



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO



# PNE 2050

PLANO NACIONAL DE ENERGIA



VERSÃO PARA  
CONSULTA PÚBLICA



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



# Recursos Energéticos Distribuídos

Recursos Energéticos Distribuídos (RED) são definidos como tecnologias de geração, armazenamento de energia elétrica e redução do consumo localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor. De acordo com a Figura 57, podem ser incluídos nesse conceito:

- Geração distribuída (GD);
- Veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga;
- Armazenamento de energia;
- Resposta da demanda (RD);
- Eficiência energética.



FONTE: Adaptado de IRENA (2019)

Figura 57 - Recursos Energéticos Distribuídos

Nos últimos anos, tem-se observado uma aceleração da inserção dos RED, justificada principalmente pela redução nos custos de investimentos e transação, pela maior disseminação das tecnologias de telecomunicação e controle, bem como pelo papel mais ativo dos consumidores. A difusão dessas tecnologias apresenta um elevado potencial disruptivo, capaz de transformar profundamente os sistemas elétricos que hoje são predominantemente operados com recursos de maior porte e gerenciados centralizadamente.

Essas transformações demandarão novas práticas de planejamento da expansão e operação das redes elétricas e da geração de energia. Nesse sentido, a construção de um modelo de mercado inclusivo e inovador, além da implementação do conceito de redes elétricas inteligentes, passa pela modernização dos aparelhos de medição do setor elétrico. A substituição de todo o parque irá requerer grande volume de investimentos e anos para sua conclusão. No entanto, ao mesmo tempo que os RED impõem desafios, podem haver diversos benefícios associados à sua integração ao sistema.

A contribuição mais evidente dos RED, além da energética, refere-se à redução de perdas elétricas, decorrente da proximidade entre geração e consumo. As demais contribuições exigem condições específicas, como as localizações ideais

e operações nas horas certas para oferecer confiabilidade aos operadores do sistema em situações extremas. Tal fato pode reduzir o custo sistêmico de atendimento à demanda, caso usinas mais caras não precisem ser acionadas, e substituir ou postergar investimentos convencionais em infraestrutura. Além disso, mecanismos “inteligentes” de integração e gerenciamento desses recursos estão em intenso desenvolvimento e isso deve contribuir para ampliar os potenciais ganhos de eficiência obtidos a partir da inserção de mais RED. Como exemplo, pode-se citar a figura dos “agregadores” de recursos energéticos distribuídos, que formam plantas virtuais e as despacham no mercado de eletricidade. Há, inclusive, a possibilidade de que estes agregadores utilizem a tecnologia *blockchain* para integrar informações locais, otimizar redes locais, oferecendo serviços energéticos a baixo custo com a utilização de *smart contracts*.

### Desafios Principais

#### 1. *Dilema entre maior desagregação versus custos de transação:*

Por um lado, há um interesse em desagregar cada vez mais as tarifas e preços, de modo a refletir os custos reais do sistema em cada instante e local. Por outro lado, devem ser levados em conta os custos computacionais, administrativos e a resposta comportamental dos consumidores aos incentivos, para avaliar em que casos os benefícios de desagregação superam os custos. Serão necessários avanços nas tecnologias de controle, comunicação e medição para permitir uma precificação que reflita melhor os custos.

#### 2. *Garantir a qualidade das instalações:*

Instalações de geração distribuída estão se tornando cada vez mais populares. O número de empresas e profissionais liberais que fornecem tais serviços tem crescido rapidamente. A maior competição traz o benefício de redução dos preços, mas em alguns casos também leva a uma piora na qualidade das instalações. Casos de incêndios, destelhamentos e desabamentos já foram relatados com sistemas fotovoltaicos no Brasil. São acidentes que colocam vidas em risco, trazem danos patrimoniais e à imagem do segmento, podendo impactar sua aceitação futura perante a sociedade. O exemplo dado foi de geração distribuída, mas o desafio é válido para todos os RED ao se conectarem à rede elétrica.

#### 3. *Maior incerteza no planejamento:*

A inserção dos RED adiciona uma fonte adicional de incerteza para o planejamento. Essas incertezas são explicadas pelo dinamismo na evolução dos preços de equipamentos de GD e armazenamento, mas também por se tratar de uma expansão com base em decisões individuais, nem sempre associadas apenas a questões financeiras. Ou seja, fatores socioculturais e comportamentais fazem parte do processo decisório e, por isso mesmo, tornam mais complexas as ferramentas de planejamento para lidar com as incertezas nas projeções de avanço dos RED.

#### 4. *Disponibilidade de dados com segurança:*

Os RED e unidades consumidoras do futuro vão gerar milhões de dados que podem ser utilizados em estudos, operação do sistema, modelos de negócios, aplicativos, etc. Há um desafio de disponibilizar esses dados com alta granularidade de modo a possibilitar inovações no setor sem afetar a privacidade e a segurança dos indivíduos.

**Recomendações:**

- 1. Desenho de mercado com alocação de custos e riscos mais apropriada para expansão sustentável dos RED**  
O desenho de mercado com alocação de custos e riscos mais apropriada para inserção e expansão sustentável dos RED envolve uma série de avaliações que vão desde o modelo de *net metering* e os subsídios cruzados associados, diferenciação tributária e de encargos, além da estrutura tarifária mais apropriada (tarifa multipartes, cobrança de tarifa de demanda, tarifa com diferenciação horária para BT, sinais locais entre outros).
- 2. Definição de transição para modelo mais descentralizado**  
O caminho de abertura ao mercado livre pode evoluir, com opções ligadas à digitalização do setor, para a possibilidade dos consumidores, independentemente do seu porte, poderem escolher seu fornecedor de eletricidade, inclusive seu vizinho que possui geração própria. A definição de transição para modelo mais descentralizado pode auxiliar o sistema a reduzir possíveis custos enclavados.
- 3. Estabelecer padrões mínimos de qualidade das instalações**  
Para mitigar possíveis riscos associados à baixa qualidade das instalações, será necessário o estabelecimento de padrões mínimos de qualidade das instalações.
- 4. Definição de metodologia para levantamento e tratamento de dados**  
Deve ser buscado o acesso a dados granulares de geração, operação e consumo dos RED de forma a facilitar estudos e a dinamizar o mercado. Como ação, é recomendado o convênio entre instituições (distribuidoras, fabricantes de inversores, empresas de monitoramento de sistemas de geração e consumo) para o compartilhamento de dados.
- 5. Definição de protocolos de segurança**  
O maior acesso aos dados dos consumidores e geradores faz parte das condições para o aprimoramento do planejamento e operação do sistema. Nesse contexto, crescem as preocupações acerca de temas como invasão de privacidade e segurança da informação.

