, como usinas flexíveis de motores, juntamente com energia renovável e armazenamento de energia.

Os resultados mostram que o caminho equilibrado alcança emissões Net Zero mais rapidamente e de forma mais econômica, com economia projetada de mais de 42% (EUR 65 trilhões), 21% menos emissões e metade do uso de terra para renováveis de 2025 a 2050, em comparação ao caminho renováveis e armazenamento.

O estudo também conclui que mais de 76% das reduções anuais de emissões são alcançadas antes da introdução de combustíveis sustentáveis, prevista para meados da próxima década (2035 em nosso modelo), demonstrando que podemos atingir mais de três quartos de nossas metas de carbono para o setor de energia sem utilizar combustíveis sustentáveis escassos para geração de energia.

Os resultados mostram que incluir usinas flexíveis de energia é crucial para um caminho rápido e econômico rumo à neutralidade de carbono. Embora a energia renovável seja essencial para a descarbonização, a confiabilidade do sistema depende da flexibilidade. O armazenamento de energia oferece flexibilidade quase instantânea, enquanto as usinas de balanceamento de rede fornecem reservas críticas e flexibilidade tanto de curto quanto de longo prazo durante interrupções na geração de energia renovável. Juntas, elas apoiam um sistema de energia renovável confiável e otimizado.



Vantagens significativas das usinas de balanceamento de rede



EUR 65 trilhões em custos reduzidos: O estudo mostra que, comparado ao caminho apenas com renováveis e armazenamento, a implantação de usinas flexíveis reduz os custos totais do sistema elétrico futuro em até 42%, aproximadamente EUR 65 trilhões.



21% menos emissões: A inclusão de usinas flexíveis pode reduzir as emissões totais cumulativas de CO₂ do setor elétrico em 21% até 2050, comparado ao caminho renováveis e armazenamento.



88% menos energia desperdiçada: O uso de usinas de balanceamento de rede permite uma melhor otimização do sistema elétrico, resultando em 88% menos energia desperdiçada devido ao corte de renováveis até 2050.



50% menos capacidade renovável e área necessária: Ao adicionar usinas de energia de balanceamento, podemos reduzir pela metade a capacidade total renovável necessária e diminuir significativamente a área de terra necessária para construir infraestruturas de energia eólica e solar, que, de outra forma, precisariam ocupar uma área comparável ao tamanho da Europa.

“

O estudo mostra que a implantação de usinas de balanceamento de rede reduz os custos totais do sistema elétrico futuro em EUR 65 trilhões.”

Acelerando a transição energética global

A transição energética global continua ganhando força, impulsionada pelo apoio direcionado de políticas públicas e pela redução dos custos de energia renovável. Em 2023, foi registrado um recorde de 565 GW de nova capacidade renovável — um aumento de 60% em relação a 2022. A capacidade renovável total instalada atingiu 4.000 GW, fornecendo cerca de 30% da demanda global de eletricidade¹.

Esses marcos refletem um progresso significativo nos esforços de descarbonização. No entanto, ainda estamos aquém da meta estabelecida na COP28 de triplicar as energias renováveis para 11.000 GW de capacidade até 2030. Em 2022, o setor de energia contribuiu com aproximadamente 40% das emissões totais de CO2 relacionadas à energia, destacando a necessidade de alcançar essas metas para cumprir os objetivos climáticos definidos no Acordo de Paris².

Para permanecer no caminho estreito rumo às emissões net zero, precisamos urgentemente entrar em uma "era de implementação". Ações concretas e políticas de suporte são essenciais para impulsionar os investimentos necessários à transformação do setor de energia. É crucial garantir que nossas ações sejam orientadas por dados claros, permitindo a transição mais rápida para um sistema elétrico sustentável ao menor custo.

Determinando os caminhos ideais para o Net Zero

Um consenso amplo emergiu sobre a importância da rápida descarbonização, mas as perspectivas diferem consideravelmente em relação ao caminho mais eficaz para alcançar net zero no setor de energia.

Alguns defendem uma abordagem centrada exclusivamente em fontes renováveis variáveis, como energia eólica e solar, apoiadas por sistemas de armazenamento de energia, como baterias. Outros argumentam que, embora as renováveis e os sistemas de armazenamento de energia sejam essenciais, formas adicionais de flexibilidade são críticas para garantir um fornecimento de energia confiável e econômico.

Dada a urgência de uma ação global coordenada, a Wartsilä iniciou esta análise de modelagem do sistema energético global para avaliar a viabilidade e a otimização dos caminhos amplamente discutidos para a descarbonização.

Expertise em modelagem de sistemas de energia

A Wartsilä ajuda seus clientes a acelerarem suas jornadas de descarbonização por meio de tecnologias líderes de mercado e expertise em sistemas de energia.

Usando o software PLEXOS®, a Wartsilä realizou mais de 200 análises de sistemas de energia e países em todo o mundo, identificando os designs de sistemas de energia ideais para apoiar a integração de energias renováveis e reduzir os custos operacionais e as emissões do sistema.

Escolhas contrastantes de caminhos para emissões Net Zero

Neste estudo, definimos duas trajetórias contrastantes para o período de 2025 a 2050 com o objetivo de alcançar sistemas de energia com emissões Net Zero. O objetivo final é compreender melhor as opções e abordagens para uma descarbonização viável.

Caminho 1: Renováveis e armazenamento

No caminho com Renováveis e armazenamento, a expansão do setor de energia baseia-se exclusivamente em fontes de energia renovável variável (VRE, na sigla em inglês) e em sistemas de armazenamento de energia (ESS). As usinas de energia existentes são gradualmente desativadas até 2040, mas podem operar dentro de limites de emissão até o seu encerramento. Durante o horizonte de modelagem, não é introduzida nenhuma nova capacidade de geração de energia além das renováveis e dos sistemas de armazenamento.

Caminho 2: Balanceado

No caminho Balanceado, a expansão também é liderada por fontes renováveis de energia e sistemas de armazenamento, mas com a adição de usinas de energia de balanceamento, que proporcionam maior flexibilidade e melhoram o desempenho do sistema. Essas usinas são habilitadas para operar com combustíveis sustentáveis que devem se tornar amplamente disponíveis na década de 2030. As usinas existentes, que são inflexíveis, são gradualmente substituídas por novas capacidades à medida que atingem o fim de sua vida útil. As adições de capacidade para usinas nucleares, biocombustíveis e carvão e gás com captura e armazenamento de carbono (CCS) seguem projeções conservadoras de fontes públicas, como a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA).

No COP28 Climate Summit, em 2023, os governos se comprometeram a triplicar a capacidade global de energia renovável até 2030, expandindo-a para 11 TW nesta década. Essa meta é aplicada no modelo e em ambos os caminhos. A partir de 2025, o sistema otimiza a expansão da capacidade e a geração com base em restrições definidas e nas tecnologias exclusivas disponíveis em cada caminho. O objetivo dessa otimização é minimizar os custos totais do sistema, atendendo aos requisitos de disponibilidade, confiabilidade e limites de carbono necessários para atingir as metas do Acordo de Paris.

