



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E
SUSTENTABILIDADE

MARCOS ROBERTO LOPOMO

**INSERÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL**

ARARANGUÁ

2019

Marcos Roberto Lopomo

**INSERÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Planejamento e Sustentabilidade do Setor Energético
Orientador: Prof(a). Dr(a). Kátia Cilene Rodrigues Madruga

Araranguá

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lopomo, Marcos Roberto

Inserção do armazenamento de energia elétrica no
planejamento energético nacional / Marcos Roberto Lopomo ;
orientadora, Kátia Cilene Rodrigues Madruga , 2019.
124 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2019.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Armazenamento de
energia. 3. Políticas públicas. 4. Planejamento energético.
I. , Kátia Cilene Rodrigues Madruga. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade. III. Título.

Marcos Roberto Lopomo

Inserção do Armazenamento de Energia Elétrica no Planejamento Energético Nacional

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a), Dr(a). Kátia Cilene Rodrigues Madruga
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes
Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Energia e Sustentabilidade, área de concentração Planejamento e Sustentabilidade do Setor Energético.

Prof. Ricardo Alexandre Reinaldo De Moraes
Coordenador(a) do Programa

Prof.(a) Kátia Cilene Rodrigues Madruga
Orientador(a)

Araranguá, 09 de setembro de 2019.

Este trabalho é dedicado: a minha noiva - Ana Paula - por todo o apoio e paciência nesta fase de retorno ao mundo acadêmico; aos meus pais – Mário e Marieta - e irmãos – Mário Sérgio e Sandra, que me instruíram com a essência dos valores familiares e da busca pelo conhecimento; e, aos meus sobrinhos - Alice, Arthur e Matheus – que, em seus olhares curiosos e empolgados, me mantêm diligente e responsável com tudo o que é sustentável.

AGRADECIMENTOS

A Profa. Dra. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, orientadora deste trabalho, pela disposição em compartilhar seus conhecimentos e contribuir no atendimento aos requisitos acadêmicos desta investigação sempre com muita objetividade.

Aos integrantes do Programa de Pós-graduação de Energia e Sustentabilidade (PPGES) da UFSC - professores, mestrandos e demais alunos – pela dedicação e busca do crescimento do programa.

Aos profissionais dos setores de serviços públicos de energia elétrica e gás natural com quem tive, e aos que ainda tenho, o prazer de compartilhar muitas horas de minha vida.

Aos profissionais Gabriel Konzen, Renata de Azevedo Moreira da Silva, Renato Haddad Simões Machado, Jeferson Soares e Thiago Vasconcelos Barral Ferreira, que trabalham na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, pelas contribuições especializadas fornecidas e que permitiram enriquecer substancialmente a minha visão sobre o planejamento energético nacional e o teor deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro ao programa de pós-graduação que possibilita a participação em eventos acadêmicos e a dedicação de acadêmicos à pesquisa científica.

A humanidade é capaz de tornar o desenvolvimento sustentável – de garantir que ele atenda necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas. (Our common future – Oxford University Press, 1987)

INSERÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL

O setor elétrico no Brasil é alicerçado na geração de energia elétrica proveniente de fontes energéticas renováveis, o que torna o país pioneiro e destaque mundial deste tipo de energia em grande escala. Recentes propostas de aprimoramento do setor elétrico brasileiro relatam pressões exercidas por fenômenos tecnológicos e socioambientais que impactam especialmente o desenvolvimento de projetos hidrelétricos com reservatórios de acumulação. Políticas energéticas dos últimos anos incluíram outras fontes renováveis como usinas eólicas, térmicas a biomassa, pequenas centrais hidroelétricas e usinas fotovoltaicas na matriz elétrica do país. Decorrente da intermitência de geração por essas novas fontes, o planejamento energético deve evoluir para assegurar o abastecimento contínuo. Pelo lado da demanda, a atual política de controle de preços indica aos usuários de energia elétrica incentivos para o deslocamento ou substituição do consumo de eletricidade no horário de pico por sinalização de preço. A baixa flexibilidade no lado da demanda resulta no uso de energia elétrica proveniente de fontes de geração por combustíveis fósseis. Considerando os compromissos do país com tratados ambientais, alternativas com alta emissão de CO₂ não são aceitáveis. Tecnologias de armazenamento de energia podem, em conjunto com fontes de energia renováveis, possibilitar flexibilidade e compromisso ambiental na redução de emissões de poluentes associada à segurança energética. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo a identificação de políticas públicas relacionadas ao armazenamento de energia e aplicações que atendam a realidade brasileira, considerando exemplos internacionais. O estudo foi de carácter qualitativo e exploratório. Os dados foram coletados por meio de revisão bibliográfica e documental e questionário. Entre os resultados principais obtidos destacam-se: 1) a identificação de uso comercial para as tecnologias de armazenamento hidroelétrico bombeado (PHS), eletroquímico - por meio de baterias recarregáveis - e armazenamento de energia por tecnologia de ar comprimido (CAES), sendo as duas primeiras aquelas que se mostram mais apropriadas para aplicação no Brasil; 2) a grande dependência do planejamento energético como instrumento para a adoção de fontes energéticas; 3) a baixa adoção de políticas nacionais que vislumbrem incentivo para a implementação de sistemas de armazenamento de energia; e 4) um extenso rol de políticas internacionais que podem ser observados no Brasil, ainda que reconhecida que uma eventual aplicabilidade destas políticas de referência se dê em função da avaliação de flexibilidade do parque de geração existente.

Palavras-chave: Armazenamento de energia, políticas públicas e planejamento energético.

ABSTRACT

The electric power sector in Brazil is based on the production of renewable energy sources. Recent proposals for the improvement of the Brazilian electric sector report pressures exerted by technological and socio-environmental phenomena that especially impact the development of hydroelectric projects with accumulation reservoirs. Energy policies of recent years have included other renewable sources such as wind power plants, biomass thermal power plants, small hydroelectric plants, and photovoltaic plants. Due to intermittent generation from these new sources, energy planning must evolve to ensure a continuous supply. On the demand side, the current price control policy gives electricity users incentives to shift or replace peak-hour electricity consumption with price signals. Low demand-side flexibility results in the use of energy from fossil fuels. Given the country's commitments to environmental treaties, alternatives with high CO₂ emissions are not acceptable. Energy storage technologies can enable flexibility and environmental commitment to reduce pollutant emissions associated with energy security. In this context, this work aimed to identify public policies related to energy storage and applications that meet the Brazilian reality, considering international examples. The study was qualitative and exploratory. Data were collected through bibliographic and documentary review and questionnaire. Among the main results obtained are: 1) pumped hydroelectric storage (PHS), electrochemical storage and compressed air energy storage (CAES) technologies; the first two being the most suitable for application in Brazil; 2) the great dependence on energy planning as an instrument for the adoption of energy sources; 3) the low adoption of national policies that provide incentive for the implementation of energy storage systems; and 4) an extensive list of international policies that can be observed in Brazil, although it is recognized that the eventual applicability of these reference policies is due to the flexibility assessment of the existing generation park.

Keywords: Energy storage, public policy, and energy planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de GEP.....	19
Figura 2 – Problemas na geração de energia por fontes renováveis e possíveis soluções	38
Figura 3 - Necessidades do armazenamento de energia na transição energética	42
Figura 4 - Capacidades e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia.....	49
Figura 5 - Interface entre o setor elétrico e os demais setores.....	64
Figura 6 - Ciclo de planejamento e implantação de empreendimentos.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de energia renovável nos maiores mercados (2017-2023) – (Mtoe)(%)	24
Gráfico 2 – Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica nacional, por tipo de fonte (2018).....	28
Gráfico 3 – Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica nacional ..	29
Gráfico 4 – Participação de fontes renováveis na matriz elétrica nacional, por tipo de fonte (%).....	30
Gráfico 5 - Emissões de Carbono por fonte	31
Gráfico 6 - Energia Armazenada Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (GWh).....	33
Gráfico 7 – Energia Armazenada Subsistema Nordeste (GWh)	34
Gráfico 8 - Energia Armazenada Subsistema Norte (GWh)	35
Gráfico 9 - Energia Armazenada Subsistema Sul (GWh).....	36
Gráfico 10 - Expansão Indicativa de Referência	67
Gráfico 11 – Participação das fontes no planejamento decenal	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – GTA-ODS - Elementos orientadores - aspecto de Energia	26
Quadro 2 - GTA-ODS - Elementos orientadores - aspecto de Mudança do Clima.....	27
Quadro 3 - Uso do armazenamento por distribuidoras de energia	40
Quadro 4 – Aplicações de armazenamento de energia, locais e potências.....	57
Quadro 5 - Fases da Estruturação do setor Elétrico Brasileiro.....	62
Quadro 6 - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - 2020.....	73
Quadro 7 - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas – 2025 – 2030.....	74
Quadro 8 – Políticas para geração de valor na inserção das tecnologias de armazenamento de energia	80
Quadro 9 – Políticas para competitividade das tecnologias de armazenamento de energia.....	81
Quadro 10 – Políticas para garantia de acesso para as tecnologias de armazenamento de energia	83
Quadro 11 – Iniciativas para implementação do Armazenamento de Energia – Comparativo Austrália-Brasil.....	98
Quadro 12 – Iniciativas para implementação do Armazenamento de Energia – Comparativo EUA-Brasil.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Expansão Indicativa de Referência	78
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANA - Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP - Agência Nacional do Petróleo
BEN - Balanço Energético Nacional
BES - *Battery Energy Storage* ou Armazenamento de energia em bateria.
BIG - Banco de Informações de Geração
CAES - *Compressed Air Energy Storage* ou armazenamento de energia em ar comprimido
CCC - Conta de Consumo de Combustíveis
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica/Eletróbás
CMSE – Conselho de Monitoramento do Setor Elétrico
CND - Contribuição Nacionalmente Determinada
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP-21 - 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC)
CSPE - Comissão de Serviços Públicos de Energia do Estado de São Paulo
DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC - Duração de Interrupção por Unidade Consumidora
DMIC - Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora
DOE - *Department of Energy* ou Departamento Americano de Energia
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
ELETROBRÁS - Centrais Elétricas do Brasil S/A
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ESS – *Energy Storage Systems* ou Sistemas de Armazenamento de Energia
FBES - *Flow Batteries Energy Storage* ou armazenamento de energia em baterias de fluxo
FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FES - *Flywheel Energy Storage* ou armazenamento de energia do volante de inércia
FERC - *Federal Energy Regulatory Commission* ou *Comissão Federal de Regulação de Energia, órgão que responde pela regulação de energia em alguns estados americanos.*
FIC - Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora
FNDCT - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GEE - Gases de Efeito Estufa
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
IEA - *International Energy Agency* ou Agência Internacional de Energia
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
IRENA - *International Renewable Energy Agency*
MAE - Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MDI - Modelo de Decisão de Investimentos
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME - Ministério de Minas e Energia
NREL - *National Renewable Energy Laboratory*
NDC - *Nationally Determined Contribution*

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PCH - Pequena Central Hidrelétrica
PHS - *Pumped-hydro storage* ou Bombeamento de água
PIE - Produtor Independente de Energia Elétrica
PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios/IBGE
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica/Eletobrás
PROINFA - Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN – Resolução Normativa
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
ROL - Receita Operacional Líquida
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SIN - Sistema Interligado Nacional
SMES – *Superconducting Magnetic Energy Storage* ou Armazenamento de Energia com Supercondutor Magnético
SPE - Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético
TES - *Thermal Energy Storage* ou Armazenamento de Energia Térmica
UHE - Usina Hidrelétrica
UHR – Usina Hidroelétrica Reversível
UTE - Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	EXPOSIÇÃO DO ASSUNTO	17
1.1.1	Oferta	20
1.1.2	Demanda	21
1.1.3	Equilíbrio Oferta vs. Demanda	21
1.1.4	Energias Renováveis	21
1.1.5	Armazenamento de Energia	39
2	OBJETIVOS	45
2.1	OBJETIVO GERAL.....	45
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	46
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	46
3.1	TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	47
3.2	TIPOS DE TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	50
3.2.1	Armazenamento Hidroelétrico Bombeado (PHS) ou Usinas Hidroelétricas Reversíveis (UHR)	51
3.2.2	Armazenamento de energia de ar comprimido (CAES)	51
3.2.3	Volante de inércia (FES)	52
3.2.4	Baterias	53
3.2.4.1	Baterias de fluxo (FBES)	53
3.2.5	Capacitores ou supercapacitores	54
3.2.6	Armazenamento de energia magnética supercondutora (SMES)	54
3.2.7	Combustível Solar	55
3.2.8	Armazenamento de hidrogênio e célula combustível	55
3.2.9	Armazenamento de energia térmica (TES)	55
3.2.10	Armazenamento de energia elétrica híbrido	56
3.3	STATUS ATUAL E PERSPECTIVAS PARA AS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO	56
3.3.1	Considerações finais	60
3.4	PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	61
3.4.1	Histórico	61
3.4.2	Modelos para o planejamento	68
3.4.3	Considerações finais	71
3.5	POLÍTICAS PÚBLICAS	72
3.5.1	Políticas públicas nacionais	72
3.5.2	Políticas Públicas Internacionais	79
3.5.3	Considerações finais	87
4	METODOLOGIA DE PESQUISA	88

4.1	NATUREZA DA PESQUISA.....	88
4.2	TRAJETÓRIA DA PESQUISA.....	89
4.3	O INSTRUMENTO DA PESQUISA.....	89
4.3.1	O QUESTIONÁRIO	90
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	91
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6.2	RECOMENDAÇÕES	113
	REFERÊNCIAS	115
	ANEXO A – Questionário encaminhado para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	

1 INTRODUÇÃO

1.1 EXPOSIÇÃO DO ASSUNTO

A *International Electrotechnical Commission* (IEC) (2011) define sistema de energia basicamente como a forma em que se estrutura a conexão da energia gerada por redes interligadas a geradores e os usuários e/ou consumidores.

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) é uma organização quase-governamental, sem fins lucrativos, fundada em 1906, e publica normas internacionais baseadas em consenso e gerencia sistemas de avaliação de conformidade para produtos, sistemas e serviços elétricos e eletrônicos, conhecidos coletivamente como eletrotecnologia. Os membros da IEC são comitês nacionais e nomeiam especialistas e delegados vindos da indústria, órgãos governamentais, associações e academia para participar do trabalho de avaliação técnica e de conformidade da IEC. As publicações da IEC servem de base para a padronização nacional e de referência na elaboração de licitações e contratos internacionais.

De acordo com o conceito da IEC para sistemas de energia, a geração e o consumo de eletricidade devem sempre estar equilibrados quanto a oferta e demanda. Na eventualidade de qualquer desequilíbrio entre estes fatores, são apresentadas pela IEC (2011) algumas consequências técnicas:

- a) congestionamento de energia nas linhas de transmissão e/ou distribuição;
- b) problemas de qualidade no fornecimento de energia, como instabilidade de frequência e flutuação de tensão de fornecimento; e,
- c) variações de custo da geração de eletricidade devido a sazonalidade das fontes primárias.

Na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis, o Brasil conta com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME), criada por meio de medida provisória e convertida em lei pelo Congresso Nacional pela Lei 10.847, de 15 de Março de 2004.

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018a) define como flexibilidade a capacidade do sistema elétrico em lidar com variações de oferta e demanda em períodos compatíveis com os comandos de despacho de geração – sejam estes mensais ou horários.

Estes conceitos de equilíbrio entre oferta e demanda e de flexibilidade são relevantes pois estabelecem a base de um planejamento energético. Do ponto de vista metodológico de um planejamento energético, no caso deste trabalho com o foco em energia elétrica, pode o mesmo ser tratado como um problema. Para isto, Conde (2013) representa o problema do planejamento da expansão da geração por meio de um diagrama denominado diagrama de GEP – *Generation Expansion Problem*.

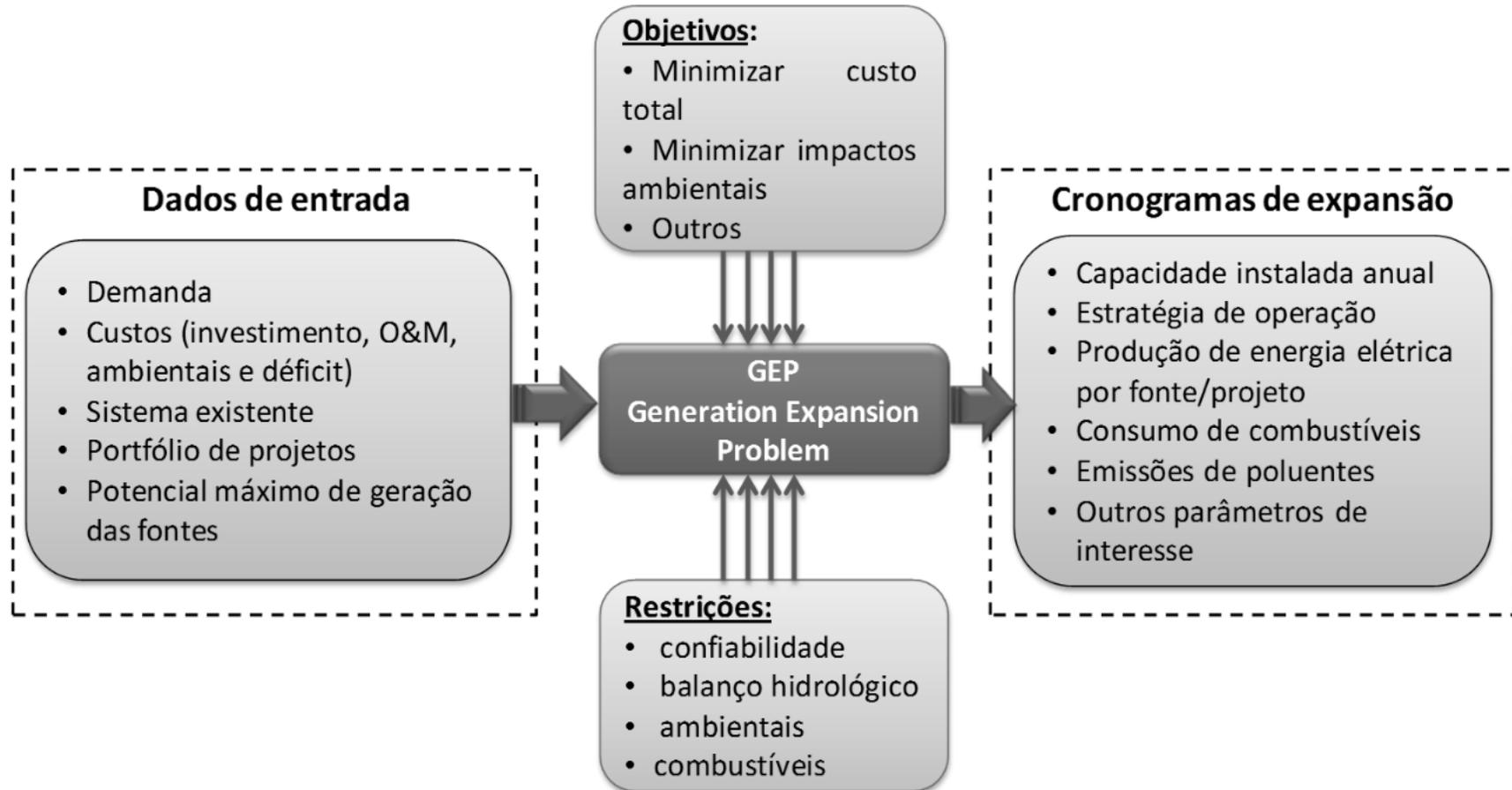
O diagrama de GEP representa de forma visual e simplificada as questões necessárias para a resolução de um problema que objetiva resolver o planejamento da expansão de um sistema de energia.

Os dados de entrada do diagrama incluem os recursos que um sistema energético deve ter para atender uma determinada demanda. São estes recursos que possibilitam estabelecer os custos relacionados e podem sofrer restrições associadas à confiabilidade, balanço hidrológico, questões ambientais e disponibilidade de combustível para alimentar o processo de conversão energética para energia elétrica.

A avaliação do planejamento remete, entre outras questões, a dois objetivos importantes: a minimização dos impactos ambientais e a minimização dos custos associados.

É com base em todas essas variáveis que são definidos os cronogramas de expansão e as características dos projetos, como a capacidade instalada e de geração, consumo de combustíveis, emissão de poluentes e a estratégia de como serão operados.

Figura 1 – Diagrama de GEP



Fonte: Conde (2013), adaptado de Cunha (2012)

No modelo do problema constituído por Conde (2013) não existe uma variável específica denominada flexibilidade. No entanto, este requisito estaria implícito em algumas das variáveis como, por exemplo, o portfólio de projetos e o potencial máximo de geração das fontes, ambos contidos em dados de entrada.

Alinhada com o objetivo de minimização de impactos ambientais, a flexibilidade pode afetar questões relevantes do cronograma de expansão, como: a emissão de poluentes, o consumo de combustíveis e a estratégia de operação.

Para Seger, Mercedes e Rico (2015) o problema do planejamento energético em um sistema complexo como o brasileiro vai além da expansão da capacidade instalada para garantir o atendimento à totalidade da demanda.

A complexidade, de acordo com Seger, Mercedes e Rico (2015), se dá em razão de um parque gerador hidrotérmico, com preponderância de fonte hidráulica, e interconectado por uma única grande malha de transmissão. Conforme os autores, esta característica específica exige coordenação de operação complexa, com decisões relacionadas ao tempo e espaço em função da interligação das bacias e reservatórios e da multiplicidade de proprietários e usos.

1.1.1 Oferta

Kyriakopoulos e Arabatzis (2016) destacam algumas características que são fatores determinantes na oferta de energia elétrica:

- a) Conexão: na rede e fora da rede (incluindo a exploração de energias renováveis em áreas remotas);
- b) Pico de consumo: durante o dia ou durante a noite;
- c) Necessidade de fornecimento de energia eficiente e confiável;
- d) Capacidade e confiabilidade de tecnologias de armazenamento de energia;
- e) Potencial do mercado de energia no futuro.

Do ponto de vista do atendimento a demanda de energia por usuários residenciais, comerciais, industriais e outros, o estudo de Kyriakopoulos e Arabatzis (2016) relata que a oferta de fontes de alimentação contínuas e flexíveis são essenciais, uma vez que qualquer desequilíbrio entre a quantidade de energia requisitada no momento em que os usuários necessitam podem resultar em interrupção do serviço.

1.1.2 Demanda

Kyriakopoulos e Arabatzis (2016) também destacam que as perspectivas sobre o uso de eletricidade são crescentes e especialmente nas últimas duas décadas atraem o interesse de pesquisa da comunidade científica devido seu impacto determinante em questões como a mobilidade elétrica - veículos elétricos, carros híbridos e trens elétricos - e por conceitos de vida mais modernos proveniente do avanço tecnológico - *Smart House* e *Smart Grid* – e que afetam ambientes de trabalho, ambientes domésticos e atividades de lazer.

Seger, Mercedes e Rico (2015) indicam que o impulso dado na eletrificação e as mudanças na forma como a eletricidade é utilizada diariamente afetam os picos de demanda. O problema se torna ainda mais complexo com a crescente participação do vento e da energia solar fotovoltaica, demandando maior flexibilidade no gerenciamento da variabilidade no consumo e da geração proveniente dessas fontes.

1.1.3 Equilíbrio Oferta vs. Demanda

Kyriakopoulos e Arabatzis (2016) possuem o entendimento de que na ocorrência de incompatibilidade no tempo entre oferta (geração) e demanda (consumo), a escassez de fornecimento é comumente sustentada por uma fonte de energia confiável, normalmente suprida por geradores movidos por combustíveis fósseis.

A construção de sistemas de energia capazes de prover flexibilidade no despacho energético é essencial para garantir a confiabilidade no fornecimento. De acordo com a IEC (2011), as políticas governamentais necessitam considerar este quesito de fornecer flexibilidade como um componente central no gerenciamento do sistema elétrico, sendo este o meio para efetivamente atingir-se uma transição para sistemas digitalizados e com baixa emissão de carbono.

1.1.4 Energias Renováveis

A Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2015, realizada em Paris e denominada COP 21, defendeu que uma transição rápida e global para tecnologias de energia renovável seria um fator muito importante para o desenvolvimento sustentável, evitando assim uma mudança climática catastrófica.

A reafirmação da preocupação com as mudanças climáticas pela COP 21 coloca a energia renovável como ponto central para alcançar os objetivos de sustentabilidade

relacionados ao clima. Diante disto os governos enfrentam o desafio de discutir o que pode ser alcançado em termos de políticas para atingir as metas coletivas do mundo para um sistema de energia sustentável.

Com isso, de forma paralela ao que ainda se discute no âmbito governamental no Brasil, os setores de energia em diversos países do mundo incorporam tecnologias baseadas em energia renovável, que precisam ser comercializadas e ampliadas em decorrência da denominada descarbonização, ou redução das emissões de CO₂, provenientes de sistemas energéticos.

Conde (2013) ao discutir questões ambientais avalia que os impactos na fase de operação das usinas de geração de energia elétrica variam conforme a fonte, o combustível e a tecnologia empregada, mas também em função de cadeia produtiva por trás da energia gerada e que é preciso considerar fatores como: o balanço de energia para extração de matéria prima, o processamento, o transporte e o armazenamento, além dos materiais utilizados.

A Agência Internacional de Energia Renovável IRENA (2016) considera que o impulso para alavancar o uso destas tecnologias de geração de energia renovável será a redução de custos e que há grande potencial de redução contínua destes custos em um futuro próximo.

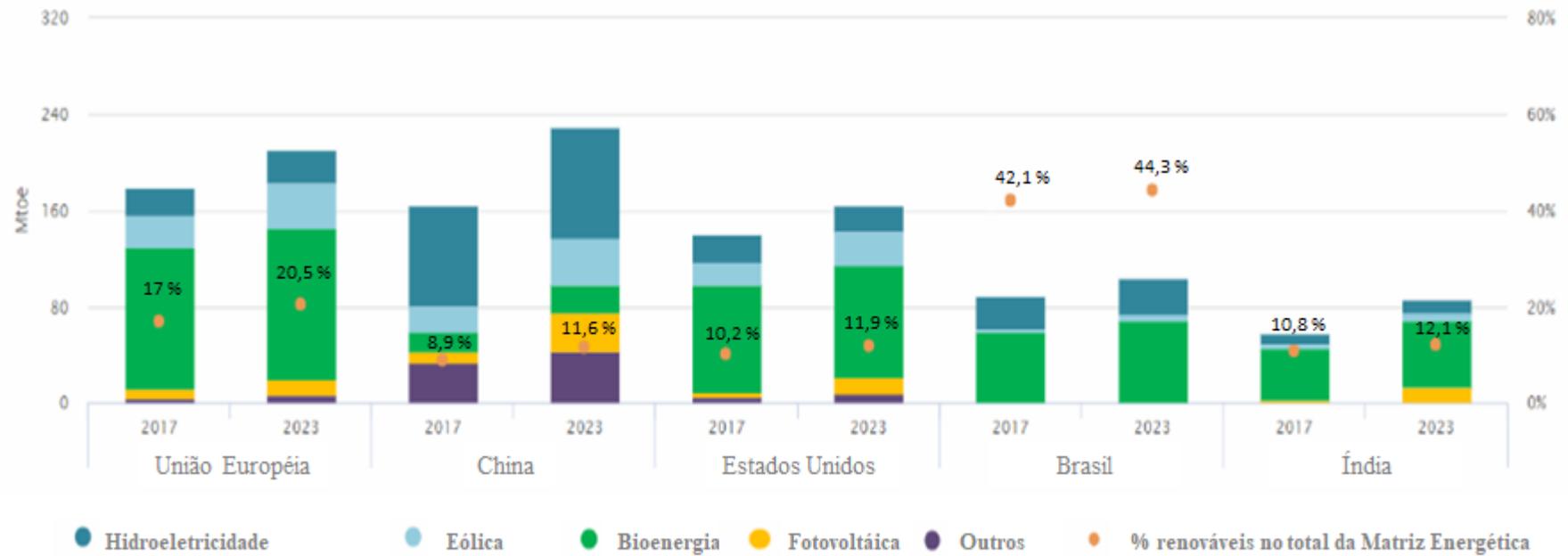
A Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA) é uma instituição criada com a finalidade de promover o uso das energias renováveis. Apresentada em 1981 na Conferência das Nações Unidas para as Energias Renováveis, realizada em Nairobi, Quênia, a Agência foi formalmente criada em 2009, durante a Conferência de Bona, Alemanha. Formada por 160 Estados Membros, conta hoje com 23 Estados em processo de adesão, entre estes o Brasil. Tem como principal missão auxiliar e apoiar países na transição para uma matriz energética sustentável.