Mapa do Caminho - Recursos Energéticos Distribuídos

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Dilema entre maior desagregação vs. custos de transação</i>	<i>Desenho de mercado com alocação de custos e riscos mais apropriada para expansão sustentável dos RED</i>		
<i>Garantir a qualidade das instalações</i>	<i>Definição de transição para modelo mais descentralizado</i>		
<i>Maior incerteza no planejamento</i>	<i>Estabelecer padrões mínimos de qualidade das instalações</i>		
<i>Disponibilidade de dados com segurança</i>	<i>Definição de metodologia para levantamento e tratamento de dados</i>		
	<i>Definição de protocolos de segurança</i>		

# Eficiência Energética

Ao lado de alternativas tradicionais pelo lado da oferta, a eficiência energética é um recurso efetivo para o atendimento à demanda de energia, tanto pelos seus já tradicionais predicados positivos (ganhos de competitividade, redução do uso de recursos naturais), quanto pelo o que sua maior penetração pode representar para a transição do setor energético mundial, conjuntamente com as fontes renováveis de energia, mudança de padrões de consumo e tecnologias de captura de CO<sub>2</sub>.

A inserção da eficiência energética de forma mais acelerada, contudo, demanda atenção às características específicas desse recurso, que incluem, entre outras, o elevado grau de dispersão da potencial oferta, menor porte dos projetos (quando comparados àqueles ofertados por geração centralizada) com ritmo mais lento de entrada e cuja decisão de implementação é sensível, por vezes, a aspectos comportamentais.

Nesse ambiente, a promoção de iniciativas voltadas à eficiência energética exigirá o contínuo processo de melhoria dos mecanismos vigentes no país (além da introdução de práticas inovadoras), a atenção à governança do setor energético, a coordenação entre as várias políticas setoriais (econômicas, fiscais/tributárias, C&T&I, industrial, educação etc.) nas diversas esferas institucionais (e.g., federal, estadual e municipal), o engajamento dos consumidores finais e a existência de um ambiente regulatório e financeiro para seu efetivo funcionamento.

No Brasil, a introdução de voltadas à promoção da eficiência energética remonta ao início da década de 80, com a implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Além do PBE, o rol de programas oficiais na área de eficiência energética inclui diversas iniciativas, listadas mais à frente. Também progressos advindos de ações autônomas (ou seja, não diretamente relacionadas à existência de políticas públicas na área energética) dos consumidores finais têm contribuído para o aproveitamento dos ganhos de eficiência energética no Brasil ao longo dos anos, motivado por questões de competitividade (caso da indústria), economicidade das alternativas (exemplo da penetração da lâmpada LED) ou mesmo por questões comportamentais (o que se vincula mais aos consumidores residenciais).

Pode-se dizer que as oportunidades de aproveitamento dos potenciais de eficiência energética estão distribuídas por todos os setores da economia, e tal visão é corroborada nos estudos de longo prazo que indicam forte contribuição da indústria, transportes e edificações em termos de volume total de ganhos de eficiência energética. Esta contribuição pode chegar a 15-20% do total de redução do consumo total de energia em 2050, e requer não apenas a manutenção de mecanismos existentes, como também a incorporação de novos mecanismos de promoção à eficiência energética no Brasil. Nesse sentido, ações e medidas podem contribuir de forma diferenciada:

- (i) nas edificações, através de agenda de índices mínimos de eficiência energética, englobando equipamentos, envoltórias e índices de desempenho operacional;
- (ii) na indústria, através de penetração de equipamentos e processos mais eficientes e sistemas de gestão de energia, entre outros;
- (iii) em transportes de carga e passageiros, através de incentivo a sistemas de tração mais eficientes, redução de demanda por mobilidade e transformação da estrutura modal de transportes;
- (iv) na promoção de instrumentos transversais como leilões de eficiência energética e revisão de estrutura de remuneração de ativos de distribuição de eletricidade que incentivem a promoção de projetos de eficiência energética.

Cabe ressaltar ainda, o potencial que a digitalização do setor energético pode desempenhar para a promoção de ganhos de eficiência energética. Isso se concretiza, por exemplo, a partir de uso massivo de sensores em pontos específicos de instalações industriais, comerciais e residenciais, provendo grande quantidade de dados e informações relevantes sobre uso de energia nestes diversos pontos, o que, através do processamento destes grandes volumes de informação, permite extrair insumos para melhor gerenciamento do consumo, informando as possibilidades de melhoria neste perfil.

O fomento ao aproveitamento dessas oportunidades, contudo, traz desafios, correlato à confluência de ações relacionadas a identificar:

- (i) onde estão localizadas as oportunidades, em que setores da economia;
- (ii) quais os custos envolvidos para viabilizar o aproveitamento dessas oportunidades;
- (iii) como essas oportunidades se tornam realidade (identificação das barreiras existentes, uso de instrumentos para superá-las e quais as etapas necessárias para sua implementação);
- (iv) quais os desenhos de governança e instrumentos de política podem potencializar os aproveitamentos dessas oportunidades.