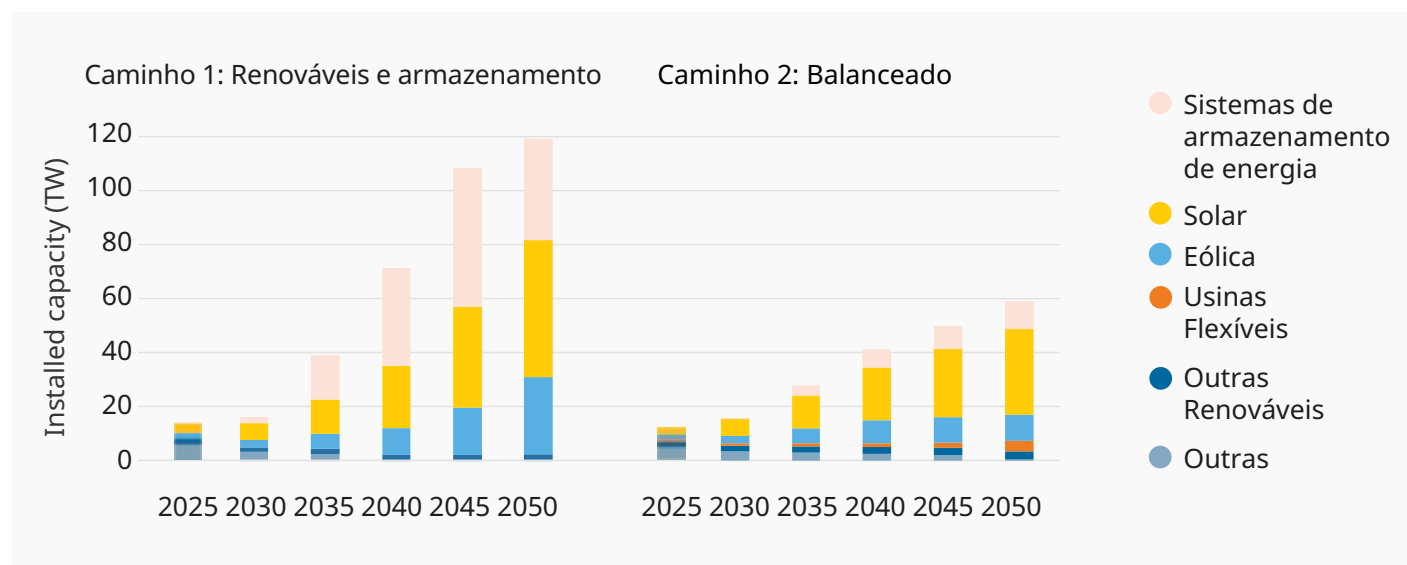
Para reduzir as demandas computacionais, o sistema elétrico global é modelado como um único sistema agregado, utilizando dados de diversos provedores de pesquisa e dados independentes. Essa abordagem requer algumas simplificações para suavizar as diferenças regionais e produzir uma visão média do sistema elétrico global. Ambas as trajetórias aplicam suposições consistentes para variáveis-chave, incluindo custos tecnológicos, preços de combustíveis, perfis de energia renovável, limites anuais de emissões, demanda de hidrogênio fora do setor elétrico e perfis de carga (excluindo demanda de eletrolisadores). Os resultados do modelo estão amplamente alinhados com os de grandes instituições de energia, como Bloomberg New Energy Finance (BNEF), Agência Internacional de Energia (IEA) e Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), que empregam abordagens mais detalhadas, setoriais e específicas.

Expansão de capacidade

No caminho Renováveis e armazenamento, a capacidade instalada de energia renovável variável (solar e eólica) aumenta para mais de 79 TW até 2050, enquanto a capacidade de armazenamento de energia se expande para mais de 37 TW — aumentos de 31 vezes e 441 vezes, respectivamente, em comparação com as capacidades instaladas totais de 2023.

No caminho Balanceado, a capacidade de energia renovável variável atinge mais de 41 TW até 2050, com a capacidade de armazenamento de energia expandindo para mais de 10 TW — aumentos de 16 vezes e 123 vezes, respectivamente. Esse caminho também incorpora cerca de 4 TW de usinas de balanceamento de rede como parte da mistura de capacidade otimizada.

Mistura de Capacidade 2025-2050



Ao comparar esses resultados, observa-se uma expansão significativamente maior de renováveis e armazenamento no caminho Renováveis e armazenamento. Isso sugere que até mesmo uma quantidade relativamente pequena de usinas flexíveis adicionada no caminho Balanceado reduziu a necessidade de uma expansão extensiva de renováveis e sistemas de armazenamento para alcançar um sistema com custo otimizado.

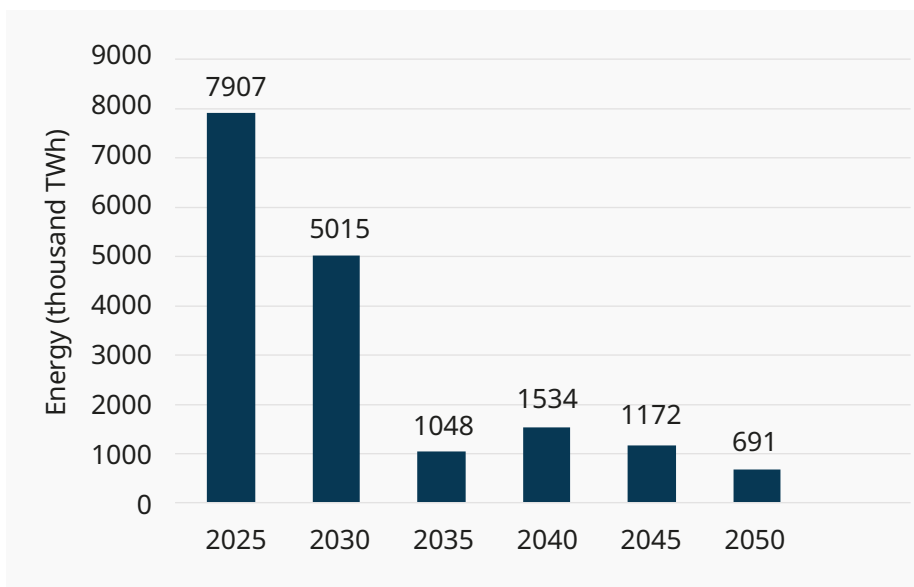
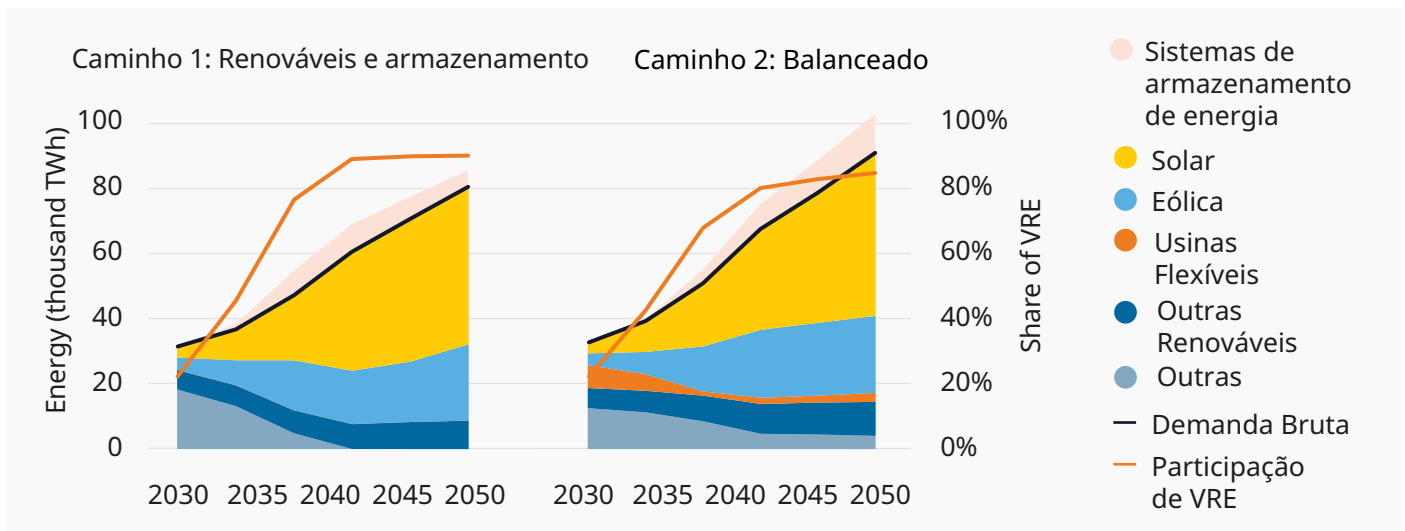
Um resultado notável no caminho Renováveis e armazenamento é a vasta escala de expansão renovável exigida. A área necessária apenas para a infraestrutura eólica e solar seria comparável ao tamanho da Europa continental, apresentando desafios significativos relacionados a direitos de terra, licenciamento e alcance geográfico dos sistemas de transmissão.

