

**NOTA TÉCNICA**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA  
LOCACIONAL PARA SISTEMAS  
DE ARMAZENAMENTO POR  
BATERIAS – LRCAP  
ARMAZENAMENTO**

**NOVEMBRO DE 2025**



**MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA**



## ■ Colaboradores

NOTA TÉCNICA

EPE-DEE-NT-086/2025-REV0

### Coordenação Geral

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Reinaldo da Cruz Garcia

### Coordenação Executiva

Thiago Dourado Martins

Marcos Vinícius Farinha

### Coordenação Técnica

Thaís Pacheco Teixeira

### Equipe Técnica

Daniel Dobrochinski Maia

Gustavo Cezimbra Borges Leal

Matheus Rosa Nascimento

Miguel Ferraz Modesto Sampaio Pinto

Pedro de Souza Miller

Rodrigo Gomes Martins

### Suporte Administrativo

Renata Cardozo Rios



## VALOR PÚBLICO

COM ESTA NOTA TÉCNICA, A EPE CONTRIBUI PARA O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN), AO APRESENTAR UMA METODOLOGIA DE CRITÉRIO LOCACIONAL PARA SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO POR BATERIAS (BESS), CONCILIANDO O ATENDIMENTO À DEMANDA POR CAPACIDADE COM O FORTALECIMENTO DA ESTABILIDADE E DA ROBUSTEZ DO SISTEMA ELÉTRICO.

A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PERMITE IDENTIFICAR, DE FORMA OBJETIVA E TRANSPARENTE, AS REGIÕES DE MAIOR BENEFÍCIO TÉCNICO PARA INSTALAÇÃO DE BESS, FAVORECENDO O USO EFICIENTE DOS INVESTIMENTOS NO SISTEMA ELÉTRICO E REDUZINDO CUSTOS DE ARREPENDIMENTO.

AO DIFUNDIR ESTE ESTUDO, A EPE REFORÇA SEU COMPROMISSO COM A TRANSPARÊNCIA, A INOVAÇÃO E A DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO TÉCNICO, FORNECENDO SUBSÍDIOS QUALIFICADOS PARA O PROCESSO DECISÓRIO E CONTRIBUINDO PARA O AVANÇO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL.

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Ministro de Estado**  
Alexandre Silveira de Oliveira

**Secretário-Executivo**

Arthur Cerqueira Valerio

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético**  
Gustavo Cerqueira Ataíde



**Presidente**

Thiago Guilherme Ferreira Prado

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**

Thiago Ivanoski Teixeira

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**  
Reinaldo da Cruz Garcia

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

**Diretor de Gestão Corporativa**

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

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



## ■ Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Descrição da Metodologia</b> .....	<b>2</b>
2.1. Descrição da Metodologia .....	2
2.2. Proposta de aplicação no LRCAP de Armazenamento – Parada no Nível 1.....	3
2.3. Teste de aplicação da metodologia no SIN .....	4
<b>3. Conclusão</b> .....	<b>5</b>



# 1. Introdução

---

Este documento apresenta uma metodologia de critério locacional para a alocação de sistemas de armazenamento por baterias (BESS, *Battery Energy Storage Systems*). A proposta visa não apenas atender às necessidades de capacidade, mas também fortalecer a robustez e a estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN), de modo a promover o uso eficiente dos investimentos destinados à expansão da rede elétrica.

A abordagem proposta é estruturada em dois níveis hierárquicos, que diferem em termos de granularidade e complexidade operacional, visando a identificação e priorização de áreas estratégicas para a alocação dos BESS.

Para o primeiro Leilão de Reserva de Capacidade (LRCAP) para Armazenamento, propõe-se a aplicação apenas do Nível 1 da metodologia proposta, visando redução da complexidade operacional para instrução do certame, além de ampliar a disponibilidade de pontos de conexão classificados como prioritários para a alocação do BESS, preservando flexibilidade locacional e competição no certame.