É importante ressaltar que a complexa governança, o elevado número de partes envolvidas e a lenta inserção dos projetos de eficiência energética tornam necessária uma perspectiva de longo prazo. Dessa forma, o fomento ao aproveitamento do potencial de ganhos de eficiência energética torna necessária a implantação de uma agenda de longo prazo, já que há a necessidade de envolvimento de distintos elos desta cadeia de aproveitamento, desde a formulação e regulamentação de mecanismos no âmbito governamental em suas diversas esferas (federal, estadual e municipal) e políticas setoriais (industrial, transportes, saneamento etc.), até a efetiva implantação pelos consumidores finais, cuja adoção da alternativa deve fazer sentido dentro de uma racionalidade econômica ou comportamental, mas também tributária de condições de contorno adequadas para tal (disponibilidade de financiamento, por exemplo).

#### Principais Instrumentos de Promoção da Eficiência Energética em vigor

1. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*: instituído em 1984 e conduzido pelo INMETRO e PROCEL, estabelece a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) voluntária ou compulsória. Este instrumento tem como objetivo principal informar o consumidor final, buscando induzir escolhas por produtos mais eficientes;
2. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)*: instituído em 1985, executado pela Eletrobrás, no âmbito do Programa de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR/PROCEL), são direcionados recursos para aplicação em projetos que realizem investimentos em estudos, capacitação e programas de eficiência energética;
3. *Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)*: criado em 1991, seu principal objetivo é incentivar o uso racional de combustíveis em setores como residências, comércio, indústria, transportes e agropecuária;
4. *Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)*: indica ações e diretrizes específicas direcionadas à promoção da eficiência energética, orientando políticas públicas voltadas para essa finalidade nos setores finais de consumo (indústria, transportes, setor público, saneamento etc.) e programas de governo tais como o PROCEL e o CONPET;
5. *Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL)*: criado a partir da Lei 9.991/2.000 e conduzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o PEE estabelece destinação percentual da Receita Operacional Líquida (ROL) da atividade de distribuição de eletricidade no país, para investimentos em P&D e em eficiência energética. Entre esses investimentos, o PEE/ANEEL orienta a aplicação de recursos para as duas classes com maior consumo presentes em cada área de concessão;
6. *Lei da Eficiência Energética (10.295/2.001)*: estabelece índices mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no Brasil e em edificações, a ser realizada a partir de regulamentação específica. Estes níveis mínimos de eficiência energética são definidos pelo Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), coordenado pelo MME e composto por representantes de instituições governamentais e da sociedade civil;
7. *Instrução Normativa SLTI n.º 02/2014/MPOG*: torna a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de eficiência energética (nível A) obrigatório para edifícios públicos federais novos e reformados com recursos federais para exercício de atividade administrativa ou prestação de serviços públicos;
8. *Portaria Interministerial nº 1007/2010*: estabeleceu cronograma de implementação de índices de desempenho energético para lâmpadas incandescentes, visando bani-las do mercado brasileiro.

## Desafios Principais

### 1. *Baixa disponibilidade de informação sobre o potencial e custos das oportunidades de eficiência energética*

A disponibilidade de dados quanto ao perfil de consumo final, seus usos e potencial de eficiência energética e seus custos exige informações com grau de estratificação em nível setorial, para que possam prover insumos para a avaliação de políticas e mecanismos de promoção à eficiência energética e, portanto, de sua efetividade como instrumento de fomento à inserção desse recurso como alternativa de atendimento à demanda de energia. Isso é fundamental para orientar as áreas de esforço prioritárias bem como mapear as barreiras existentes, de modo a delimitar ações a serem empreendidas para destravar o aproveitamento dos potenciais de eficiência energéticas existentes no país.

### 2. *Coordenação institucional e integração das diferentes iniciativas relacionadas à eficiência energética*

A implementação de políticas e mecanismos de eficiência energética envolve uma cadeia complexa que demanda a coordenação entre diversas políticas setoriais, com objetivos distintos das políticas de eficiência energética, porém correlacionados, como, por exemplo, aquelas voltados para a atividade de transportes de cargas, com sinergia evidente entre os objetivos de eficiência logística e de eficiência energética. Adicionalmente, há situações onde se requer a coordenação de políticas e ações envolvendo as esferas federal, estadual e municipal ou a articulação entre agentes distintos, tais como o poder público, consumidores finais de energia e agentes de financiamento. Aspecto relevante na governança do setor de eficiência energética refere-se ao fato de que, com a crescente integração entre cadeias energéticas de combustíveis e eletricidade, é necessário que os programas relacionados a estas fontes também sejam integrados, de modo a garantir a adequada coordenação entre as ações e melhor aplicação dos recursos financeiros oriundos de percentuais sobre tarifas de energia.

### 3. *Criação de cultura de eficiência energética na sociedade*

Além do desenho de instrumentos setoriais específicos e transversais para promoção de eficiência energética, mecanismos que incentivem ações de gestão ativa da demanda por parte dos consumidores são parte importante da equação de redução de consumo de energia via uso eficiente da mesma. Nesse sentido, o componente de educação contribui para que a instalação de equipamentos eficientes, normas e regulações tenham perenidade através do comportamento de uso eficiente de energia por parte dos consumidores finais.