Participação na geração

Em ambos os cenários, as fontes renováveis variáveis atendem à maior parte da demanda total de eletricidade até 2035, alcançando 90% e 85% da geração líquida total de energia até 2050 nos cenários Renováveis e armazenamento e Balanceado, respectivamente. A participação da demanda atendida pelo armazenamento de energia em 2050 alcança 6,5% no cenário Renováveis e armazenamento, enquanto no cenário Balanceado atinge quase 13,5%. No cenário Balanceado, a participação da demanda suprida por usinas de energia de balanceamento diminui gradualmente de aproximadamente 23% em 2025 para 3% em 2050.

Embora as usinas flexíveis desempenhem um papel crucial na otimização do sistema, os resultados da modelagem mostram que elas serão operadas com relativamente poucas horas de funcionamento. No entanto, seus perfis operacionais são caracterizados por altas taxas de rampa e frequentes partidas e paradas. Isso indica que um alto grau de flexibilidade operacional é essencial para que esses ativos apoiem eficazmente o balanceamento das fontes renováveis, tornando ativos inflexíveis, como as tradicionais usinas de carga base, inadequados.

Cominação Energética 2025-2050

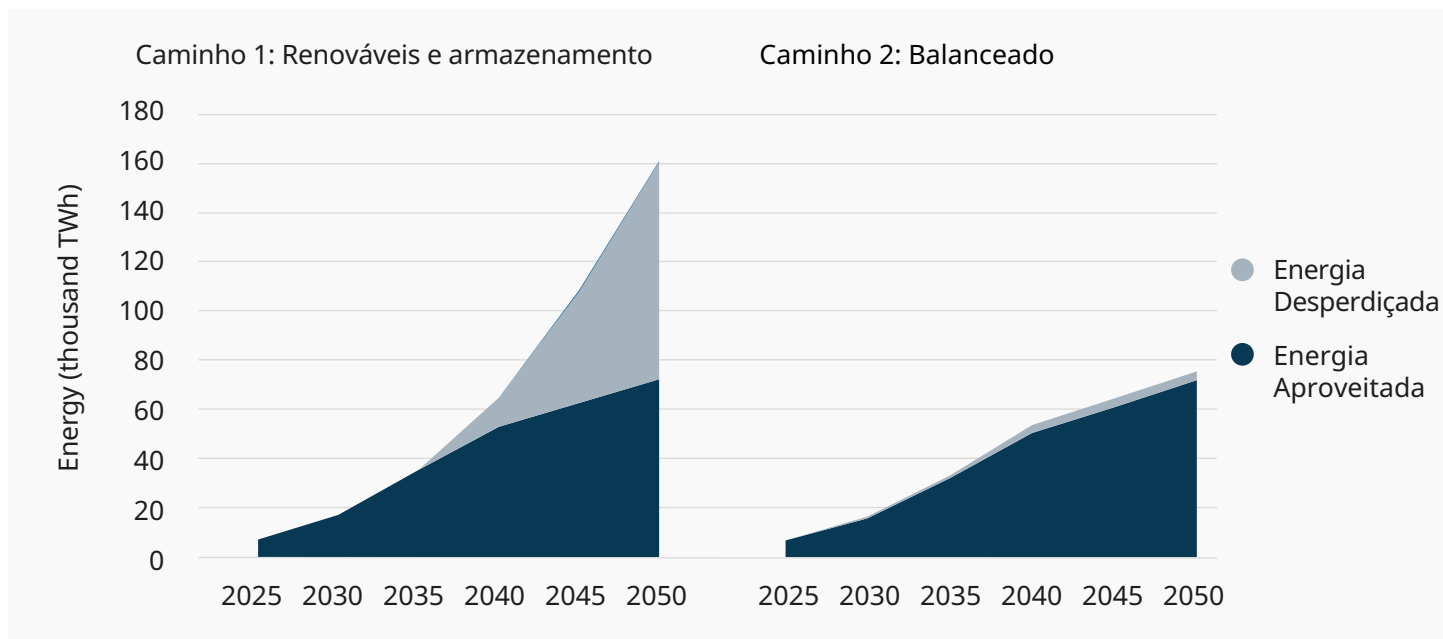


Horas de funcionamento equivalentes de usinas flexíveis

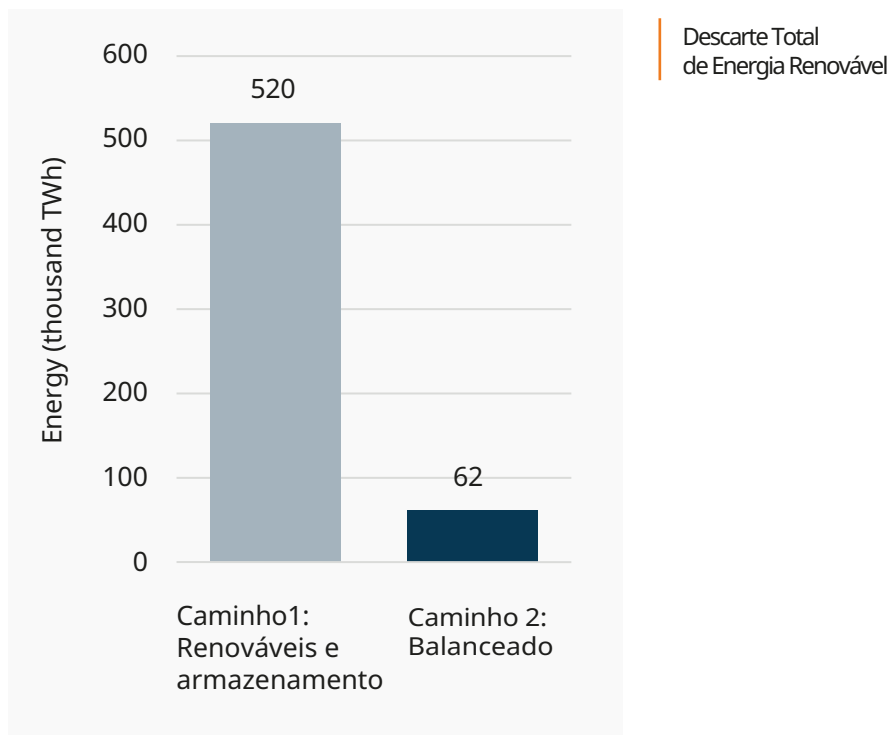
Descarte de energia (curtailment)