Outra importante fonte de informações para as questões energéticas mundiais é a Agência Internacional de Energia – IEA. Fundada em 1974, a IEA foi inicialmente projetada para ajudar os países a coordenar respostas para interrupções no fornecimento de petróleo, como a crise de 1973/74. Embora esse continue sendo um aspecto essencial de seu trabalho, a IEA examina todo o espectro de questões de energia, incluindo oferta e demanda de petróleo, gás e carvão, tecnologias de energia renovável, mercados de eletricidade, eficiência energética, acesso à energia e gerenciamento do lado da demanda.

Ao se avaliar o status de energia renovável pelo mundo, o Brasil apresenta condição muito favorável. Os dados da Agência Internacional de Energia - IEA (2018) refletem a matriz energética dos principais mercados mundiais e o Gráfico 1 – Consumo de energia

renovável nos maiores mercados (2017-2023) permite identificar as projeções de crescimento no consumo de energia renovável nos grandes mercados mundiais e a posição de destaque que o Brasil se encontra.

Gráfico 1 – Consumo de energia renovável nos maiores mercados (2017-2023) – (Mtoe)(%)



Fonte: IEA (2018)

As informações obtidas com base na conversão energética, em milhões de toneladas de óleo equivalente (Mtoe), identificam a China como a futura líder em energias renováveis, quando observados valores absolutos em 2023, ultrapassando a União Europeia, ainda que a representatividade em sua matriz energética seja reduzida e represente o percentual futuro de 11,6 %.

Rumo a se tornar o maior consumidor de energia renovável mundial, especialmente em razão das políticas de descarbonização de todos os setores, o principal objetivo do país é a redução da poluição atmosférica local, segundo a IEA (2018).

Ainda pelos dados da IEA (2018), o Brasil encontra-se como o país que possui a matriz de oferta de energia primária com a maior inserção percentual de fontes renováveis, responsável por suprir 42,1 % do consumo em 2017, e em estágio crescente poderá se aproximar de 45 % em 2023, levando em consideração toda a matriz energética do país.

Os respectivos resultados que indicam o Brasil nesta posição de destaque em relação ao percentual de energia renovável de sua matriz energética são estabelecidos especialmente pelo consumo de bioenergia, nos setores de transportes e indústria, e da hidroeletricidade como fonte dominante quando tratado especificamente o setor elétrico.

A União Europeia aparece bem posicionada nos aspectos de participação e crescimento de renováveis. Com elevado e crescente consumo e participação de energia renovável na matriz energética (incorporando 3,5% a mais de representatividade de renováveis na matriz energética no período 2017-2023), o estímulo é proveniente de metas vinculativas de energias renováveis para 2020 e 2030. Cabe salientar que o uso de energia local renovável permite reduzir a dependência energética que muitos países da União Europeia possuem.

Mesmo diante de fatores específicos das nações, o Grupo de Trabalho Aberto sobre Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (GTA-ODS), constituído no âmbito da Assembleia-Geral das Nações Unidas e cujas atividades foram concluídas em julho de 2014, direcionaram no Brasil a Formação do Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda Pós-2015.

Este Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda Pós-2015 (2015) relacionou os avanços das energias renováveis com a agenda de desenvolvimento da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, adaptando a geração de eletricidade com as iniciativas políticas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Desenvolvimento do Milênio.

Com as contribuições de 27 Ministérios e órgãos de governo brasileiro que integram o referido Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda Pós-2015, foi elaborado o documento “Negociações da Agenda de Desenvolvimento Pós-2015: Elementos Orientadores (2015)”, com o objetivo de orientar os negociadores brasileiros nas discussões do “Grupo de Trabalho Aberto sobre Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (GTA-ODS)”, destacando-se com relação à energia e mudança do clima os seguintes elementos substantivos contidos como orientadores na visão brasileira:

Quadro 1 – GTA-ODS - Elementos orientadores - aspecto de Energia:

Ampliar a produção e a distribuição de energia elétrica realizadas pelos próprios usuários (“geração distribuída”)
Eliminar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, assegurando tratamento especial e diferenciado para países em desenvolvimento
Mobilizar financiamento para investir em infraestrutura energética moderna e promover parcerias em matéria de energia sustentável
Aumentar a capacitação, promover a inovação e a transferência de tecnologias modernas de energia
Estimular a eficiência energética em toda a cadeia de valor: geração, transmissão, distribuição e uso
Adotar processos produtivos mais sustentáveis, com redução do consumo de energia por unidade de PIB industrial
Estimular a conservação de energia, reduzindo o desperdício energético
Desenvolver infraestrutura energética de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos
Promover a substituição dos combustíveis fósseis consumidos no transporte público por alternativas renováveis
Reduzir a proporção de novos veículos automotores movidos exclusivamente a combustíveis fósseis

Fonte: Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda Pós-2015 (2015)

Quadro 2 - GTA-ODS - Elementos orientadores - aspecto de Mudança do Clima:

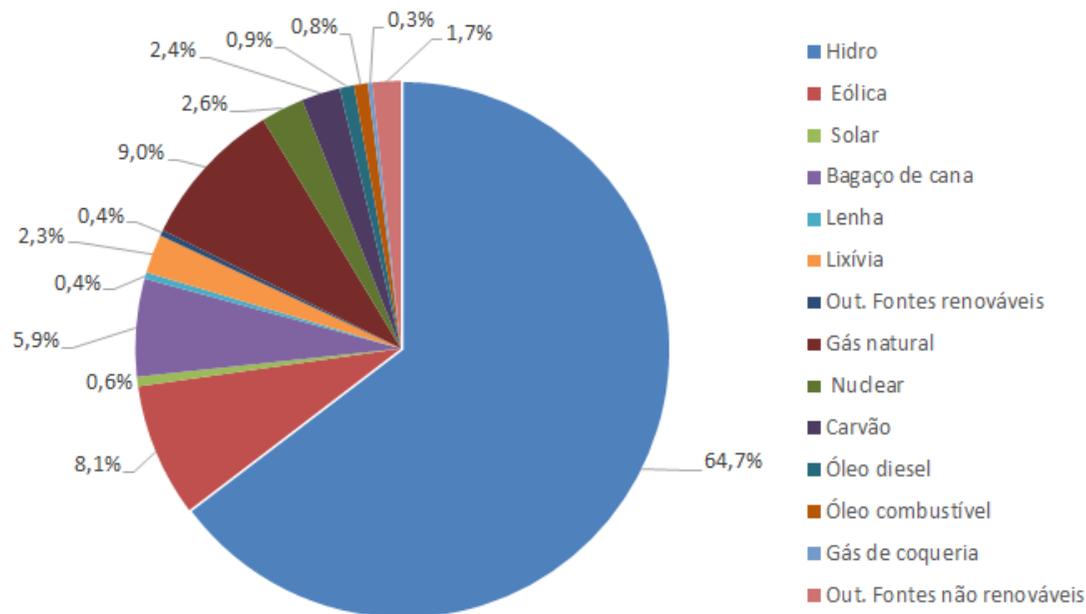
Promover a implantação de energia limpa, incluindo as tecnologias de baixas ou zero emissões
Apoiar a transferência de tecnologia para processos de soluções de baixo carbono em infraestrutura e na indústria
Promover políticas públicas que permitam a adaptação e mitiguem os impactos das mudanças climáticas, com ênfase nas comunidades mais vulneráveis
Fomentar iniciativas de educação ambiental para a conscientização sobre mudança do clima e sobre prevenção e preparação para desastres naturais decorrentes de seus efeitos adversos, bem como a difusão de tecnologias sociais de adaptação às mudanças climáticas

Fonte: Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda Pós-2015 (2015)

Considerando o escopo deste trabalho, que é o de se verificar a inserção do armazenamento de energia no planejamento energético nacional, informações relacionadas com a matriz elétrica do país foram verificadas, no sentido de se buscar aderência com estes elementos orientadores.

Para entender a participação das diversas fontes de energia, exclusivamente na matriz elétrica nacional, foram considerados os dados disponibilizados pela EPE nas séries históricas do balanço energético nacional 2018, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 – Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica nacional, por tipo de fonte (2018)

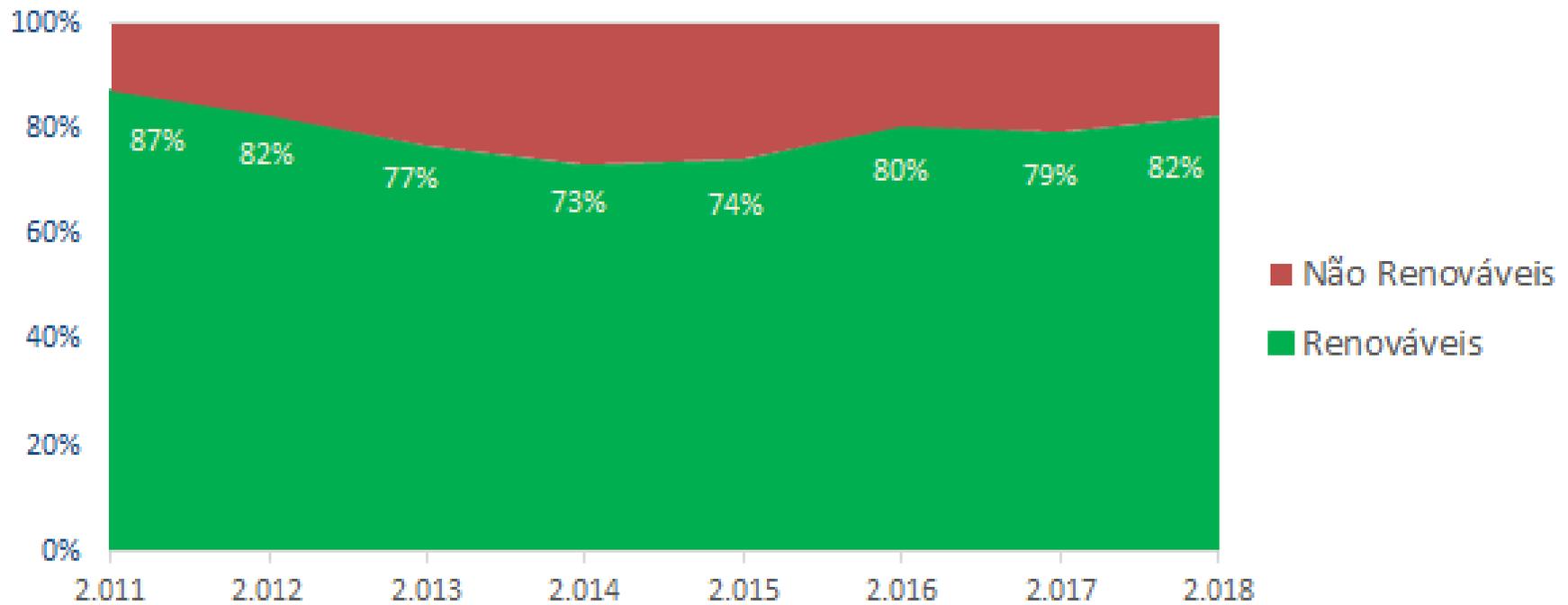


Fonte: Adaptado de EPE (2018b)

Os dados atualizados da EPE sinalizam a grande variedade de fontes energéticas e a predominância das fontes renováveis, com a hidráulica respondendo por 64,7 % da geração de energia elétrica no país. As renováveis também possuem relevante participação, quando consideradas as fontes eólica e bagaço de cana, com 8,1% e 5,9 %, respectivamente. Somente não ocorre a sequência das fontes renováveis como as mais relevantes na matriz elétrica em razão da representativa participação da fonte térmica a gás natural, com 9 % de participação.

Ao se avaliar séries históricas de 2011 a 2018 do Balanço Energético Nacional (EPE, 2018b) para a matriz elétrica brasileira, observa-se no Gráfico 3 a predominância da energia renovável, com valores sempre aproximados a faixa de 80 % da representatividade destas fontes na geração de energia elétrica, com retomada de crescimento a partir de 2015.

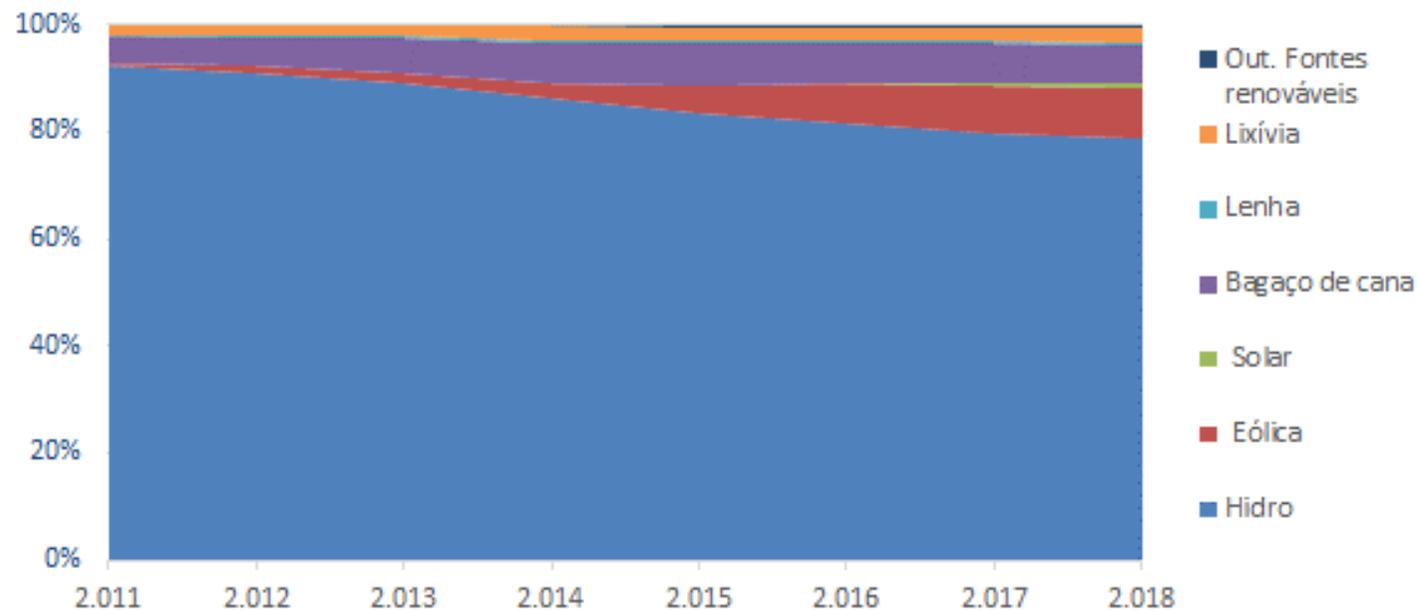
Gráfico 3 – Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica nacional



Fonte: Adaptado de EPE (2018b)

Para avaliar esta retomada na geração de energia elétrica das fontes renováveis, foram identificadas as participações de cada fonte inserida no contexto das renováveis.

Gráfico 4 – Participação de fontes renováveis na matriz elétrica nacional, por tipo de fonte (%)

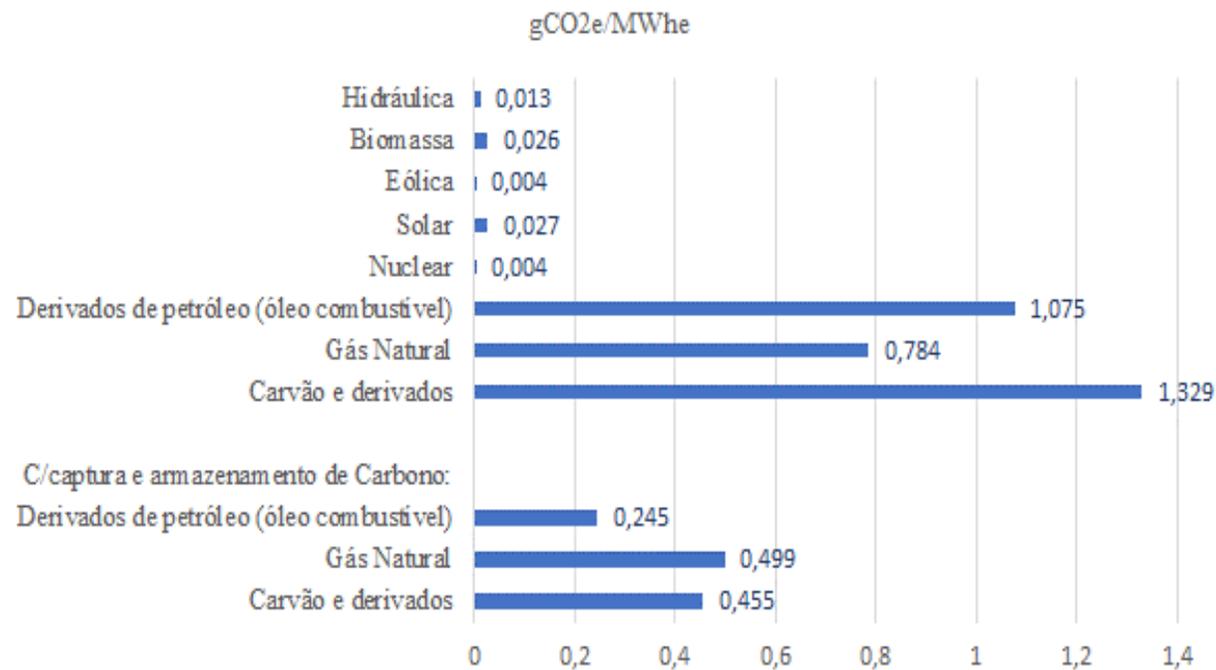


Fonte: Adaptado de EPE (2018b)

Observa-se que novas fontes renováveis despontaram com grande representatividade nos últimos anos. A energia proveniente de fonte Eólica passou a contar com relevante participação a partir de 2015/2016, superando, inclusive, outras fontes como o Bagaço de Cana e Lixívia. Cabe também a identificação da fonte solar, ainda que com pequena participação, se apresentando como alternativa.

No contexto do atendimento aos elementos orientadores estabelecidos pelo Grupo de Trabalho Aberto sobre Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (GTA-ODS) é importante avaliar o comportamento das fontes de energia em relação ao potencial de emissão de CO₂. O incremento por fontes renováveis produz efeito muito positivo frente alternativas habituais quando considerados os fatores de emissões de CO₂ por kWh por fonte. Para esta avaliação, os fatores de emissão utilizados neste estudo se baseiam no artigo de Portugal, Pereira et al. (2016), que apresenta metodologia e estudo de caso para o Setor Elétrico Brasileiro. O Gráfico 5 identifica os fatores de emissão para tecnologias observadas na expansão do sistema elétrico brasileiro.

Gráfico 5 - Emissões de Carbono por fonte



Fonte: (PORTUGAL-PEREIRA et al., 2016)

Verifica-se pelo Gráfico 5 - Emissões de Carbono por fonte, que as fontes hidráulicas e as energias denominadas renováveis e que estão em desenvolvimento na matriz elétrica nacional (biomassa, eólica e solar) apresentam nível de emissão de CO₂ mínimo, quando comparado com as tecnologias oriundas de combustível fóssil (óleo combustível, gás natural e carvão). Esta vantagem das renováveis também é visível mesmo considerando uso de tecnologias com fonte em combustíveis fósseis acopladas a processos de captura e armazenamento de carbono.

Constata-se assim que a maior participação dessas fontes é extremamente favorável.

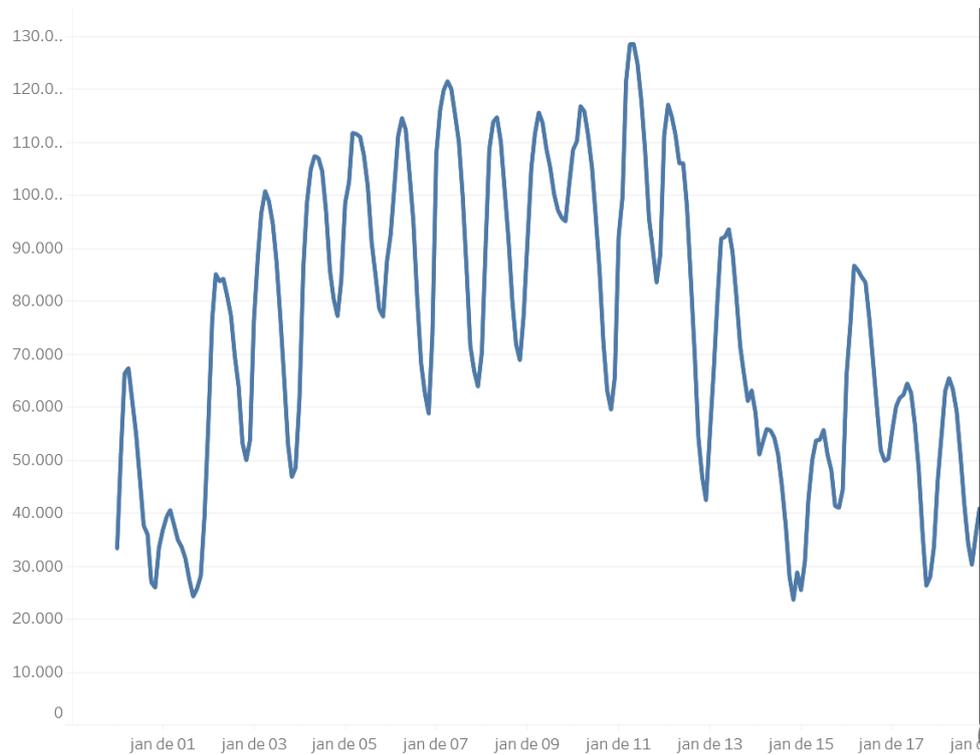
A PSR consultoria (2018) indica que externalidades referentes aos atributos de cada fonte não são valoradas de forma explícita nos leilões de energia realizados pelo governo para atender a expansão da oferta, em que pese o leilão por fonte possuir preços distintos para cada produto ofertado. Subsídios e incentivos também influenciam o resultado dos leilões e, consequentemente, a expansão do sistema. Como resultado, o preço final dos atuais leilões de energia não reflete todos os custos e benefícios de cada fonte.

No entanto, A PSR consultoria (2018) também indica que mudanças no perfil da geração brasileira podem resultar em perda de flexibilidade sistêmica com a inserção de renováveis, consequência do aumento da capacidade instalada no sistema com a inclusão de geração suprida por fontes não armazenáveis.

Conforme anteriormente mencionado, fontes renováveis como a eólica e solar fotovoltaica possuem o imediato aproveitamento da energia gerada.

Para melhor ilustrar a redução da flexibilidade que está ocorrendo, os gráficos a seguir identificam os níveis de armazenamento dos subsistemas elétricos do SIN nos últimos 20 anos. Os subsistemas elétricos identificados são os subsistemas Nordeste, Norte, Sudeste/Centro-Oeste e Sul e caracterizam, para o período de janeiro de 1999 a dezembro de 2018, a variação da energia armazenada em GWh.

Gráfico 6 - Energia Armazenada Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (GWh)

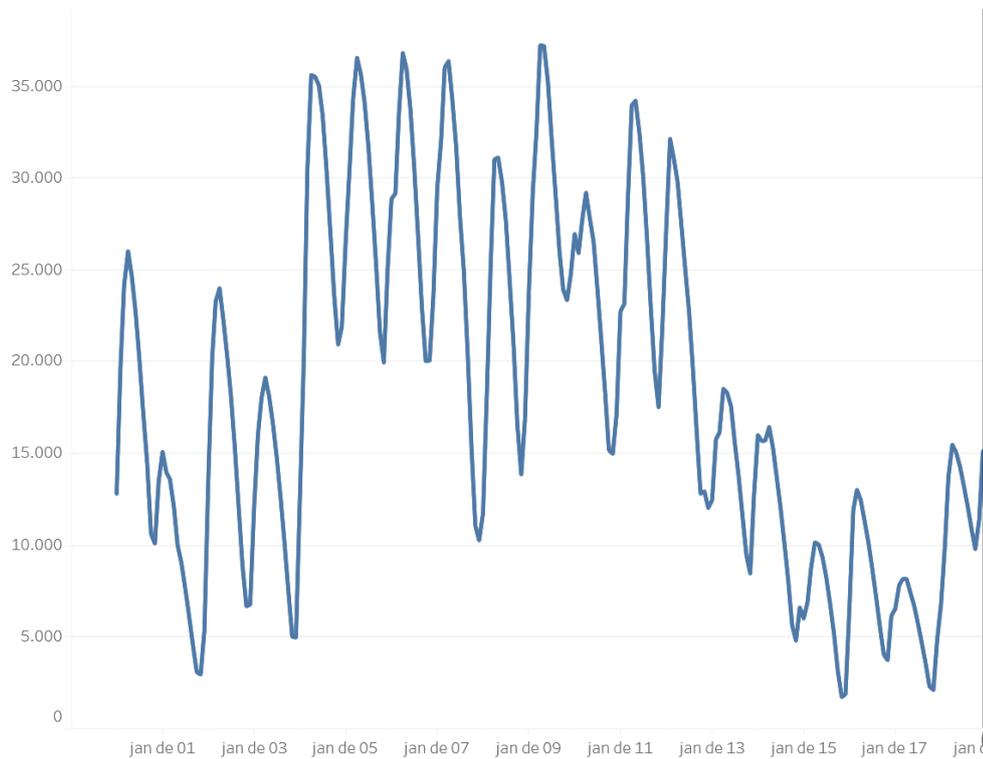


Fonte: Histórico da Operação do ONS (2018)

O subsistema Sudeste-Centro Oeste é o maior subsistema em volume de armazenamento de energia proveniente de fontes hídricas do país. A representatividade da capacidade de armazenamento deste subsistema torna ainda mais relevante para o sistema elétrico nacional a influência de um deplecionamento nos reservatórios do mesmo e, conseqüentemente, da capacidade de armazenar energia.

O que se verifica desde 2013 é a redução do armazenamento para patamares em torno de 50 % em relação aos 10 anos anteriores e em níveis próximos ao período de racionamento de energia no começo do século XXI.

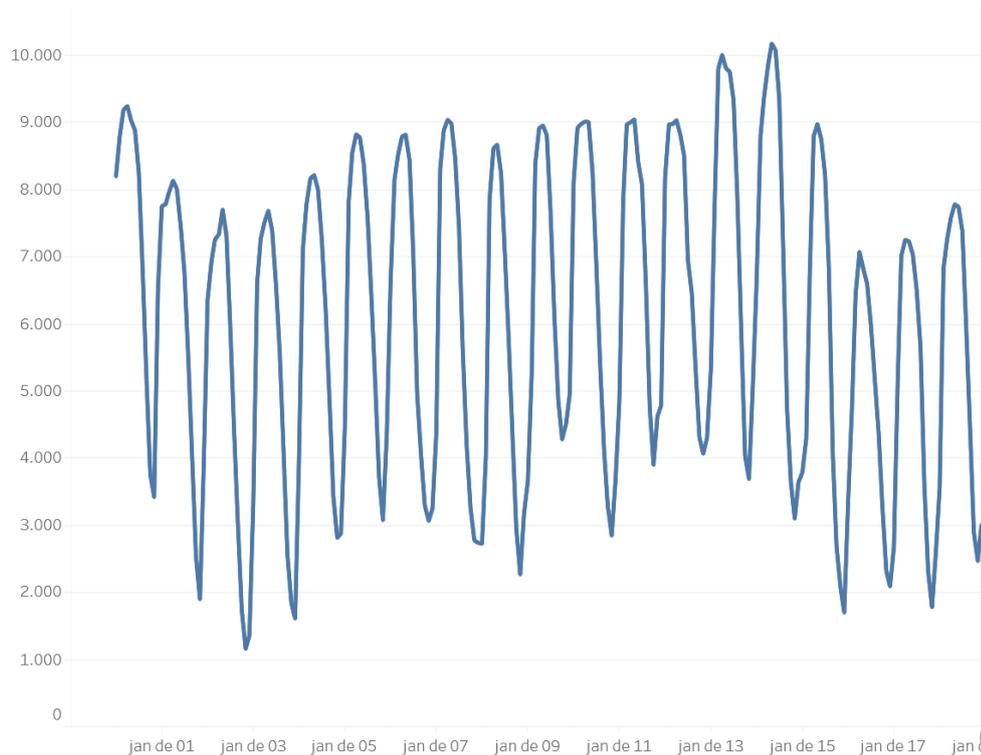
Gráfico 7 – Energia Armazenada Subsistema Nordeste (GWh)



Fonte: Histórico da Operação do ONS (2018)

O subsistema Nordeste é o segundo maior subsistema em armazenamento de energia proveniente de fontes hídricas do país. Assim como se verifica no subsistema Sudeste/Centro-Oeste, este subsistema apresenta queda de patamar de armazenamento desde 2013. Mesmo quando comparado ao período em que houve racionamento no Brasil (início dos anos 2000) verifica-se níveis inferiores e um período mais prolongado de deplecionamento dos reservatórios.