## Recomendações

### 1. *Garantir o levantamento necessário de dados e informações sobre o mercado de eficiência energética*

Além de reforçar e aperfeiçoar sistemas de coleta de dados e informações existentes, com atualização periódica de dados e informações, deve-se ampliar o alcance de levantamento dos mesmos, de forma a facilitar os estudos e avaliações sobre eficiência energética. Para isso, é fundamental assegurar recursos financeiros periódicos para pesquisas de campo como o Balanço de Energia Útil, Pesquisas de Posse e Hábito em consumidores finais, por exemplo. Nesse sentido, ações recomendadas incluem: (i) Definir atualização periódica de atualização de pesquisas de campo dentro da agenda coordenada de utilização de recursos do PAR/PROCEL, PEE/ANEEL e P&D/ANEEL; (ii) Realizar adequações em regulamentos desses programas, quando necessário, para permitir esse arranjo; (iii) Buscar sinergias com estruturas institucionais existentes, como o IBGE, de modo a reduzir custos com essas pesquisas. Adicionalmente, a maior digitalização do setor elétrico tem potencial de aumentar a disponibilidade de dados e informações sobre consumo de energia nos consumidores finais, como também ampliar as possibilidades de gestão desse consumo, podendo contribuir significativamente para criar oportunidades para maior eficiência energética. Compreender a abrangência do impacto da digitalização sobre o setor energético e os instrumentos que ajudam a pavimentar a penetração de “*smart devices*”, redes elétricas inteligentes, entre outros, a custos acessíveis aos consumidores e atraentes para os investidores, é uma etapa importante nesse processo.

### 2. *Revisar o marco institucional relativo à eficiência energética*

Na energia elétrica, é necessário revisar o modelo no sentido de incentivar a participação da concessionária de distribuição no mercado de eficiência energética. Ao mesmo tempo em que se trata de um agente com maior número de informações para identificar oportunidades de eficiência energética nos consumidores dentro de sua área de concessão, o atual modelo de concessão remunera a atividade de distribuição pela energia consumida, desincentivando reduções de consumo, já que estas afetam a receita da concessão. Dessa forma, em articulação com a ANEEL, é necessário realizar diagnóstico de alternativas para revisão do atual modelo de remuneração de ativos da distribuidora, visando configurações que incentivem projetos de eficiência energética em sua área de concessão. No

setor energético como um todo, tendo em vista a crescente integração de cadeias energéticas (eletricidade e combustíveis) e a necessidade de coordenação setorial, as seguintes ações são recomendadas: (i) realizar diagnóstico da atual governança do setor de eficiência energética e sua adequação, tendo em vista os desafios e contexto institucional futuros; (ii) avaliar a integração de programas como CONPET e PROCEL, bem como outros programas oficiais; (iii) estabelecer governança que garanta a coordenação entre diversas políticas setoriais (transportes, C&T&I, educação, meio ambiente, emprego, indústria etc.); (iv) aperfeiçoar mecanismos existentes e introduzir novos de natureza transversal (padrões mínimos e etiquetagem, leilões de eficiência energética, mercado de ESCOs etc.); (v) estabelecer e publicar agenda de longo prazo de aplicação de recursos de programas como, por exemplo, PROCEL e PEE/ANEEL, porém não restrito a esses em um contexto de maior coordenação institucional e integração das iniciativas de eficiência energética e (vi) reforçar a atuação do MME na coordenação setorial de políticas voltadas ao fomento à eficiência energética.

3. *Fomentar ações de informação e educação sobre a contribuição da eficiência energética no País*

A redução de assimetrias de informação quanto ao desempenho e importância do setor de eficiência energética no País tem as seguintes ações recomendadas: (i) realizar a avaliação de resultados históricos de programas de eficiência energética; (ii) implantação de portal de eficiência energética, que permita visualização abrangente deste setor; (iii) introdução de ementas de eficiência energética em todos os níveis de educação, em profundidade aderente com cada curso; (iv) realização de campanhas educativas periódicas. A divulgação de resultados históricos obtidos devido a programas vigentes bem como a promoção de debate de novas propostas de mecanismos contribui para trazer transparências aos esforços já realizados, compartilha resultados de desempenho e possui potencial de engajamento da sociedade, alimentando o processo de planejamento energético, tornando-a partícipe do mesmo.

Mapa do Caminho - Eficiência Energética

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Baixa disponibilidade de informação sobre potencial e usos de eficiência energética</i>	<i>Garantir o levantamento necessário de dados e informações sobre mercado de eficiência energética de forma periódica</i>		
<i>Coordenação institucional e integração das diferentes iniciativas relacionadas à eficiência energética</i>	<i>Revisar o marco institucional relativo à eficiência energética</i>		
<i>Criação de cultura de eficiência energética na sociedade</i>	<i>Fomentar ações de informação e educação sobre a contribuição da eficiência energética no país</i>		

# Tecnologias de Armazenamento

As tecnologias de armazenamento de energia auxiliam no preenchimento das lacunas temporais e geográficas entre a oferta e a demanda de energia elétrica. Podem ser classificadas em função de sua natureza como mecânicas (usinas hidrelétricas reversíveis (UHR), ar comprimido e volantes de inércia), químicas (hidrogênio e gás natural sintético), eletroquímicas (baterias), elétricas (supercapacitores e supercondutores magnéticos) ou térmicas (ar liquefeito, bombas de calor e sais fundidos). De acordo com suas aplicações, são capazes de prestar serviços à rede de forma centralizada ou distribuída, com variações na capacidade e na velocidade de carga e descarga.

Os sistemas de armazenamento possuem múltiplas funcionalidades, podendo ser utilizados em conjunto com os mecanismos de geração (compensando, por exemplo, os efeitos da intermitência de fontes renováveis não despacháveis na geração global do Sistema Elétrico), ou com as instalações de distribuição e transmissão (conferindo melhor gestão dos ativos da rede); além disso, podem ser utilizados para a prestação de serviços ancilares; para o fornecimento de potência elétrica sob demanda (aumentando a capacidade do Sistema Elétrico e atuando como reserva operativa do sistema); podem atuar como serviços de *backup* em caso de *blackout*; fornecimento de energia elétrica (em motores elétricos) para movimentação de veículos leves ou pesados; ou ainda para aumentar o autoconsumo da Geração Distribuída (GD), entre outros.