Embora ambos os cenários atendam a uma parcela substancial da demanda por energia elétrica por meio da geração renovável, os diferentes níveis de expansão de capacidade entre os cenários têm um impacto significativo em como a geração renovável é gerida pelo sistema. Embora o descarte de energia não indique necessariamente ineficiências no sistema e possa desempenhar um papel crucial na manutenção da estabilidade e na superação de restrições de transmissão, na prática, o descarte excessivo pode sinalizar sérias limitações do sistema, resultando em desperdício de energia.

Descarte de energia renovável



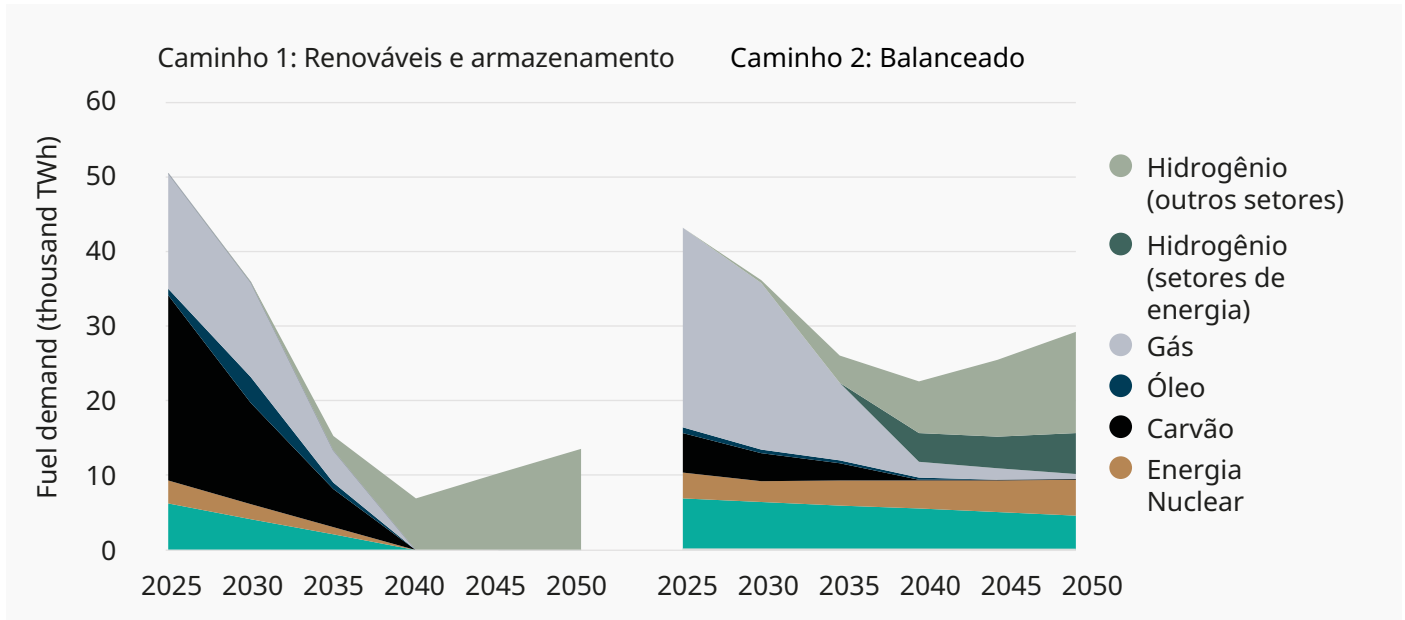
No cenário Renováveis e armazenamento, o descarte de energia renovável aumenta significativamente em 2035 e além, alcançando aproximadamente 55% da geração total de energia renovável até 2050, em comparação com apenas 5% no cenário Balanceado. Para contextualizar, a energia acumulada descartada no cenário Renováveis e armazenamento entre 2025 e 2050 seria suficiente para atender a toda a demanda energética global de 2023 (com base no consumo atual de eletricidade) por mais de 15 anos.



Demanda por combustíveis e combustíveis sustentáveis

Em ambos os cenários, o setor de energia desempenha um papel crucial na produção de combustíveis sustentáveis, essenciais para a descarbonização da economia como um todo, especialmente em setores de difícil eletrificação, como indústria, transporte marítimo e aviação.