Gráfico 8 - Energia Armazenada Subsistema Norte (GWh)



Fonte: Histórico da Operação do ONS (2018)

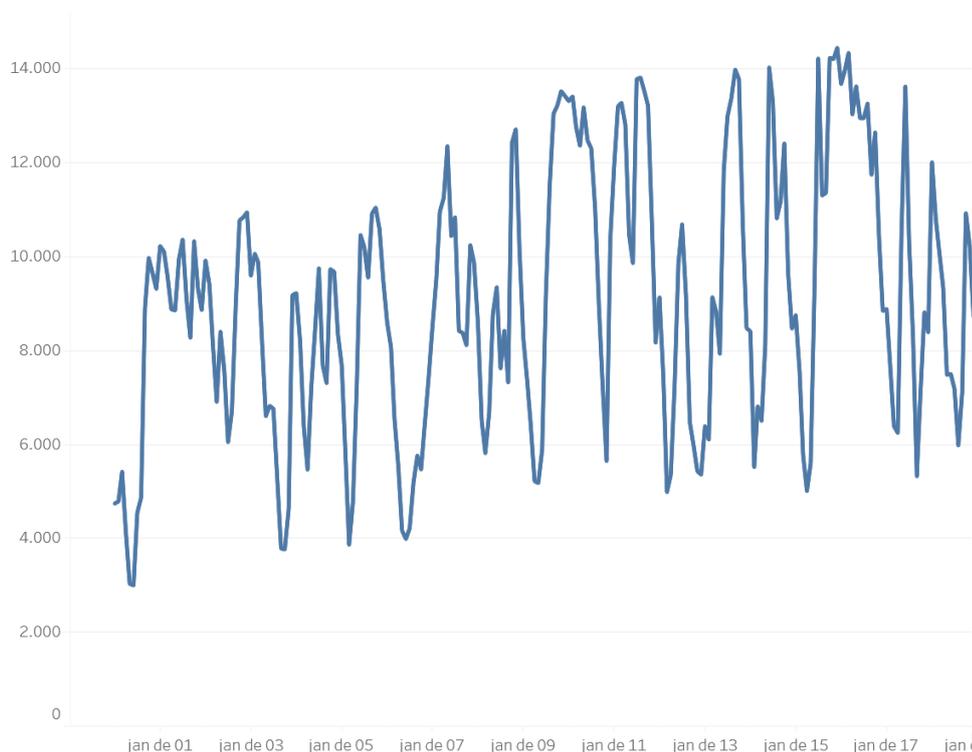
O subsistema Norte é o menor subsistema em armazenamento de energia proveniente de fontes hídricas do país. Possui uma determinada estabilidade, mas também demonstra nos últimos anos uma queda, ainda que proporcionalmente menor do que os demais, que são subsistemas de maior porte.

Os gráficos acima identificam patamares de armazenamento menores desde 2013 para os subsistemas Nordeste, Norte e Sudeste/Centro-Oeste do SIN.

A influência das vazões do sistema hídrico nacional e sua capacidade de armazenamento influenciam na operação e na necessidade de complementariedade energética.

O gráfico, a seguir, apresenta o único sistema que possui os mesmos patamares de variações hídricas ao longo dos últimos 20 anos, que é o Subsistema Sul.

Gráfico 9 - Energia Armazenada Subsistema Sul (GWh)



Fonte: Histórico da Operação do ONS (2018)

Ainda que este subsistema sul possua similaridade na variação do armazenamento, sua representatividade no SIN em termos de volume de energia armazenada em GWh é baixa, conforme evidencia-se na análise de capacidades dos atingidas ao longo do período nos subsistemas.

Ao se avaliar as capacidades dos subsistemas, verificou-se que o subsistema Sudeste/Centro-Oeste é o que possui o maior volume de energia armazenável, que pode chegar a 130 GWh, como apontado no melhor ano do histórico apresentado. Somados os melhores períodos dos demais subsistemas – de forma não coincidentes – o volume de armazenamento resultaria em aproximadamente 58 GWh.

Ao se observar períodos de maior deplecionamento dos subsistemas, observa-se: Sudeste/Centro-Oeste com aproximadamente 25 GWh e os demais subsistemas somando 6 GWh em seus piores anos não coincidentes.

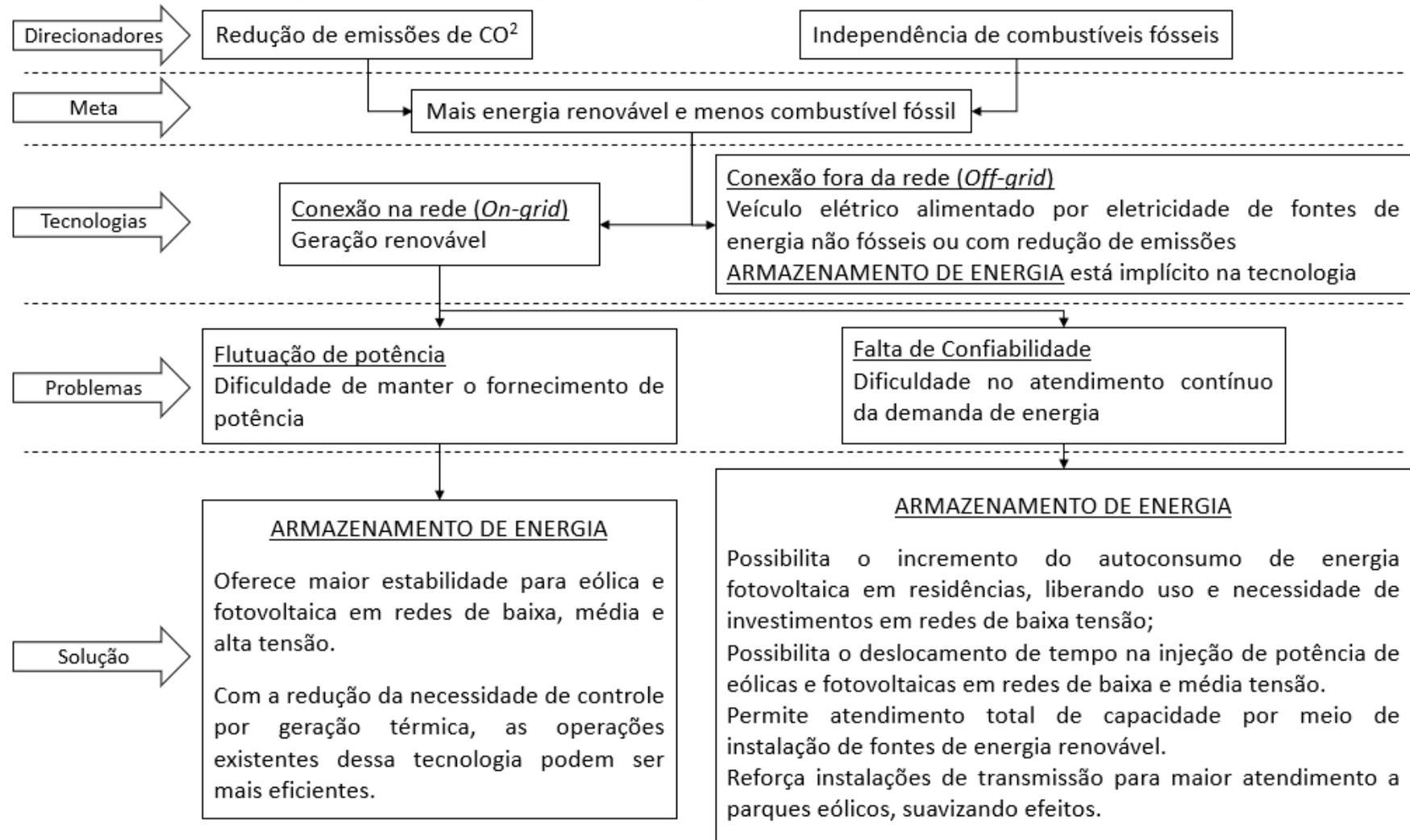
Portanto, a segurança energética proveniente dos armazenamentos dos subsistemas do SIN é muito dependente do subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

Esta grande dependência do armazenamento energético por fontes hidráulicas e a manutenção destes patamares de armazenamento inferiores ao histórico da operação dos

sistemas resultam em necessidade de outras fontes de suprimento para manter a segurança energética além da capacidade dos reservatórios e da simples inserção de outras renováveis.

A caracterização de problemas ocasionados pelo aumento de taxas de geração renováveis foi identificada pela Comissão Internacional Eletrotécnica. Ao elaborar o relatório sobre a tecnologia de Armazenamento de Energia em IEC (2011), questões como os problemas como flutuação de tensão e falta de confiabilidade foram elencados e estão apresentados na Figura 2 – Problemas na geração de energia por fontes renováveis e possíveis soluções.

Figura 2 – Problemas na geração de energia por fontes renováveis e possíveis soluções



Fonte: adaptado de IEC (2011)

O trabalho da IEC identifica que para atender os direcionadores que objetivam a redução de emissões de CO₂ por meio de energias renováveis as soluções de armazenamento de energia sempre estão associadas.

1.1.5 Armazenamento de Energia

Diversos papéis exercidos pelo armazenamento de energia podem representar serviços adicionais prestados pelas distribuidoras de energia ou inerentes ao próprio negócio de distribuição.

Neste sentido, o IEC (2011) descreve em quais situações a tecnologia de armazenamento de energia podem ser relevantes no processo das próprias distribuidoras.

O Quadro 3 - Uso do armazenamento por distribuidoras de energia - identifica as seguintes situações: como variação horária ou *time shifting*, qualidade da energia ou *power quality*, eficiência no uso de rede, sistemas isolados e o já utilizado uso como energia emergencial para uso em proteção e controle de equipamentos do sistema – e as respectivas características de uso.

Quadro 3 - Uso do armazenamento por distribuidoras de energia

Finalidade	Características do uso
Variação horária ou <i>time shifting</i>	<p>Implementação de capacidade de geração de ponta para atender demandas de pico.</p> <p>Para algumas concessionárias o custo de geração pode ser reduzido com o armazenamento de eletricidade fora dos horários de pico, por exemplo, à noite, descarregando-a nos horários de pico. A diferença de custo na demanda de pico é o que indicará o benefício de armazenar eletricidade.</p> <p>O uso do armazenamento permite diminuir a diferença da potência instalada e necessária para atender o período diurno e o período noturno, por exemplo, possibilitando um sistema com modelo de geração mais eficiente.</p> <p>Já são encontradas soluções comerciais de usinas hidrelétricas bombeadas e, mais recentemente, baterias em larga escala acopladas a subestações.</p>
Qualidade da energia ou <u>power quality</u>	<p>Um serviço básico fornecido por concessionárias de energia é a manutenção dos níveis de tensão e frequência em um determinado nível de tolerância. A frequência é controlada ajustando a saída de geradores ou linhas de energia e a tensão é geralmente controlada por derivações de transformadores e potência reativa com modificadores de fase.</p> <p>O armazenamento de energia pode fornecer funções para controle de frequência e, quando localizado no final de uma linha com carga pesada, pode melhorar as quedas de tensão ao descarregar a eletricidade, reduzindo a necessidade de ajustes de tensão.</p>
Eficiência no uso de rede	<p>Impedimentos em reforços de linhas para atendimento de demanda podem levar a congestionamento de rede. A implantação de baterias de grande porte instaladas em subestações apropriadas podem atenuar este congestionamento adiando ou, até mesmo, suspendendo a necessidade do reforço da rede.</p>
Sistemas isolados	<p>Pequenas redes de energia isoladas, como por exemplo em uma ilha, necessitam de geradores que atendam ao pico de demanda de energia. O armazenamento de energia pode estabilizar o fornecimento e a capacidade instalada pode ser a que atenda a média da demanda.</p>
Energia emergencial	<p>Armazenamento de energia que objetiva o uso em sistemas de proteção e controle de equipamentos.</p> <p>Aplicações já usuais.</p>

Fonte: adaptado de IEC (2011)

A IRENA (2017) também apresenta as possibilidades de uso do armazenamento de energia e inclui em seus estudos as perspectivas de evolução de aplicações de forma a considerar o período de transição energética que o mundo está vivenciando.

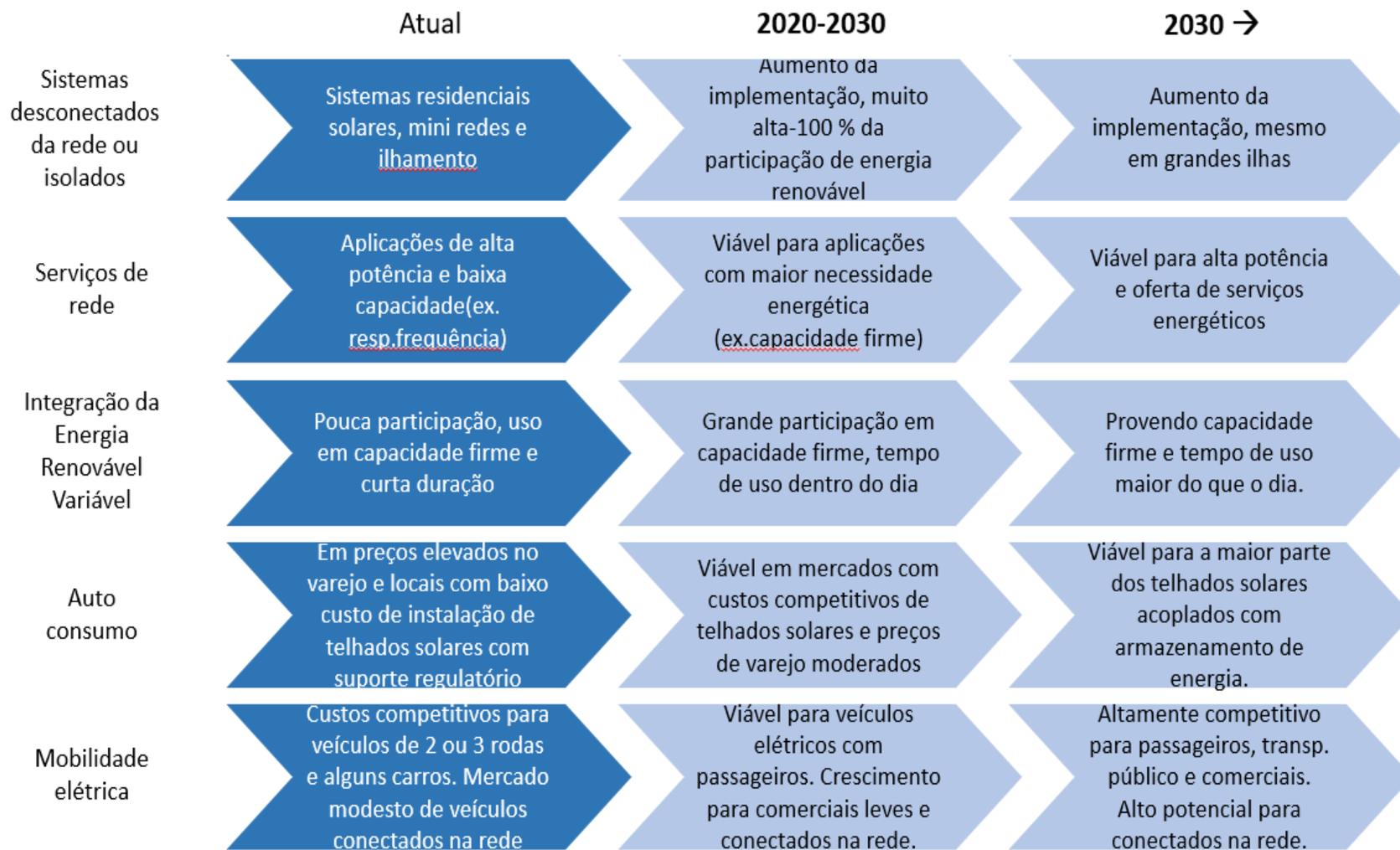
A Figura 3 - Necessidades do armazenamento de energia na transição energética - resume a expectativa da IRENA (Agência Internacional para as Energias Renováveis) com relação aos sistemas envolvidos e avanços esperados ao longo dos próximos anos.

Destaca-se nas perspectivas apresentadas por IRENA (2017), que as tecnologias de armazenamento de energia devem constituir importantes ativos, já na próxima década.

Diversos usos em sistemas de energia, que passam por sistemas desconectados da rede, conectados como serviços de rede ou aplicações integradas a energias renováveis ou como autoconsumo e veículos elétricos.

A evolução projetada para a partir de 2030 indica que a tecnologia estará plenamente inserida em termos de competitividade para todos os sistemas.

Figura 3 - Necessidades do armazenamento de energia na transição energética



Fonte: Adaptado de IRENA (2017)

Avanços são esperados no Brasil com relação às tecnologias que permitam a integração entre as novas fontes e possibilite maior flexibilidade no atendimento ao mercado, desde a publicação do Plano Decenal de Energia – PDE - 2026 e da minuta proposta pelo Ministério de Minas e Energia em fevereiro de 2018 (MME, 2018), no âmbito da Consulta Pública n.033/2017.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ao publicar o Plano Decenal de Energia (PDE) (EPE, 2017) identificou a necessidade, em relação ao armazenamento de energia, de implementar alterações em modelos computacionais de operação e planejamento para que exista uma discretização temporária ou seja, particionar em menor intervalo de tempo, de forma a possibilitar maior flexibilidade operativa e capacidade de atendimento à ponta, favorecendo hidrelétricas reversíveis, baterias de armazenamento ou termelétricas de partida rápida. A superação desta barreira temporal dos modelos computacionais é necessária para possibilitar a expansão e competitividade das tecnologias.

Sobre este ponto, houve aprimoramentos do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI) (EPE, 2018c). As principais evoluções do modelo foram a discretização por patamares de carga e a incorporação das tecnologias de armazenamento.

A minuta proposta pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2018), no âmbito da Consulta Pública n.033/2017 para o aprimoramento do marco legal do setor elétrico, dispôs:

“dispositivo regulamentar que prevê que, a partir da implantação da separação de lastro e energia, o Poder Concedente poderá contratar a energia no mercado regulado (...), e contratar empreendimentos por fonte ou híbridos, o que valoriza as energias renováveis e as soluções de armazenamento.”

Prevalendo este dispositivo conforme minuta, a partir de 30 de junho de 2020 o poder concedente deveria incluir na contratação de novos empreendimentos o atendimento de necessidades sistêmicas, admitindo-se o armazenamento associado.

Em estudo sobre benefícios e custos das fontes de geração de energia elétrica no Brasil, o Instituto Escolhas¹ (2018) considera que a garantia de um fornecimento de energia deve estar associada a vários objetivos, de forma simultânea:

¹ Instituto Escolhas é uma associação civil sem fins econômicos, fundada em agosto de 2015, para qualificar o debate sobre sustentabilidade por meio da tradução numérica dos impactos econômicos, sociais e ambientais das decisões públicas e privadas. Seu objetivo é produzir estudos,

- a) Tarifas módicas para o consumidor;
- b) Confiabilidade, com a redução de falhas de suprimento e potência;
- c) Robustez no fornecimento, resistindo a falhas catastróficas ou de suprimento energético;
- d) Cumprimento de compromissos do país, como a limitação de gases de efeito estufa em razão do Acordo de Paris, celebrado na COP-21.

Com estes objetivos, o Instituto Escolhas (2018) apresentou uma metodologia de precificação de valoração de fontes de suprimento energético incluindo atributos que estão além dos atualmente observados no modelo energético nacional. No atual modelo os principais vetores são os associados aos custos de investimento e operação, por vez alicerçados em subsídios e isenções.

Como complemento, o estudo indica a inclusão de atributos como: serviços prestados pela fonte (modulação, sazonalidade, robustez e confiabilidade), custos de infraestrutura causados ou evitados pelo gerador e custos ambientais (ESCOLHAS, 2018).

A ANEEL (2018), em discussão no âmbito da CP 010/2018 relativa ao aprimoramento da REN 482/2012 que regulamenta a aplicação de um sistema de compensação de energia para micro e mini geração distribuída também sinaliza a ampliação de atributos de valoração como redução de CO₂, geração de empregos, impactos ambientais, desenvolvimento de mercado com pulverização de investimentos, redução de perdas técnicas, capacidade evitada em geração, etc.

Estes tipos de iniciativas, com base em inclusão de atributos que conferem maior assertividade para aspectos até então não mensurados, podem ser fatores chave para que tecnologias de armazenamento sejam incluídas no rol de tecnologias utilizadas. As aplicações voltadas ao armazenamento podem contribuir de forma essencial para competitividade de determinadas fontes energéticas e sob a aplicação de fatores ainda não observados pelos modelos de planejamento, constituirão componentes modulares na composição de novos projetos.

Um planejamento específico por expansão de capacidade de geração sem valorar outros atributos – como atributos ambientais, horários, serviços prestados ao sistema e externalidades, ainda que careçam de mais estudos - privilegia o uso de tecnologias de

análises e relatórios que amparem novas leituras e argumentos capazes de superar a polarização ideológica das escolhas conflituosas do planejamento, permitindo a construção de soluções para viabilizar o desenvolvimento sustentável.

geração oriundas de combustíveis fósseis em detrimento de fontes complementares renováveis com tecnologias de armazenamento associadas.

Entretanto, estes diversos atributos envolvendo a evolução dos sistemas elétricos colocam a tecnologia de armazenamento de energia com extrema relevância, tornando-a passível de observação em termos de planejamento energético nacional, especialmente considerando que os principais planos de governo, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE), contemplam horizontes temporais que avançam sobre o período previsto para a transição energética.

As situações observadas na literatura identificaram que não existem discussões científicas no Brasil quanto à inserção efetiva da tecnologia de armazenamento de energia como ponto chave da transição energética no planejamento energético nacional.

Esta constatação abre uma lacuna para investigações. Paralelamente, verificou-se que o tema tem sido incorporado nas políticas de países como Estados Unidos e Austrália, Alemanha e Japão, entre outros.

Considerando estas premissas surgem algumas hipóteses para esta pesquisa:

- a) o tema armazenamento ainda é pouco considerado no planejamento energético;
- b) a experiência de outros países com armazenamento energético pode gerar subsídios para o planejamento de políticas públicas nacionais.

2 OBJETIVOS

Como forma de sistematizar e orientar o trabalho de pesquisa foram estabelecidos objetivos geral e específicos para a dissertação.

2.1 OBJETIVO GERAL

Diante do cenário de incremento das fontes de energia intermitentes na matriz energética, das novas tecnologias de armazenamento de energia elétrica como mecanismo de flexibilidade de uso da energia gerada, dos compromissos internacionais firmados no âmbito da Conferência das Nações Unidas em direção ao desenvolvimento sustentável pós 2015, este trabalho tem como objetivo principal identificar políticas públicas relacionadas ao armazenamento de energia e aplicações que atendam a realidade brasileira, considerando exemplos internacionais. Para o estudo foram considerados modelos internacionais dos Estados Unidos da América e Austrália.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos do trabalho, elenca-se:

- a) revisar o estado da arte das principais tecnologias de armazenamento de energia elétrica;
- b) avaliar como o planejamento energético nacional influencia os processos decisórios sobre as fontes que são ou serão adotadas;
- c) identificar quais políticas são adotadas como incentivo à implementação de sistemas de armazenamento de energia;
- d) identificar nas experiências internacionais referidas anteriormente quais políticas voltadas ao armazenamento de energia podem orientar políticas nacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, considerando os objetivos deste trabalho, serão apresentados os seguintes tópicos:

- a) Tecnologias para o armazenamento de energia;
- b) Planejamento energético;
- c) Políticas públicas nacionais relacionadas ao armazenamento de energia; e,
- d) Políticas públicas internacionais relacionadas ao armazenamento de energia.

De acordo com revisão sistemática realizada, alguns autores por meio de seus trabalhos, auxiliam na construção desta pesquisa, promovendo e qualificando discussões relevantes sobre o tema em estudo.

Em tecnologias de armazenamento de energia são apresentados aspectos relativos a características de atendimento, status de evolução comercial e tecnológica e o tratamento de final do ciclo de vida para algumas tecnologias.

Com a revisão, detalhando as tecnologias, também será avaliado o contexto do planejamento energético nacional passando por um histórico, estrutura e modelos.

As definições do planejamento energético são consubstanciadas em políticas públicas. Considerando a experiências dos Estados Unidos e Austrália em políticas públicas relacionadas com a tecnologia de armazenamento de energia buscou-se elencar suas iniciativas e ações.

3.1 TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Luo et al. (2015) em seu estudo intitulado "*Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation*" apresentam o estado da arte das tecnologias de armazenamento de energia. De acordo com os autores as tecnologias podem ser classificadas em seis formas: Mecânica; Eletroquímica; Elétrica; Termoquímica; Química; e, Térmica. Estas tecnologias serão detalhadas nesta seção.

Ao avaliar os benefícios do sistema de tecnologias de armazenamento, é importante considerar dois aspectos principais (STRBAC et al., 2012):

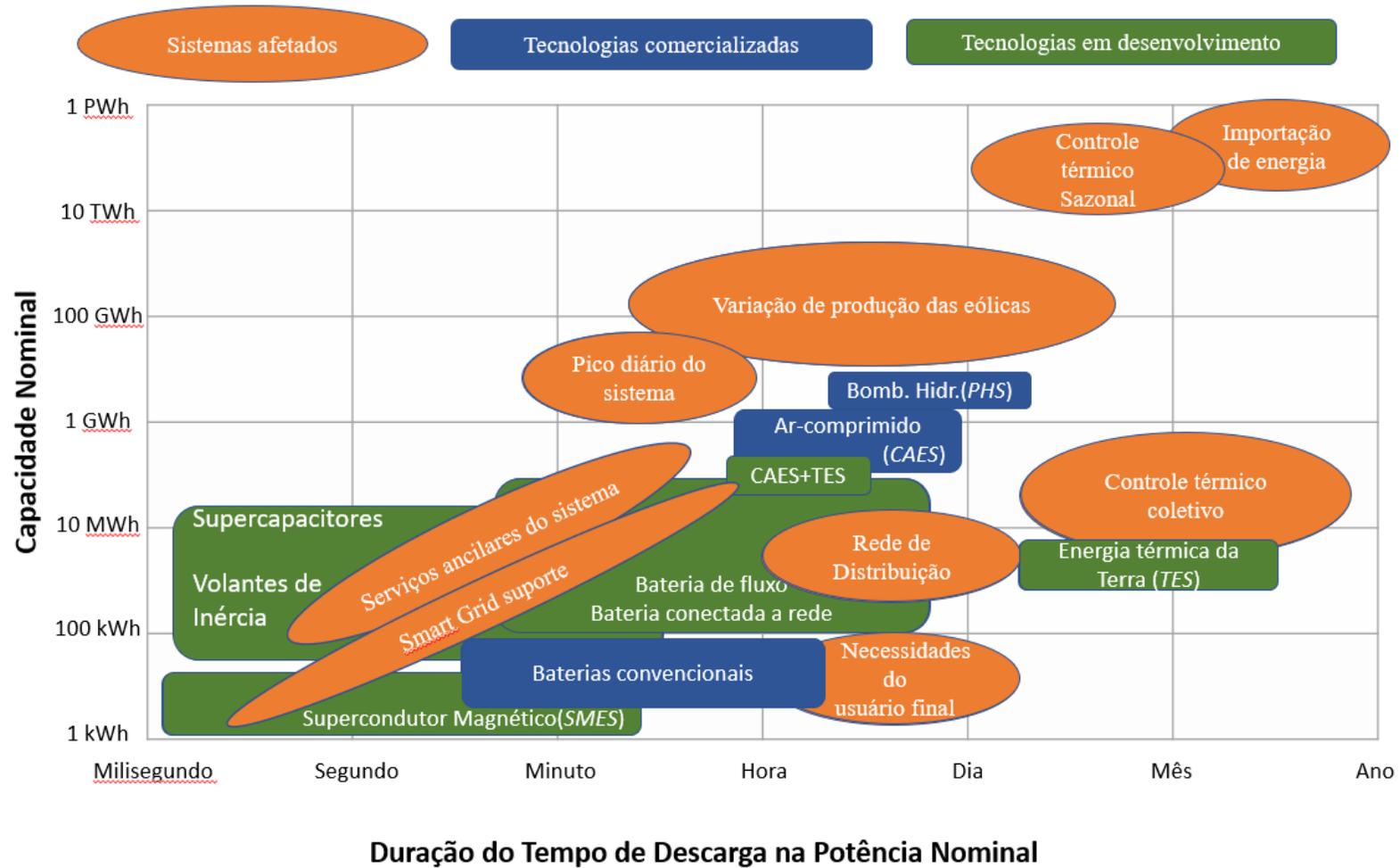
- a) Diferentes horizontes de tempo: está relacionado com investimentos de longo prazo ou ao balanceamento em tempo real em uma escala de segundo a segundo. Com base neste aspecto as tecnologias de armazenamento podem contribuir para aumentar a eficiência do sistema elétrico, melhor aproveitamento dos ativos de geração ou até mesmo mitigação de investimentos em transmissão.
- b) Diferentes ativos no sistema de energia: as tecnologias de armazenamento podem ser inseridas em diferentes pontos do sistema elétrico, incluindo ativos de geração (de larga escala a pequena escala distribuída), rede de transmissão (nacional e interconexões) e rede de distribuição local operando em vários níveis de tensão. Assim, desde tecnologias em grande escala conectadas à rede de transmissão nacional, como armazenamento em grande escala, até tecnologias amplamente distribuídas e conectadas a redes locais de distribuição de baixa voltagem, podem estar contempladas.