Embora as soluções de armazenamento não agreguem energia firme, elas podem ofertar potência em momentos de maior necessidade, para tanto, precisam consumir eletricidade a fim de estarem disponíveis nos momentos em que são exigidas. Os principais atributos requeridos dos sistemas de armazenamento são a alta disponibilidade e a flexibilidade. Na utilização junto com a GD, as tecnologias de armazenamento, em especial as baterias, podem reduzir a injeção do excesso de eletricidade na rede elétrica, aumentando o “autoconsumo” e o percentual de simultaneidade. Além disso, estas soluções podem auxiliar a deslocar o consumo de eletricidade da rede de acordo com as necessidades do Sistema Elétrico e do consumidor, desde que sinais tarifários sejam eficientes. Outra alternativa está relacionada à substituição do uso de motogeradores a diesel nos horários de ponta para consumidores industriais e comerciais atendidos em média e alta tensão no Sistema Elétrico, apesar de seu custo hoje ainda ser muito superior se comparado aos motogeradores. Além das vantagens econômicas, a substituição da geração a diesel também traz outros importantes ganhos de naturezas diversas, tais como a redução do ruído, a eliminação da etapa de logística de transporte deste combustível para a garantia do contínuo abastecimento (sujeita a alterações no preço) e a queda na emissão de poluentes, ajudando a descarbonizar o sistema.

Uma perspectiva para a aplicação das tecnologias de armazenamento em um país de dimensões continentais como o Brasil é a sua utilização combinada com fontes renováveis de geração variável e não controlável no setor rural e em regiões remotas, que incluem comunidades isoladas não interligadas ao SIN, ilhas e regiões de difícil acesso. Com a aplicação do conceito de microgrids conectados à rede os sistemas de armazenamento também podem servir de *backup* em caso de desconexão da rede principal, proporcionando autonomia e independência a estas regiões. O prognóstico de desenvolvimento de materiais cada vez mais leves e robustos em termos de capacidade energética, reduções expressivas nos custos da cadeia de produção e a necessidade de descarbonização da matriz energética abrirão espaço para alguns setores e usos, como o de cocção e climatização, sejam atendidos no futuro por tecnologias de armazenamento de forma disseminada.

Adicionalmente, a disseminação de medidores inteligentes é fundamental para permitir a interface das tecnologias de armazenamento com a rede elétrica e demais dispositivos, enviando e recebendo sinais a todo instante, que permitirão gerenciar de forma eficiente esses recursos e fornecer dados granulares dos seus respectivos usos, a cada instante, para os agentes do mercado interessados, em especial instituições de planejamento, regulação e operação. É importante destacar que os medidores inteligentes estarão integrados a grandes bancos de dados (big data), com processamento em tempo real (*smart grids*). Cabe mencionar também que aspectos de segurança de rede e privacidade devem ser considerados durante o processo de instalação e operação desta classe de medidores para evitar problemas desta natureza.

Por fim, é importante ressaltar que a viabilidade das soluções de armazenamento depende das aplicações propostas, das regulamentações existentes e dos seus mecanismos locacionais e temporais de remuneração.

### Perspectivas Tecnológicas

As formas de armazenamento que terão impacto efetivo na distribuição de energia elétrica serão aquelas que têm dinâmica rápida e flexibilidade de operação como: volantes de inércia, Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR), armazenamento de ar comprimido (Compressed Air Energy Storage Systems – CAES) e as baterias. Estas últimas se apresentam como a melhor opção para várias aplicações, devido à portabilidade, escalabilidade e velocidade de atuação, podendo ser instaladas em praticamente qualquer ponto da rede, inclusive no interior da instalação do consumidor (INT/MCTIC, 2017).

Em relação à maturidade comercial dessas tecnologias de armazenamento de energia, as UHR, o armazenamento de água, o armazenamento de energia térmica subterrânea e os aquecedores de água quente residenciais com armazenamento estão atualmente em sua fase de comercialização, classificados com menor exigência de capital e risco de tecnologia.

Dessas tecnologias, a UHR é a mais madura, compreendendo mais de 99% da capacidade instalada global de tecnologias de armazenamento de energia, avaliadas em mais de 141 GW (LANDRY e GAGNON, 2015). O armazenamento de energia de ar comprimido (CAES) é considerado próximo ao final da fase de demonstração e implantação e, portanto, perto da plena comercialização (DECOURT e DEBARRE, 2013 apud LANDRY e GAGNON, 2015).

No Brasil, o uso de sistemas de armazenamento de energia ainda é incipiente, com projetos de pesquisa conduzidos entre concessionárias, institutos de pesquisa e a academia. O desenvolvimento e implementação de tecnologias de armazenamento de energia de grande porte requer um esforço conjunto de P&D, além de ações regulatórias e a aplicação de políticas industriais para desenvolver o mercado (INT/MCTI, 2017).

CGEE (2017) apresenta uma ordem de prioridade das rotas tecnológicas para os investimentos em P&D no Brasil, levando-se em conta a necessidade do desenvolvimento de baterias de alta densidade de energia, com elevadas taxas de carga (carregamento rápido) e descarga (capacidade de atender a elevados picos de demanda) e longa vida útil, com baixa perda de capacidade ao longo da vida útil, e utilização de materiais inertes ou de baixa agressividade ao meio ambiente. A Tabela 9 mostra a sugestão de prioridade para investimentos de P&D em tecnologias de armazenamento de energia.

Tabela 9. Rotas prioritárias dos investimentos em P&D de tecnologias de armazenamento de energia

Prioridade	Rota Tecnológica
1	BMS – Battery Management Systems
2	Baterias
3	Bombeamento Reverso
4	Supercapacitores
5	Armazenamento energético em forma de gás
6	Volante de inércia
7	Armazenamento térmico com e sem transformação de fase
8	Termoquímicos (reatores)
9	CAES - armazenamento de energia de ar comprimido
10	LAES - armazenamento de energia de ar liquefeito
11	Supermagnetos

Fonte: CGEE (2018).