Cabe destacar que a metodologia proposta não internaliza análise de margem de escoamento, a qual deverá ser conduzida de forma sequencial, para eliminar pontos de conexão que possam limitar a operação da bateria por restrição elétrica.

Em testes preliminares de aplicação da metodologia no SIN, os pontos indicados como mais interessantes para alocação de BESS coincidiram com regiões em que problemas de controle de tensão já foram diagnosticados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), onde se avalia atualmente a instalação de compensadores síncronos e outras soluções alternativas.

Os resultados evidenciam que a alocação de BESS, especialmente com requisitos *Grid Forming* (GFM), nos pontos indicados pela metodologia, pode robustecer a estabilidade e aumentar a eficiência da expansão da rede.

## 2. Descrição da Metodologia

---

### 2.1. Descrição da Metodologia

A metodologia proposta é constituída por dois níveis hierárquicos, visando a seleção dos pontos mais adequados à inserção dos BESS, com o objetivo de aumentar a capacidade de suporte de reativo dinâmico para o SIN.

Os dois níveis hierárquicos se distinguem pela complexidade operacional e pela granularidade espacial dos resultados obtidos, de modo que o Nível 1 atua em escala regional (ou grupo de barras) e o Nível 2 aprofunda a seleção em escala de barramento.

No Nível 1, busca-se filtrar regiões de menor robustez elétrica com base no índice MISCR (do inglês, *Multi-Infeed Short Circuit Ratio*), que combina a potência de curto-circuito no ponto de interesse com a influência de múltiplos IBRs conectados na área (via fatores de interação), permitindo hierarquizar regiões ou conjuntos de barras segundo sua robustez elétrica. O resultado é um conjunto de regiões ou barras prioritárias, com menor índice de robustez (podendo-se selecionar, por exemplo, o P10, P20 ou P30 das barras classificadas do menor para o maior MISCR).

No Nível 2, busca-se um refinamento da seleção do nível 1, a nível de barramento, visando filtrar pontos com maior potencial de benefício da alocação de BESS. Nesse nível, é necessária a realização de análises de estabilidade eletromecânica (dinâmica) em múltiplos cenários operativos e aplicação de contingências críticas (N-1 e N-2, locais e remotas), para monitoramento e seleção de barras com maiores afundamentos de tensão e taxas de recuperação de tensão (dV/dt). Quando disponíveis, modelos dinâmicos representativos de BESS podem ser incorporados nas simulações para aumentar a acurácia da seleção, buscando a avaliação de pontos de conexão desses sistemas que possam provocar maior influência no desempenho de tensão das barras monitoradas.

Cabe destacar que o ponto de parada da metodologia, no nível 1 ou no nível 2, conforme detalhado na Figura 1, deve ser selecionado conforme o nível de complexidade e sofisticação desejados para o processo de definição locacional.