Strbac et al.(2012) ao dispor sobre a importância de tecnologias capturarem as interações em diferentes escalas de tempo e em diferentes tipos de ativos, inclui tecnologias alternativas de balanceamento de carga, como armazenamento e resposta do lado da demanda. Este ponto é essencial para a análise de futuros sistemas de eletricidade de baixa emissão de carbono.

Derivado do estudo de publicações recentes, Luo et al. (2015) apresentam as capacidades e aplicações de tecnologias de armazenamento, o status de desenvolvimento ou comercialização e o potencial para enfrentar os desafios de segurança e confiabilidade dos sistemas de energia no Reino Unido. No contexto deste trabalho, a avaliação das tecnologias é similar ao que muitos países devem enfrentar com as tendências de transição energética.

A Figura 4 - Capacidades e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia, apresenta as tecnologias em fase comercial e em desenvolvimento em base de tempo de descarga na potência nominal (milissegundo até ano) e capacidade nominal de atendimento (Wh). Sob esses aspectos de tempo de descarga e capacidade de atendimento é possível ilustrar por sobreposição quais os sistemas de energia que podem ser afetados pela inserção destas tecnologias, de acordo com o tempo de descarga na potência e capacidades nominais.

Figura 4 - Capacidades e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia



Fonte: Adaptado de LUO et al.(2015)

Conclui-se pela Figura 4 - Capacidades e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia, que as tecnologias, ainda que em desenvolvimento ou já comercializáveis, são capazes de cobrir tempo de duração de descargas de potência com variações de período da ordem de milissegundos a meses. Individualmente ou em módulos as capacidades nominais de diversos sistemas podem ser supridas, parcialmente ou em sua totalidade. Notadamente, a principal questão de inclusão do armazenamento é o estágio de desenvolvimento das tecnologias. O bombeamento hidráulico, as tecnologias de ar comprimido e as baterias convencionais são as que apresentam estágio efetivo de comercialização.

Estas tecnologias já comercializáveis são capazes de atingir, por capacidade e tempo de descarga, funções relevantes em sistemas de grande importância, como serviços ancilares - serviços que constituem requisitos técnicos essenciais para que o SIN opere com qualidade e segurança, *smart grid* suporte, rede de distribuição, necessidades do uso final e, de forma modular poderiam satisfazer a necessidade de atendimento de capacidade nominal para pico diário do sistema e variação da geração proveniente de eólicas.

3.2 TIPOS DE TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Luo et al. (2015) em seu estudo "*Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation*" aponta que as tecnologias empregadas para cada forma de armazenamento são categorizadas da por:

- a) mecânica (armazenamento hidrelétrico bombeado, armazenamento de energia de ar comprimido e volantes de inércia "*flywheels*");
- b) eletroquímica (baterias recarregáveis convencionais e baterias de fluxo);
- c) elétrica (capacitores, supercapacitores e armazenamento de energia magnética supercondutora);
- d) termoquímicas (combustíveis solares e armazenamento com células combustível);
- e) armazenamento de energia térmica (armazenamento de calor sensível e armazenamento de calor latente).

De acordo com o estudo de Kyriakopoulos e Arabatzis (2016), os principais parâmetros associados às tecnologias de armazenamento são:

- a) classificação de potência;
- b) classificação de energia;
- c) tempo de resposta;
- d) densidade de energia;
- e) densidade de potência;
- f) temperatura de operação;
- g) descarga automática;
- h) eficiência;
- i) vida útil em ciclos de recargas.

Entre esses parâmetros-chave, o estudo revela que os mais importantes em relação ao *know-how* de capacidade das tecnologias de armazenamento são a densidade de energia, densidade de potência, eficiência e recursos de descarga/recarga.

A seguir, são apresentadas as tecnologias contempladas no estudo de Luo et al. (2015) e complementando-as, quando pertinente, com informações de outras fontes, observando o detalhamento construtivo e/ou operacional de forma individual.

3.2.1 **Armazenamento Hidroelétrico Bombeado (PHS) ou Usinas Hidroelétricas Reversíveis (UHR)**

Uma usina PHS típica utiliza dois reservatórios de água, separados verticalmente. Durante as horas de demanda de eletricidade fora do pico, a água é bombeada para o reservatório de nível mais alto; durante as horas de pico, a água pode ser liberada de volta para o reservatório de nível inferior. No processo, a água aciona unidades de turbina que acionam as máquinas elétricas para gerar eletricidade.

A quantidade de energia armazenada depende da diferença de altura entre os dois reservatórios e do volume total de água armazenada.

A potência nominal das usinas de PHS depende da pressão da água e da taxa de fluxo através das turbinas e da potência nominal das unidades de bomba / turbina e gerador / motor.

3.2.2 **Armazenamento de energia de ar comprimido (CAES)**

Durante os períodos de baixa demanda de energia, a eletricidade excedente aciona uma unidade de motor / gerador reversível para executar uma cadeia de compressores para

injetar ar em um reservatório de armazenamento, que pode ser uma caverna subterrânea ou tanques sobre a terra. A energia é armazenada na forma de ar de alta pressão.

Quando a geração de energia não consegue atender a demanda de carga, o ar comprimido armazenado é liberado e aquecido por uma fonte de calor que pode ser proveniente da combustão de combustível fóssil ou do calor recuperado da compressão do processo.

A energia do ar comprimido é finalmente capturada pelas turbinas e o calor residual do escape pode ser reutilizado por uma unidade de recarga.

De acordo com a *Energy Storage Association* - ESA (2018), devido à baixa densidade de armazenamento do CAES, são necessárias grandes áreas. O uso de cavernas salinas, artificialmente construídas em formações de sal profundo, é apropriado pois possuem propriedades importantes, como: alta flexibilidade sem perdas de pressão e não reagem com o oxigênio do ar e a rocha hospedeira salgada.

Como alternativa é possível o uso de aquíferos naturais. Entretanto, este método necessita maiores estudos relativos à reação com oxigênio, formação de microorganismos e depleção ou o bloqueio dos espaços porosos no reservatório.

Avanços em estudos de uso de campos de gás natural esgotados também estão sendo realizados e, além das questões de esgotamento e bloqueio, a mistura de hidrocarbonetos residuais com ar comprimido é ponto a ser considerado.

3.2.3 Volante de inércia (FES)

Um moderno sistema FES é composto por cinco componentes principais: um volante de inércia - que se trata de uma massa girante armazenando energia cinética - um grupo de mancais, um motor / gerador elétrico reversível, uma unidade eletrônica de potência e uma câmara de vácuo.

Os sistemas FES usam eletricidade para acelerar ou desacelerar o volante, isto é, a energia armazenada é transferida para ou a partir do volante através de um motor-gerador integrado. Para reduzir o cisalhamento do vento e a perda de energia da resistência do ar, o sistema FES pode ser colocado em um ambiente de alto vácuo.

A quantidade de energia armazenada depende da velocidade de rotação do volante e de sua inércia.

3.2.4 Baterias

A bateria recarregável é uma das tecnologias de armazenamento de energia mais utilizadas no dia a dia e consiste em um número de células eletroquímicas conectadas em série ou em paralelo, que produzem eletricidade com uma voltagem desejada de uma reação eletroquímica. Cada célula contém dois eletrodos (um ânodo e um cátodo) com um eletrólito que pode estar em estado sólido, líquido ou poroso/viscoso e pode converter, bidirecionalmente, energia elétrica e química.

As baterias podem ser amplamente utilizadas em diferentes aplicações, como qualidade de energia, gerenciamento de energia, sistemas de energia e transporte.

Atualmente, tempos de ciclagem relativamente baixos e altos custos de manutenção têm sido considerados como as principais barreiras para a implementação de grandes instalações.

A eliminação ou reciclagem de baterias descarregadas deve ser considerada se forem utilizados materiais químicos tóxicos. Jiao e Evans (2016) ainda apresenta especial interesse do setor energético para modelos de negócio que possam reaproveitar as baterias de uso potencial no setor de transporte, ao fim de sua vida útil para a função original exercida, como integração energética de fontes renováveis e balanço de demanda.

Os tipos de baterias variam de acordo com sua composição, cuja reação química faz com que varie a tensão unitária. As principais composições são: chumbo ácido; íon-lítio; sal fundido; níquel-cádmio; hidreto metálico de níquel; cloreto níqueloso.

3.2.4.1 Baterias de fluxo (FBES)

Uma bateria de fluxo armazena energia em dois pares redox (redução/oxidação) solúveis nos tanques de eletrólito líquido externo. Esses eletrólitos podem ser bombeados dos tanques para a pilha de células, que consiste de dois compartimentos de fluxo de eletrólito separados por membranas seletivas de íons.

A operação é baseada em reações de redução-oxidação das soluções eletrolíticas. Durante a fase de carga, um eletrólito é oxidado no ânodo e outro eletrólito é reduzido no cátodo, e a energia elétrica é convertida na energia química do eletrólito. Este processo é revertido durante a fase de distribuição.

As baterias de fluxo podem ser classificadas nas categorias de baterias de fluxo redox e baterias de fluxo híbrido, dependendo se os componentes eletroativos podem ser dissolvidos no eletrólito.

3.2.5 Capacitores ou supercapacitores

Um capacitor é composto de pelo menos dois condutores elétricos (normalmente feito de folhas de metal) separados por uma fina camada de isolador (normalmente feito de cerâmica, vidro ou filme plástico). Quando um capacitor é carregado a energia é armazenada no material dielétrico em um campo eletrostático.

Capacitores são apropriados para armazenar pequenas quantidades de energia elétrica e conduzir uma tensão variável e possuem maior densidade de potência e menor tempo de carregamento em comparação com as baterias convencionais. No entanto, eles têm capacidade limitada, densidade de energia relativamente baixa e alta dissipação de energia devido às altas perdas de auto descarga. Supercapacitores, também denominados capacitores elétricos de camada dupla ou ultra capacitores, contêm dois eletrodos condutores, um eletrólito e um separador de membrana porosa.

A energia é armazenada na forma de carga estática nas superfícies entre o eletrólito e os dois eletrodos condutores. As densidades de energia dos supercapacitores estão entre as baterias recarregáveis e os capacitores tradicionais.

3.2.6 Armazenamento de energia magnética supercondutora (SMES)

Um sistema SMES típico é composto por três componentes principais: bobina supercondutora; condicionamento de energia; e, subsistema de refrigeração e vácuo.

O sistema SMES armazena energia elétrica no campo magnético gerado pela Corrente Direta (DC) na bobina supercondutora, resfriada criogenicamente a uma temperatura abaixo de sua temperatura crítica supercondutora. Em geral, quando a corrente passa através de uma bobina, a energia elétrica será dissipada como calor devido à resistência do fio.

A bobina, feita de um material supercondutor como mercúrio ou vanádio, sob seu estado supercondutor (normalmente em uma temperatura muito baixa), possui resistência aproximada a zero e a energia elétrica pode ser armazenada quase sem perdas. Um material supercondutor comumente utilizado é o *Niobium–Titanium*.

3.2.7 Combustível Solar

O combustível solar é uma tecnologia relativamente nova para o armazenamento de energia. Abordagens científicas para produzir combustíveis solares incluem: fotossíntese natural; fotossíntese artificial; e termoquímicas.

Uma série de combustíveis pode ser produzida pela energia solar, como o hidrogênio solar, os combustíveis à base de carbono e o tubo de calor químico solar. Esses combustíveis podem ser armazenados e, posteriormente, fornecem a base para geração posterior de eletricidade.

Para as duas primeiras abordagens para produzir combustíveis solares, a energia solar é capturada via fotossíntese e depois armazenado em ligações químicas. A luz solar é usada para converter água e/ou dióxido de carbono em oxigênio e outros materiais.

3.2.8 Armazenamento de hidrogênio e célula combustível

Sistemas de armazenamento de energia de hidrogênio usam dois processos separados: para armazenar energia e produzir eletricidade.

O uso de uma unidade de eletrólise da água é uma maneira comum de produzir hidrogênio que pode ser armazenado em recipientes de alta pressão e/ou transmitido por tubulações para uso posterior. Ao usar o hidrogênio armazenado para a geração de eletricidade, a célula de combustível (também conhecida como célula de combustível regenerativa) é adotada, que é a tecnologia-chave no hidrogênio.

As células de combustível podem converter energia química em hidrogênio e oxigênio para eletricidade. Energia elétrica e térmica são liberadas durante o processo.

3.2.9 Armazenamento de energia térmica (TES)

O TES engloba uma variedade de tecnologias que armazenam energia térmica usando diferentes abordagens em repositórios isolados. Um sistema TES normalmente consiste em um meio de armazenamento em um reservatório/tanque, um resfriador embalado ou sistema de refrigeração, tubulação, bomba(s) e controles.

Com base na faixa de temperatura de operação, o TES pode ser classificado em dois grupos: TES de baixa temperatura (consistindo de TES de baixa temperatura aquífera e armazenamento de energia criogênica) e TES de alta temperatura (incluindo calor latente (fusão) TES, calor sensível TES e armazenamento térmico de concreto). O TES a baixa

temperatura por aquífero normalmente usa processos de resfriamento a água e reaquecimento, o que é mais adequado para o pico e cargas de resfriamento industrial.

O armazenamento de energia criogênica emprega um método criogênico (como nitrogênio líquido ou ar líquido) para obter a conversão em energia elétrica e térmica.

3.2.10 Armazenamento de energia elétrica híbrido

O armazenamento de energia elétrica híbrido refere-se à integração de pelo menos duas tecnologias de armazenamento de energia diferentes em um sistema ou aplicativo.

As vantagens de cada tecnologia de armazenamento de energia híbrido podem ser utilizadas para atender a requisitos específicos, atender ambientes de trabalho adversos, otimizar todo o desempenho do sistema ou melhorar a eficiência do ciclo. Por exemplo, a primeira grande usina piloto, conhecida como ADELE utiliza as tecnologias CAES e TES para melhorar a eficiência e evitar o consumo de combustível fóssil.

A combinação de tecnologias de supercapacitores e baterias pode oferecer capacidade de armazenamento relativamente grande e elevadas taxas de carga e descarga.

3.3 STATUS ATUAL E PERSPECTIVAS PARA AS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO

Das tecnologias identificadas por Luo et al (2015) obtém-se o seguinte quadro de aplicações comerciais ou em estudo, com os respectivos intervalos de capacidades, quando pertinente:

Quadro 4 – Aplicações de armazenamento de energia, locais e potências

PHS	CAES	FES	Baterias
<p>Sistemas de potência:</p> <p>-USA - <i>Rocky river; Bath County; Hawaiian Elec. Co.</i></p> <p>-Japão - <i>Okinawa Yanbaru</i></p> <p>-Grécia - <i>Ikaria Island</i></p> <p>Capacidades: 32 - 3003MW.</p>	<p>Sistemas de potência:</p> <p>-Alemanha - <i>Huntorf power; ADELE project (CAES+TES).</i></p> <p>-EUA - <i>McIntosh plant.</i></p> <p>Capacidades:110-290MW.</p>	<p>Backup, regulação, qualidade e pico de carga:</p> <p>-EUA - <i>Active Power Co.; Beacon Power Co.; NASA; Boeing Phantom;</i></p> <p>-Japão-<i>Japan Atomic En. Center Piller power.</i></p> <p>Capacidades:100-235MVA</p>	<p>Com grande flexibilidade de aplicações (gerenciamento de potência, pico, frequência, qualidade de energia, etc), possui aplicações nos mais diversos países possuem grande range de potência: Capacidades:5- 40 MW.</p>
FBES	Capacitores ou Supercapacitores	SMES	Combustível Solar
<p>Integração com eólicas, mitigação de flutuações de energia, qualidade de energia, suporte de tensão, atendimento ao pico, etc.</p> <p>- Itália - <i>Edison facility</i></p> <p>-Austrália - <i>Wind power EES facility</i></p> <p>- Irlanda- <i>Wind Farm Project</i></p> <p>-Japão - <i>VRB EES facility installed by SEI</i></p> <p>- EUA - <i>VRB facility by PacifiCorp in Utah</i></p> <p>Capacidades: 5 kW a 2 MW.</p>	<p>Em estudos, um projeto financiado pelo Reino Unido, com o objetivo de desenvolver supercapacitores de alto desempenho com maior densidade de energia, foi implementado. O protótipo foi testado para projetar um sistema de energia eficaz e sustentável.</p>	<p>Qualidade de energia:</p> <p>- Alemanha - <i>Proof principle; Bruker EST;</i></p> <p>- Japão - <i>Nosoo power station; Chubu Electric;</i></p> <p>- EUA - <i>Upper Wisconsin by American Transmission; University of Houston, SuperPower;</i></p> <p>- Korea <i>Electric Power Corporation, Hyundai.</i></p> <p>Capacidades: 20 a 5MW</p>	<p>Em desenvolvimento, a pesquisa em combustíveis solares passou recentemente por avanços e se tornará viável em aplicações de armazenamento em um futuro próximo. Existem projetos de pesquisa em curso nos EUA, Holanda, Coréia do Sul, Cingapura, Japão e China.</p> <p>Cont.</p>

Fonte: LUO et al. (2015)

Quadro 4 – Aplicações de armazenamento de energia, locais e potências

Armazenamento de hidrogênio e célula combustível	TES	Armazenamento de energia elétrica híbrida
Em fase de desenvolvimento e demonstração, com aplicações estacionárias relativamente maduras. Em 2012, quase 80% do investimento na indústria global de células de combustível foi efetuada por empresas dos EUA.	Atendimento ao pico de carga. - Alemanha - <i>ADELE project (CAES+TES)</i> . - China- projeto em Pequim; - EUA- <i>South Florida</i> ; -Espanha- “ <i>Solar Tres Power Tower</i> ” por <i>Torresol Energy</i> . Capacidades: 6.1kW a 15MW.	Em estudo. -Reino Unido-sistema híbrido supercapacitor-battery criado por <i>E.ON e UK EPSRC</i> , este p/ aplicações em veículos -Japão- pesquisas pela <i>Tohoku University</i> com hidrogênio refrigerado – (SMES) combinado com células de combustível

Fonte: LUO et al. (2015)

De acordo com a IRENA (2017) o armazenamento por meio de baterias nos sistemas solares domésticos e dos veículos elétricos é visto como crucial para acelerar a implantação de energias renováveis. As baterias também podem fornecer alguma flexibilidade para que os futuros sistemas de eletricidade acomodem a disponibilidade flutuante de energia solar e eólica.

No longo prazo, à medida que os países se esforcem para reduzir significativamente as emissões de carbono provenientes da geração de energia, a importância do armazenamento só aumentará (IRENA, 2017).

Segundo a previsão da IRENA (2017), até o ano de 2030 os custos instalados dos sistemas de armazenamento de baterias podem cair de 50 a 66%. Como resultado, os custos de armazenamento para suportar serviços auxiliares serão drasticamente menores, incluindo resposta de frequência ou reserva de capacidade, o que abrirá novas oportunidades.

Para o armazenamento de energia por ar comprimido são necessárias grandes áreas devido à sua baixa densidade de armazenamento. Conforme anteriormente mencionado, a *Energy Storage Association* (2018) indica que, preferencialmente, cavernas salinas artificialmente construídas em formações de sal profundo são os locais ideais de aplicação, por possuírem algumas características específicas: alta flexibilidade, não perder pressão, não

reagir o oxigênio no ar e a rocha hospedeira salgada. Ainda no mesmo estudo, indica a possibilidade de usar aquíferos naturais, à depender de eventual reação do oxigênio com a rocha e com quaisquer micro-organismos e campos de gás natural esgotados, em processo de investigação.

Com relação à aplicação de armazenamento de energia em escala de conexão na rede em situações reais, muitos ainda são os fatores desconhecidos. Strbac et al. (2012) aponta que custo e tempo de vida útil são os fatores essenciais para demonstrar e avaliar uma variedade de tipos de tecnologias para entender como o ciclo de trabalho e a estratégia de controle afetam o desempenho e a vida útil dos sistemas de armazenamento e, por sua vez, como as características do sistema de armazenamento influenciam o desenho de projetos e controle da rede, para menor custo total e redução de emissões de carbono.

O aprendizado na aplicação oferecerá oportunidades significativas para o potencial de inovação em médio prazo de tecnologias de armazenamento, proporcionando oportunidades para materiais e componentes aprimorados surgirem no médio prazo, melhorando o desempenho e a vida útil das tecnologias atuais. De acordo com Strbac et al., (2012), em longo prazo são esperados avanços em materiais, componentes e sistemas que ofereçam custo significativamente reduzido e vida útil mais longa, por exemplo em produtos químicos alternativos para baterias de fluxo redox, super condensadores e baterias de grande dimensão, em novos materiais de calor / frio e em baterias de íons de sódio, reduzindo eventual dependência dos recursos de lítio.

Exigências e procedimentos relativos a pilhas e baterias são estabelecidas no Brasil pelo Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - e Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente - e estão dispostos nos seguintes regulamentos:

- a) Resolução Conama n° 401, de 4 de novembro de 2008;
- b) Instrução Normativa do Ibama n° 8, de 3 de setembro de 2012;
- c) Instrução Normativa do Ibama n°18/2014; e,
- d) Instrução Normativa do Ibama n° 01/2015.

A importação e fabricação de pilhas/baterias lítio ou outros tipos diversos não são englobadas na legislação citada acima quanto a necessidade de registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF). No entanto, a destinação considerada ambientalmente correta independe do sistema

físico-químico, conforme definido no artigo 5º da Resolução Conama nº 401/2008. Assim, os programas de coleta seletiva devem ser implementados pelos respectivos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e pelo poder público ". Também deve ser seguida a Política Nacional de Resíduos Sólidos (art. 33 da Lei nº 12305/10 - legislação posterior à resolução Conama que também trata dessa destinação e identifica a obrigação de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes em adotar a logística reversa).

3.3.1 Considerações finais

As tecnologias de armazenamento de energia, em desenvolvimento ou já comercializáveis, são capazes de cobrir tempo de duração de descargas de potência com variações de período da ordem de milissegundos a meses. Diversos sistemas de energia já podem ser supridos parcialmente ou em sua totalidade. A principal questão para inclusão do armazenamento no planejamento energético é o estágio de desenvolvimento das tecnologias.

Dados da IRENA (2017) apontam que economias de escala, melhorias tecnológicas, maior concorrência nas cadeias de fornecimento e condições políticas iniciaram um processo contínuo de uso de fontes renováveis. Isso reduziu o custo da eletricidade dessas fontes. A competitividade das opções de geração de energia renovável e o trabalho de incentivo se mantém à medida que os governos, a indústria e os investidores planejam de forma integrada os próximos passos.

Dentre as categorias apresentadas, as que apresentam tecnologias já comercializáveis são as de armazenamento mecânico, especialmente pelas tecnologias de armazenamento hidroelétrico bombeado (PHS) e armazenamento de energia de ar comprimido (CAES), e, eletroquímico, por meio de baterias recarregáveis. Estas também são tecnologias de inserção de potência não intermitente para períodos maiores.

No Quadro 4 – Aplicações de armazenamento de energia, locais e potências - observou-se que muitas das tecnologias estão focadas em soluções voltadas à qualidade de energia. As exceções ficam essencialmente para aquelas tecnologias que convergem com as tecnologias que são apresentadas por LUO et al. (2015) na Figura 4 - Capacidades e aplicações das tecnologias de armazenamento de energia como em estágio de comercialização: armazenamento hidroelétrico bombeado (PHS); armazenamento de energia de ar comprimido (CAES) e baterias.

Estas tecnologias comercializáveis respondem pela inserção de potência não intermitente para períodos maiores.

Embora o armazenamento de hidráulico bombeado domine a capacidade total de armazenamento de eletricidade, os sistemas de armazenamento de eletricidade por bateria estão se desenvolvendo rapidamente com custos decrescentes e melhorando o desempenho.

Muitas das tecnologias em estágio de desenvolvimento apresentam aplicações já consolidadas. Previsões de redução de custos de armazenamento até 2030 indicam grandes avanços na comercialização de tecnologias para suportar serviços auxiliares.

Dos benefícios das tecnologias de armazenamento, como a otimização da gestão do sistema e a economia com novos empreendimentos de geração para atender a ponta, evidencia-se a necessidade de avanços em termos de planejamento e, conseqüentemente, regulamentação para inclusão das tecnologias de armazenamento.

Com o envolvimento de discussões proativas objetivando a criação de novas políticas, regulamentos, estruturas de mercado e estratégias da indústria, particularmente para apoiar a integração estável das maiores parcelas possíveis de geração de energia a partir de fontes alternativas como solar e eólica, estratégias também serão necessárias para descarbonizar usos finais, seja no setor de transporte, industrial ou edificações.

São essas as questões que fundamentam o posicionamento de IRENA (2017) de que o suporte para todos estes temas estratégicos passa pelo papel do armazenamento de eletricidade como o centro das discussões e estudos.

3.4 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Para adentrar nas questões relacionadas ao planejamento energético é importante entender a evolução do setor de energia elétrica no Brasil e suas características em termos de organização.

3.4.1 Histórico

As principais características organizacionais do setor elétrico podem ser identificadas por Seger, Mercedes e Rico (2015) conforme as fases da estruturação do setor elétrico, expostas

no

Quadro 5 - Fases da Estruturação do setor Elétrico Brasileiro.

De forma resumida é possível avaliar a transição na estruturação do setor elétrico brasileiro desde a sua origem até o cenário atual.

Quadro 5 - Fases da Estruturação do setor Elétrico Brasileiro

Período	1880	1930	1960	1990	2003
Propriedade de ativos	Privada	Privada	Estatal	Privada	Semiprivada
Principal objetivo	Implantação e consolidação	Institucionalização	Crescimento	Introdução de competição	Universalização do acesso
Contexto político	República Velha	Estado Novo	Autoritarismo	Democracia	Democracia
Economia	Agroexportadora	Industrialização (substituição de importações)	Grandes companhias	Desestatização e neoliberalismo	Desenvolvimentismo
Financiamento do setor	Capital agrário	Empréstimos externos e autofinanciamento	Financiamento público e tarifas	<i>Project-finance</i>	Vários modelos, principalmente financiamento público
Processo de regulação tarifária	Contratos bilaterais	Cláusula Ouro	Custo do serviço	Preço-teto incentivado	Preço-teto incentivado
Maior demanda	Iluminação pública e transporte	Urbanização e industrialização	Indústria e urbanização	Diversificação da matriz energética	Indústria, transportes
Tecnologias e fontes primárias de maior destaque	Pequenas usinas	Distribuição	Transmissão interligada, geração de grande escala	Desverticalização G/T/D/C, diversificação, combustíveis fósseis (gás natural)	Fontes renováveis (eólica, solar fotovoltaica, biomassa)

Fonte: Seger, Mercedes e Rico (2015)

De acordo com o disposto no Quadro 5 - Fases da Estruturação do setor Elétrico Brasileiro, no decorrer das décadas em que se desenvolveu o setor de energia elétrica, a transição de propriedade dos ativos foi aspecto relevante para a configuração da estruturação do setor elétrico. Inicialmente, limitando-se a pequenas usinas com redes de distribuição que tinham por finalidade a urbanização de pequenas localidades e início do atendimento industrial a base de capital investido era de origem privada.

Posteriormente, objetivando o crescimento do país, o Estado se tornou o provedor de capital e proprietário dos ativos de energia por meio de grandes empresas estatais, criadas na década de 1960. É nesta fase estatal que foram consolidadas as interligações entre estados para dar vazão à energia gerada pelas usinas de grande escala.