**Desafios Principais:****1. Preparar-se para uma matriz energética com grande percentual de geração variável não controlável**

A tendência é que o mundo no século XXI tenha que lidar com a grande penetração das fontes solar e eólica, que introduzem maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica global. O Brasil também terá que superar esse desafio, otimizando a operação da sua matriz energética existente, com novos investimentos necessários para garantir a adequabilidade de suprimento. A diversificação da matriz elétrica nacional requererá sistemas de armazenamento de energia, integrados de forma harmônica, para mitigar os efeitos causados pela intermitência das fontes renováveis não despacháveis e para garantir a qualidade do fornecimento de energia elétrica em grandes escalas, de modo seguro, eficiente e econômico.

**Análise dos Exercícios Quantitativos**

O mercado potencial para tecnologias de armazenamento está contemplado na expansão da chamada potência complementar no modelo. No entanto, como o armazenamento configura-se uma carga para o sistema, pois disponibiliza menos energia que recebe, independentemente da tecnologia utilizada, seria necessária uma representação mais detalhada das tecnologias, com seus prazos de abastecimento e disponibilização da carga e suas curvas de evolução de custos, em desagregação maior do que o escopo deste estudo.

**Recomendações:****1. Mudanças na contabilização da garantia física de usinas hidrelétricas reversíveis**

Como a contribuição de uma UHR em termos de energia é em média negativa, não é possível atribuir uma garantia física seguindo a metodologia atual aplicada às hidrelétricas convencionais.

**2. Regulamentação do uso de sistemas de armazenamento junto à geração**

A combinação de baterias com geração eólica e fotovoltaica, inclusive híbridas, pode reduzir os efeitos da variabilidade da produção e permitir melhor uso da rede.

**3. Adequação dos modelos de planejamento, programação e despacho**

A representação adequada dos sistemas de armazenamento nos modelos de planejamento, programação e despacho é essencial para a solução otimizada do Sistema Elétrico. Um importante tópico nesse tema é a menor discretização horária dos modelos de planejamento, fazendo com que a valoração dessa tecnologia seja melhor realizada.

Mapa do Caminho - Tecnologias de Armazenamento

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Preparar-se para uma matriz energética com grande percentual de geração variável não controlável</i>	<i>Mudanças na contabilização da garantia física de UHR</i>		
	<i>Regulamentação do uso de sistemas de armazenamento junto à geração</i>		
	<i>Adequação dos modelos de planejamento, programação e despacho</i>		

## Geração Distribuída

No Brasil, o instrumento que viabilizou a conexão de pequenos e médios geradores ao sistema de distribuição foi a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 da ANEEL, que instituiu o modelo de *net-metering* no País. Este regulamento criou as figuras do micro e do minigerador distribuído (MMGD). Em 2015, o regulamento foi aprimorado, de modo a tornar o processo de conexão mais célere e ampliar o acesso à geração distribuída para um número maior de unidades consumidoras. Atualmente, a resolução permite a conexão de geradores de até 5 MW na rede de distribuição, a partir de fontes renováveis de energia ou cogeração qualificada.

A qualidade dos recursos energéticos nacionais, as elevadas tarifas finais de eletricidade e o modelo de compensação de créditos extremamente favorável tornaram o investimento de geração própria bastante rentável no Brasil. Adicionalmente, alguns modelos de negócios inovadores, como o de aluguel de sistemas e cooperativas, em conjunto com o lançamento de algumas linhas de financiamento específicas têm contribuído para criar um ambiente favorável para o desenvolvimento da geração distribuída (GD) no País. Isso levou não apenas consumidores residenciais, mas também grandes redes varejistas, bancos e indústrias a investirem em sistemas de MMGD, locais e remotos.

De fato, a modalidade de micro e minigeração distribuída (MMGD) cresceu e não se pode mais dizer que representa um mercado pequeno no País. Em junho de 2019 a marca de 1 GW foi atingida, superando as expectativas que o setor tinha para a modalidade.

No entanto, o modelo de *net-metering*, em conjunto com o uso de tarifas monômias, também traz um problema para o equilíbrio das tarifas de energia elétrica. A justificativa é a de que a distribuidora tem custos fixos e variáveis embutidos na sua tarifa, e que o gerador, ao reduzir sua conta, deixa de contribuir com as duas parcelas, embora não reduza os dois custos. Logo, os custos fixos devem ser cobertos pelos demais consumidores através de aumentos na tarifa. Por outro lado, quando posicionada em lugares adequados, a GD pode reduzir perdas de energia e aliviar a carga das redes de transmissão e distribuição, postergando novos investimentos de reforço. Portanto, o desafio para os próximos anos é criar condições que estimulem a difusão da GD nos locais que tragam maior valor ao sistema, e que ao mesmo tempo não onerem outros consumidores e que não prejudiquem as atividades da distribuidora (fundamental para otimizar o funcionamento dos REDs).

Levando-se em conta a revisão do mecanismo de compensação para MMGD no início da década de 2020, com aplicação de tarifa binômica para novos micro e minigeradores, bem como determinantes econômicos (como o crescimento da renda das famílias e a perspectiva de queda dos custos das tecnologias), a GD alcançaria um valor entre 28 GW a 50 GW em 2050 (Tabela 10), o que representaria um valor entre 4% a 6% da carga total.

Tabela 10. Projeção de MMGD no horizonte de 2050

Indicador	2030		2040		2050	
	Estagnação	Desafio da Expansão	Estagnação	Desafio da Expansão	Estagnação	Desafio da Expansão
Potência Instalada (MW)	3.180	13.669	5.525	27.728	8.395	49.888
Energia Gerada (MWmédio)	1.146	2.720	2.092	5.729	3.664	10.452
% da Carga Total	1,6	2,5	2,8	3,9	4,8	5,6

Basicamente, o perfil tecnológico seguiria concentrado na solar fotovoltaica, representando pouco mais de 85% da capacidade instalada no fim do horizonte, por conta da sua modularidade, custo decrescente e difusão da tecnologia entre a sociedade. No entanto, principalmente através do modelo de autoconsumo remoto e geração compartilhada se enxerga grande potencial para a geração eólica, termelétrica à biomassa e hidrelétrica. São fontes que podem apresentar custos menores do que a fotovoltaica e, portanto, ganhar espaço da fonte solar (Figura 58).