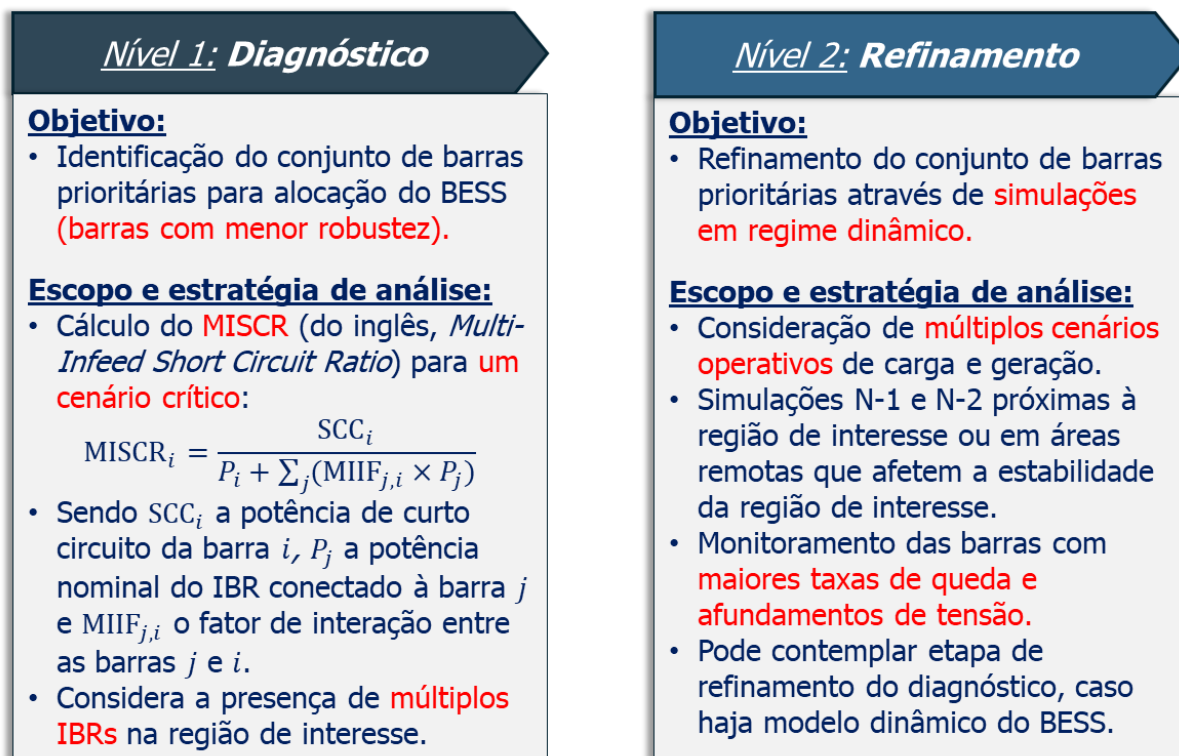


Figura 1 - Detalhamento da Metodologia.

## 2.2. Proposta de aplicação no LRCAP de Armazenamento – Parada no Nível 1

Considerando tratar-se do primeiro leilão para inserção de BESS no SIN, propõe-se aplicação da metodologia até o Nível 1, priorizando menor complexidade operacional para instrução do certame e maior disponibilidade de pontos selecionados, de modo a proporcionar maior flexibilidade aos projetos.

Em termos práticos, o procedimento de seleção do nível 1 envolve as seguintes etapas, descritas de forma operacional no fluxograma da Figura 2:

- (i) Cálculo do índice estático de robustez (MISCR) para as barras candidatas do SIN, definidas a partir de um nível de tensão de interesse a ser estabelecido, considerando um cenário crítico de geração renovável variável<sup>1</sup>;
- (ii) Classificação das barras a partir do índice de robustez calculado (do menor para o maior);
- (iii) Agrupamento das barras por faixas de robustez, de forma georreferenciada (etapa opcional, para facilitar a visualização gráfica dos resultados); e
- (iv) Definição do conjunto candidato de regiões ou grupos de barras prioritários para alocação de BESS, a partir de critério de corte a ser definido, como por exemplo, um percentil das barras com menor índice de robustez.

<sup>1</sup> Os fatores de interação e as potências de curto-circuito das barras de interesse, utilizadas para cálculo do MISCR, podem ser obtidos a partir de resultados extraídos do programa ANATEM.

Cabe ressaltar que o critério de corte a ser definido no item (iv) deve ser calibrado visando a obtenção de maior pluralidade de pontos selecionados, preservando a competição e a flexibilidade locacional dos proponentes.