Este modelo de centralização planejada pelo governo e com capital estatal vigorou por três décadas. Todavia, de acordo com o observado por Carvalho (2005), a importância do

planejamento energético para o mundo tornou-se relevante a partir da década de 1970, após o choque de preços do petróleo.

Com uma política neoliberal, já durante a década de 90, e em um ambiente político democrático, deu-se início a consolidação da indústria da energia como um mercado competitivo, que permitisse que a iniciativa privada fosse a provedora do crescimento e atendimento da demanda pela energia elétrica.

A desverticalização do setor de energia segmentou-o em: ambiente de comercialização competitiva, suprimento com projetos sustentados por financiamento privado de forma a atender ao crescimento da demanda em transmissão e distribuição como monopólios naturais regulados por regras que simulam a competitividade. No entanto, este modelo não foi suficiente para que a oferta acompanhasse a demanda do país por energia.

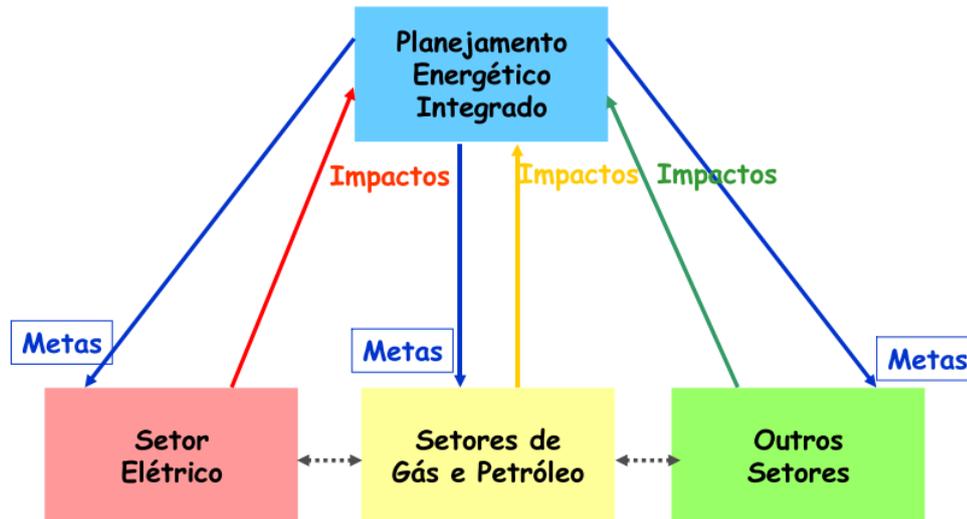
Zimmermann (2007) relata que no Brasil chegou-se a sinalizar um caminho de entendimento da energia elétrica como mais um produto de *market commodity* com a crença de que as forças de mercado resolveriam todas as necessidades do país. Segundo o autor, o estado ao assumir a responsabilidade do planejamento para atender às necessidades de uma sociedade, prevalecendo o interesse nacional do ponto de vista social, econômico e ambiental, e suportado por políticas e diretrizes do governo, possibilitaria indução dos agentes empresariais privados e/ou estatais na implementação das ações necessárias para o atendimento da demanda energética.

Com esta visão o planejamento energético do país foi revisto em 2003, ajustes foram efetuados colocando o estado como principal provedor de fonte financeira aos novos projetos. Assim, a participação de agentes públicos e privados no desenvolvimento dos ativos para o atendimento ao crescimento do mercado passou a coexistir de forma mais evidente.

O planejamento energético nacional passa então a contar com uma visão integrada do setor elétrico com os demais setores da economia, em especial o Petróleo e Gás. Fatores como segurança nacional; políticas externa, industrial, ambiental e de desenvolvimento tecnológico; desenvolvimento social e econômico; conservação de energia e inventários de fontes energéticas.

A Figura 5 - Interface entre o setor elétrico e os demais setores - indica as formas de controle do planejamento integrado por meio de metas e impactos.

Figura 5 - Interface entre o setor elétrico e os demais setores

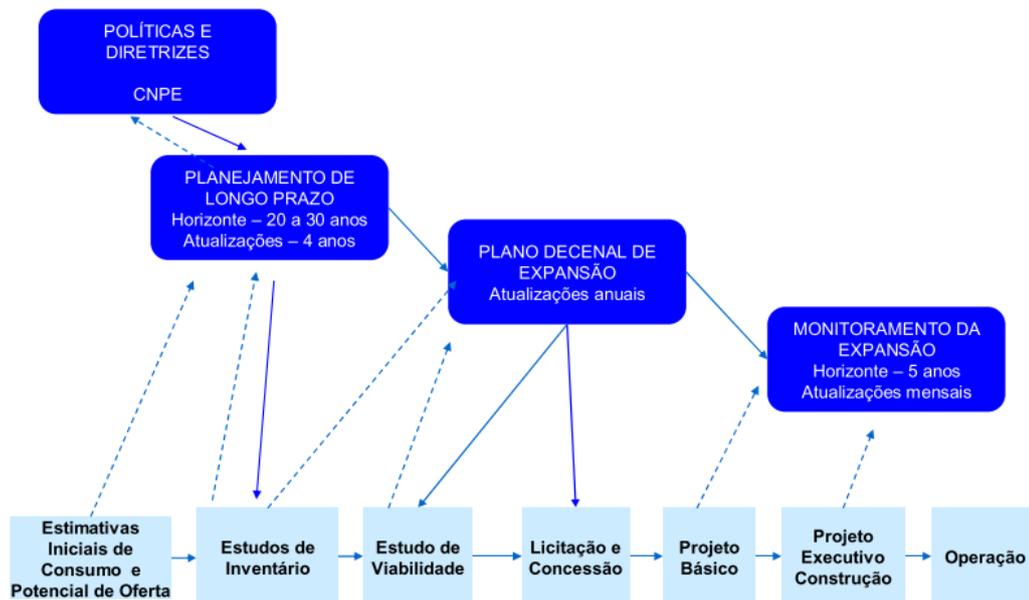


Fonte: Zimmermann (2007)

Cabe destacar que para subsidiar o planejamento foi criada a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, concebida para realizar estudos de planejamento para o Ministério de Minas e Energia – MME.

Os estudos realizados e o planejamento energético integrado passaram a incorporar ciclos de planejamento objetivando a implantação de empreendimentos, conforme se observa na Figura 6 - Ciclo de planejamento e implantação de empreendimentos.

Figura 6 - Ciclo de planejamento e implantação de empreendimentos



Fonte: Zimmermann (2007)

Conde (2013) relata que para processos de tomada de decisão é muito importante que seja absorvida a grande relevância que emissões de poluentes atmosféricos, impactos sobre a biodiversidade, impactos sociais e questões relacionadas à eficiência no uso de recursos naturais possuem.

Na prática, não se pode olvidar que os novos projetos de geração de eletricidade passarão pelo processo de licenciamento ambiental e que a sociedade está cada vez mais atenta ao desenvolvimento desses projetos e mais exigente quanto aos requisitos mínimos de sustentabilidade (CONDE, 2013).

Com a visão de estruturação do planejamento do setor elétrico e de maior relevância para os aspectos socioambientais é que se consolida a inclusão de novas fontes renováveis de energia. Ademais, com essa base de planejamento é que nos últimos dez anos o uso dos ventos, e mais recentemente do sol, foram incluídas novas e importantes aplicações com fontes energéticas de baixa emissão de CO₂, quando comparadas com combustíveis fósseis, no planejamento energético nacional: as energias de fontes eólica e fotovoltaica.

Dessa forma, no Brasil - assim como em outros países - houve necessidade de uma mínima abordagem de planejamento para atender as complexas relações do setor elétrico (ZIMMERMANN, 2007).

Tolmasquim (2012) observou que a participação das hidrelétricas teria redução, passando de 75% para 67%, apesar do aumento absoluto de 22 GW em um horizonte de 10

anos, com a participação da geração oriunda de fontes alternativas, como a de usinas eólicas, PCH's e térmicas à biomassa.

No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.), atual responsável pelos estudos de planejamento da questão energética no país em apoio ao MME, órgão que formula as políticas energéticas, incluiu em suas últimas publicações diversos estudos com indicações do uso de outras fontes renováveis, além das hidroelétricas.

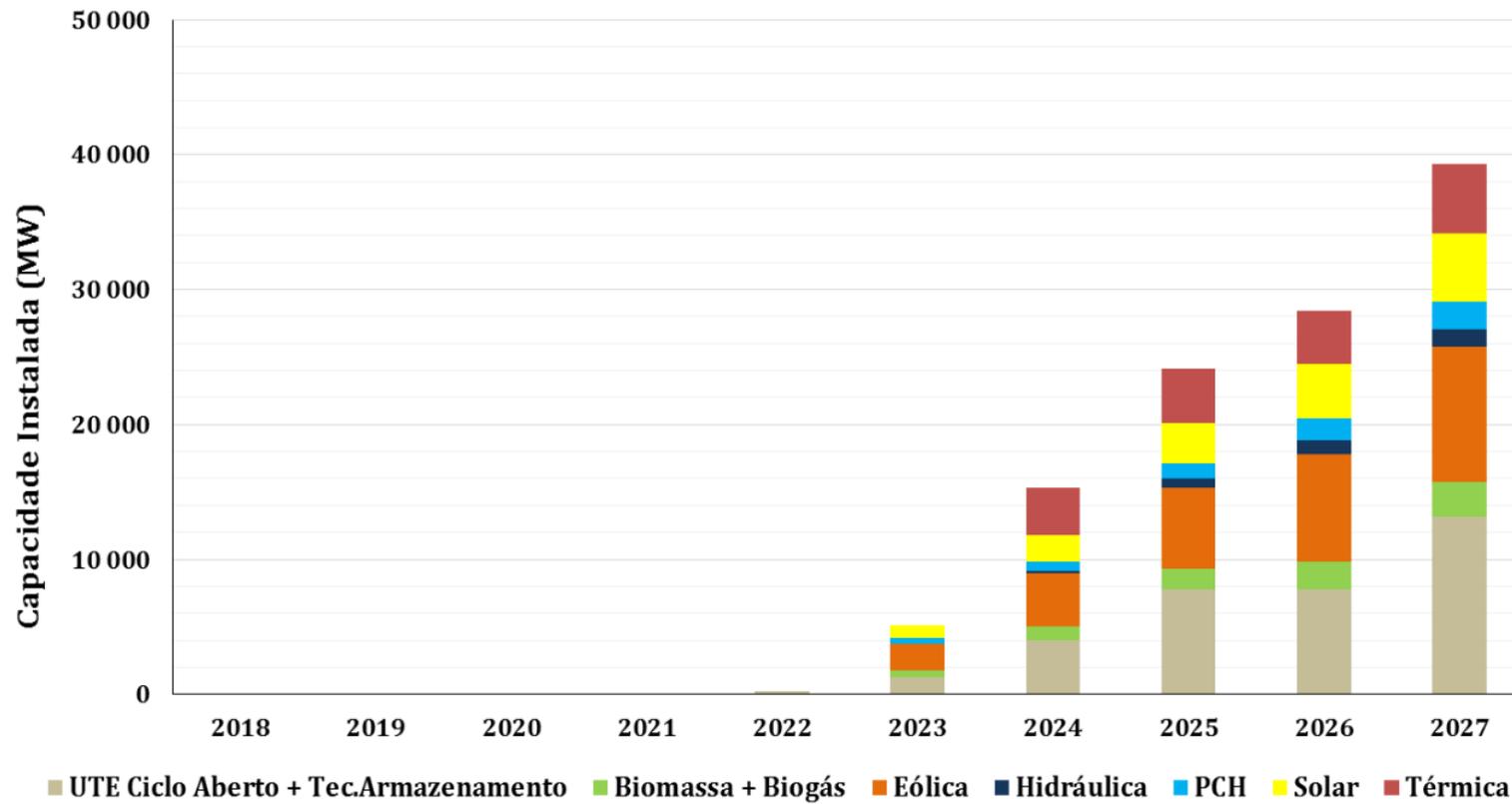
A análise dos estudos permite a tomada de decisão das políticas públicas realizadas pelo CNPE e implementadas pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME – SPE/MME. A SPE avalia e promove as análises necessárias para a outorga de concessões, autorizações e permissões de uso de bem público para serviços de energia elétrica. Também dá ao Governo as diretrizes para exploração das potencialidades regionais, diversificação da matriz energética, inserção de fontes renováveis, eficiência energética e aumento da segurança energética, de forma ambientalmente sustentável.

Com a consolidação do modelo de planejamento e evolução técnica das fontes de energia, foi objeto de inserção no Plano Decenal de Expansão - PDE 2026, para o período entre os anos de 2017 e 2026, fontes que já se mostraram diversificadas (EPE, 2017):

- a) Termelétrica a gás natural – funcionamento pela queima de gás combustível em turbinas (que podem ser de ciclo combinado ou ciclo aberto);
- b) Usinas hidroelétricas – Fio d'água (sem capacidade de armazenamento de água para períodos secos) e PCH's (usinas de pequeno porte e sem armazenamento de água);
- c) Usinas eólicas – transformam a energia potencial dos ventos em energia elétrica;
- d) Usinas de biomassa – funcionam pela combustão de material orgânico;
- e) Usinas solares fotovoltaicas – transformam energia do sol em energia elétrica.

O Plano Decenal de Expansão – PDE 2027 da EPE (2018d) confirma esta diversificação com a inclusão significativa de expansão em fontes intermitentes, conforme é possível observar no Gráfico 10 - Expansão Indicativa de Referência, para as fontes biomassa, eólica, PCH e solar.

Gráfico 10 - Expansão Indicativa de Referência



Fonte: EPE (2018d)

É com o cenário de inserção relevante de fontes alternativas e/ou intermitentes como hidroelétricas fio d'água, eólicas, biomassa e fotovoltaicas que o planejamento do setor elétrico se depara atualmente.

A penetração da energia renovável intermitente, entre outros fatores como a limitação da capacidade de transmissão de eletricidade, o gerenciamento pelo lado da demanda e a disponibilidade de alternativas de energia de reserva são essenciais para a necessária implementação de sistemas de armazenamento pois estes devem permitir o requisito fundamental de estabilidade das redes elétricas, combinando oferta e demanda de maneira estável e garantida (KYRIAKOPOULOS; ARABATZIS, 2016).

De acordo com José e Parente (2016), em que pese a grande vantagem dos sistemas de armazenamento ser a possibilidade de alívio da carga durante o horário de pico, estes benefícios ainda não são considerados nas tarifas de energia.

Considerando todos os requisitos de complementariedade e os aspectos ambientais relacionados com a transição energética, o armazenamento de energia é a tecnologia que carece de maior tratamento no planejamento energético.

3.4.2 Modelos para o planejamento

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2018) em proposta de aprimoramento do setor elétrico brasileiro relatou as pressões exercidas por fenômenos tecnológicos e socioambientais que representam condições de contorno para o funcionamento da indústria elétrica e por fricções nos modelos de negócio hoje prevalentes.

Masiello, Roberts e Sloan (2014) identificam modelos regulatórios e de negócios alternativos aos paradigmas que envolvem a inserção do armazenamento de energia nos mercados. Entre as alternativas expõem:

- a) o tratamento do armazenamento considerando um modelo, já amplamente conhecido, de custo de serviço, com ganhos por taxa de retorno do capital investido, adicionado dos respectivos custos de operação e manutenção. Indicam ainda neste mesmo modelo variações como a inclusão de uma terceira parte não regulada prestando o serviço, mas coberto por uma taxa incorporada nos custos das próprias prestadoras do serviço público, negociado como um PPA²;

² PPA-“Power Purchase Agreement” é um acordo de compra de energia que mitiga incertezas pois assegura contratualmente a cobertura de eventuais incertezas de receita, permitindo a viabilidade dos projetos que utilizam este tipo de acordo.

- b) a participação em um mercado efetivamente livre onde o armazenamento poderia ser entendido como uma fonte geradora ou parte de uma fonte geradora, independente inclusive do ponto de conexão na rede;
- c) o tratamento da tecnologia de armazenamento como um recurso de transmissão ou geração de um provedor independente (não concessionário), mas com um modelo de negócio de custo de serviço só que contratado de forma concorrencial; ou,
- d) a simples associação do armazenamento com um ativo de geração distribuída.

Com amplos cenários, a definição dependerá essencialmente das barreiras ou garantias a serem estabelecidas pelos órgãos reguladores, assim como a granularidade no tempo em que se pretende tratar os requisitos de mercado para esta nova tecnologia.

A EPE admite que mudanças no perfil da geração centralizada brasileira podem resultar em perda de flexibilidade, mas que inserção de recursos energéticos distribuídos nos locais adequados e operados nos momentos certos é capaz de prover flexibilidade ao sistema, além de contribuir para a redução de perdas e melhor uso da capacidade disponível das redes e que seriam necessários aperfeiçoamentos ferramentais e metodológicos para se adaptar à nova realidade, com o desenvolvimento de ferramentas que permitam a menor sumarização para as informações de geração e consumo e o aperfeiçoamento dos modelos de projeção e estudo de curvas de adoção de tecnologias (EPE, 2018d).

A título de elucidação sobre tecnologias de recursos energéticos distribuídos, encontram-se (FGV, 2016):

- a) a geração distribuída (GD);
- b) o armazenamento de energia;
- c) veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga;
- d) a eficiência energética; e,
- e) o gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

O modelo descentralizado de planejamento, conforme proposto por Carvalho (2005), em que se sugere convênios com secretarias estaduais de energia e/ou infraestrutura com coordenação centralizada do MME também poderia possibilitar que particularidades regionais fossem conduzidas de forma a facilitar negociações entre instâncias estaduais responsáveis por etapas dos processos de outorga e licenças.

Nesta linha, observa-se no modelo Americano uma descentralização estadual, como aponta Energy Storage Association (2017) e a National Renewable Energy Laboratory (NREL) com estados americanos incluindo políticas de incentivo para o armazenamento de energia.

EPE (2018a) apresenta modelagens de planejamento aplicados no setor de energia elétrica nacional destacando a Determinação da Expansão do Sistema Elétrico em Longo Prazo, o Modelo de Expansão sobre Incerteza e o Modelo de planejamento da expansão da geração e interligações regionais, o Modelo de Expansão de Longo Prazo, entre outros.

Técnicas aplicadas nestes modelos servem de base para que a EPE (2018b) efetue uma simplificação que permita tratar os problemas observados em sistemas complexos, como o sistema elétrico, e com o objetivo de minimização do valor esperado do custo total de expansão - composto pela soma do custo de investimento com o custo de operação - ao longo do tempo.

3.4.3 Considerações finais

As alterações do modelo de planejamento realizadas no ano de 2003 condicionaram o atendimento da demanda energética do país para o tratamento por meio dos leilões de energia realizados.

A diversificação das fontes na matriz elétrica nacional, com participação mais relevante de geração proveniente de fontes de baixa emissão de CO₂ atende os aspectos ambientais.

Mesmo com o benefício dessas novas fontes em relação à emissão de CO₂, o planejamento energético requer alternativas para abastecer o consumo de energia durante períodos em que a demanda por energia requer capacidade de geração de energia destas novas fontes.

De fato, as fontes eólicas e solares, possuem uma grande intermitência em sua capacidade de geração. Este ponto acrescido da dificuldade de construir novas usinas hidráulicas com armazenamento de regulação implicam em necessidade adicional de suprimento para picos de demanda. Esta situação ocorre em momentos específicos do ano ou mesmo do dia e o planejamento energético deve atentar-se a este aspecto.

Avanços em sistemas inflexíveis colocam as perspectivas de uso e a adoção de soluções oriundas de fontes fósseis como crescentes. No entanto, crescem também as discussões sobre os impactos provocados por essa combinação.

O modelo conveniado e descentralizado de planejamento pode ser estudado no sentido de se obter eficiência sobre a outorga e uso dos energéticos em cada estado da federação. Sem prejuízo de uma operação centralizada, um planejamento descentralizado poderia evitar conflitos na obtenção de licenças, por exemplo.

Modelos que simplificam sistemas complexos como o despacho de energia elétrica são adotados nos estudos da EPE e a inclusão das tecnologias de armazenamento passaram a compor o plano decenal de expansão de energia publicado em 2018.

3.5 POLÍTICAS PÚBLICAS

A *International Energy Agency* (IEA) publicou recentes estudos sobre renováveis em que analisa o mercado previsto de energia renovável e tecnologias no período 2018-2023. Mesmo diante de evolução em relação ao crescente uso de energia solar, eólica, bioenergia e outras energias renováveis - em conjunto com a implementação de iniciativas de eficiência energética - é necessário esforço em todos os setores da economia para que as emissões de CO₂ estabilizem e depois persigam metas de recuo (IEA, 2018).

O estudo da IEA (2018) ainda avalia que, mesmo com a observação de reduções contínuas de custos, políticas governamentais continuam a ser cruciais para atratividade de investimentos em fontes renováveis, garantindo projetos que vislumbrem integração de sistemas com premissas de confiabilidade e economia.

A importância de garantir uma política energética e um quadro de mercado que não imponha barreiras é destacada por Strback et al. (2012) e dessa forma seriam facilitadas as aplicações de tecnologias de armazenamento de energia de forma rentáveis.

Os mesmos autores Strbac et al. (2012) também identificam que o armazenamento de energia pode trazer benefícios para vários setores da indústria de eletricidade, incluindo geração, transmissão e distribuição, fornecendo serviços para suportar balanceamento em tempo real de demanda e fornecimento, gerenciamento de congestionamento de rede e redução da necessidade de investimento no reforço do sistema.

Os benefícios do armazenamento de energia impõem desafios para os formuladores de políticas desenvolverem mecanismos de mercado apropriados para garantir que os investidores em armazenamento sejam adequadamente recompensados por fornecer essas diversas fontes de valor.

3.5.1 Políticas públicas nacionais

Conforme publicado pelo EDUCACLIMA (2018), no portal de internet Educaclima.com sobre educação e conscientização pública em mudança do clima, o governo federal brasileiro possui compromissos voluntários ou vinculantes relacionados à temática da mudança do clima. Estes compromissos estão estabelecidos em diversos instrumentos:

- a) Lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (BRASIL, 2009);

- b) Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a PNMC (BRASIL, 2010);
- c) Contribuição Nacionalmente Determinada (CND ou NDC) do Brasil para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) (BRASIL, 2015); e,
- d) Plano Nacional de Adaptação (PNA) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, 2016).

Dentre os compromissos é possível identificar uma série de ações do setor de energia objetivando a mitigação e adaptação no âmbito das “Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas”.

A seguir, são explicitadas as ações de mitigação e compromissos para o ano de 2020, a serem adotados de forma voluntária.

Quadro 6 - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - 2020

<u>Compromisso nacional voluntário para 2020, com base na Lei nº 12.187/2009 e no Decreto nº 7.390/2010.</u>	
Objetivo:	Atingir redução entre 36,1% e 38,9% nas emissões projetadas para o ano 2020 (3,236 GtCO ₂ e), segundo a Lei nº 12.187 (equivale a emissões totais nacionais entre 2,068 GtCO ₂ e e 1,977 GtCO ₂ e, conforme o Decreto nº 7.390).
Ações para cumprimento da meta, até 2020:	Expansão da oferta hidroelétrica, da oferta de fontes alternativas renováveis, notadamente centrais eólicas, pequenas centrais hidroelétricas e bioeletricidade, da oferta de biocombustíveis, e incremento da eficiência energética.

Fonte: BRASIL (2015)

Rocha, Peliano e Chaves (2019) em trabalho desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica – IPEA identificam que o Brasil está no caminho do cumprimento da meta para 2020, respaldados em análise com base em indicadores de 2005 a 2015, último ano antes da entrada em vigor da Agenda 2030. O estudo aponta que a meta voluntária nacional de emitir 1.977 milhões de toneladas de CO₂eq é considerada factível caso não ocorram alterações bruscas nas políticas nacionais sobre esse tema.

Rocha, Peliano e Chaves (2019), no entanto, advertem para a importância da manutenção das políticas públicas efetivas que permitiram essa mitigação. A meta estabelecida para 2030 no âmbito do Acordo de Paris é atingir o nível de 1.208 milhões de tonCO₂eq. O detalhamento das ações de mitigação e compromissos, assim como metas estabelecidas para os anos de 2025 e 2030, constam do quadro a seguir.

Quadro 7 - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas – 2025 – 2030

<u>Contribuição de mitigação para 2025 e 2030, com base na Contribuição Nacionalmente Determinada (CND ou NDC) do Brasil (BRASIL, 2015) para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 2015.</u>	
Objetivo:	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 (Informação adicional apenas para fins de esclarecimento: essa contribuição é consistente com níveis de emissão de 1,3 GtCO₂e [GWP-100; IPCC AR5] em 2025, com base no nível de emissões em 2005 de 2,1 GtCO₂e [GWP-100; IPCC AR5]); - Reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (Informação adicional apenas para fins de esclarecimento: essa contribuição é consistente com níveis de emissão de 1,2 GtCO₂e [GWP-100; IPCC AR5] em 2030, com base no nível de emissões em 2005 de 2,1 GtCO₂e [GWP-100; IPCC AR5]).
Medidas até 2030 : alcançar participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética 2030:	<ul style="list-style-type: none"> - expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030; - expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; - expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; - alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Fonte: BRASIL (2015)

Com base nestes compromissos e contribuições, fica evidenciado que as fontes renováveis tendem, cada vez mais, a ocupar um papel prioritário nas políticas do país. Será de fundamental importância que o planejamento energético nacional encontre meios que resultem na competitividade operacional e financeira destas tecnologias.

Com o objetivo de avaliar as principais políticas, programas e iniciativas que pudessem relacionar o armazenamento de energia como instrumento facilitador ou de relevância no planejamento identificamos políticas energéticas e iniciativas do setor de energia elétrica, que podem ser identificados nos acessos aos sites do Ministério de Minas e Energia (MME, 2019) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019) destacando-as conforme abaixo:

- a) Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE);
- b) Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio);
- c) Plano Nacional de Energia (PNE);
- d) Balanço Energético Nacional (BEN);
- e) Calculadora Brasil 2050 – Setor Energia;
- f) Eficiência Energética em Edificações (3E);
- g) Energia Heliotérmica (HLT), Energia Solar Concentrada (CSP);
- h) Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) – eficiência energética;
- i) Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

O Plano Decenal de Expansão de Energia é um documento informativo para a sociedade, e que possui como objetivo primordial de indicar as perspectivas do Governo para a expansão do setor de energia com elementos para o planejamento do setor, benefícios em confiabilidade, redução de custos de produção e redução de impactos ambientais (EPE, 2019)

A EPE (2017) adota desde o PDE 2026 um Modelo de Decisão de Investimento (MDI) para o planejamento da expansão. O MDI objetiva definir a expansão da oferta de energia elétrica considerando projeções de preços de combustível, entre outros aspectos. A indicação da oferta é realizada partindo do modelo de decisão de investimentos que define uma expansão ótima do sistema sob condições de incerteza, no qual se considera a minimização do custo total de investimento e operação.

Para o atendimento de flexibilidade, necessária para o atendimento à qualquer hora do dia e em resposta à variação instantânea da carga e demanda no curto prazo, as opções de geração e soluções tecnológicas candidatas no horizonte decenal, destacou as seguintes tecnologias (EPE, 2017):

- a) Usinas termelétricas de partida rápida;
- b) Repotenciação ou instalação de unidades geradoras adicionais em usinas hidrelétricas existentes;
- c) Usinas hidrelétricas reversíveis;
- d) Gerenciamento pelo lado da demanda; e,
- e) Armazenamento químico de energia (baterias).