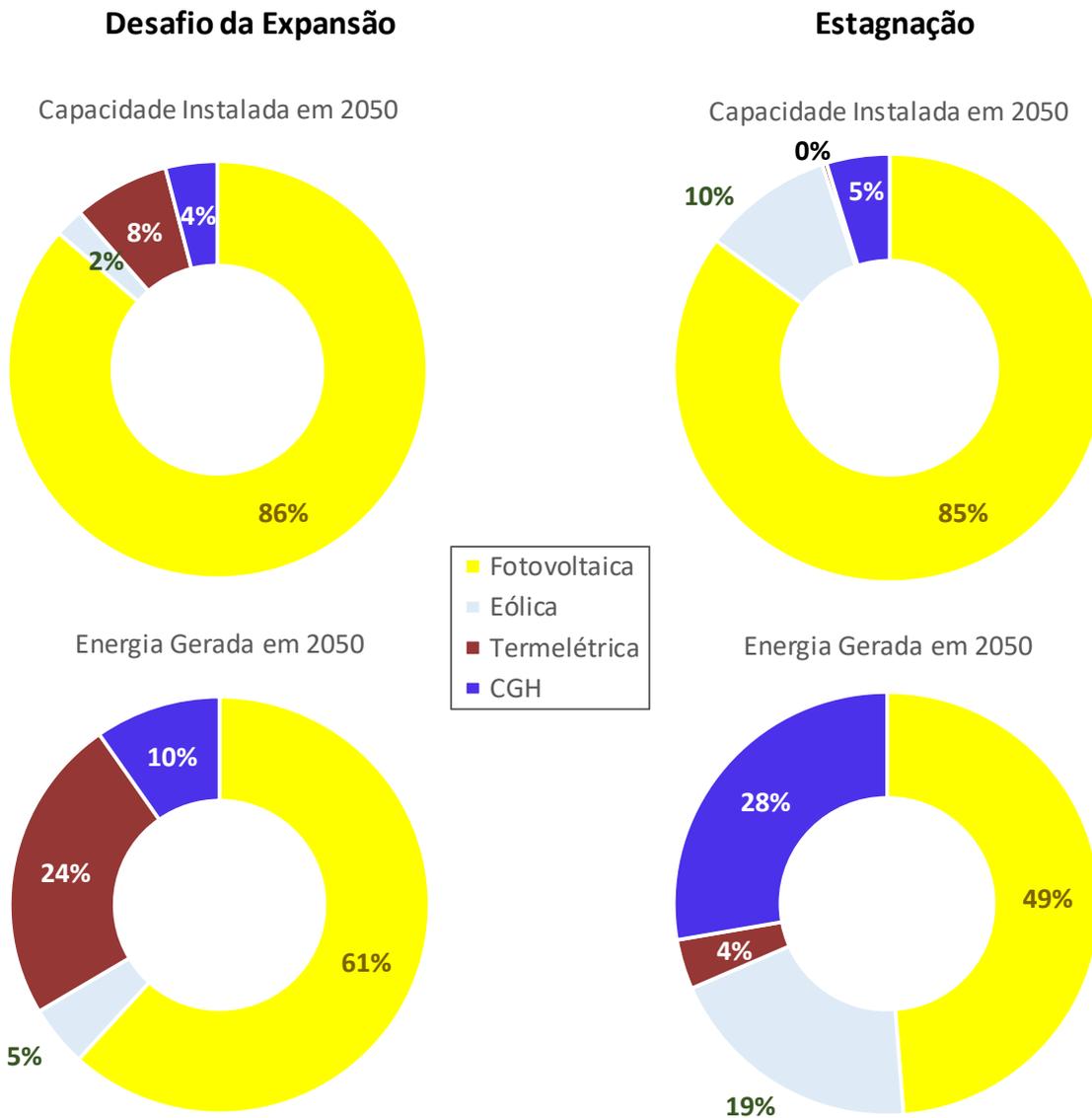


Figura 58 - Composição tecnológica da matriz de MMGD

**Desafios Principais:**

1. *Endereçar a questão do modelo de compensação líquida integral com tarifas volumétricas*  
 Considera-se que no longo prazo o modelo de compensação líquida integral com tarifas volumétricas não é sustentável, tendo que ser revisto em algum momento. Adicionalmente, apesar da importância da revisão da REN 482, esse processo resolve apenas parte do problema de transferência de custos entre os consumidores. A simples mudança do modelo de compensação não é suficiente para representar o quanto o consumidor exige em capacidade da rede e o quanto é realmente reduzido com a instalação do sistema de geração.

**Análise dos Exercícios Quantitativos**

De modo a ter uma melhor compreensão em relação ao deslocamento da GD sobre a expansão centralizada foram feitos dois exercícios em comparação ao caso com expansão das hidrelétricas sem utilização do potencial em áreas protegidas: uma em que a capacidade instalada da GD é 50% menor em 2050 e outra com expansão 50% maior em 2050.

Nos exercícios propostos, fica claro que as fontes com maior variação em termos de capacidade instalada em 2050 são a eólica e solar fotovoltaica em resposta a maior ou menor expansão de GD. Além disso, em função da diferença nos fatores de capacidade, a expansão da geração centralizada total em termos de capacidade não substitui na mesma razão a expansão de GD. Em outras palavras, a capacidade instalada total do sistema é menor (maior) quando a expansão de GD é menor (maior) para atendimento de uma determinada quantidade de energia demanda (Figuras 59 e 60).