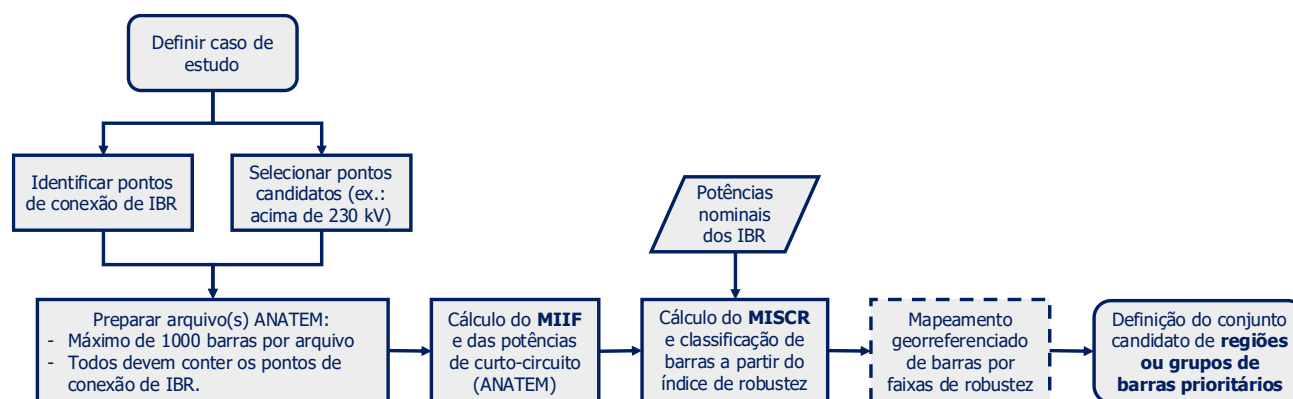


Figura 2 - Fluxograma para operacionalização da seleção no Nível 1.

O resultado esperado deste processo é um mapa – ou lista de barras - com a indicação de regiões que melhor se beneficiariam dos recursos de suporte de tensão e capacidade de curto-circuito fornecidos pelo BESS, principalmente se este for dotado de requisitos GFM.

Em outros certames futuros de LRCAP Armazenamento, pode-se avaliar a pertinência de adoção do Nível 2 para refinamento a nível de barra, inclusive com a utilização de modelos dinâmicos de BESS e rotinas de simulação dinâmica, conforme a maturidade e experiência com esse tipo de certame evolua e haja maior disponibilidade de dados e modelos de simulação para a operacionalização dessa etapa.

É importante mencionar que a execução do processo de seleção de barras proposto a partir dessa metodologia não elimina a necessidade de cálculo de margens de escoamento, que deverá ser realizado em etapa sequencial, para filtrar e habilitar apenas os pontos com efetiva viabilidade de conexão na rede elétrica.

### 2.3. Teste de aplicação da metodologia no SIN

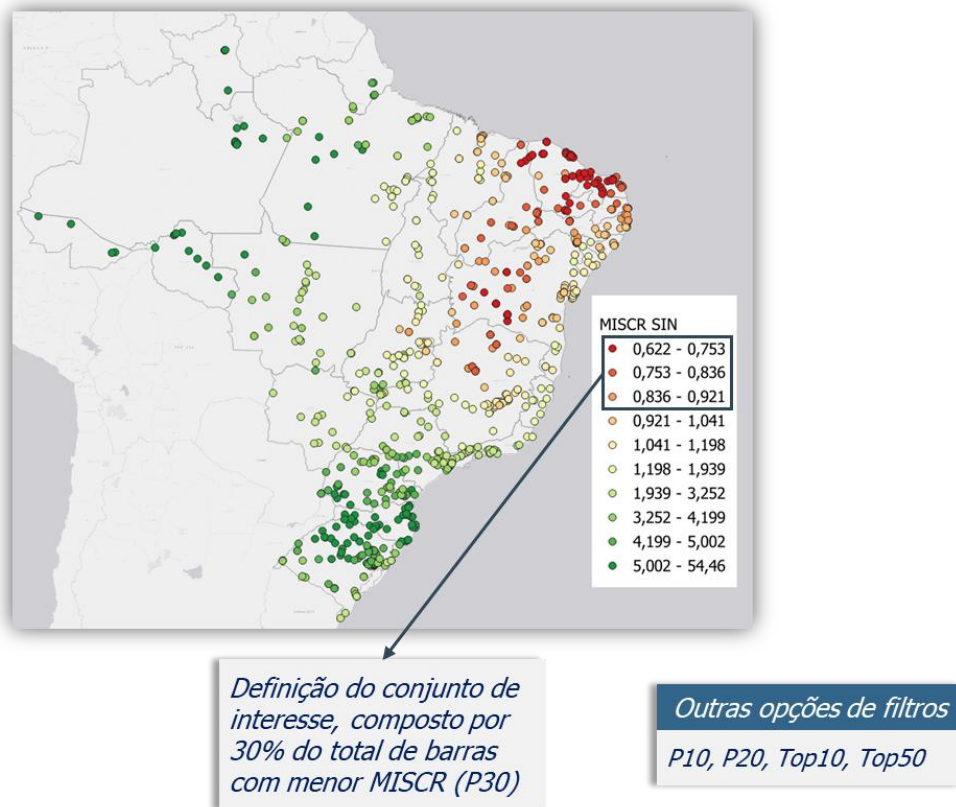
Para verificar a aplicabilidade prática e aderência da proposta às necessidades do SIN, realizou-se um teste de aplicação da metodologia, cujo resultado é ilustrado na Figura 3.

