



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Garanhuns

Bacharelado em Engenharia Elétrica

CINTIA DOS SANTOS SILVA

**ESTUDO DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO ESCOAMENTO DE ENERGIA
RENOVÁVEL NO NORTE DA BAHIA UTILIZANDO O ANAREDE**

Garanhuns - PE

2023

**ESTUDO DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO ESCOAMENTO DE ENERGIA
RENOVÁVEL NO NORTE DA BAHIA UTILIZANDO O ANAREDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso Superior Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Wilker Victor da Silva Azevêdo.

Garanhuns - PE

2023

S586e

Silva, Cintia dos Santos.

Estudo da capacidade remanescente do escoamento de energia renovável no norte da Bahia utilizando o ANAREDE / Cintia dos Santos Silva ; orientador Wilker Victor da Silva Azevêdo, 2023.
53 f. : il.

Orientador: Wilker Victor da Silva Azevêdo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Pernambuco. Pró-Reitoria de Ensino. Diretoria de Ensino. Campus Garanhuns. Coordenação do Curso Superior em Engenharia. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2023.

1. Energia eólica – Estudo de casos – Bahia . 2. Energia – Fontes alternativas – Bahia. 3. Recursos naturais renováveis. 4. ANAREDE (Programa de computador). I. Título.

CDD 621.45

Andréa Maria Lidington Lins –CRB4/868

CINTIA DOS SANTOS SILVA

**ESTUDO DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO ESCOAMENTO DE ENERGIA
RENOVÁVEL NO NORTE DA BAHIA UTILIZANDO O ANAREDE**

Trabalho aprovado. Garanhuns, 05 de julho de 2023.

Wilker Victor da Silva Azevêdo, M.Sc., Orientador (IFPE)

Michele Ferreira Leite, M.Sc. (IFPB)

Vladimir Reis Pontes, M.Sc. (PEC Energia)

Márcio Severino da Silva, D.Sc. (IFPE)

Garanhuns

2023

Dedico aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado forças e me abençoado ao longo de toda a minha existência, cuidando de mim e da minha família.

Aos meus pais, Damião e Rosalia, que apesar das dificuldades nunca faltaram com dedicação no cuidado com os filhos.

À minha irmã, Daniela, que me acompanhou em todos os momentos e sempre me deu os melhores conselhos.

Aos meus irmãos Dhiogo e Gisele por vibrarem a cada pequena conquista que alcancei.

Ao meu namorado Jhonatan por todo o apoio e incentivo.

Agradeço aos meus amigos da faculdade, por toda a solidariedade e ajuda nos inúmeros desafios vividos durante a graduação.

Agradeço ao meu orientador Wilker Azevêdo, que foi a principal influência no meu interesse na área de Transmissão de Energia. Agradeço também por todo o incentivo e suporte demandados nas etapas de execução deste trabalho.

Agradeço a todos os professores que passaram por minha vida e contribuíram para a conclusão desse ciclo.

Por fim, agradeço ao CEPEL por disponibilizar a licença acadêmica de seus softwares de simulação aos alunos do IFPE - Campus Garanhuns, contribuindo para a adesão e expansão de conhecimentos a respeito da operação de Sistemas Elétricos de Potência.

"Peçam, e lhes será dado; busquem, e encontrarão; batam, e a porta lhes será aberta. Pois tudo o que pede, recebe; o que busca, encontra; e àquele que bate, a porta será aberta". (Mateus 7:7-8)

RESUMO

O aumento do interesse em empreendimentos de geração renovável acarreta para o mercado de energia uma preocupação quanto à capacidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) de realizar o escoamento da energia produzida por essas novas usinas. Isso ocorre porque o tempo de implantação de empreendimentos de transmissão é superior ao de usinas de fontes renováveis. Assim, com o objetivo de evitar restrições de escoamento das geradoras contratadas, estudos de margem de capacidade remanescente do escoamento de energia passaram a ser realizados antes da efetivação dos leilões de energia, âmbito admitido nos fundamentos teóricos do trabalho. Como objetivo, inabilitar empreendimentos que teriam problemas na transmissão quando da entrada estimada em operação. Neste contexto, o trabalho buscou trazer um estudo de caso da margem de capacidade remanescente de cinco (05) barramentos geograficamente próximos aos municípios de Sento Sé e Umburanas (Bahia), onde está sendo estudada a construção do complexo eólico Serra da Gameleira. Para realização do estudo, dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) foram considerados, assim como informações baseadas em um caso de operação passada do SIN. Foi avaliada a nova ferramenta de Cálculo Automático de Margem de Transmissão do software ANAREDE, cujos principais códigos e rotinas de implementação são apresentados. Na estruturação metodológica foram admitidos Critérios e Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Verificou-se que o barramento de melhor desempenho possui 37,5 MW de margem de transmissão e, desse modo, possui a capacidade de realizar o escoamento da geração de um dos três parques eólicos de 31MW de potência do complexo. Vale ressaltar que, para o caso, não foram considerados os custos relacionados à conexão entre a subestação do empreendimento eólico e o barramento de maior margem, demandando-se também estudos complementares de planejamento e pré-operação.