Demanda por Combustível



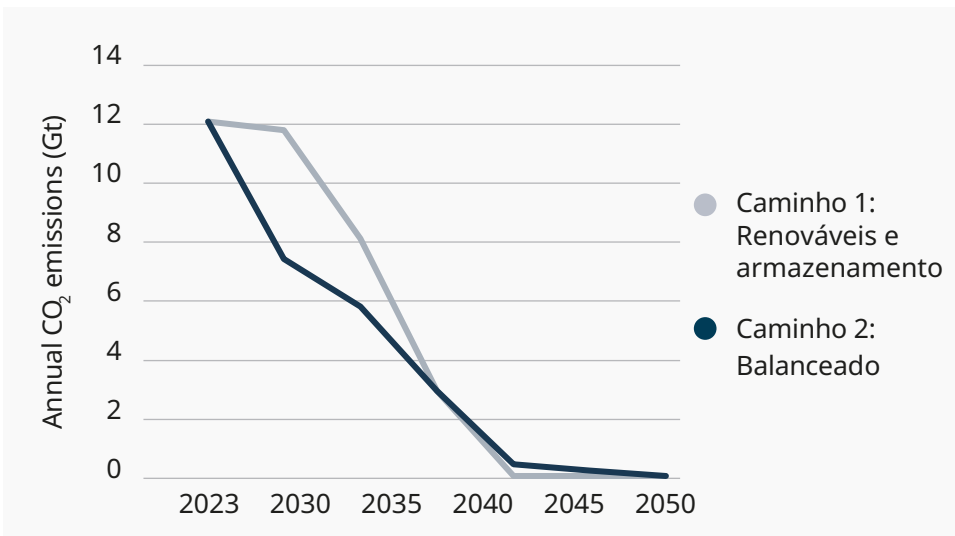
No caminho Balanceado, hidrogênio adicional é gerado para o setor de energia a partir de meados da década de 2030. Dado o custo relativamente alto dos combustíveis sustentáveis derivados de hidrogênio, esses combustíveis são usados exclusivamente para o balanceamento de energia em períodos de baixa operação, proporcionando flexibilidade adicional ao sistema quando o armazenamento de energia instalado atinge seus limites de potência ou capacidade de armazenamento.

Emissões

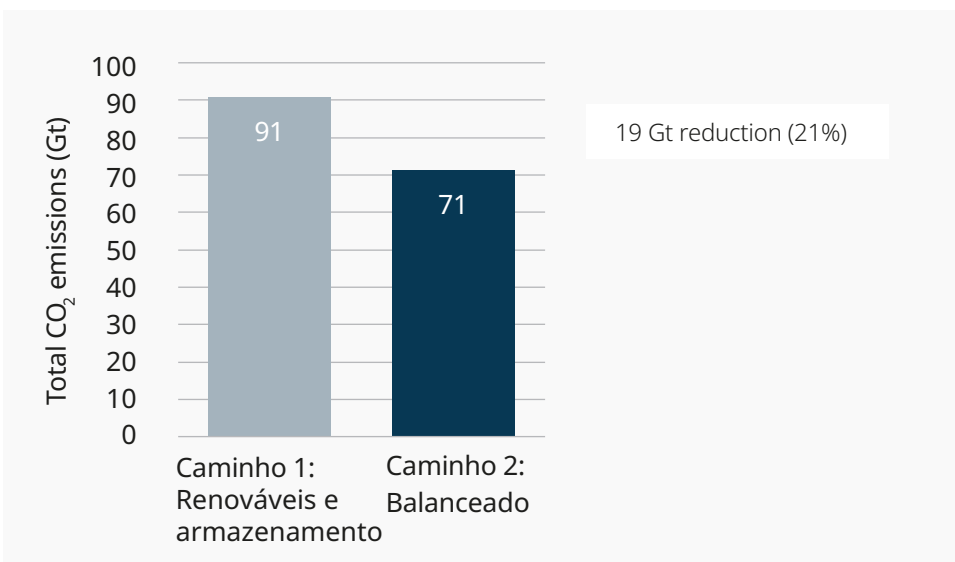
Em ambos os cenários, limites de emissão de carbono são impostos para garantir o cumprimento das metas do Acordo de Paris, com ambos os cenários alcançando Net Zero até, no máximo, 2050. No entanto, a taxa de redução de emissões varia significativamente entre os dois cenários.

No cenário Renováveis e armazenamento, a taxa de declínio é mais gradual, devido à falta de capacidade flexível de longa duração necessária para eliminar completamente a necessidade de usinas inflexíveis. Em contraste, o cenário Balanceado apresenta uma redução mais rápida das emissões, à medida que os ativos inflexíveis são eliminados e substituídos por renováveis apoiados por armazenamento de energia e usinas flexíveis preparadas para combustíveis sustentáveis, fornecendo energia firme e confiável por longos períodos.

Consequentemente, o cenário Balanceado alcança uma redução de emissões acumulada de quase 21% (19 Gt) até 2050 em comparação com o cenário Renováveis e armazenamento, equivalente a mais de 1,5 anos das emissões atuais do setor de energia global.



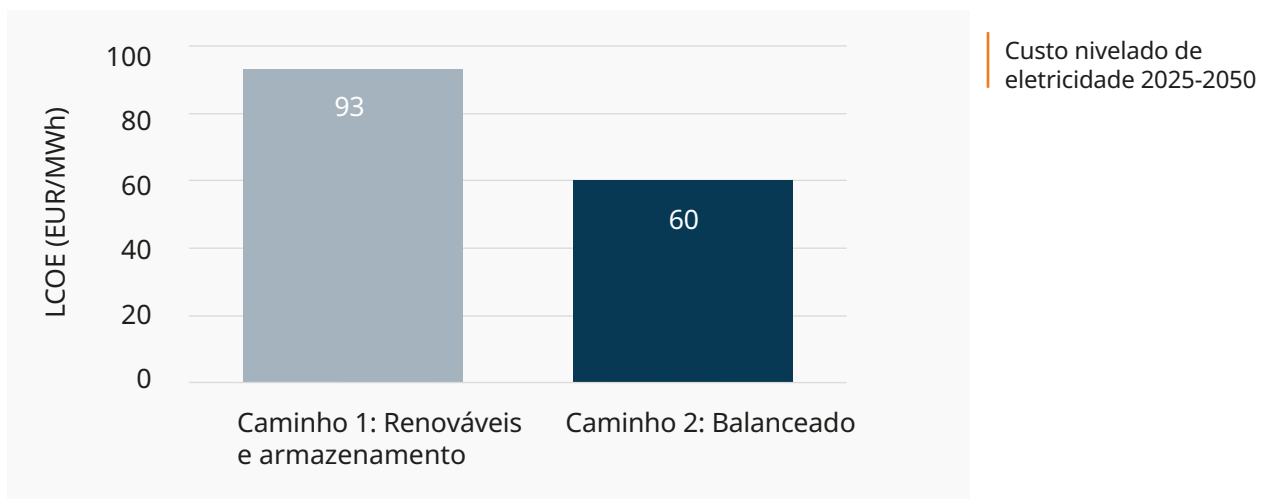
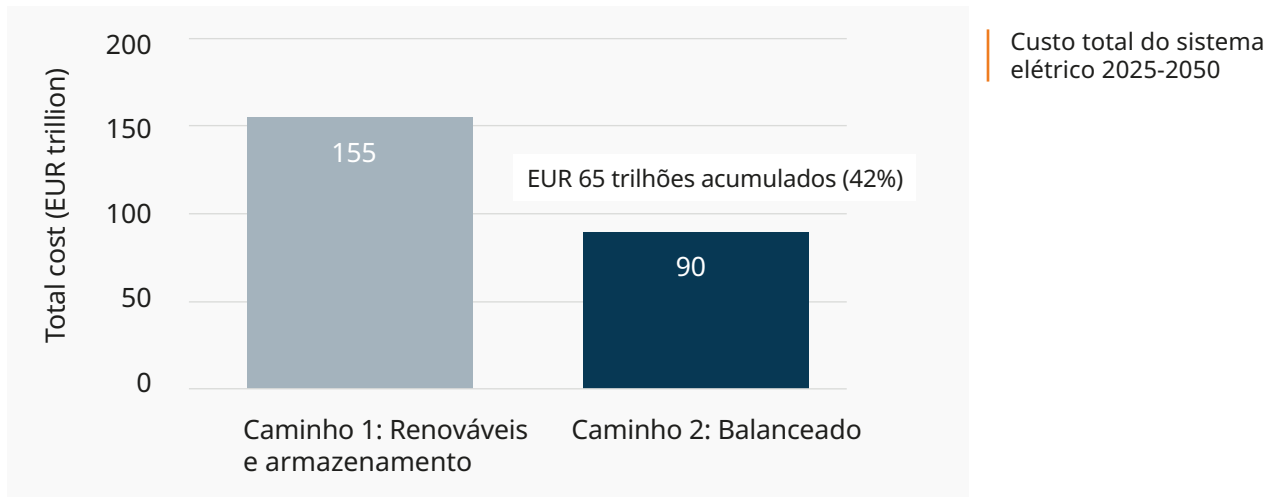
Comparação Anual de Emissões de CO₂ (setor de energia)