Neste caso teste, foram adotados os seguintes critérios:

- (i) Consideração de um cenário limite de máxima exportação da região Nordeste, para cálculo dos índices de robustez;
- (ii) Seleção de barras com nível de tensão igual a 230kV e 500kV, bem como Pontos de Acoplamento Comum (PAC) de geração renovável variável, como barras candidatas;
- (iii) Critério de corte para definição dos grupos de barras selecionados baseado no P30, ou seja, grupo de barras com os 30% menores índices de robustez calculados.

Considerando os critérios adotados, observa-se que a localização das barras selecionadas<sup>2</sup> se concentra nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Pernambuco, Paraíba, Bahia e Minas Gerais, pontos com elevada concentração de geração renovável variável, conectada por meio de inversores.

<sup>2</sup> Totalizando nesse caso de teste aproximadamente 357 barras físicas (incluindo barras de conexão de geração e sistemas de uso exclusivo).



**Figura 3 - Resultado da aplicação da metodologia proposta no SIN.**

Cabe ressaltar que com a adoção de outros critérios de corte, P10 ou P50, ou outros níveis de tensão para seleção de barras candidatas, por exemplo, pode-se reduzir ou aumentar a região geográfica de abrangência.

Por fim, conclui-se que as regiões selecionadas neste teste de aplicação da metodologia apresentam alta coincidência com regiões diagnosticadas com problemas de controle de tensão no SIN, que já vêm suscitando a inclusão de compensadores síncronos e/ou outras soluções alternativas nos estudos de planejamento e de operação. Essa convergência evidencia que o critério locacional proposto captura, de forma objetiva e transparente, áreas de maior necessidade sistêmica.

À luz desses achados, a inclusão de BESS nos pontos selecionados tende a agregar benefícios além do atendimento à capacidade — trazendo ganhos adicionais de confiabilidade e flexibilidade à medida que robustece a estabilidade de tensão e o desempenho dinâmico do sistema — com potencial de otimização de investimentos em expansão da rede.

### 3. Conclusão

A metodologia proposta concilia os benefícios da contratação de BESS para agregar capacidade, com benefícios secundários que podem ser extraídos desses sistemas, oferecendo um caminho pragmático para o primeiro LRCAP de Armazenamento.

Testes realizados corroboram a aderência da proposta, mostrando coincidência entre as regiões selecionadas e áreas já identificadas com problemas de controle de tensão no SIN, as quais vêm demandando investimentos adicionais em compensação reativa e capacidade de curto-circuito.

A associação da metodologia proposta com a adoção de requisitos GFM para os BESS, tende a maximizar a extração de benefícios dos sistemas de armazenamento para robustecer a estabilidade do SIN e otimizar investimentos em expansão da rede de transmissão.