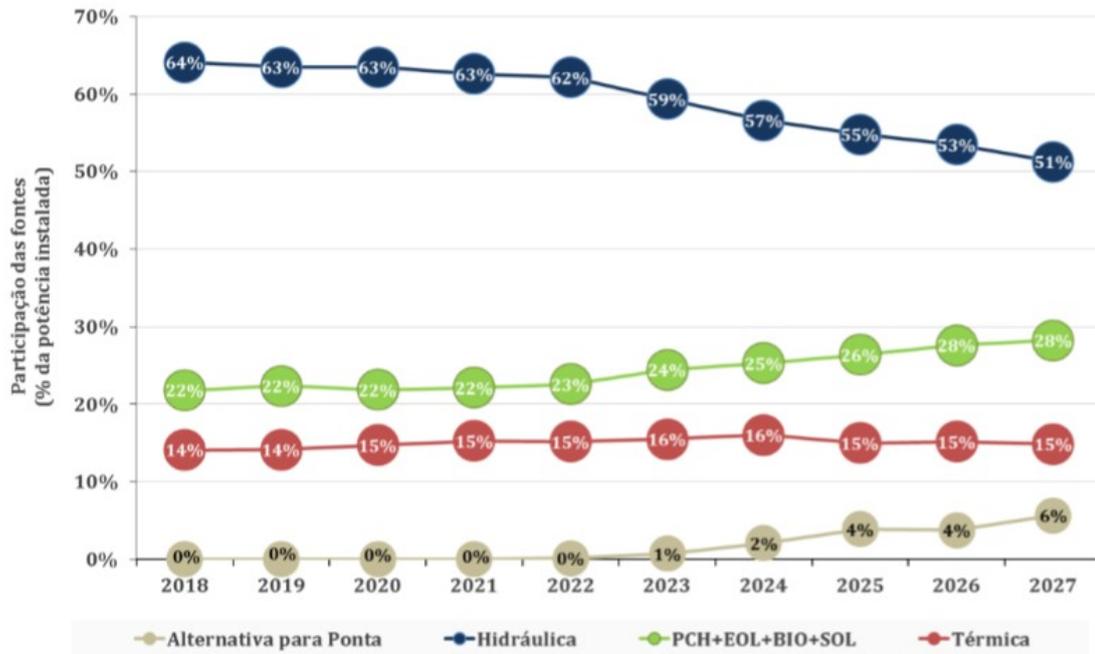
A EPE (2017) avalia que somente se pode garantir que as duas outras tecnologias listadas – usinas hidrelétricas reversíveis e armazenamento químico de energia – detêm o atributo de flexibilidade operativa no curto prazo e as seguintes questões são relacionadas:

- a) no caso do armazenamento químico de energia os custos de investimentos são atualmente elevados;
- b) as usinas hidroelétricas reversíveis possuem grande variação nas despesas de capital para cada projeto específico;
- c) soluções que envolvam maiores despesas de capital podem ser adequadas para a expansão da geração mas é necessário que o sistema requeira outros serviços que não apenas o atendimento à demanda máxima de potência com baixos fatores de capacidade atual.

Dentre as políticas e iniciativas relacionadas no PDE 2026, nenhuma estabelece a tecnologia de armazenamento de energia como um ativo de relevância.

A EPE, no PDE 2027, incluiu avanços com relação às considerações dos aspectos envolvendo o armazenamento de energia. Com grande parte dos recursos que atenderão o balanço mensal apresentando limitação no controle da geração, o sistema precisará de fontes para complementação de capacidade, indicadas nos estudos como “Alternativa para Ponta” e representa uma participação crescente nas projeções do plano decenal, conforme apresentado no gráfico, a seguir.

Gráfico 11 – Participação das fontes no planejamento decenal



Fonte: EPE (2018d)

A EPE (2018d) destaca o modelo computacional de decisão de investimentos (MDI), ao explicitar o atendimento aos picos de demanda, permite sinalizar os benefícios de tecnologias de armazenamento podem prover ao sistema elétrico. Neste caso, baterias e hidrelétricas reversíveis seriam as tecnologias para prover maior flexibilidade operativa.

Algumas premissas foram estabelecidas para tais projetos:

- a) armazenar energia durante patamares de carga onde há sobra de energia para complementar a geração nos patamares de demanda mais alta;
- b) armazenamento e geração devem ocorrer no mesmo mês, de forma a possibilitar um custo de “compra” para a energia armazenada;
- c) facultado ao usuário a definição de patamares de carga com proibição de armazenamento ou geração;
- d) fator de perda de energia no processo de armazenamento e geração definido para cada projeto candidato.

A EPE (2018d) também insere nos estudos de expansão referência das tecnologias de armazenamento como capacidade instalada no período 2023-2027, mas em conjunto com as UTE's de ciclo aberto.

Tabela 1 - Expansão Indicativa de Referência

Fontes	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
UTE C.A. + Tec.Armazenamento	0	0	0	0	204	1.305	3.997	7.762	7.762	13.142
Biomassa + Biogás	0	0	0	0	0	480	1.010	1.540	2.070	2.600
Eólica	0	0	0	0	0	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000
Hidráulica (*)	0	0	0	0	0	0	118	674	1.034	1.351
PCH + CGH	0	0	0	0	0	350	700	1.150	1.600	2.050
Fotovoltaica	0	0	0	0	0	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000
Térmica	0	0	0	0	0	0	3.454	3.972	3.972	5.124

Nota: (*) Em cada ano, a potência instalada contempla apenas a motorização implantada.

Fonte: EPE (2018d)

A necessidade de oferta para complementação de potência aparece a partir de 2022, totalizando cerca de 13.200 MW em 2027, considerando tanto as tecnologias de armazenamento quanto as termelétricas para essa finalidade.

A EPE (2018d) considera, com relação às tecnologias de armazenamento e UTE Ciclo Aberto:

- a) A frequência de uso das tecnologias não pode ser detalhada com os modelos atualmente utilizados pelo planejamento da expansão, mas independentemente do ciclo operativo, é esperado o uso por poucas horas ao ano.
- b) No caso das termelétricas para complementação de capacidade, o principal atributo requerido é de alta disponibilidade e ausência de inflexibilidade.
- c) Para estas tecnologias é aceitável um custo variável de operação mais elevado do que das tecnologias que fecharão o balanço de energia.
- d) O principal atributo das tecnologias é que tenham baixo custo fixo, já que seu papel no sistema seria similar ao de um seguro, ou seja, espera-se a operação por curtos períodos de tempo.
- e) A EPE considera que somente com cenários de crescimento anual de consumo, superiores ao cenário base de seus estudos, e com restrições ao uso de gás natural, é que haveria a inclusão de tecnologias de armazenamento de energia, que seriam da ordem de 6.000 MW, para o período 2023-2027.

3.5.2 Políticas Públicas Internacionais

Alguns países ou regiões tem políticas públicas específicas para tratar da questão do armazenamento de energia. No presente estudo são destacados os exemplos de Estados Unidos e da Austrália - escolhidos de acordo com o exposto nos procedimentos metodológicos. Por fim, as iniciativas no cenário nacional também são tratadas.

De acordo com a *Energy Storage Association* (2017) regras e processos estaduais observados no EUA distorcem ou excluem o armazenamento de energia como opção de investimento, quando comparados com outros ativos convencionais de geração, transmissão e distribuição para o gerenciamento de demanda. No entanto, com a opção da inserção da tecnologia os formuladores de políticas e agentes da indústria buscam avanços para reduzir custos, aumentar a confiabilidade do sistema elétrico e integrar os recursos renováveis.

Para estabelecer avanços no armazenamento de energia a *Energy Storage Association* (2017) elencou opções para a definição de políticas estaduais, com a função de capturar todo o valor e assegurar a competitividade e acesso que a tecnologia de armazenamento de energia pode oferecer aos sistemas de energia. Os quadros, a seguir, resumem os objetivos e as iniciativas e ações já implementadas.

Quadro 8 – Políticas para geração de valor na inserção das tecnologias de armazenamento de energia

VALOR
Garantir que os benefícios sejam realizados por meio de sinais de mercado que monetizam valor econômico, eficiência operacional e benefícios sociais
Califórnia, Oregon, Nova York e Massachusetts desenvolveram metas “sem arrependimentos”, e outros estados, como Nevada, aprovaram uma legislação que busca estabelecer metas.
Tarifas dinâmicas e variáveis no tempo podem sinalizar aos clientes o valor de aproveitar o armazenamento, enquanto alinha melhor os custos do cliente com os custos do sistema.
Vários estados criaram autoridades de desenvolvimento econômico e / ou bancos verdes, os quais podem aproveitar fundos de empréstimos rotativos e novas estruturas de acordos para reduzir o risco do projeto e gerar mais financiamento privado.
Nova York e o programa “Solar Renewable Target” em Massachusetts estão em processo de desenvolvimento de tarifas com uma abordagem de valor de serviço aos recursos de energia distribuída para garantir a compensação por armazenamento
Os programas de incentivo pelo lado da demanda, como pagamentos por redução de carga de pico, podem fornecer um sinal de valor para o armazenamento. Da mesma forma, como uma justificativa dos programas de eficiência energética em adiar ou evitar aumento de capacidade do sistema, os fundos destinados a esses esforços também poderiam atingir suas metas se oferecidos ao armazenamento.
Incentivos temporários - até que os valores de armazenamento sejam mais facilmente monetizados nas regras do mercado - na forma de descontos, doações ou fiscais podem favorecer atingir metas mais amplas de eficiência, à medida que os custos do sistema continuem a diminuir e políticas e mercados evoluem.
Estímulo para estudos e procedimentos que identifiquem políticas de valor para o armazenamento. Avaliações de custo-benefício de cenários de implantação de armazenamento em larga escala podem fornecer orientação aos formuladores de políticas estaduais sobre a magnitude e o tipo de benefícios do contribuinte que outras atividades políticas podem realizar.

Fonte: adaptado de *Energy Storage Association* (2017)

Quadro 9 – Políticas para competitividade das tecnologias de armazenamento de energia

<p style="text-align: center;">COMPETITIVIDADE</p> <p style="text-align: center;">Permitir a concorrência do armazenamento como um recurso econômico e de alto desempenho em toda a cadeia de fornecimento</p>
<p>Incluir nos planejamentos integrados de recursos –utilizados em mais de 25 estados, as melhores práticas para inclusão de armazenamento: garantir que o armazenamento seja incluído como uma tecnologia elegível; uso dados de custo e desempenho mais recentes; modelagem sub horária; garantia do custo líquido da capacidade (benefícios empilhados); e incorporar opções de armazenamento de carga como um recurso potencial.</p>
<p>Estados como Nevada aprovaram legislação que inclui o armazenamento como um recurso elegível para cumprir metas de energia renovável.</p>
<p>O armazenamento pode servir como uma alternativa flexível e econômica a muitos ativos tradicionais de distribuição, como atualizações de subestações. Os planejadores de rede devem adotar uma abordagem proativa para comparar o armazenamento aos investimentos em distribuição convencional, bem como incluir valores além da simples substituição de ativos. Aumentar a transparência e a concorrência no planejamento, para que o armazenamento possa ser oferecido como alternativa não-fios. Os procedimentos de modernização de rede ou planejamento de distribuição, como os que estão em andamento em Nova York, Minnesota, Maryland e Califórnia, podem garantir que alguns desses processos sejam implementados.</p>
<p>O armazenamento de energia já está fornecendo benefícios de redundância, desde energia de backup em escolas e hospitais até a implantação rápida de armazenamento de energia para mitigar a escassez de gás (Aliso Canyon, na Califórnia).</p>

Fonte: adaptado de *Energy Storage Association* (2017)

Quadro 9 – Políticas para competitividade das tecnologias de armazenamento de energia (cont.)

COMPETITIVIDADE
Permitir a concorrência do armazenamento como um recurso econômico e de alto desempenho em toda a cadeia de fornecimento
A atualização dos procedimentos de adequação de recursos para incluir ativos flexíveis, como o armazenamento, pode garantir que a rede funcione de maneira eficiente, sem sobrecarregar e sujeitar os contribuintes a aumentos desnecessários nas tarifas. Especialmente à medida que os picos do sistema mudam, o planejamento e as aquisições devem definir as necessidades de desempenho de maneira neutra em termos de tecnologia.
O armazenamento deve ser incluído como uma tecnologia elegível para todas as novas adições de capacidade do sistema e / ou necessidades de capacidade da rede local. Além disso, o armazenamento deve ser considerado elegível em aquisições de energia limpa, como aconteceu em Connecticut.
Programas para reduções de demanda de pico (ou resposta à demanda) devem incluir o armazenamento de energia como elegível, tornando-os programas de eficiência energética com o objetivo de evitar novos custos de infra-estrutura.
Distribuidoras em alguns estados, como Nova York e Califórnia, foram pioneiros em leilões reversos para alternativas de não-fios e reduções de pico de carga. Esses programas devem admitir o armazenamento de energia como um recurso elegível

Fonte: adaptado de *Energy Storage Association* (2017)

Quadro 10 – Políticas para garantia de acesso para as tecnologias de armazenamento de energia

ACESSO
Garantir acesso justo e igualitário aos mercados, mitigando barreiras de interconexão para oferecimento de serviços
A interconexão de armazenamento de energia exige regras, processos e limites jurisdicionais claros. Eles devem permitir o armazenamento em pontos de interconexão existentes se nenhum aumento de injeções é desejado. Estudos de transmissão devem examinar o armazenamento como um ativo altamente controlável, não como uma carga imprevisível ou gerador impreciso.
As regras e padrões de medição devem ser adequadas ao ativo ou serão excessivamente onerosas. O armazenamento puramente modificador de carga justifica interconexão onerosa. Revisão de regras de interconexão para sistemas localizados em alimentadores congestionados ou destinados a descarregar durante as horas de pico de demanda também deve ser efetuada. Processos de arbitragem podem ajudar a resolver disputas de interconexão enquanto as regras são reformadas.
Permitir que clientes e terceiros possuam e forneçam armazenamento para serviços públicos como um serviço. Nos estados reestruturados, permitir que as concessionárias possuam e forneçam armazenamento.
Permitir que o armazenamento do cliente forneça serviços para a rede. Nos estados em mercados atacadistas, permitir que o armazenamento forneça serviços de varejo e atacado, planejando medidas de medição, telemetria e contabilidade que evitem a "contagem dupla".
Transparência nas informações dos sistemas de distribuição, incluindo a localização de restrições de rede existentes e projetadas, para que os desenvolvedores possam otimizar o uso do armazenamento.

Fonte: adaptado de *Energy Storage Association* (2017)

De acordo com a *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) muitos estados americanos estão incluindo políticas de incentivo para o armazenamento de energia. Destacam-se os incentivos financeiros para instalações de armazenamento em escala ou distribuídas; a inclusão de padrões de armazenamento nas atuais políticas de incentivo a energias renováveis; e, avaliações de potenciais técnicos como caminho para possíveis políticas (NREL, 2014).

O estado de Washington, em 2013, estabeleceu projetos de lei incentivando energias renováveis com o uso de armazenamento de energia em projetos de tecnologias com baixas emissões de gases de efeito estufa. Outro projeto do mesmo estado diz respeito à obrigatoriedade das concessionárias em incluir avaliações de armazenamento de energia em seus planos de recursos integrados para fornecer serviços auxiliares e/ou complementar as instalações de energia renovável.

No Novo México o Departamento de Recursos Naturais convocou um grupo de trabalho para estudar a política de armazenamento de energia existente e desenvolver recomendações legislativas e regulatórias para incentivar o desenvolvimento do armazenamento de energia no estado. Foi publicado relatório com recomendações para o estabelecimento de incentivos financeiros para o armazenamento de energia e o apoio a um projeto de demonstração em larga escala.

Em Nova York o *NY Battery & Energy Storage Consortium* (NY-BEST) foi criado em 2010 pela Autoridade de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado de Nova York (NYSERDA) para catalisar e expandir a indústria de armazenamento de energia e ao mesmo tempo posicionar o estado como líder do setor, apoiando financeiramente pesquisa e desenvolvimento, bem como iniciativas políticas.

Mais recentemente, a NYSERDA e a *ConEdison* se uniram para criar um programa de incentivo ao armazenamento de energia que fornece aos clientes de serviços públicos US\$ 2.100/kW para armazenamento de baterias e US\$ 2.600/kW para armazenamento térmico. Inicialmente, a proposta fazia parte do plano de contingência mais amplo da Indian Point, mas foi integrado no programa de gerenciamento de demanda do estado. Os projetos elegíveis precisam fornecer uma redução de pico de pelo menos 50 kW com incentivos de bônus disponíveis para projetos que alcançam uma redução de pico de 500 kW.

Conforme avaliado por ADEBAYO et al. (2018), do ponto de vista político os últimos três anos têm sido muito interessantes para armazenamento de energia. A *Federal Energy Regulatory Commission* dos EUA (FERC) implementou uma série de regulamentos

(755, 784 e 792) aplicáveis aos mercados de energia elétrica da Pensilvânia, Jersey, Maryland (PJM), *Midcontinent Independent System Operator (MISO)*, *California Independent System Operator (CAISO)*, Operadora de Sistema Independente de Nova York (NYISO) e Operadora de Sistema Independente para Nova Inglaterra (ISO-NE).

Masiello (2014) identifica que a ordem FERC 755, emitido pela *Federal Energy Regulatory Commission*, órgão de regulação dos EUA, garante que os operadores do sistema desenvolvam remuneração pela tarifa de desempenho para serviços ancilares.

Kintner-Meyer (2014) por sua vez identifica que a ordem FERC 784 exige que o operador do sistema considere a velocidade e precisão na formulação de requisitos para serviços ancilares, enquanto a FERC 792 coloca o armazenamento de energia no mesmo nível dos geradores convencionais considerando-o como uma fonte de energia.

Winfield, Shokrzadeh e Jones (2018) analisam de forma comparativa as alterações em políticas energéticas de países da União Europeia, Canadá e EUA, com vistas ao avanço do armazenamento de energia. Eles inserem a tecnologia de armazenamento como ponto central na configuração dos sistemas nas localidades que pretendem efetuar a transição energética para fontes de baixa emissão de carbono, a exemplo de Alemanha e Califórnia (EUA).

Na Austrália, em razão do crescimento da energia renovável, redefinindo o mercado de energia do país, predominantemente oriundo de carvão e gás e atualmente transformado pelo uso de vento e sol, foi desenvolvido pelo *Clean Energy Council* o artigo "Políticas e Reformas Regulatórias para o destravamento do Potencial de Armazenamento de Energia na Austrália" (CLEAN ENERGY COUNCIL, 2017). Treze recomendações foram desenvolvidas:

- a) Reforma do atual regime de liquidação do mercado de energia para adotar uma abordagem de liquidação de mercado de cinco minutos; e,
- b) Permissão para que dispositivos de ação rápida auxiliem no controle de frequência e no suporte à segurança do sistema.
- c) A Comissão Australiana do Mercado de Energia (AEMC) deve rever as regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento.
- d) Os negócios de distribuição devem publicar melhores dados sobre as restrições de rede iminentes que poderiam ser abordadas por investimentos incrementais no armazenamento de energia na rede.

- e) A AEMC deve reduzir significativamente o limiar RIT-D do nível atual de US\$ 5 milhões e incentivar abordagens como a "Melhor Preço Incremental da Ergon Energy", que permite incrementos menores de investimento.
- f) Os negócios de distribuição devem facilitar a obtenção de aprovação para conexão à rede ao adicionar uma bateria a um sistema solar fotovoltaico.
- g) Os governos territoriais devem estabelecer tarifas para assegurar que o valor total do armazenamento de energia seja reconhecido.
- h) Nos estados em que os clientes continuam a receber tarifas *feed-in premium*, deve se considerar a viabilidade de programas para permitir subsídio para uma bateria.
- i) O *Australian Energy Regulator* (AER) deve apoiar a transição para tarifas baseadas na demanda e capacitar os consumidores.
- j) Os reguladores de segurança do governo estadual devem exigir que todas as instalações de baterias sejam executadas por um instalador qualificado.
- k) Estabelecimento de padrão Australiano legalmente aplicável para a segurança do produto de baterias de íons de lítio. Até sua implementação, seguir a norma IEC 62619: 2017.
- l) Os governos que fornecem descontos ou realizam leilões reversos para sistemas de armazenamento de bateria "por trás do medidor" devem especificar condições de licitação para o uso de varejistas ou demonstrem atender padrões.
- m) A indústria e todos os níveis de governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil.

3.5.3 Considerações finais

No Brasil, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), dentre as políticas e iniciativas apresentadas, é a que apresenta maior convergência para inserção do armazenamento de energia como tecnologia de aplicação.

Com o modelo de expansão da oferta e simulações da operação, a alternativa principal para atendimento à ponta do sistema foi a tecnologia de usinas termelétricas a gás natural com ciclo aberto.

Análises quantitativas sobre a demanda sistêmica de flexibilidade operativa no curto prazo, que está entre o rol de serviços que baterias e usinas hidrelétricas reversíveis podem entregar, não constaram do PDE 2026 e, conseqüentemente, não houve avanços neste estudo para a inserção das tecnologias como atributo de flexibilidade sistêmica.

Os avanços no PDE 2027 são evidentes, tanto na inclusão da tecnologia no modelo computacional de decisão de investimentos (MDI) como nos cenários alternativos de expansão.

Ainda assim, a indicação da necessidade de aprimoramento de estudos que apresente o nível econômico benéfico para deplecionar reservatórios para equilibrar a expansão considerando requisitos de energia e potência, estabelece uma nova barreira para a concretização das tecnologias de armazenamento.

Mesmo com variáveis relacionadas ao crescimento no consumo de energia podendo ser o gatilho para o uso das tecnologias de armazenamento, a EPE considera que novos paradigmas de operação podem reduzir as necessidades de expansão de potência, o que também deve requerer avaliações.

Tais aspectos indicam ainda um caminho de evolução para que o planejamento do setor elétrico brasileiro efetivamente considere a inserção das tecnologias de armazenamento.

Exemplos, tais como as iniciativas apontadas nos EUA e Austrália, podem ser considerados no desenvolvimento do modelo computacional de decisão de investimentos considerando atributos como incentivos e fornecimento de serviços auxiliares e/ou complementar as instalações de energia renovável.

Além das questões associadas ao desenvolvimento do modelo computacional, o governo e o planejamento energético nacional podem observar os seguintes aspectos já avançados nos países observados:

- a) Estabelecer políticas de incentivo para tecnologias que viabilizem a transição energética para fontes de baixa emissão de carbono;
- b) Desenvolver padrões para as tecnologias de armazenamento;
- c) Regulamentar com as concessionárias de energia a avaliação do armazenamento nos respectivos modelos de planejamento;
- d) Criar um grupo de trabalho focado no armazenamento de energia com os principais atores relacionados com o setor elétrico;
- e) Fomentar a indústria com projetos de pesquisa & desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia para as características locais;
- f) Desenvolver tarifa com remuneração específica para serviços ancilares;
- g) Avançar na discretização temporal da medição para uma abordagem de liquidação de energia que viabilize a inserção da tecnologia de armazenamento;
- h) Coibir eventuais regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento;
- i) Ampliar o acesso às informações sobre restrições de rede, favorecendo projetos de armazenamento de energia;
- j) Coibir restrições de acesso à rede de energia de projetos de armazenamento;
- k) Ampliar a abrangência de tarifas baseadas na demanda;
- l) Capacitar consumidores;
- m) Exigir capacitação técnica para instaladores de tecnologias de armazenamento;
- n) Desenvolver padrão de segurança do produto de baterias;
- o) A indústria e o governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção serão detalhados, a natureza, as etapas e instrumentos da investigação.

4.1 NATUREZA DA PESQUISA

O trabalho foi de natureza qualitativa com objetivo exploratório e pautado na pesquisa bibliográfica e documental acompanhada pela coleta de dados por meio um questionário.

4.2 TRAJETÓRIA DA PESQUISA

O estudo foi distribuído em quatro fases distintas. A primeira fase consistiu-se da revisão do estado da arte das tecnologias de armazenamento de energia, na identificação de modelos de planejamento e das políticas nacionais e internacionais que possibilitassem verificar as iniciativas de fomento ao armazenamento de energia.

Na segunda fase, foi realizada a formulação de um questionário, considerando os objetivos da investigação e a revisão, para coleta de dados juntos a especialista no tema de planejamento. O questionário foi encaminhado para a Empresa de Pesquisa Energética. O profissional contatado informou que o documento seria verificado por um grupo de técnicos da EPE e as questões seriam respondidas em conjunto.

Na terceira fase foram apresentados os resultados e estes foram analisados a partir da revisão bibliográfica e documental. Na quarta fase foram expostas as conclusões do trabalho bem como propostas para adaptações no modelo de planejamento energético nacional. Também foram identificadas as lacunas nas responsabilidades dos atores envolvidos.

4.3 O INSTRUMENTO DA PESQUISA

Para identificação do modelo de inserção de armazenamento de energia no planejamento energético do Brasil, além da base de documentação já disponível, optou-se pela realização do envio de questionário específico para a EPE.

A base de dados de artigos utilizada para tecnologias de armazenamento foi a Science Direct da Editora Elsevier. O resultado para os termos de busca “*Energy Storage*” and “*Policy*” resultou em 337 artigos. Destes 337 artigos, 27 possuíam como referência o trabalho desenvolvido por Xing Luo, Jihong Wang, Mark Dooner e Jonathan Clarke em 2015 cujo o título é “*Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation.*”

Portanto, a identificação deste trabalho como referência de significativa parcela das tecnologias existentes possibilitou utilizá-lo como base das referências tecnológicas deste estudo. Outros artigos foram utilizados para complementar as informações referentes às tecnologias.

Informações do Banco de Informações da ANEEL, EPE e MME também foram base para a avaliação do atual planejamento energético realizado pelo país, passando por seu histórico, estrutura e modelos.

Para obtenção das informações sobre modelos internacionais, bases setoriais consagradas como o da *International Agency Assossiation* (IEA), *International Electrotechnical Commission* (IEC), *International Renewable Energy Agency* (IRENA) e *Clean Energy Council* foram utilizadas. Para definição dos países, considerou-se o expertise em armazenamento de energia dos Estados Unidos da América e Austrália.

A decisão de focar nestes países considerou o aspecto de fomento para a evolução da tecnologia de armazenamento, no caso da Austrália, e a grande diversidade regulatória, no caso dos EUA que possui uma Agência Federal – *Federal Energy Regulatory Agency* (FERC) – mas descentraliza para os estados a competência regulatória voltada à distribuição de energia e aprovação na construção de empreendimentos.

4.3.1 O QUESTIONÁRIO

O questionário foi composto por seis perguntas relacionadas ao tema, conforme pode ser verificado no ANEXO A – Questionário encaminhado para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Quatro questões eram de múltipla escolha e duas abertas.

As questões de múltipla escolha buscaram restringir as alternativas as tecnologias e modelos de planejamento identificados na literatura.

As principais questões relacionadas ao planejamento energético que subsidiaram o questionário foram associadas aos seguintes aspectos:

- inserção das tecnologias de armazenamento de energia;
- inserção de fontes renováveis;
- mudanças em modelos de planejamento; e,
- aspectos ambientais.

As questões abertas procuraram conceder o maior grau possível de liberdade nas respostas, com vistas a captar o mais fielmente possível a visão acerca dos temas relacionados.

Na seção, a seguir, os resultados da investigação serão apresentados.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Considerando os objetivos almejados com as investigações efetuadas, as análises a seguir abrangem - a partir das observações realizadas pelos técnicos da EPE - pontos convergentes ou não com a literatura e documentos relacionados na bibliografia.

No âmbito deste trabalho foram revisados: o estado da arte das principais tecnologias de armazenamento de energia elétrica; planejamento energético; políticas públicas nacionais e internacionais, complementado por questões ambientais relacionadas.

Dessa forma, com relação ao tema 'principais tecnologias de armazenamento a serem adotadas, os profissionais da EPE apontaram que as usinas hidrelétricas reversíveis e as baterias são aquelas com maior potencial no país, sendo a base desta avaliação dos técnicos da EPE a elaboração de uma Nota Técnica, denominada PR 04/18 - "Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050" da série Recursos Energéticos.

Tais tecnologias, conforme suas respostas ao questionário, foram incorporadas no modelo de investimentos que serve de base para a elaboração do planejamento, sendo esta metodologia suficiente para identificar o benefício proveniente do armazenamento no sentido de aferir diferenças de preços que justifiquem eventual investimento. Entretanto, eles destacam que ainda não é possível comparar as especificidades das tecnologias, para indicar qual delas é a mais adequada.

Em termos de potencial de aplicação, os técnicos relatam que a Nota Técnica da EPE - PR 04/18 Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050 - analisa com maior profundidade as tecnologias de baterias e usinas hidroelétricas reversíveis por se acreditar que tenham maior potencial no país, sinalizando no caso das reversíveis a elaboração de inventários por georeferenciamento em alguns estados brasileiros.

Os técnicos também indicam a existência de estudo de georeferenciamento para inventariar o potencial de usinas hidroelétricas reversíveis em alguns estados brasileiros. Considerando esta iniciativa de estudos, fica evidente que esta tecnologia se posiciona em destaque como potencial para o caso brasileiro.

Esse resultado alinha-se ao que é apresentado por Luo et al. (2015) que indicam que entre as principais tecnologias com nível comercial de desenvolvimento estão as tecnologias de hidroelétricas reversíveis e baterias.

Luo et al. (2015) em seu estudo intitulado "*Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system*

operation" apresentam tais tecnologias dentro do estado da arte das tecnologias de armazenamento de energia. O estudo também indica que entre as principais tecnologias com nível comercial de desenvolvimento estão as tecnologias de hidroelétricas reversíveis e baterias.