Total de Emissões de CO₂ 2025-2050 (setor de energia)

Custo total do sistema elétrico

No geral, o custo total do sistema entre 2025 e 2050 é estimado em aproximadamente 155 trilhões de euros para o caminho de Renováveis e Armazenamento, e 90 trilhões de euros para o caminho Balanceado. Isso resulta em uma economia acumulada de mais de 65 trilhões de euros para o caminho Balanceado em comparação com o caminho de Renováveis e Armazenamento — equivalente a mais de 60% do GDP global atual.



Esses custos acumulados se traduzem em um custo nivelado de eletricidade (LCOE) de 93 EUR/MWh para o caminho de Renováveis e Armazenamento e 60 EUR/MWh para o caminho Balanceado. A disparidade significativa de custos entre os caminhos se deve, em grande parte, à substancial sobrecapacidade de renováveis no caminho de Renováveis e Armazenamento e ao alto volume de energia desperdiçada.

Caminho claro a seguir

Ao avaliar os diferentes caminhos para alcançar o net zero, os resultados da modelagem são convincentes: a inclusão de usinas flexíveis é crucial para a otimização do sistema de forma custo-efetiva. A energia renovável está no centro da descarbonização, mas a confiabilidade do sistema depende da flexibilidade.

A flexibilidade se apresenta de diversas formas, cada uma desempenhando um papel vital. O armazenamento de energia é essencial para flexibilidade quase instantânea e para o deslocamento de energia de curta duração, enquanto a energia de balanceamento, disponível durante períodos prolongados de interrupção na geração renovável, proporciona flexibilidade por períodos mais longos. Em última análise, implantar a geração flexível juntamente com o armazenamento de energia é a combinação tecnológica ideal para apoiar as renováveis.

Chamado à Ação para o Setor de Energia

Como o caminho ideal está claro, ações decisivas de todo o setor de energia são agora cruciais para alcançar uma transição energética de baixo custo e baixa emissão, alinhada ao Acordo de Paris de 2050. Em vez de focar apenas na aceleração da expansão de fontes renováveis, é necessário adotar uma abordagem holística de planejamento em nível de sistema ao investir e planejar sistemas de energia. O planejamento estratégico de futuros sistemas e adições de capacidade deve ser orientado por dados para garantir uma transição rápida e uma combinação tecnológica ideal a custos acessíveis.

1. Viabilizar uma expansão acelerada de renováveis e tecnologias de balanceamento

- Expandir rapidamente as renováveis: modernizando sistemas de transmissão, simplificando processos de licenciamento e investindo em interconexões regionais.
- Ampliar tecnologias de balanceamento de curta e longa duração: para garantir confiabilidade e resiliência da rede. Essas tecnologias, combinadas, apoiam o crescimento rápido das renováveis, reduzem a dependência de ativos inflexíveis, como usinas a carvão, e aceleram a redução de emissões.
- Mobilizar financiamento: para assegurar o desenvolvimento de projetos de energia renovável e de balanceamento de rede na escala e velocidade necessárias.

2. Redesenhar mercados de eletricidade para incentivar flexibilidade

Reformar as estruturas de mercado: para permitir maior integração de fontes renováveis variáveis. Deve-se incentivar o balanceamento de rede para fornecer flexibilidade essencial e otimizar os sistemas de energia renovável.

- Aumentar a granularidade de despacho: para uma resolução de 5 minutos nos mercados de atacado de energia. Prazos mais curtos e precisos para ajustes de preços e oferta apoiarão a integração de fontes renováveis variáveis e incentivarão usinas de energia de balanceamento flexíveis, capazes de responder rapidamente às mudanças na demanda por eletricidade.
- Introduzir novos serviços auxiliares: como reserva, rampagem, controle de tensão e inércia, para garantir a estabilidade da rede. A demanda por esses serviços cresce com o aumento da inserção de renováveis, e sua oferta pode ser co-otimizada com os requisitos de energia e balanceamento.
- Estabelecer modelos de receita viáveis: para plantas flexíveis com baixa utilização, incluindo mecanismos como pagamentos de capacidade vinculados à flexibilidade e preços baseados na escassez. Esses mecanismos são essenciais para atrair investimentos suficientes.

3. Escolher tecnologias à prova de futuro e se preparar para combustíveis sustentáveis

- Selecionar tecnologias de balanceamento de energia preparadas para o futuro: que estejam prontas para a introdução de combustíveis sustentáveis e capazes de descarbonizar totalmente o setor de energia a partir de meados da década de 2030.
- Usar gás natural como combustível de transição: para plantas de geração flexíveis, apoiando a rápida expansão de renováveis e a substituição de tecnologias antigas. Isso não deve ser confundido com uma abordagem de "status quo", pois o gás será usado de forma muito diferente e em quantidades muito menores. Essa transição pode reduzir mais de 75% das emissões anuais de CO₂ do setor elétrico até 2035 (comparado aos níveis de 2023).
- Preparar-se para combustíveis sustentáveis: construindo a expertise e infraestrutura necessárias para uma transição suave para um setor de energia totalmente descarbonizado no futuro. Assim que esses combustíveis se tornarem viáveis em larga escala (comercialmente disponíveis e competitivos), as reduções de emissões podem alcançar 100%. A competitividade dos combustíveis sustentáveis dependerá de ações políticas, como subsídios, regulamentações ou impostos sobre carbono (ou uma combinação).