Palavras-chave: Escoamento. Margem. Leilões. Planejamento. ANAREDE.

ABSTRACT

The increased interest in renewable generation projects brought to the energy market a concern regarding the ability of the Brazilian Interconnected System (SIN) to carry out the energy produced by these new plants. This occurs because the implementation time for transmission projects is longer than that for renewable sources plants. Thus, in order to avoid flow restrictions from contracted generators, studies of the remaining capacity margin of energy flow began to be carried out before the energy auctions were carried out, a scope admitted in the theoretical foundations of this work. As a goal, disabling projects that had transmission problems when they were planned to start operating. In this context, the work sought to bring a case study of the remaining capacity margin of five (05) buses geographically close to Sento Sé and Uburanas (Bahia), where the construction of the Serra da Gameleira wind complex is being studied. To carry out the study, data from the Brazilian Energy Research Company (EPE) were considered, as well as information based on a case of past operation of the SIN. The new Automatic Transmission Margin Calculation tool of the ANAREDE software was evaluated, whose main codes and implementation routines are presented. In the methodological structuring, Grid Criteria and Procedures of the National Electric System Operator (ONS) were admitted. It was found that the bus with the best performance has 37.5 MW of transmission margin and, therefore, has the capacity to carry out the flow of generation from one of the three wind farms with 31MW of power in the complex. It is worth mentioning that, for this case, the costs related to the connection between the substation of the wind farm and the bus with the highest margin were not considered, requiring additional planning and pre-operation studies.

Keywords: Energy Flow. Margin. Auctions. Planning studies. ANAREDE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Evolução da capacidade instalada no SIN – 05/2023 a 12/2027.	18
Figura 2. 2 – Mapa com resultados da alocação de geração renovável.	20
Figura 2. 3 – Painel de monitoramento das margens do SIN.	20
Figura 2. 4 - Influência da metodologia de clusterização sobre os Leilões de Energia.	21
Figura 2. 5 - Tipos e características dos leilões de energia no Brasil.	22
Figura 3. 1 - Sistema exemplo para conceitualização de área e subárea.	31
Figura 3. 2 - Esquema de divisões sucessivas do passo de incremento de geração	33
Figura 3. 3 - Relatório de resultados da margem em formato CSV.	36
Figura 3. 4 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de barramento candidato.	37
Figura 3. 5 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de subárea.	37
Figura 3. 6 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de área.	37
Figura 3. 7 - Fluxograma do processo realizado pela ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do Anarede.	38
Figura 4.1 - Número de empreendimentos eólicos em estudo nos municípios de Santo Sé e Umburanas - BA– maio 2023.	40
Figura 4.2 - Características dos empreendimentos eólicos em estudo nos municípios de Santo Sé e Umburanas - BA– maio 2023.	40
Figura 4.3 - Dados do código de execução DMTE e DMFL.	42
Figura 4.4 - Dados do código de execução DEMA.	42
Figura 4.5 - Dados do código de execução EXMT com a opção IDSA.	43
Figura 4.6 - Resultado da etapa 1 do pré-processamento do cálculo de margem.	44
Figura 4.7 - Dados do código de execução DEMA com áreas e subáreas.	45
Figura 4.8 - Dados do código de execução EXCA.	45
Figura 4.9 - Dados do código de execução EXMT.	45
Figura 4.10 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de barramento candidato do sistema estudado.	47
Figura 4. 11 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de subárea do sistema estudado.	47
Figura 4. 12 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de área do sistema estudado.	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Resumo da potência contratada nos leilões de energia de reserva entre 2009 e 2015 que tiveram contratação de energia eólica e solar.	23
Gráfico 2.2 - Resumo do quantitativo de empreendimentos cadastrados e habilitados nos últimos 3 leilões de energia nova.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados de barra do sistema estudado.....	41
Tabela 4.2 - Resultado da simulação com a opção IDSA.	44
Tabela 4.3 - Margem para os níveis de barramento, subárea e área.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
BEN	Balanco Energético Nacional
CER	Contratos de Energia de Reserva
DBAR	Dados de Barra
DCTG	Dados de Contingência
DGMT	Dados de Geração para Margem de Transmissão
DMFL	Dados de Monitoramento de Fluxo
DEMT	Dados de Estudo de Margem de Transmissão
DMTE	Dados de Monitoramento de Tensão
EXMT	Executa cálculo de Margem de Transmissão
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IDSA	Identificação de Subáreas e Áreas
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
LFA	Leilão de Fontes Alternativas
LEN	Leilão de Energia Nova
LER	Leilão de Energia de Reserva
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Margem de Transmissão
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAR	Plano de Ampliações e Reforços
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PG	Potência ativa Gerada
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contextualização	14
1.2 Objetivos	16
1.3 Estrutura do Trabalho	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Evolução das Energias Renováveis no Brasil	17
2.2 Leilões de Energia	21
2.3 Alguns Trabalhos Relacionados	25
3. METODOLOGIA	26
3.1 Margem de Transmissão	26
3.2 Nota técnica 01	27
3.3 Nota Técnica 02	30
3.4 Cálculo de Margem de Transmissão	30
3.4.1 <i>Cálculo Automático de Margem de Transmissão no ANAREDE</i>	31
3.4.1.1 <i>Etapa de Pré-processamento</i>	34
3.4.1.2 <i>Resultados e Produtos Gerados pela Ferramenta</i>	35
4 Estudo de caso	39
4.1 Características dos Empreendimentos e da Área sob Estudo	39
4.2 Simulação	41
4.2.1 Dados de entrada da ferramenta IDSA	42
4.2.2 Etapa de Pré-processamento	43
4.2.3 Margem de Transmissão do Caso Analisado	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6. REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2021 o setor energético brasileiro foi o responsável por 18% do total de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) de todo o país (SEEG, 2022). O baixo percentual foi obtido em virtude de a maior parte da matriz energética nacional ser composta por fontes de energia renováveis. Todavia, o último Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), publicado em 2022, aponta que ocorrerá um aumento de consumo de energia per capita. Isto acarretará, conseqüentemente, o aumento das emissões de GEE até 2032 (EPE, 2023a).

