

# Formulação de Modelos Operacionais para Integração dos SAE<sup>1</sup>s

Diretrizes para operação, mercado e ciclo de vida dos SAEs no SEB

## SERVIÇOS PRIORITÁRIOS PARA HABILITAÇÃO

SERVIÇO	EVIDÊNCIA SISTÊMICA	URGÊNCIA
<p><b>ATENDIMENTO À PONTA E FLEXIBILIDADE</b> Capacidade firme e resposta rápida às rampas crescentes de carga líquida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PDE<sup>2</sup> 2034: déficit de <b>5.500 MW em 2028</b></li> <li>• Margem de reserva de apenas <b>2% em 2029</b></li> <li>• Rampas de carga líquida de até <b>20 GW em 4 horas</b> (PMO<sup>3</sup>/ONS<sup>4</sup>)</li> </ul>	<p><b>CURTO PRAZO</b> LRCAP<sup>4</sup>-Armazenamento previsto para 2026</p>
<p><b>CONTROLE DE TENSÃO</b> Suporte de potência reativa e estabilidade dinâmica da rede</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de <b>-1.391 Mvar adicionais</b> em Minas Gerais 500 kV (NT-ONS<sup>5</sup>)</li> <li>• Mais de <b>240 manobras de equipamentos shunt/dia</b> projetadas para 2030</li> </ul>	<p><b>CURTO PRAZO</b> Sandbox regulatório ANEEL<sup>7</sup> já em curso</p>
<p><b>REGULAÇÃO DE FREQUÊNCIA</b> Inércia sintética e resposta rápida à variação de carga líquida do sistema</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAR/PEL<sup>8</sup> 2025: <b>redução progressiva de inércia síncrona</b> no SIN com expansão de fontes variáveis</li> <li>• LRCAP exigirá <b>inversores grid-forming</b> como condição de habilitação</li> </ul>	<p><b>MÉDIO PRAZO</b> Remuneração específica a ser estruturada</p>

## MODELOS OPERATIVOS PARA OS SAEB

01 COORDENADO	02 AUTODESPACHO	03 OPERAÇÃO MISTA
<p>ONS coordena carga/descarga junto ao despacho do sistema, otimizando o <i>load-shifting</i>. CMO<sup>9</sup> como referência da necessidade sistêmica. Carregamento típico: manhã/tarde (CMO baixo). Descarga: ponta noturna (CMO alto).</p> <p><b>QUANDO USAR:</b> LRCAP e ativos de transmissão no curto prazo.</p> <p><i>Simulações energéticas mostram que, com sinais de preço adequados, despacho centralizado e autodespacho convergem para resultados operacionais semelhantes.</i></p>	<p>Empreendedor decide quando carregar/descarregar com base em PLD<sup>10</sup>, contratos e gestão do MUST<sup>11</sup>. Especialmente relevante para SAEB<sup>12</sup> ncolocalizados a renováveis (mitigação de curtailment).</p> <p><b>QUANDO USAR:</b> SAEB + solar/ eólica; microgrids.</p>	<p>Parte da flexibilidade atende obrigações sistêmicas (janelas de entrega, contratos de capacidade). O restante é operado livremente pelo empreendedor. Contribui para o empilhamento de receitas (revenue stacking), respaldado pelo Art. 3º da Lei 9.427/1996.</p> <p><b>QUANDO USAR:</b> Modelo dominante no médio/longo prazo.</p>

<sup>1</sup> Sistema de Armazenamento de Energia | <sup>2</sup> Plano Decenal de Expansão de Energia | <sup>3</sup> Programa Mensal de Operação Energética

<sup>4</sup> Operador Nacional do Sistema Elétrico | <sup>5</sup> Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência | <sup>6</sup> Nota Técnica ONS DTA 0085/2023

<sup>7</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica | <sup>8</sup> Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN | <sup>9</sup> Custo Marginal de Operação

<sup>10</sup> Preço de Liquidação das Diferenças | <sup>11</sup> Montante de Uso do Sistema de Transmissão | <sup>12</sup> Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias

## DIRETRIZES DE REGULAÇÃO E MERCADO POR SERVIÇO

**Para cada serviço prioritário, são propostas diretrizes seguindo uma lógica comum:** definida a necessidade sistêmica e o arranjo operacional mais adequado para o serviço, são definidos os requisitos mínimos para viabilização.

As diretrizes são organizadas por horizonte temporal, delimitando os marcos institucionais concretos vinculados ao ciclo regulatório em curso e ao cronograma do LRCAP de Armazenamento:

- **CURTO PRAZO (ATÉ 2028)** - ações implementáveis com instrumentos regulatórios já vigentes ou em definição avançada; conclusão do 1º ciclo do roadmap da ANEEL (CP<sup>13</sup> 39/2023) e entrada em operação dos primeiros SAEBS contratados no LRCAP
- **MÉDIO PRAZO (2028 - 2030)** - ações que demandam regulamentação adicional por órgãos com competência já estabelecida; corresponde ao 2º e 3º ciclos do roadmap regulatório da ANEEL, incluindo sandboxes regulatórios e novos modelos de negócio;
- **LONGO PRAZO (ALÉM DE 2031)** - ações que pressupõem reformas estruturais no desenho de mercado ou na legislação do setor elétrico.

### ATENDIMENTO À PONTA E FLEXIBILIDADE

- **Curto prazo:** Representar SAEB nos modelos de otimização do ONS com tratamento explícito de SoC, potência e restrições operativas; contratação via LRCAP-Armazenamento.
- **Médio prazo:** Avaliar resultados obtidos com o 1º LRCAP-Armazenamento e aprimorar desenho dos mecanismos de capacidade no SIN, introduzindo elementos de operação mista.
- **Longo prazo:** Aprimorar continuamente os sinais de preço e o MCP<sup>14</sup>, provendo os incentivos adequados para a operação dos SAEB, inclusive sob autodespacho.