Visões de mercado

Américas

Estados Unidos: A composição da geração de energia nos EUA foi transformada na última década. A geração de carvão caiu drasticamente e está sendo rapidamente substituída por renováveis e gás natural, resultando em uma redução das emissões de gases de efeito estufa de mais de 5% desde 2015. Incentivos governamentais, como a Lei de Redução da Inflação (IRA), mandatos estaduais de zero emissões e a queda nos custos das tecnologias, continuarão a impulsionar o rápido crescimento da geração renovável. Esse crescimento traz maior variabilidade na produção de energia e requer geração flexível e despachável para gerenciar essa produção. Por exemplo, embora o Texas tenha se tornado líder em geração eólica e solar, o estado também introduziu um fundo para apoiar novos investimentos em energia de balanceamento despachável e flexível. O fundo visa apoiar sua economia em rápido crescimento e garantir eletricidade confiável e acessível. Em 2023, a Califórnia, por muito tempo considerada a líder em ambições de energia renovável, precisou reduzir mais de 2,6 milhões de MWh de energia renovável devido à inflexibilidade da rede. Isso é energia suficiente para abastecer 250.000 casas. As usinas de balanceamento são cruciais para apoiar as renováveis intermitentes e evitar grandes reduções que, caso contrário, resultariam em custos para o consumidor. Mais incentivos são necessários para garantir que as tecnologias de balanceamento estejam embutidas nos sistemas de energia dos EUA.



Risto Paldanius
Vice Presidente,
Américas

Brasil: Condições climáticas extremas, como a histórica seca no Brasil neste ano (2024), destacaram a necessidade urgente de diversificação da energia para garantir a confiabilidade do sistema. Com os níveis dos reservatórios em queda acentuada, soluções flexíveis são urgentemente necessárias para evitar apagões e manter a estabilidade do sistema de energia. A incorporação de usinas de balanceamento será fundamental para melhorar a confiabilidade e flexibilidade do sistema. A energia de balanceamento, como motores flexíveis, pode apoiar as renováveis, especialmente durante períodos críticos de seca, e são tecnologicamente avançados e acessíveis economicamente. À medida que o Brasil se prepara para sediar a COP30 em 2025, o foco em soluções de energia sustentável se torna ainda mais crítico. O país tem uma oportunidade única de mostrar seu compromisso com um futuro energético resiliente e acessível, integrando renováveis, armazenamento de energia e usinas flexíveis, para oferecer uma abordagem balanceada para atingir o Net Zero. Essa abordagem não só garante a estabilidade do sistema, mas também acelera a descarbonização e reduz as emissões gerais.

O **Chile** tem uma grande ambição de alcançar uma matriz energética 100% renovável até 2050. O país já fez progressos significativos na adição de geração renovável, mas é necessário maior flexibilidade no sistema para lidar com a intermitência da energia solar e eólica. Isso está alinhado com os achados do nosso relatório, que enfatiza o papel crítico das usinas de balanceamento de energia para melhorar a confiabilidade e flexibilidade do sistema durante interrupções prolongadas na geração de energia renovável variável. Incorporar a geração flexível, como motores de balanceamento de rede que podem ser rapidamente ligados e desligados, pode fornecer o balanceamento necessário quando os recursos renováveis não estiverem disponíveis, complementando as metas de neutralidade de carbono do país. Nossa pesquisa no Chile estima que combinar renováveis, armazenamento de energia e energia de balanceamento poderia economizar US\$ 17 bilhões até 2045. No entanto, como os desafios globais, a infraestrutura de transmissão limitada e a necessidade de um quadro regulatório de apoio continuam sendo desafios críticos para integrar de forma eficiente a energia renovável e garantir uma transição sustentável. Isso destaca a necessidade de ação coordenada na expansão das renováveis, reforma do mercado e aproveitamento das tecnologias existentes para possibilitar uma transição eficiente e de baixo custo para o Net Zero.

África e Europa

A **Finlândia** tem como objetivo alcançar a neutralidade de carbono até 2035, com um aumento significativo na capacidade de energias renováveis dependentes do clima, particularmente a energia eólica. Paralelamente, o sistema de energia verá uma redução gradual na capacidade de base à medida que unidades mais antigas e inflexíveis de combustíveis fósseis se aposentam. Apesar disso, a capacidade firme e flexível continua sendo essencial para compensar a energia eólica durante condições climáticas desfavoráveis, especialmente durante períodos prolongados de frio e baixa intensidade de vento. Nossa recente modelagem para a Finlândia indica que, com o sistema de energia atual no país, os preços da eletricidade serão 30% mais altos até 2027, em comparação com 2023. Para enfrentar isso, calculamos que integrar 2 GW de potência firme e o balanceamento de energia pode reduzir os custos de eletricidade em 10%, equivalente a 1,3 bilhões de euros, e melhorar a estabilidade do sistema. Portanto, é crucial adotar um mecanismo de capacidade cuidadosamente projetado e à prova de futuro. Novas capacidades firmes e flexíveis, juntamente com armazenamento de energia e resposta da demanda, também serão fundamentais para garantir a futura segurança do abastecimento e alcançar as metas climáticas.



Kenneth Engblom
Vice Presidente,
África e Europa

A **Polônia** visa acelerar sua transição do carvão, atualmente sua principal fonte de geração de energia e calor. O país antecipou sua meta de eliminação do carvão de 2049 para 2035, com o objetivo de alcançar a neutralidade de carbono até 2050. A participação das energias renováveis na Polônia está crescendo de forma constante, representando 27% da produção de energia hoje (um aumento de 3% em relação ao ano passado), com planos para aumentar a capacidade de energia eólica onshore e offshore de 10 para 25 GW até 2030. O grande desafio é a falta de capacidade de balançamento de rede, o que representa um risco para a estabilidade.

A Polônia também possui a maior rede de aquecimento distrital da Europa, com uma capacidade total de 54 GW composta principalmente por caldeiras a carvão. A descarbonização e modernização desse setor representam tanto um desafio quanto uma oportunidade, já que as redes de aquecimento distrital também são a maior fonte de flexibilidade para a rede. Nossa recente modelagem na Polônia mostra que a descarbonização econômica de ambos os setores é possível por meio da cootimização de calor e eletricidade. Isso permitirá à Polônia aumentar a participação das energias renováveis para 68% em 2032, reduzir a participação do carvão para 26% na eletricidade e 8% no aquecimento, e gerar uma economia acumulada de 3,8 bilhões de euros. Para isso, é fundamental que a Polônia introduza uma gama diversificada de tecnologias flexíveis, com motores de cogeração, bombas de calor e armazenamento térmico como facilitadores-chave, complementados por caldeiras elétricas e armazenamento de energia em baterias.

A **África do Sul** planeja aumentar sua capacidade de energia renovável para 17,7 GW até 2030. Nossa análise no país mostra que um sistema de energia flexível, utilizando gás e armazenamento de energia, é crucial para integrar essa capacidade renovável variável, garantindo estabilidade e confiabilidade da rede. O recente edital Eskom's GW GASIPPPP para gás ultraflexível, valida a necessidade dessa geração flexível identificada em nosso modelo.