A principal estratégia que o setor tem para mitigar os impactos causados por esse aumento do consumo é manter em patamares elevados a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética nacional (EPE, 2023a). Em concomitância a isso, também é previsto pelo PDE 2032 um aumento de geração de fontes de energia renováveis de cerca de 38 GW a partir de 2025 nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (EPE, 2023b). Para suprir esse alto crescimento de geração de energia, os órgãos responsáveis pelo planejamento e gestão do sistema elétrico brasileiro se empenham com o objetivo de garantir que o sistema se mantenha operando em níveis adequados de funcionamento e que suporte essa mudança.

1.1 Contextualização

Entre as ações realizadas por esses órgãos se destacam os estudos de capacidade Remanescente para escoamento de geração ou margem de transmissão, como também é conhecido. Avaliar a capacidade de escoamento de energia tem sido algo recente no Sistema Interligado Nacional (SIN), em que o histórico aponta para o ano de 2013 como marco face a realização do Leilão de Energia de Reserva¹, exclusivo, à época, para a fonte Eólica (EPE, 2013a). Naquele ano diversas comunicações à imprensa indicavam o cadastramento de novas fontes de geração, a formação de Contratos de Energia de Reserva (CER). Foram 377 empreendimentos

¹ <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/planejamento-da-transmissao/capacidade-de-escoamento-do-sin>

habilitados – 9 mil MW (EPE, 2013b). Foi contratado o equivalente a 25% da capacidade de escoamento da produção das subestações onde se verificará conexão dos parques eólicos. Este foi um fato importante porque teve como princípio “o objetivo de eliminar o risco de os empreendimentos ficarem prontos e não terem como despachar a eletricidade gerada no SIN” (EPE, 2013c). Tal cenário promove certa segurança dada a discrepância entre os períodos de finalização de projetos de geração e de transmissão no setor elétrico brasileiro.

Sobretudo considerando o incentivo a processos de contratação eficientes, reduzindo riscos relacionados a não atendimentos e garantindo sinergia com os estudos de planejamento da transmissão, a análise de margem se tornou um diferencial no ambiente de contratação, dando suporte aos leilões homônimos (leilões de Margem).

Ao reconhecer fatores limitantes face a entrada de novos empreendimentos (níveis de tensão dos barramentos das subestações, sobrecargas de transformadores e linhas remanescentes durante contingências), a possibilidade de redução de riscos ao suprimento proporciona maior confiabilidade. Nisto, esses estudos têm como objetivo, através de análises de fluxos de potência, determinar a capacidade máxima que um ponto do sistema possui de realizar escoamento de geração respeitando premissas e critérios ao planejamento e à operação.