Ainda com base nas tecnologias comercializáveis, demonstrados por Luo et al. (2015), somente a tecnologia de armazenamento de energia de ar comprimido não foi destacada pelos técnicos da EPE como um potencial para o Brasil.

Conforme IRENA (2017), para o armazenamento de energia por ar comprimido são necessárias grandes áreas devido à sua baixa densidade de armazenamento. O uso de cavernas salinas, artificialmente construídas em formações de sal profundo, é apropriado pois possuem propriedades importantes, como: alta flexibilidade sem perdas de pressão e não reagem com o oxigênio do ar e a rocha hospedeira salgada. Os aquíferos naturais e campos de gás natural esgotados também estão sendo investigados para armazenamento de ar comprimido. Além das questões de esgotamento e bloqueio, a mistura de hidrocarbonetos residuais com ar comprimido também é considerada na viabilidade.

Para que se tornasse efetiva, a tecnologia de ar comprimido necessita de estudos regionais aprofundados para estabelecê-la em algum rol de prioridades.

De outra forma, as indicações do MME com a Consulta Pública nº61/2018 colocaram a contratação de usinas térmicas exclusivas para prover requisitos de flexibilidade ao sistema. Em outras palavras, há uma vertente para que a flexibilidade seja dada pela contratação térmica pelo gás natural, que é um combustível fóssil. Avanços em sistemas inflexíveis colocam as perspectivas de uso e a adoção de soluções oriundas de fontes fósseis como crescentes.

Verifica-se, portanto, que a penetração de fontes fósseis para prover flexibilidade concorre com a adoção das tecnologias de armazenamento.

Para avaliar como o planejamento energético nacional influencia os processos decisórios sobre as fontes que são ou serão adotadas, também foi efetuada a análise com base no questionário encaminhado para os técnicos da EPE.

Com a indicação de que a EPE publicou em seu site (EPE, 2018) iniciativas de estudos que se colocam além das tradicionais fontes de geração, como usinas híbridas e baterias, estudo para as diversas tecnologias de armazenamento e suas possibilidades para o SIN e sistemas isolados, e o desenvolvimento da criação de modelo econômico-financeiro e das questões ambientais associadas à avaliação do potencial desses recursos, a pergunta colocada foi se havia, com base nestas iniciativas, previsão de publicação de avanços na

metodologia de planejamento energético que vislumbre a inserção das tecnologias de armazenamento de energia.

Os respondentes manifestaram que para a elaboração do PDE 2027 houve um aprimoramento do MDI (Modelo de Decisão de Investimentos) para incorporar tecnologias de armazenamento, como usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) e baterias e que estes quesitos foram tratados na Nota Técnica da metodologia do MDI, presente no PDE 2027.

Ao aprofundar a análise do mencionado PDE 2027, verifica-se que o modelo computacional de decisão de investimentos (MDI), que é a mais recente metodologia utilizada no modelo de decisão de investimentos no Brasil, busca a possibilidade de identificar os benefícios sistêmicos provenientes das tecnologias armazenamento.

Ainda no posicionamento dos técnicos, há menção de que a metodologia remete a diferenças de preços entre as diversas tecnologias abordadas nos estudos de planejamento nacionais, sendo possível justificar os eventuais investimentos necessários. No entanto, os técnicos manifestam que, ainda que já exista a possibilidade desta avaliação dos sistemas de armazenamento, a metodologia não permite comparar as especificidades das tecnologias de forma que seja identificado qual delas seria a mais adequada para o SIN.

Seguindo com a pesquisa, o que se observou na literatura sobre a inclusão de tecnologias de armazenamento no planejamento energético da Austrália e EUA são reais ações de fomento.

Conforme já mencionado em *Energy Storage Association* (2017) as regras e processos observados nos estados americanos distorcem ou excluem o armazenamento de energia como opção de investimento, quando comparados com outros ativos convencionais de geração, transmissão e distribuição para o gerenciamento de demanda.

De certa forma a aplicação destas tecnologias de forma direta estão em linha com o que dispõe os técnicos da EPE.

No entanto, o estágio que difere do Brasil está na opção adotada pelos formuladores de políticas e agentes da indústria na busca de avanços para reduzir custos, aumentar a confiabilidade do sistema elétrico e integrar os recursos renováveis.

É com base no estudo da *Energy Storage Association* (2017) que se constata as opções para a definição de políticas nos estados americanos, que buscam capturar todo o valor e assegurar a competitividade e acesso para que as tecnologias de armazenamento de energia se integrem aos sistemas de energia.

A explicação para esta diferença de tratamento com os modelos internacionais estudados pode se dar pelo modelo histórico de planejamento do setor de energia elétrica

brasileiro, que sempre teve como base a inserção de usinas hidroelétricas com grandes reservatórios. Este modelo permitiu que, ao longo do tempo, a preocupação em atender a carga estivesse restrita ao aumento de capacidade do sistema, que desde 2003 ocorre por meio de leilões de energia.

Somente com a inserção de novas fontes que, apesar de também serem consideradas renováveis, possuem geração intermitente é que esta discussão ganha escala. Os níveis médios de armazenamento de água dos grandes reservatórios, como se observa em Histórico da Operação do ONS (2018), passaram para uma tendência de deplecionamento, o que configura diminuição da capacidade de manutenção da geração de forma contínua em longo prazo.

A diversificação das fontes na matriz elétrica nacional, com participação mais relevante de geração proveniente de fontes renováveis intermitentes, ainda que atendendo os aspectos ambientais em relação a baixa emissão ou nenhuma de CO₂, parece requerer do planejamento energético alternativas para abastecer o consumo de energia durante períodos em que a demanda por energia se sobrepõem a capacidade de geração.

Neste quesito, é avaliação dos técnicos da EPE que é necessário avaliar até quando a flexibilidade do parque existente de geração hidroelétrica, somada daquela obtida pelas novas tecnologias de geração, permitirão o atendimento aos requisitos do SIN, para só então definir, caso necessário, a entrada de tecnologias específicas como as tecnologias de armazenamento.

Para identificar quais políticas são adotadas como incentivo à implementação de sistemas de armazenamento de energia, os especialistas ressaltaram a importância de se considerar que o sistema elétrico brasileiro se difere da maioria dos demais encontrados pelo mundo, em razão da presença de usinas hidrelétricas com grande capacidade de regularização.

Também foi sinalizada a perda de armazenamento relativa, quando comparada a capacidade de estoque em relação a carga, vêm fazendo com que a forma de analisar, planejar e operar o sistema seja diferente do passado. Complementam que, ainda que ocorram essas mudanças, a capacidade de armazenamento existente nesses reservatórios faz com que essa questão de simplesmente alterar o planejamento seja vista com cautela. Neste sentido, indicaram ser necessário avaliar até qual ponto a flexibilidade do parque existente, somada daquela obtida pelas tecnologias de geração, permitirão o atendimento aos requisitos do SIN. Concluem que somente com esta avaliação mais abrangente será possível definir a necessidade pela inserção de tecnologias específicas para ampliar a flexibilidade do sistema, como por exemplo as tecnologias de armazenamento de energia.

Ao encontro do que foi mencionado pelos técnicos da EPE, o relatório Energia Renovável, coordenado por Tolmasquim (2016) atribui ao modelo histórico de planejamento do setor de energia elétrica a base de inserção de usinas hidroelétricas com grandes reservatórios. Este modelo permitiu que, ao longo do tempo, a preocupação em atender a carga estivesse restrita ao aumento de capacidade do sistema, desde 2003 por meio de leilões de energia.

O Histórico da Operação do ONS (2018), identificados por meio do Gráfico 6 - Energia Armazenada Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (GWh) ao Gráfico 9, demonstra que, com a inserção de novas fontes renováveis que possuem geração intermitente, os níveis médios de armazenamento de água dos grandes reservatórios passaram para uma tendência de deplecionamento. Isso configura diminuição da capacidade de manutenção da geração de forma contínua em longo prazo.

Ao identificar-se a situação mencionada, a pesquisa realizada com os técnicos da EPE questionou o planejamento neste novo cenário. Em resposta, houve a concordância com a não adequada forma de contratação da expansão com base no critério de energia. A base da resposta indica que este critério não garante a segurança de suprimento para uma realidade de menor capacidade de regularização dos reservatórios e maior variabilidade e incerteza na geração.

Foi mencionado pelos especialistas que a EPE emitiu a NT “Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento” para tratar o tema. Este tratamento resulta no atendimento dos critérios de “capacidade” e “flexibilidade” como relevantes para que os modelos do planejamento busquem se adaptar para reconhecer exatamente as necessidades de capacidade e flexibilidade. Como suporte, os modelos regulatório e comercial necessitariam ser revistos para permitir a contratação e remuneração de tecnologias para atendimento desses requisitos de capacidade e flexibilidade.

A diversificação das fontes na matriz elétrica nacional, com participação mais relevante de geração proveniente de fontes renováveis intermitentes, ainda que atendendo os aspectos ambientais em relação a baixa emissão ou nenhuma de CO₂, requer do planejamento energético alternativas para abastecer o consumo de energia durante períodos em que a demanda por energia se sobrepõem a capacidade de geração.

No entanto, os avanços em sistemas inflexíveis colocam as perspectivas de uso e a adoção de soluções oriundas de fontes fósseis como crescentes.

A CP 33/2017 do MME foi mencionada pelos técnicos da EPE como base para propostas relacionadas a três dos modelos de negócio: leilões isolados de capacidade de

armazenamento de energia; armazenamento como fator de competitividade com custo evitado de transmissão; regulação de iniciativas particulares na implementação de geração distribuída, em resposta para sinalização de preços em horários de pico; e, tratamento do armazenamento como serviços ancilares.

Já a regulação de iniciativas particulares na implementação de geração distribuída, em resposta para sinalização de preços em horários de pico, os profissionais da EPE acreditam que a sinalização horária, assim como a locacional, é importante para capturar o verdadeiro valor da geração distribuída, o que indica que este deve ser o principal caminho do armazenamento de energia no Brasil. Na CP 33/2017 do MME foi inserido item que permite a cobrança diferenciada por horário. Avanços sobre esta possibilidade ainda caberiam para a ANEEL regulamentar ou não tal diferenciação.

Para a flexibilidade, necessária para o atendimento em qualquer hora do dia e em resposta à variação instantânea da carga e demanda no curto prazo, as opções de geração e soluções tecnológicas candidatas no horizonte decenal, destacou as seguintes tecnologias (EPE, 2017):

- a) Usinas termelétricas de partida rápida, para atender os requisitos de disponibilidade de potência e dar a flexibilidade necessária ao sistema;
- b) Repotenciação ou instalação de unidades geradoras adicionais em usinas hidrelétricas existentes;
- c) Usinas hidrelétricas reversíveis;
- d) Gerenciamento pelo lado da demanda; e,
- e) Armazenamento químico de energia (baterias).

Dos modelos de negócio observados na literatura, que incluem leilões isolados de capacidade de armazenamento de energia; complementariedade para geração de energia proveniente de fontes renováveis; armazenamento como fator de competitividade com custo evitado de transmissão; inserção do armazenamento como ativos de distribuição (conectados ao sistema de distribuição e de propriedade das distribuidoras); regulação de iniciativas particulares na implementação de geração distribuída, em resposta para sinalização de preços em horários de pico; e, tratamento do armazenamento como serviços ancilares, somente a inserção como ativos de distribuição não foram de alguma forma estudadas pela EPE.

O uso como complementariedade de geração de energia proveniente de fontes renováveis não é visto pelos respondentes como a forma mais eficiente de contratação. A opção com melhor entendimento seria a de utilizar produtos específicos, com base em contratação de energia e capacidade.

O armazenamento como fator de competitividade com custo evitado de transmissão não foi tratado especificamente pela EPE, mas foi proposto que as tarifas de uso de transmissão e distribuição utilizassem sinais locacionais e valorassem eventuais benefícios da geração próxima da carga.

O armazenamento como tecnologia para serviços ancilares também foi mencionado pelos técnicos da EPE como integrante da CP 33/2017, mas sem especificação por tecnologia.

Por meio da identificação de experiências internacionais voltadas ao armazenamento de energia, pode-se obter orientações para as políticas nacionais.

De forma mais abrangente do que as possibilidades mencionadas pelos técnicos da EPE, a Energy Storage Association (2017) apresenta uma série de políticas que poderiam ser implementadas para favorecer o armazenamento de energia.

- a) Estabelecer políticas de incentivo para tecnologias que viabilizem a transição energética para fontes de baixa emissão de carbono;
- b) Desenvolver padrões para as tecnologias de armazenamento;
- c) Regulamentar com as concessionárias de energia a avaliação do armazenamento nos respectivos modelos de planejamento;
- d) Criar um grupo de trabalho focado no armazenamento de energia com os principais atores relacionados com o setor elétrico;
- e) Fomentar a indústria com projetos de pesquisa & desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia para as características locais;
- f) Desenvolver tarifa com remuneração específica para serviços ancilares;
- g) Avançar na discretização temporal da medição para uma abordagem de liquidação de energia que viabilize a inserção da tecnologia de armazenamento;
- h) Coibir eventuais regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento;
- i) Ampliar o acesso às informações sobre restrições de rede, favorecendo projetos de armazenamento de energia;
- j) Coibir restrições de acesso à rede de energia de projetos de armazenamento;
- k) Ampliar a abrangência de tarifas baseadas na demanda;
- l) Capacitar consumidores;
- m) Exigir capacitação técnica para instaladores de tecnologias de armazenamento;
- n) Desenvolver padrão de segurança do produto de baterias;
- o) A indústria e o governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil.

A *International Energy Agency* (IEA) publicou recentes estudos sobre renováveis em que analisa o mercado previsto de energia renovável e tecnologias no período 2018-2023. Mesmo diante de evolução em relação ao incremento de emissões de CO₂ nos últimos anos, o crescente uso de energia solar, eólica, bioenergia e outras energias renováveis em conjunto com a eficiência energética e outras tecnologias de energia limpa - é necessário em todos os setores da economia para que as emissões estabilizem e depois persigam metas de recuo (IEA, 2018).

O estudo da IEA (2018) ainda avalia que, mesmo com a observação de reduções contínuas de custos, as políticas de governo continuam a ser cruciais para atratividade de investimentos em fontes renováveis, garantindo projetos que vislumbrem integração de sistemas com premissas de confiabilidade e economia.

A importância de garantir uma política energética e um quadro de mercado que não imponha barreiras foi destacada por Strback et al. (2012) e dessa forma seriam facilitadas as aplicações de tecnologias de armazenamento de energia de forma rentáveis.

Os mesmos autores também identificaram que o armazenamento de energia pode trazer benefícios para vários setores da indústria de eletricidade, incluindo geração, transmissão e distribuição, fornecendo serviços para suportar balanceamento em tempo real de demanda e fornecimento, gerenciamento de congestionamento de rede e redução da necessidade de investimento no reforço do sistema.

Assim, identificar políticas públicas relacionadas ao armazenamento de energia e aplicações que atendam a realidade brasileira, considerando exemplos internacionais, possibilita confrontar o cenário atual no Brasil.

Ao compararmos as iniciativas em estudos apontados pelos técnicos da EPE, observou-se uma situação incipiente no país. Para esta conclusão, foi elaborada a comparação entre Austrália e Brasil, Quadro 11, e Estados Unidos e Brasil, Quadro 12.

Quadro 11 – Iniciativas para implementação do Armazenamento de Energia – Comparativo Austrália-Brasil

Austrália	Brasil
Permissão para que dispositivos de ação rápida auxiliem no controle de frequência e no suporte à segurança do sistema	Sem previsão legal ou regulatória.
Revisão das regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento	A CP 33/2017 do MME possui diretrizes de modernização. No entanto,

Austrália	Brasil
	requer ser retomada para que se obtenha resultados que sinalizem a revisão de regras do mercado de eletricidade no Brasil.
Negócios de distribuição devem publicar melhores dados sobre as restrições de rede iminentes que poderiam ser abordadas por investimentos incrementais no armazenamento de energia na rede	Não há disponibilidade pública da informação no sistema da distribuidora ou incentivo para isto.
Negócios de distribuição devem facilitar a obtenção de aprovação para conexão à rede ao adicionar uma bateria a um sistema solar fotovoltaico	Sem previsão legal ou regulatória. Atualmente está regulamentada a conexão na rede exclusivamente dos sistemas fotovoltaicos.
Governos territoriais devem estabelecer tarifas para assegurar que o valor total do armazenamento de energia seja reconhecido	Para sistemas isolados o uso de renováveis com armazenamento já é possível. No entanto, ainda não se observa competitividade.
Estados em que os clientes continuam a receber tarifas <i>feed-in premium</i> , deve se considerar a viabilidade de programas para permitir subsídio para uma bateria	Sem previsão legal ou regulatória.
Transição para tarifas baseadas na demanda e capacitar os consumidores	Sem previsão legal ou regulatória para todo o mercado. Grandes consumidores já possuem o tipo de tarifação. Há sinalização de evolução em medição para possibilitar ampliar o mercado neste tipo de contratação.
Exigência de que todas as instalações de baterias sejam executadas por um instalador qualificado	Sem previsão legal ou regulatória.
Elaboração de padrão aplicável para a segurança do produto de baterias de íons de	Não há padrão específico definido para a segurança de produto das baterias de

Austrália	Brasil
lítio.	íons de lítio. Pela resolução do Conama 401/2008, os metais tratados são: zinco, manganês, chumbo, níquel e mercúrio. Em relação a destinação considerada ambientalmente correta, esta independe do sistema físico-químico.
Governos que fornecem descontos ou realizam leilões reversos para sistemas de armazenamento de bateria "por trás do medidor" devem especificar condições de licitação para o uso de varejistas ou demonstrem atender padrões	Sem previsão legal ou regulatória.
Indústria e todos os níveis de governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil	Exigências limitadas a oferecer locais de descarte e obrigatoriedade de cadeia reversa aos fabricantes, mas não estão vinculadas a metas.

Quadro 12 – Iniciativas para implementação do Armazenamento de Energia – Comparativo EUA-Brasil

EUA	Brasil
Incentivos financeiros para instalações de armazenamento em escala ou distribuídas	Sem previsão legal ou regulatória
Inclusão de padrões de armazenamento nas políticas de incentivo a energias renováveis	Sem previsão legal ou regulatória
Grupos técnicos e legislativos para avaliações de potenciais técnicos como caminho para possíveis políticas	Sem previsão legal ou regulatória
Tarifas para serviços ancilares com a tecnologia de armazenamento de energia	Sem previsão legal ou regulatória.

Com relação as iniciativas expostas por *Energy Storage Association* (2017), observa-se que algumas políticas poderiam ser implementadas de forma imediata para favorecer o armazenamento de energia no Brasil:

- a) Estabelecer políticas de incentivo para tecnologias que viabilizem a transição energética para fontes de baixa emissão de carbono;
- b) Desenvolver padrões para as tecnologias de armazenamento;
- c) Regulamentar com as concessionárias de energia a avaliação do armazenamento nos respectivos modelos de planejamento;
- d) Criar um grupo de trabalho focado no armazenamento de energia com os principais atores relacionados com o setor elétrico;
- e) Avançar na discretização temporal da medição para uma abordagem de liquidação de energia que viabilize a inserção da tecnologia de armazenamento;
- f) Ampliar o acesso às informações sobre restrições de rede, favorecendo projetos de armazenamento de energia;
- g) A indústria e o governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil.

Outras políticas da *Energy Storage Association* (2017), poderiam ser implementadas na sequência. Entretanto, devem requerer mudanças estruturais do setor:

- a) Fomentar a indústria com projetos de pesquisa & desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia para as características locais;
- b) Desenvolver tarifa com remuneração específica para serviços ancilares;
- c) Coibir eventuais regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento;
- d) Coibir restrições de acesso à rede de energia de projetos de armazenamento;
- e) Ampliar a abrangência de tarifas baseadas na demanda;
- f) Capacitar consumidores;
- g) Exigir capacitação técnica para instaladores de tecnologias de armazenamento;
- h) Desenvolver padrão de segurança do produto de baterias.

Neste sentido de adoção de políticas, verifica-se que ainda há muito o que se desenvolver nesta área no Brasil.

Para o contexto ambiental, foi questionado aos técnicos da EPE se aspectos como baixa emissão de poluentes e baixo impacto ambiental para fontes renováveis, além de eventuais externalidades, poderiam ser consideradas no modelo de planejamento de energia elétrica no Brasil e de que forma poderiam ser aplicadas.

O posicionamento dos técnicos foi de que os aspectos socioambientais compõem um dos pilares do processo de planejamento energético, sendo o conceito de sustentabilidade um balizador para as análises. O planejamento da expansão deve ser orientado para a minimização do custo total, respeitando e avaliando os impactos socioambientais na geração e transmissão de energia elétrica, considerando também discussões em âmbito nacional e internacional sobre mudança do clima, tendo como referência as negociações internacionais sobre mudança do clima e os compromissos assumidos pelo País.

Para isto, os técnicos relataram que diversas possibilidades para o tratamento das questões socioambientais estão contidas dentro da metodologia de planejamento já utilizadas ou em estudo pela EPE. Especificamente nos modelos de otimização, como o MDI, que é composto de uma carteira de projetos candidatos a expansão, cada um dos empreendimentos passa por uma análise processual e socioambiental prévia que resultam em antecipação de viabilização, ou ainda, em custos adicionais associados a mitigação/compensação de impactos. Indicaram também que os modelos estão habilitados para uma restrição de emissões de gases de efeito estufa de maneira a gerar cenários de expansão que sejam limitados a um teto máximo permitido para essas emissões. Tais modelos também poderiam ser testados efeitos de restrições de consumo de combustíveis pelo setor elétrico através do estabelecimento de um valor máximo permitido para algum combustível específico.

Os técnicos também indicaram que do ponto de vista de metodologias utilizadas em um planejamento de caráter mais estratégico da expansão, incluir as dimensões ambiental e social ao longo de todo o processo de tomada de decisão poderia ser efetuada pelo uso de ferramentas multicritério, possibilitando diferentes cenários baseados no direcionamento de critérios técnico-econômicos e socioambientais. Ainda que não aplicado, citaram como exemplo de aplicação deste método o estudo de Conde (2013) no qual foram incorporados indicadores socioambientais no processo de otimização da expansão da oferta de eletricidade para o longo prazo.

Em relação ao planejamento de alternativas para redução de emissões e impactos, o mencionado modelo de decisão de investimentos identificado pelos técnicos possui aderência com o que se observa na literatura.

Conforme publicado pelo EDUCACLIMA (2018), no portal de internet Educaclima.com sobre educação e conscientização pública em mudança do clima, o governo federal brasileiro possui compromissos voluntários ou vinculantes relacionados à temática da mudança do clima. Estes compromissos estão estabelecidos em diversos instrumentos.

Trabalho desenvolvido por Rocha, Peliano e Chaves (2019), pelo Instituto de Pesquisa Econômica – IPEA, identifica que o Brasil está no caminho do cumprimento da meta para 2020, respaldados em análise com base em indicadores de 2005 a 2015 e que a meta voluntária nacional de emitir 1.977 milhões de toneladas de CO₂eq é considerada factível caso não ocorram alterações bruscas nas políticas nacionais sobre esse tema.

A EPE (2018d) destaca que o modelo computacional de decisão de investimentos (MDI), ao explicitar o atendimento aos picos de demanda, permite sinalizar os benefícios que tecnologias de armazenamento, como baterias e hidrelétricas reversíveis, podendo produzir maior flexibilidade operativa, inserindo nos estudos de expansão no período 2023-2027 atributos para as tecnologias de armazenamento, como capacidade instalada, mas em conjunto com as UTE's de ciclo aberto.

Neste ponto, encontra-se uma dicotomia do ponto de vista ambiental, com o incentivo de armazenamento em conjunto com tecnologia em geral emissora de CO₂, como o Gás Natural.

De fato, com o objetivo de avaliar as principais políticas nacionais, programas e iniciativas que pudessem relacionar o armazenamento de energia como instrumento facilitador ou de relevância no planejamento, não foram identificadas políticas energéticas específicas. O que se observa são iniciativas do setor de energia elétrica para fins de planejamento eficiência energética e energia renovável, destacam-se:

- a) Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE);
- b) Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio);
- c) Plano Nacional de Energia (PNE);
- d) Balanço Energético Nacional (BEN);
- e) Calculadora Brasil 2050 – Setor Energia;
- f) Eficiência Energética em Edificações (3E);
- g) Energia Heliotérmica (HLT), Energia Solar Concentrada (CSP);
- h) Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) – eficiência energética;
- i) Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

Assim, os benefícios do armazenamento de energia – não mensurados nas atuais políticas setoriais - impõem desafios para os formuladores de políticas desenvolverem mecanismos de mercado apropriados para garantir que os investidores em armazenamento sejam adequadamente recompensados por fornecer essas diversas fontes de valor.

A *International Energy Agency* (IEA) publicou recentes estudos sobre renováveis em que analisa o mercado previsto de energia renovável e tecnologias no período 2018-2023. Mesmo diante de evolução em relação ao incremento de emissões de CO₂ nos últimos anos, o crescente uso de energia solar, eólica, bioenergia e outras energias renováveis em conjunto com a eficiência energética e outras tecnologias de energia limpa - é necessário em todos os setores da economia para que as emissões estabilizem e depois persigam metas de recuo (IEA, 2018).

O estudo da IEA (2018) ainda avalia que, mesmo com a observação de reduções contínuas de custos, as políticas de governo continuam a ser cruciais para atratividade de investimentos em fontes renováveis, garantindo projetos que vislumbrem integração de sistemas com premissas de confiabilidade e economia.

A importância de garantir uma política energética e um quadro de mercado que não imponha barreiras é destacada por Strback et al. (2012) pois dessa forma seriam facilitadas as aplicações de tecnologias de armazenamento de energia de forma rentáveis.

Os autores também identificam que o armazenamento de energia pode trazer benefícios para vários setores da indústria de eletricidade, incluindo geração, transmissão e distribuição, fornecendo serviços para suportar balanceamento em tempo real de demanda e fornecimento, gerenciamento de congestionamento de rede e redução da necessidade de investimento no reforço do sistema.

No planejamento da segurança energética relacionada a leilões isolados de capacidade de armazenamento de energia, foi indicado pelos técnicos da EPE que o Conselho de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE - aprovou uma proposta para atendimento ao Estado de Roraima. Ainda nesta linha, foi mencionado que em sistemas isolados o uso de renováveis com armazenamento já é possível, inclusive com nota técnica que avalia a competitividade de geração solar com armazenamento. Entretanto, apesar dos estudos, ainda não se mostrou alternativa suficiente para superar o uso de geração a diesel nos certames (leilões) de energia para atendimento aos sistemas isolados.

Na próxima seção são apresentadas as conclusões da investigação.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do cenário de incremento das fontes de energia intermitentes na matriz energética, das novas tecnologias de armazenamento de energia elétrica como mecanismo de flexibilidade de uso da energia gerada, dos compromissos internacionais firmados no âmbito da Conferência das Nações Unidas em direção ao desenvolvimento sustentável pós 2015, este trabalho teve como objetivo principal identificar políticas públicas relacionadas ao armazenamento de energia e aplicações que atendam a realidade brasileira, considerando exemplos internacionais. Para o estudo foram considerados as experiências dos Estados Unidos da América e Austrália.

O modelo de planejamento energético no Brasil apresenta claramente uma centralização dos comandos do estado.

Este poder já foi totalitário com o domínio das estatais entre as décadas de 1960 e 1990 e com a liberação do mercado para investimentos privados após a prevalência do domínio estatal houve uma grande incorporação de capital privado na administração de ativos já existentes.

Mostrando-se ineficiente para incorporação de novos ativos que objetivassem o atendimento ao crescimento da demanda e aliado a um período de estiagem, o novo modelo culminou em uma crise energética no início da década de 2000 e a criação, em 2004, de um modelo híbrido entre o planejamento do estado e o empreendedorismo privado, permanecendo até os dias atuais.

Dessa forma os direcionadores de planejamento estão sob comando do estado, consubstanciado em um modelo competitivo de participação privada com relação à construção e gestão de novos empreendimentos com vistas ao atendimento do suprimento energético. É do ente federal - ANEEL - o poder de outorga e do MME, consubstanciado em estudos da EPE, o planejamento do que será objeto de novas licitações.

Entre as condições de contorno para o funcionamento do setor elétrico destacam-se as restrições para o desenvolvimento de grandes projetos hidrelétricos com reservatórios de acumulação. No entanto, por sua preponderância histórica no setor, tais projetos hidroelétricos ainda influenciam diversos elementos do planejamento e dos quadros regulatório e comercial.