A contribuição nacionalmente determinada atualizada (NDC) de Marrocos compromete o país a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 18,3% até 2030. Para alcançar essa meta, Marrocos tem a ambição de atingir 52% de eletricidade renovável até 2030; no entanto, integrar as renováveis nessa escala representa desafios. Nossa modelagem em Marrocos recomenda um sistema de energia renovável com balanceamento de rede, armazenamento de energia em baterias e usinas flexíveis, incluindo 60% de motores flexíveis. Esta combinação pode otimizar a integração das renováveis, reduzir os custos com combustíveis e garantir confiabilidade para alcançar essa meta por meio de um caminho de baixo custo e baixa emissão.

Oriente Médio e Ásia

Índia: Imagine um futuro onde a rede elétrica da Índia integra de forma eficiente 500 GW de fontes não fósseis até 2030. Para alcançar essa visão, é vital investir em recursos como usinas de balanceamento de rede. Estudos indicam que até 2030, a Índia precisará de 9 GW de motores flexíveis de rede, utilizando gás, para integrar as energias renováveis de maneira eficiente e confiável. Ao reestruturar o mercado de energia para fornecer um modelo de receita viável, podemos atrair investimentos em tecnologias flexíveis e usinas de balanceamento com baixo número de horas de operação. Essa mudança estratégica garantirá um futuro energético estável e sustentável para a Índia.

Indonésia: Alcançar a meta de net zero da Indonésia até 2060 ou antes é possível, mas exige esforços significativos para adicionar renováveis e soluções flexíveis em larga escala, ao mesmo tempo em que se elimina usinas de energia inflexíveis. A expansão da geração de energia renovável de forma rápida no curto prazo é crucial para atingir as metas climáticas. Nossa recente modelagem da Indonésia mostra que a geração de energia renovável no país pode ser de 3 a 4 vezes maior do que as metas atuais, mas é vital combinar o aumento da geração renovável com a adição de tecnologias de balanceamento para otimizar os custos gerais de produção de energia.

Arábia Saudita iniciou sua jornada de transição energética, e seus primeiros projetos de energia renovável em grande escala estão agora em construção. Atualmente, estão sendo licitados 8 GWh de capacidade de armazenamento de energia e uma nova geração de sauditas jovens e ambientalmente conscientes desempenha um papel fundamental no planejamento energético futuro do país. A visão saudita está focada em alcançar 50% de renováveis e 50% de eletricidade com base em gás natural até 2030. A necessidade de flexibilidade está sendo reconhecida como o facilitador crucial para a confiabilidade do sistema e a integração das renováveis.

Emirados Árabes Unidos são líderes em energia verde no Oriente Médio. No entanto, com as mudanças tecnológicas na dessalinização da água e a adição de energia nuclear e usinas solares robustas, os EAU estão enfrentando novos desafios com seu sistema de energia. A temporada de inverno exigirá um balanceamento eficiente, enquanto a temporada de calor necessita de energia firme e eficiente. As utilidades nacionais identificaram a necessidade de capacidade adicional despachável e flexível e irão instalar mais de 2,5 GW de usinas a gás para atender à demanda de pico e demanda intermediária do sistema. Isso permitirá uma aceleração ainda maior da transição para energia limpa nos EAU.



Frederic Carron
Vice Presidente,
Oriente Médio e Ásia

Metodologia

As análises deste relatório são baseadas em otimização técnico-econômica para determinar a mistura de capacidade de menor custo necessária para atender à demanda futura de eletricidade, respeitando os limites de emissões e outras restrições políticas. Usinas de energia convencionais estão incluídas com suas especificações técnicas e fontes de combustível para modelar com precisão suas emissões e seu papel no balanceamento da geração renovável variável. A geração eólica e solar são modeladas usando perfis horários com base em dados climáticos.

Essa otimização detalhada usa uma abordagem cronológica, equilibrando a variabilidade da geração renovável e a carga hora a hora, de 2023 a 2050. O modelo otimiza a expansão do sistema com despacho, usando uma resolução de uma hora para capturar os padrões de carga e geração renovável em detalhes elevados.

O sistema global de energia é agregado em um único modelo, alinhando os diversos perfis regionais de energia para preservar padrões diários, como picos de demanda e regularidade da produção solar. Essa abordagem agregada evita discrepâncias de fusos horários que poderiam distorcer os perfis de demanda e geração.

Pressupostos comuns

Ambos os caminhos compartilham pressupostos de linha de base para fatores chave:

- Mistura inicial de capacidade em 2023 (fontes: Platts, IEA WEO 2023).
- Limites anuais de CO₂ até 2050 (IEA WEO 2023).
- Meta renovável de 11 TW até 2030 (IEA, IRENA, COP28).
- Preços de combustível e carbono (IEA WEO 2023), conteúdo de CO₂ por tipo de combustível (Estatísticas da Finlândia, alinhado com o EU ETS), crescimento da carga (BNEF NEO2024) e perfis de renováveis/carga.
- Sem restrições de uso da terra; requisitos de terra calculados pós-simulação.
- O combustível sustentável é considerado hidrogênio, mas outros combustíveis neutros em carbono também poderiam ser modelados.

Limitações

O modelo é baseado em um único ano climático, uma abordagem comum para planejamento de longo prazo, mas limitada para capturar a variabilidade multianual. Conseqüentemente, os resultados não incluem uma margem de confiabilidade, e as necessidades de capacidade podem ser ligeiramente maiores em cenários com anos climáticos adversos. Essa limitação afeta particularmente o caminho de Somente Energia Renovável, tornando as estimativas de custo e redução mais conservadoras.



Fontes

¹ Renewables 2024: Análise e Previsões até 2030, Agência Internacional de Energia, 2023

² Emissões de CO2 em 2022, Agência Internacional de Energia, 2023

³ Novo Horizonte Energético, Bloomberg New Energy Finance, 2024

⁴ S&P Global, 2024



A Wärtsilä Energy está na vanguarda da transição para um futuro energético 100% renovável. Ajudamos nossos clientes e o setor de energia a acelerar suas jornadas de descarbonização por meio de nossas tecnologias líderes de mercado e expertise em sistemas de energia. Nossas soluções incluem usinas de energia com motores flexíveis, armazenamento de energia e tecnologias de otimização, além de serviços para todo o ciclo de vida de nossas instalações. Nossos motores são à prova de futuro e podem operar com combustíveis sustentáveis. Nosso histórico inclui 79 GW de capacidade de usinas de energia, dos quais 18 GW estão sob contratos de serviço, e mais de 125 sistemas de armazenamento de energia, em 180 países ao redor do mundo.



www.wartsila.com/energy

© 2024 Wärtsilä Corporation – Todos os direitos reservados.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou copiada em qualquer forma ou por qualquer meio (eletrônico, mecânico, gráfico, fotocópia, gravação, fita ou outros sistemas de recuperação de informações) sem a permissão por escrito do detentor dos direitos autorais. Nem a Wärtsilä Finland Oy, nem qualquer outra empresa do Grupo Wärtsilä, faz qualquer representação ou garantia (expressa ou implícita) nesta publicação e nem a Wärtsilä Finland Oy, nem qualquer outra empresa do Grupo Wärtsilä assume qualquer responsabilidade pela correção, erros ou omissões das informações