Devido a relevância dos dados obtidos com a realização desse cálculo, a análise de margem de escoamento de geração se tornou um critério eliminatório na primeira etapa dos leilões de energia realizados no ACR (Ambiente de Contratação Regulada) (EPE, 2023c), além de corresponder a uma ferramenta importante nos estudos relacionados à expansão do sistema de geração e transmissão de energia, realizados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

Há uma relevância evidente que os estudos de margem de transmissão apresentam para o setor elétrico, como melhora nas recomendações de expansão da malha de transmissão e melhor coordenação do início da operação de novos empreendimentos de geração de energia (EPE, 2023c). Assim, o trabalho desenvolvido buscou realizar um estudo de margem de capacidade remanescente de escoamento de geração de 5 barramentos, com o objetivo de determinar qual seria o melhor candidato para realizar o escoamento de geração do complexo eólico Serra da Gameleira, que está sendo estudado para ser implantado nos municípios de Sento Sé Umburanas no estado da Bahia. O estudo utilizou um banco de dados do sistema

elétrico nacional do mês de setembro de 2022 e não considerou gastos relacionados à conexão entre a subestação do complexo e o melhor barramento determinado através do estudo.

1.2 Objetivos

Considerando a evolução dos leilões e as demandas por energia nova no sistema elétrico brasileiro, com ampla oferta de energias renováveis, será apresentada uma síntese dos principais estudos a respeito, a historicidade dos leilões, além de avaliados procedimentos e normas. Isto se faz essencial em virtude dos estudos de margem de escoamento serem realizados em subsídio aos leilões de energia, importantes também para antecipar questões de operação do sistema elétrico. Ainda, tem-se como foco a realização de um estudo utilizando ferramenta computacional de simulação admitindo parques eólicos na região nordeste. Como objetivos específicos:

- Discorrer sobre a historicidade dos leilões, com mais ênfase aos leilões para escoamento de energias renováveis;
- Apresentar os principais fundamentos dos estudos de planejamento;
- Verificar procedimentos e critérios para estudos elétricos no âmbito da análise de margem de escoamento;
- Expor características do ANAREDE para fins de realização dos estudos de margem de escoamento;
- Analisar impactos de um empreendimento de energia renovável em um sistema elétrico de potência inspirado no SIN.

1.3 Estrutura do Trabalho

Nos demais capítulos do trabalho serão abordados:

- Capítulo 2: São explorados a evolução das energias renováveis, os tipos de leilões de energia e apontado o contexto de trabalhos relacionados.
- Capítulo 3: Apresentar a metodologia que foi utilizada para realização do estudo de caso, utilizando o software ANAREDE.
- Capítulo 4: Descrição do procedimento considerado para realização do cálculo da margem de escoamento da área da região nordeste predeterminada.
- Capítulo 5: Considerações finais contendo uma síntese dos resultados obtidos no trabalho e perspectivas de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa seção do trabalho busca trazer em síntese como se encontra o cenário de geração de energia no Brasil e quais são as expectativas desse setor em relação as fontes renováveis, em que se baseia nos dados mais recentes emitidos pelo BEN (Balanço Energético Nacional) e pelo PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia). A seção também irá abordar conceitos relacionados a Leilões de Energia realizados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR).