### CONTROLE DE TENSÃO

- **Curto prazo:** Aproveitar aprendizados do sandbox regulatório já em curso e evoluir a regulamentação para corrigir lacunas, alinhar conceitos e aprimorar a remuneração.
- **Médio prazo:** Obter mais experiências através de outros sandboxes regulatórias e implementar mecanismo competitivo recorrente e estrutural.

### REGULAÇÃO DE FREQUÊNCIA

- **Curto prazo:** Reconhecer o serviço de resposta rápida de frequência (FFR<sup>15</sup>) como serviço ancilar de regulação de frequência pelos SAEB; e elaborar sandbox regulatório de controle de frequência com princípio de neutralidade tecnológica.
- **Médio prazo:** Desenvolver incentivo financeiro específica para a FFR, considerando os requisitos mínimos de Procedimentos de Rede e/ou mecanismos competitivos.
- **Longo prazo:** Utilizar lições aprendidas do sandbox regulatória para implementar mecanismo competitivo recorrente e estrutural para contratação de controle secundário de frequência.

#### **PONTO TRANSVERSAL: EMPILHAMENTO DE RECEITAS (REVENUE STACKING)**

O §11 do Art. 3º da Lei nº 9.427/1996 respaldou expressamente o empilhamento de receitas para SAEB. Capturar valor proporcional aos múltiplos atributos sistêmicos entregues é condição para reduzir o custo de capital dos projetos e viabilizar o investimento, sendo prioridade regulatória para o período 2026–2030.

## DIRETRIZES PARA O CICLO DE VIDA DOS SAEB

A inserção eficiente dos SAEB não se esgota nos serviços que prestam ao sistema. O ciclo de vida – do licenciamento ao descomissionamento – é parte indissociável do modelo de inserção. O relatório organiza as diretrizes em três eixos:

### LICENCIAMENTO AMBIENTAL

#### DESAFIO:

Ausência de critérios nacionais mínimos gera assimetria entre estados e incerteza para investidores.

#### DIRETRIZES:

- Resolução CONAMA<sup>16</sup> com tratamento mínimo<sup>17</sup>. Referência: Piauí, primeiro estado com tipologia específica para SAEB)
- Quatro situações: *behind-the-meter* (dispensado), colocalizado pequeno porte (alteração de licença), colocalizado maior porte e autônomo (licenciamento próprio)
- Guia técnico federal MMA<sup>18</sup>/IBAMA<sup>19</sup>/MME<sup>20</sup> com instruções para OEMAs<sup>21</sup>.
- Programa de capacitação dos OEMAs antes do boom de projetos

### SEGURANÇA OPERACIONAL

#### DESAFIO:

Risco específico de fuga térmica e reignição; CBMEs<sup>22</sup> sem protocolo técnico específico para SAEB.

#### DIRETRIZES:

- Transposição das normas técnicas internacionais com adendo climático para condições brasileiras
- Exigências proporcionais à química declarada (LFP<sup>23</sup> ≠ NMC<sup>24</sup>/NCA<sup>25</sup>)
- Guia técnico ABNT<sup>26</sup> /SENASP<sup>27</sup> para Corpos de Bombeiros; AVCB<sup>28</sup> específico para SAEB
- Monitoramento reforçado nos 2 primeiros anos de operação - período de maior concentração de falhas (72%, dados EPRI<sup>29</sup>)

### GESTÃO DE RESÍDUOS

#### DESAFIO:

Baterias instaladas a partir de 2028 chegarão ao fim de vida entre 2035–2040. A janela estratégica existe agora.

#### DIRETRIZES:

- Operacionalizar a PNRS<sup>30</sup> via acordo setorial com responsabilidades claras por ator da cadeia (fabricantes, integradores, operadores de 2ª vida, recicladores)
- Hierarquia de destinação: reuso > reciclagem > recuperação energética
- Padrões técnicos de SoH (State of Health) para 2ª vida — especialmente baterias LFP
- Desenvolver infraestrutura doméstica de reciclagem

### JANELA ESTRATÉGICA

A janela entre o presente, a entrada em operação dos primeiros SAEB e o início dos descomissionamentos em escala representa uma oportunidade estratégica para o Brasil estruturar um arcabouço regulatório sólido, coerente e antecipatório – antes que incidentes, déficits sistêmicos ou passivos ambientais passem a ditar a agenda de forma reativa. Agir agora é mais econômico e estratégico do que remediar problemas no futuro.

<sup>16</sup> Conselho Nacional do Meio Ambiente | <sup>17</sup> Sem prejuízo da competência estadual prevista na LC nº 140/2011 e na Lei nº 15.190/2025. | <sup>18</sup> Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima | <sup>19</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis | <sup>20</sup> Ministério de Minas e Energia | <sup>21</sup> Órgãos Estaduais de Meio Ambiente. <sup>22</sup> Corpos de Bombeiros Militares Estaduais | <sup>23</sup> Lítio-Ferro-Fosfato | <sup>24</sup> Níquel, Manganês e Cobalto | <sup>25</sup> Óxido de Lítio, Níquel, Cobalto e Alumínio | <sup>26</sup> Associação Brasileira de Normas Técnicas | <sup>27</sup> Secretaria Nacional de Segurança Pública | <sup>28</sup> Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros | <sup>29</sup> Electric Power Research Institute | <sup>30</sup> Política Nacional de Resíduos Sólidos