Todo o modelo do setor elétrico ainda se baseia fortemente nas fontes hidráulicas, com geração e preços negociados com base na dependência dos níveis de armazenamento dessas fontes.

Com as dificuldades provenientes das questões ambientais que fez com que a escala de geração de energia proveniente de fonte hidráulica no decorrer da última década fosse reduzida, especialmente ao considerarmos usinas com grandes reservatórios de regulação, iniciou-se a busca por outras fontes de energia.

Em 2017 as novas fontes renováveis despontaram com grande representatividade no Brasil, com Eólica e Biomassa se aproximando do Gás Natural.

O incremento de tais fontes produz um efeito ambiental muito positivo frente alternativas habituais, considerando os fatores de emissões de CO₂.

As energias denominadas renováveis e que estão em desenvolvimento na matriz elétrica nacional (biomassa, eólica e solar) apresentam nível de emissão mínimo quando comparado com as tecnologias oriundas de combustível fóssil (óleo combustível, gás natural e carvão). Esta vantagem das renováveis também é visível mesmo considerando uso de tecnologias com fonte em combustíveis fósseis acopladas a processos de captura e armazenamento de carbono.

Mudanças no perfil da geração brasileira resultam em perda de flexibilidade sistêmica com a inserção de renováveis.

Não há no atual modelo de planejamento incentivos para o armazenamento de energia e os principais vetores são os associados aos custos de investimento e operação, por sua vez alicerçados em subsídios e isenções.

Avanços são esperados com relação às tecnologias que permitam a integração entre as novas fontes e possibilite maior flexibilidade no atendimento ao mercado, desde a publicação do Plano Decenal de Energia – PDE - 2026 e da minuta proposta pelo Ministério de Minas e Energia em fevereiro de 2018 (MME, 2018), no âmbito da Consulta Pública n.033/2017.

A metodologia de precificação de fontes de suprimento energético não inclui atributos como serviços prestados pela fonte (modulação, sazonalidade, robustez e confiabilidade), custos de infraestrutura causados ou evitados pelo gerador e atributos ambientais, mas pelo preço da energia ou pela expectativa do custo da energia para o consumidor, por meio de contratos de quantidade e disponibilidade

A ANEEL (2018), em discussão no âmbito da CP 010/2018 relativa ao aprimoramento da REN 482/2012 que regulamenta a aplicação de um sistema de compensação de energia para micro e mini geração distribuída também sinaliza a ampliação de atributos de valoração como redução de CO₂, geração de empregos, impactos ambientais,

desenvolvimento de mercado com pulverização de investimentos, redução de perdas técnicas, capacidade evitada em geração, etc.

A adoção de políticas baseadas nos elementos orientadores do GTA-ODS é necessária para apoiar a questão do armazenamento de energia, que é a tecnologia capaz de prover a segurança energética que garantirá o abastecimento por meio de energias renováveis, minimizando impactos econômicos e socioambientais negativos.

Estes tipos de iniciativas - com base em inclusão de atributos de valor que conferem maior assertividade para aspectos até então não mensurados como benefícios para a sociedade - podem ser fatores chave para que tecnologias de armazenamento sejam incluídas no rol de tecnologias utilizadas no Brasil.

As aplicações voltadas ao armazenamento podem contribuir de forma essencial para competitividade de determinadas fontes energéticas e sob a aplicação de fatores ainda não observados pelos modelos de planejamento, constituirão componentes modulares na composição de novos projetos.

Com a elaboração do Plano Decenal de Expansão - PDE 2027 houve aprimoramentos do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI) e as principais evoluções do modelo foram a discretização por patamares de carga e a incorporação das tecnologias de armazenamento. Com esta evolução tecnologias como usinas hidrelétricas reversíveis (UHR's) e baterias já estão contempladas e podem ser objeto de incorporação ao sistema.

Em relação ao armazenamento estão presentes no MDI a possibilidade de tecnologias de usinas hidrelétricas reversíveis e bancos de baterias. Com o intuito de armazenar energia durante patamares de carga onde há sobra de energia para complementar a geração nos patamares de demanda mais alta, a indicação é de que o armazenamento e uso da energia armazenada ocorram no mesmo mês.

As soluções e perspectivas para o armazenamento de energia apresentadas por IEC e IRENA se alinham à necessidade de complementação que as novas fontes renováveis exigirão. É dessa forma que o planejamento energético dos países deve buscar atender as expectativas firmadas pelos diversos países signatários de tratados internacionais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Desenvolvimento do Milênio.

Na revisão do estado da arte das principais tecnologias de armazenamento de energia elétrica foram identificadas tecnologias em pesquisa e desenvolvimento, assim como outras já amadurecidas e comercializáveis, como armazenamento hidroelétrico bombeado (PHS) e armazenamento de energia de ar comprimido (CAES), e, eletroquímico, por meio de baterias recarregáveis.

Estas também são tecnologias de inserção de potência não intermitente para períodos maiores, possuindo assim convergência com possibilidades de implementação complementar para fontes renováveis.

Ainda que de forma incipiente, tecnologias de armazenamento hidroelétrico bombeado e baterias são consideradas no planejamento energético brasileiro. No entanto, os benefícios apresentados pela tecnologia de usinas reversíveis, que a princípio seria a tecnologia mais relacionada com o modelo atual do setor, não são considerados na tarifação de energia elétrica, o que deve requerer mais pesquisas sobre a viabilidade de grandes projetos de armazenamento ligados à rede e de pensar em um marco regulatório para incorporar este novo agente no mercado.

Fica assim evidente que, com a elaboração do Plano Decenal de Expansão - PDE 2027 houve evolução, no sentido de se admitir tecnologias como usinas hidrelétricas reversíveis e baterias, passíveis de incorporação ao sistema de forma associada a novos projetos de expansão, mas não mediante outras formas de implementação.

O planejamento energético nacional influencia os processos decisórios sobre as fontes que são ou serão adotadas e isso pode ser evidenciado pelo ciclo de planejamento e implantação de empreendimentos. Partindo de políticas e diretrizes, o planejamento energético nacional, no âmbito do setor elétrico, possui dois pilares principais: O planejamento de longo prazo - com horizonte de 20 a 30 anos - de onde derivam os estudos de inventário; e, o plano de expansão decenal - com atualizações anuais – e de onde derivam os estudos de viabilidade e as licitações e concessões. Adicionalmente prevê o monitoramento da expansão dos projetos e desde 2003 o atendimento da demanda energética do país se realiza por meio dos leilões de energia.

Neste modelo de estudos de planejamento no Brasil é que se fomentou o processo de diversificação das fontes na matriz elétrica nacional, com participação mais relevante de geração proveniente de novas fontes de baixa emissão de CO₂, atendendo alguns aspectos ambientais.

As aplicações voltadas ao armazenamento podem contribuir de forma essencial para competitividade de determinadas fontes energéticas e sob a aplicação de fatores, serem observadas de forma modular na composição de novos projetos. Estudos que avaliem as vantagens de aplicação modular podem ser desenvolvidos no sentido de criar metodologias mais complexas de precificação e competitividade.

Verificou-se no presente estudo que as características específicas do setor elétrico brasileiro ressaltam a diferenciação de nosso sistema com a maioria dos demais sistemas de

energia observados no mundo e que este já se encontra com grande participação de usinas hidroelétricas com grande capacidade.

Na verificação de políticas específicas adotadas como incentivo à implementação de sistemas de armazenamento de energia pode-se constatar que ainda há pouca identificação de políticas nacionais neste sentido.

Mesmo com o benefício dessas novas fontes em relação à emissão de CO₂, o planejamento energético requer alternativas para abastecer o consumo de energia durante períodos em que a demanda por energia requer sobrepõe-se a capacidade de geração destas novas fontes.

De fato, as fontes eólicas e solares, possuem uma grande intermitência em sua capacidade de geração. Este ponto, acrescido da dificuldade de construir novas usinas hidráulicas com armazenamento de regulação, implica em necessidade adicional de suprimento para picos de demanda. Esta situação ocorre em momentos específicos do ano ou mesmo do dia e o planejamento energético deve atentar-se a este aspecto.

Avanços em sistemas inflexíveis colocam as perspectivas de uso e a adoção de soluções oriundas de fontes fósseis como crescentes. No entanto, crescem também as discussões sobre os impactos provocados por essa combinação.

O modelo conveniado e descentralizado de planejamento pode ser estudado no sentido de se obter eficiência sobre a outorga e uso dos energéticos em cada estado da federação. Sem prejuízo de uma operação centralizada, um planejamento descentralizado poderia evitar conflitos na obtenção de licenças, por exemplo.

Modelos que simplificam sistemas complexos como o despacho de energia elétrica são adotados nos estudos da EPE e a inclusão das tecnologias de armazenamento passaram a compor o plano decenal de expansão de energia publicado em 2018.

De acordo com os resultados desta investigação, a perda de armazenamento relativa - quando comparada a capacidade de estoque em relação a carga - vêm fazendo com que a forma de analisar, planejar e operar o sistema evolua em relação ao adotado nos dias atuais. No entanto, em que pese esta evolução nos estudos, planejamento e operação, a capacidade de armazenamento existente nesses reservatórios faz com que seja necessário avaliar até quando a flexibilidade do parque existente, acrescida da obtida pelas tecnologias de geração, permitirão o atendimento aos requisitos do SIN.

Ainda que as especificidades do parque instalado localmente sejam muito relevantes, não há como adotar este entendimento como barreiras ao mercado crescente destas novas

tecnologias. Portanto, ainda que o planejamento centralizado requisite de tais estudos para adotar o armazenamento de energia como tecnologia essencial para inserção de oferta de energia ao mercado, não há impedimento na avaliação e adoção de algumas políticas internacionalmente relevantes no contexto nacional.

Exemplos de políticas observadas em experiências internacionais e que poderiam ser adotadas no Brasil sem necessariamente alterar o planejamento centralizado são:

- a) Estabelecer políticas de incentivo para tecnologias associadas com armazenamento que viabilizem a transição energética para fontes de baixa emissão de carbono;
- b) Desenvolver padrões para as tecnologias de armazenamento, inclusive aplicável para a segurança do produto de baterias de íons de lítio;
- c) Regulamentar com as concessionárias de energia a avaliação do armazenamento nos respectivos modelos de planejamento;
- d) Criar um grupo de trabalho com os principais atores relacionados com o setor elétrico e/ou legislativo focado no armazenamento de energia;
- e) Fomentar a indústria com projetos de pesquisa & desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia para as características locais;
- f) Desenvolver tarifa com remuneração específica para serviços ancilares;
- g) Avançar na discretização temporal da medição para uma abordagem de liquidação de energia que viabilize a inserção da tecnologia de armazenamento;
- h) Coibir eventuais regras do mercado de eletricidade que distorcem o investimento;
- i) Ampliar o acesso às informações sobre restrições de rede, favorecendo projetos de armazenamento de energia;
- j) Coibir restrições de acesso à rede de energia de projetos de armazenamento;
- k) Ampliar a abrangência de tarifas baseadas na demanda;
- l) Capacitar consumidores;
- m) Exigir capacitação técnica para instaladores de tecnologias de armazenamento;
- n) Desenvolver padrão de segurança do produto de baterias;
- o) A indústria e o governo devem desenvolver uma abordagem para a reutilização, reciclagem ou descarte de baterias no final de sua vida útil;
- p) Permitir que dispositivos de ação rápida auxiliem no controle de frequência e no suporte à segurança do sistema
- q) Negócios de distribuição devem: publicar melhores dados sobre as restrições de rede iminentes que poderiam ser abordadas por investimentos incrementais no

- armazenamento de energia na rede; e facilitar a obtenção de aprovação para conexão à rede ao adicionar uma bateria a um sistema solar fotovoltaico;
- r) descontos ou realização de leilões reversos para sistemas de armazenamento de bateria "por trás do medidor", especificando condições de licitação para o uso de varejistas;
 - s) Incentivos financeiros para instalações padrões de armazenamento em escala ou distribuídas.

É importante que o Brasil dependa não apenas da participação das energias renováveis variáveis na geração anual, mas também que estas fontes sejam influenciadas pela flexibilidade existente nas usinas hidráulicas e pelo avanço em tornar flexíveis as novas fontes de geração de energia solar fotovoltaica e eólica, além da busca pela flexibilidade pelo lado da demanda.

Deve-se encontrar políticas para os casos onde períodos regulares de excesso de oferta possam ocorrer. Assim, à medida que a demanda futura seja atendida por mais fontes, considerando que usinas e interconexões de transmissão fornecem a grande maioria da flexibilidade nos sistemas de energia atuais, deve ser garantir que tecnologias de resposta de demanda e de armazenamento de energia tenham papel crescente na garantia da segurança energética.

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos elementos orientadores do “Grupo de Trabalho Aberto sobre Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (GTA-ODS)” fica evidente o compromisso do Brasil com a agenda das Nações Unidas que abrange o fomento de energia renovável e aplicações mais sustentáveis, de forma paralela a soluções que permitam reduzir emissões de poluentes por meio de redução de incentivos para combustíveis fósseis.

De acordo com Gaudard e Romerio (2014) a apresentação de mudanças no setor elétrico em médio a longo prazo exigirá a reorganização do mercado de energia, progresso tecnológico e novas políticas.

Estas políticas alinhadas com novas tecnologias e reorganização do mercado são fatores que estimulam o que se conhece por transição energética para um cenário de incremento de energia renovável e redução de combustíveis fósseis.

A segurança energética nacional para o suprimento contínuo de energia elétrica permanece pautada no esgotamento do armazenamento existente nas grandes usinas hidroelétricas e na inserção de geração complementar oriunda de fontes fósseis. Em razão do esgotamento das capacidades de armazenamento de energia das fontes renováveis instaladas, o atendimento dos compromissos ambientais em que o Brasil é signatário pode ser prejudicado no caso de não observação de avanços na pauta ambiental para o suprimento elétrico.

Opções como a gestão da demanda são favoráveis quando direcionadas à capacidade de geração horária ou sazonal. No entanto, necessitam de grandes investimentos tecnológicos e capilarizados e ainda assim pode haver um limite no deslocamento de consumo em razão dos hábitos da população.

Ao se testar a hipótese do tema armazenamento de energia ser ainda pouco considerado no planejamento energético, verificou-se que há avanços ao se observar tecnologias mais apropriadas para a realidade nacional, como as usinas hidrelétricas reversíveis e as baterias, além da existência de estudo de georeferenciamento para inventariar o potencial de usinas hidroelétricas reversíveis em alguns estados brasileiros.

Ao se observar posicionamento dos especialistas da EPE relativo à necessidade de se avaliar até quando a flexibilidade do parque existente, somada daquela obtida pelas tecnologias de geração, permitirão o atendimento aos requisitos do SIN, uma diretriz mais assertiva de implementação destas tecnologias no planejamento nacional se mostra incipiente perante o que se observou internacionalmente.

Decorrente da avaliação internacional, outra hipótese testada foi a de que experiências de outros países podem gerar subsídios para o planejamento de políticas públicas no Brasil.

Os aspectos específicos de nosso país, como a histórica flexibilidade sistêmica oriunda da geração hidroelétrica, sempre tenderão a requerer dos planejadores nacionais avaliações próprias para nossa realidade. A motivação para um direcionamento em realidade diferente – em que as fontes energéticas não são mais flexíveis – e aproximada com a vivência internacional é o que deve pautar uma visão de médio e longo prazos. Neste novo contexto é que estas experiências internacionais demonstram relevância, indicando soluções aplicáveis - de forma mais imediata ou outras que dependerão de mudanças estruturais do setor de energia elétrica.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Estudos considerando as particularidades do parque instalado no Brasil são recomendáveis. Algumas áreas específicas podem ser consideradas como prioritárias no sentido de fomentar energias renováveis:

- a) Configuração dos serviços de rede com inserção de capacidade de armazenamento de energia e adaptação ao atual modelo de concessão pública;
- b) Adaptação dos leilões de energia nova com a implementação de geração de energia renovável com complementação modular de armazenamento de energia;
- c) Precificação dos serviços de rede para atendimento da demanda horária;
- d) Novos modelos matemáticos de operação que incluam o armazenamento de energia;
- e) Mensuração e precificação de externalidades socioambientais para configuração de subsídios e benefícios decorrentes do armazenamento de energia.

Também ainda há pouca literatura a respeito dos impactos ambientais relativos às novas tecnologias de armazenamento de energia. Como estão intimamente conectadas com a inserção de fontes renováveis e, conseqüentemente, com redução das emissões de poluentes, estudos devem abordar outros aspectos ambientais também relevantes. As investigações podem focar questões como impactos ambientais relacionados aos métodos de produção, reciclagem, geração de resíduos e impactos ao longo do ciclo de vida – da extração ao descarte/reuso dos materiais - não considerados com profundidade neste estudo.

Outro aspecto importante será identificação de grupos de pesquisa no país que estejam focando seus esforços nos estudos voltados para o armazenamento. Em 2014, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), através do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com diversas instituições e com as Fundações de Amparo à Pesquisa, divulgou a CHAMADA INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014 e convidou a comunidade científica brasileira a apresentarem propostas com o objetivo de apoiar atividades de pesquisa de alto impacto científico em áreas estratégicas para a busca de solução de grandes problemas nacionais.

Voltadas a pesquisa de armazenamento de energia foram observadas algumas iniciativas em tecnologias e materiais relacionados ao armazenamento e que podem ser desenvolvidas para ampliar o escopo de atuação em planejamento do uso do armazenamento.

A iniciativa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Materiais em Nanotecnologia – INCT-MN, sediado em Araraquara, pela iniciativa dos pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (UNESP), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), da Universidade de São Paulo (USP), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), da Universidade Federal de Goiás (UFG), da Universidade Estadual de Goiás (UEG), do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e do Centro Federal de Educação Tecnologia do Maranhão (CEFET-MA), com a linha de pesquisa “Síntese Química, Materiais nanoestruturados para dispositivos para conversão e armazenamento de energia, não-cristalinos, Ferroelétricos e Semicondutores, Eletrocromicos e Ópticos, crescimento de cristal, Filmes e Modelagem computacional”.

Igualmente identificou-se a iniciativa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Geração Distribuída – INCT-GD, sediado em Santa Maria, com linha de pesquisa “Modelagem, Análise, Desenvolvimento e Simulação de Redes de Distribuição com fontes de Energias Renováveis”, conta com pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência de Porto (INESC Porto), UNISINOS, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), INESC Brasil, UTFPR – Pato Branco, INSTITUTO POLITÉCNICO DE KIEV – KPI, Otto-von-Guericke University Magdeburg e IFSul -Pelotas. A Linha de pesquisa em armazenamento possui como objetivo específico a identificação de lacunas e/ou barreiras legais e regulatórias para o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia residenciais conectados à rede e propor adequações para disseminação da tecnologia proposta para o armazenamento de energia, sendo assim aderente as recomendações de fomento sugeridas.

Será importante mapear todas as iniciativas para somar os esforços para tratar de um tema que é emergente e necessário, considerando suas relações diretas com a segurança energética, gestão de recursos energéticos e proteção climática.

REFERÊNCIAS

- ADEBAYO, A. I. et al. Impacts of transmission tariff on price arbitrage operation of energy storage system in Alberta electricity market. **Utilities Policy**, v. 52, n. April, p. 1–12, 2018.
- ANEEL. Nota Técnica nº 0062/2018-SRD/SCG/SRM/SGT/SRG/SMA/ANEEL. p. 1–35, 2018.
- BRASIL. Lei n. 12.187_2009 - Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. p. 3220–3304, 2009.
- BRASIL. Decreto n.7.390 de 2010 - Regulamenta a Política Nacional sobre Mudança do Clima. p. 3220–3304, 2010.
- BRASIL. Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. **Unfccc**, v. 9, p. 6, 2015.
- CARVALHO, C. B. DE. Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil , com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo. p. 330, 2005.
- CLEAN ENERGY COUNCIL. CHARGING FORWARD: POLICY AND REGULATORY REFORMS TO UNLOCK THE POTENTIAL OF ENERGY STORAGE IN AUSTRALIA- CLEAN ENERGY COUNCIL BRIEFING PAPER. n. May, p. 1–20, 2017.
- CONDE, M. R. **Incorporação da dimensão ambiental no planejamento de longo prazo da expansão da geração de energia elétrica por meio de técnicas multicritério de apoio a tomada de decisão.** [s.l.] UFRJ, 2013.
- EDUCACLIMA. **Compromissos do Governo Federal (voluntários ou vinculantes) relacionados à temática da mudança do clima.** Disponível em: <<http://educaclima.mma.gov.br/compromissos-do-governo/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- ENERGY STORAGE ASSOCIATION. **State Policies to Fully Charge Advanced Energy Storage.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://energystorage.org/system/files/attachments/state_policy_menu_for_storage.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2019.
- EPE. PDE 2026 - Capítulo 3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. p. 33–42, 2017.
- EPE. **Nota Técnica - Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[file:///C:/Users/mlopo/Documents/Mestrado/UFSC/Base Artigos/NT_EPE_DEE-NT-067_2018-r0.pdf](file:///C:/Users/mlopo/Documents/Mestrado/UFSC/Base%20Artigos/NT_EPE_DEE-NT-067_2018-r0.pdf)>.
- EPE. **Capítulo 8 - (Dados Energéticos Estaduais) 1970-2018.** Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>>. Acesso em: 10 maio. 2019b.
- EPE. **ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA GERAÇÃO Modelo de Decisão de Investimentos para Expansão do SIN – Versão PDE 2027.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-332/topico-425/NT_MDI_EPE-DEE-RE-54-2018_r0.pdf>.
- EPE. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético JULHO 2018 | NOTA DE DISCUSSÃO.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br>>.

EPE, M. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Brasília: [s.n.].

ESA. **Diabatic CAES Method Areas of Application of CAES Plants**. Disponível em: <<http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

ESCOLHAS, I. **Quais os reais custos e benefícios das fontes de geração no Brasil?** São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.escolhas.org/quais-os-reais-custos-e-beneficios-das-fontes-de-geracao-eletrica-no-brasil-2/>>.

FGV. Recursos Energéticos Distribuídos. **Cadernos FGV**, v. Ano 3, num, maio 2016.

GAUDARD, L.; ROMERIO, F. Reprint of “The future of hydropower in Europe: Interconnecting climate, markets and policies”. **Environmental Science and Policy**, v. 43, p. 5–14, 2014.

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL SOBRE A AGENDA PÓS-2015. **NEGOCIAÇÕES DA AGENDA DE DESENVOLVIMENTO PÓS-2015 : ELEMENTOS ORIENTADORES**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/ODS-pos-bras.pdf>.

IEA. **Renewables 2018**. Londres: [s.n.]. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/energy/renewables-2018_re_mar-2018-en>.

IEC. Electrical Energy Storage. White paper. The International Electrotechnical Commission. **(IEC), Geneva, Switzerland**, 2011.

IRENA. **International Renewable Energy Agency, The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025**. [s.l.: s.n.].

IRENA. **Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>>.

JIAO, N.; EVANS, S. Business Models for Sustainability: The Case of Second-life Electric Vehicle Batteries. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 250–255, 2016.

JOSÉ, L.; PARENTE, V. Proposta de inserção de sistemas de armazenamento de energia de grande porte no sistema elétrico brasileiro. p. 1–14, 2016.

KYRIAKOPOULOS, G. L.; ARABATZIS, G. Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 1044–1067, 2016.

LUO, X. et al. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. **Applied Energy**, v. 137, p. 511–536, 2015.

MASIELLO, R. D.; ROBERTS, B.; SLOAN, T. Business models for deploying and operating energy storage and risk mitigation aspects. **Proceedings of the IEEE**, v. 102, n. 7, p. 1052–1064, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **PORTARIA 150_10 DE MAIO DE 2016_Institui o Plano Nacional de Adaptação**, 2016.

MME. Proposta compilada de aprimoramento do marco legal do setor elétrico. 2018.

NREL. Issue Brief : A Survey of State Policies to Support Utility-Scale and Distributed-Energy Storage State-by-State Energy Storage Policy Activities. **NREL - Technical**

Assistance, p. <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62726.pdf>, 2014.

PORTUGAL-PEREIRA, J. et al. Overlooked impacts of electricity expansion optimisation modelling: The life cycle side of the story. **Energy**, v. 115, p. 1424–1435, 2016.

PSR. **CUSTOS E BENEFÍCIOS DAS FONTES DE GERAÇÃO ELÉTRICA - Caderno de Subsídios e Custo de Emissão de CO 2**. [s.l: s.n.].

ROCHA, E.; PELIANO, A. M.; CHAVES, J. V. **CADERNOS ODS do IPEA**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>>.

SEGER, S.; MERCEDES, P.; RICO, J. A. P. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, v. 104, p. 13–36, 2015.

STRBAC, G. et al. Strategic Assessment of the Role and Value of Energy Storage Systems in the UK Low Carbon Energy Future. **Imperial College London**, n. June, p. 1–99, 2012.

TOLMASQUIM, M. Energia. **USP-Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247–260, 2012.

TOLMASQUIM, M. **Energia Renovável-Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: [s.n.].

WINFIELD, M.; SHOKRZADEH, S.; JONES, A. Energy policy regime change and advanced energy storage: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 115, n. July 2017, p. 572–583, 2018.

ZIMMERMANN, M. P. **Aspectos Técnicos e Legais Associados ao Planejamento da Expansão de Energia Elétrica no Novo Contexto Regulatório Brasileiro**. [s.l.] PUC-RJ, 2007.

ANEXO A – Questionário encaminhado para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

	<p>Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade</p>	
---	---	---

Título da Investigação: INSERÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL

Mestrando: Marcos Roberto Lopomo

Orientação: Profa. Dra. Kátia Madruga

Questionário – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

1. A EPE publicou em seu site (EPE, 2018) as seguintes iniciativas de estudos que se colocam além das tradicionais fontes de geração:
 - a. estudos para a consideração de outras fontes no sistema, tanto em termos de inovações tecnológicas nas fontes existentes como em novas tecnologias e na utilização de "novas fontes" oriundas da combinação de fontes existentes, inserindo neste aspecto usinas híbridas e baterias;
 - b. estudo para as diversas tecnologias de armazenamento e suas possibilidades para o Sistema Interligado Nacional e sistemas isolados; e,
 - c. desenvolvimento da criação de modelo econômico-financeiro e das questões ambientais associadas à avaliação do potencial desses recursos.

Com base nestas iniciativas, há previsão de publicação de avanços na metodologia de planejamento energético que vislumbre a inserção das tecnologias de armazenamento de energia?

2. Levantamentos bibliográficos realizados na investigação cujo tema, já mencionado em nossa carta de apresentação, é a "INSERÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL", colocam as seguintes tecnologias em estágio de comercialização em alguns países:
 - a. Armazenamento hidroelétrico bombeado;
 - b. Armazenamento de energia por ar comprimido; e,
 - c. Armazenamento de energia por baterias.

A EPE já possui algum entendimento sobre quais destas tecnologias poderiam ser consideradas no modelo de planejamento energético nacional?

3. O atual modelo de planejamento energético para o setor elétrico brasileiro resulta essencialmente no acréscimo de capacidade ao sistema. A inclusão das fontes intermitentes e a necessidade de complementariedade energética pode suscitar mudanças neste modelo? Quais seriam essas alterações?
4. Observações de modelos de planejamento para o armazenamento de energia foram apuradas na bibliografia internacional. Dentre os modelos a seguir, a EPE já sinaliza a inclusão de algum relacionado?
 - a. Leilões isolados de capacidade de armazenamento de energia;
 - b. Complementariedade para geração de energia proveniente de fontes renováveis;
 - c. Armazenamento como fator de competitividade com custo evitado de transmissão;
 - d. Inserção do armazenamento como ativos de distribuição (conectados ao sistema de distribuição e de propriedade das distribuidoras);
 - e. Regulação de iniciativas particulares na implementação de geração distribuída, em resposta para sinalização de preços em horários de pico;

- f. Tratamento do armazenamento como serviços ancilares¹.
5. Aspectos como baixa emissão de poluentes e baixo impacto ambiental para fontes renováveis e/ou eventuais outras externalidades são ou poderiam ser consideradas no modelo de planejamento de energia elétrica no Brasil? De que forma poderiam aplicadas?
 6. Outros comentários que considera pertinentes com relação ao tema armazenamento de energia e políticas públicas?

Referências

EPE, E. d. (03 de 09 de 2018). *Expansão da Geração - Fontes*. Fonte: EPE:
<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>

¹ Os serviços ancilares constituem requisitos técnicos essenciais para que o SIN opere com qualidade e segurança