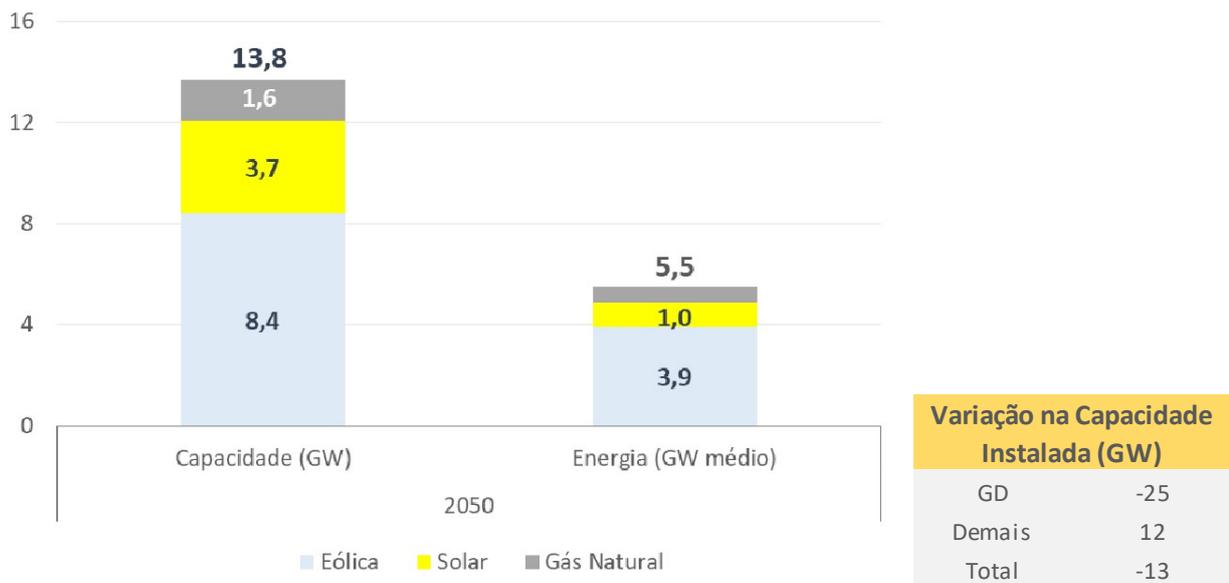


Figura 59 - Acréscimo de capacidade de geração centralizada no caso de menor expansão de GD

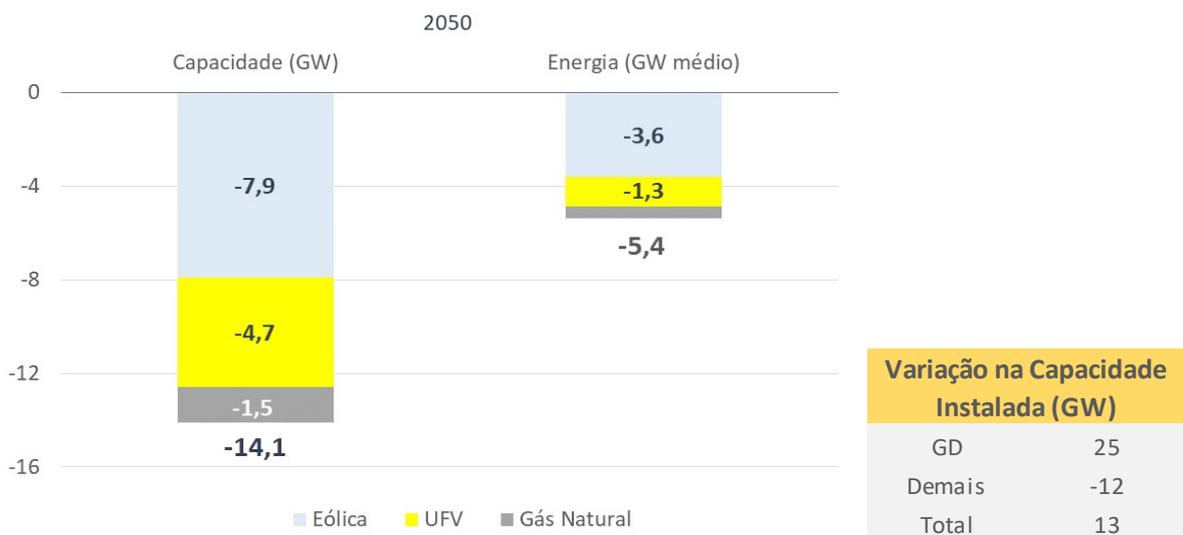


Figura 60 - Decréscimo de capacidade no caso de maior expansão de GD

**Recomendações:**

Além das recomendações gerais para a inserção sustentável das RED, seguem as recomendações para GD:

1. *Estabelecer transição de modelo de compensação integral para modelo com correta sinalização dos custos associados à expansão da GD*

A adequada cobrança pelo uso da rede dos micro e minigeradores passa pela correta sinalização de custos associados à expansão da GD, em substituição ao modelo de compensação integral com cobrança volumétrica. Além disso, se, por um lado, o ajuste do modelo de compensação deve reduzir a atratividade financeira do investimento para os geradores, por outro lado, a remuneração relativa ao valor locacional e demais serviços ancilares podem mais do que compensar tal movimento. Por fim, a venda de excedentes do gerador distribuído no mercado livre, a entrada do preço horário, a possibilidade de competição no varejo de eletricidade, a participação em mercados de serviços ancilares, por exemplo, trariam um novo cenário para a expansão da geração distribuída no setor elétrico brasileiro.

Mapa do Caminho - Geração Distribuída

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Enderregar a questão do modelo de compensação líquida integral com tarifas volumétricas</i>	<i>Estabelecer transição de modelo de compensação integral para modelo com correta sinalização dos custos associados à expansão da GD</i>		