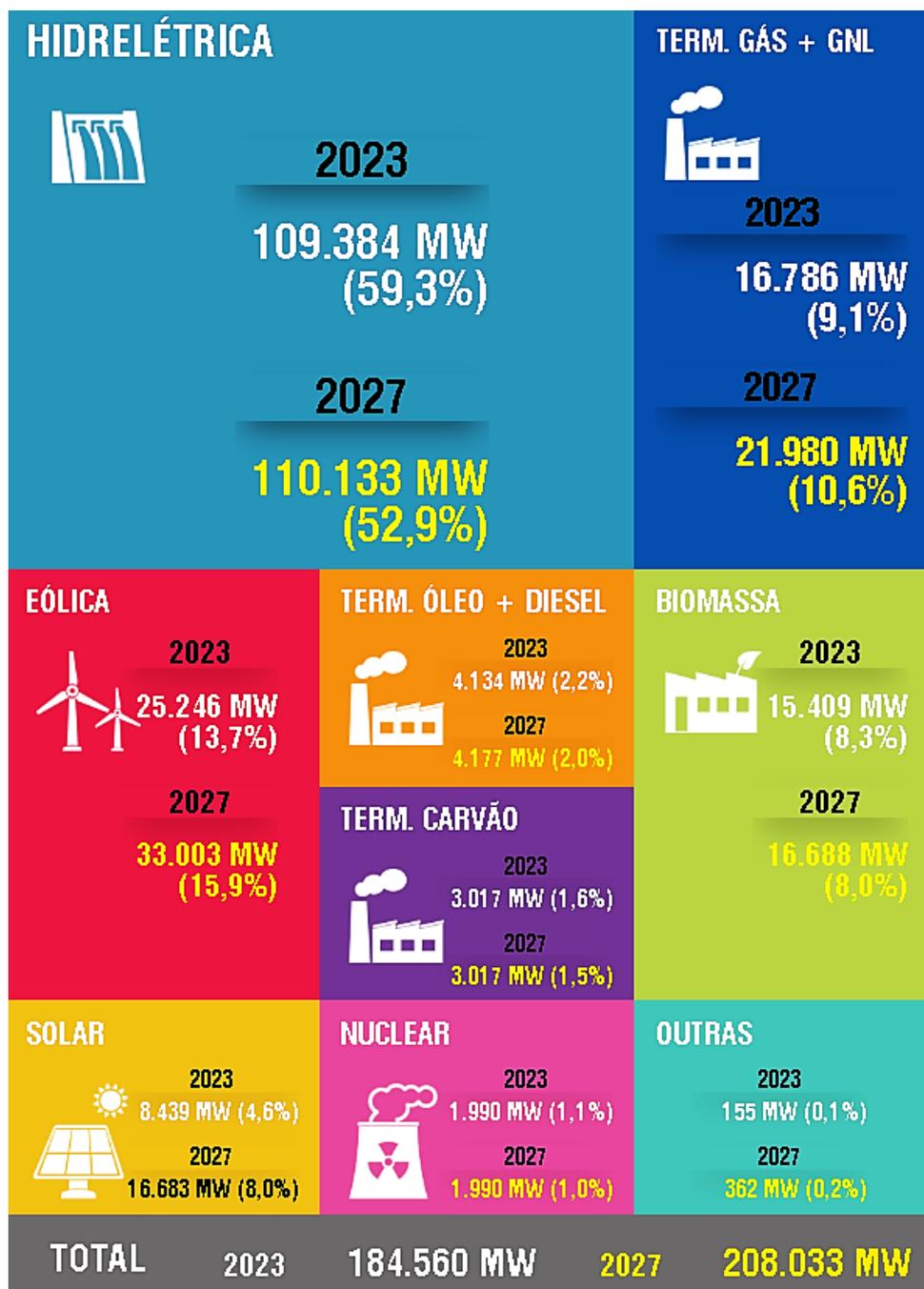
2.1 Evolução das Energias Renováveis no Brasil

As principais formas de geração de energia elétrica utilizadas no mundo são advindas da queima de combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural em termelétricas. Como se sabe, a queima desses combustíveis emite Gases de Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera, como o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e o vapor de água. Com o conhecimento dos impactos que a emissão acelerada e em grandes quantidades desses gases na atmosfera, podem causar para o planeta e para os seres humanos, uma preocupação global foi gerada e alternativas para amenizar esses efeitos foram propostas, como o aumento do uso de fontes renováveis de energia (EPE, 2023d). Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)², expõem a evolução da capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional (SIN) a partir do cenário atual (2023 – 184.560 MW) até o patamar de 208.033 MW em 2027, em destaque na Figura 2.1.

Disto, nota-se uma evolução em relação às energias renováveis alternativas ao modelo hidráulico prevalente no país, sobretudo as energias Eólica e Solar, ambas com crescimento esperado na ordem de 8.000 MW, o que certamente deverá influenciar as modalidades de leilão e o sistema de transmissão por onde essa energia escoará. O investimento em fontes de energia renováveis tem crescido cada vez mais no mundo, não apenas pelo fato de agredirem menos o meio ambiente, quando comparadas às fontes de energia não renováveis, mas também por proporcionarem, aos países que decidem realizar esse investimento, uma maior independência energética de importação de combustíveis fósseis de outros países.

² <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>

Figura 2.1 - Evolução da capacidade instalada no SIN – 05/2023 a 12/2027.



Fonte: Programa Mensal da Operação – Maio/2023.

Este último ponto mencionado tem sido observado atualmente, com a crise global de energia, a qual começou com impactos causados pela pandemia do novo coronavírus em 2020 e agora possui a contribuição dos efeitos gerados pela invasão da Ucrânia pela Rússia (INEEP, 2022). Esta situação tem gerado uma preocupação

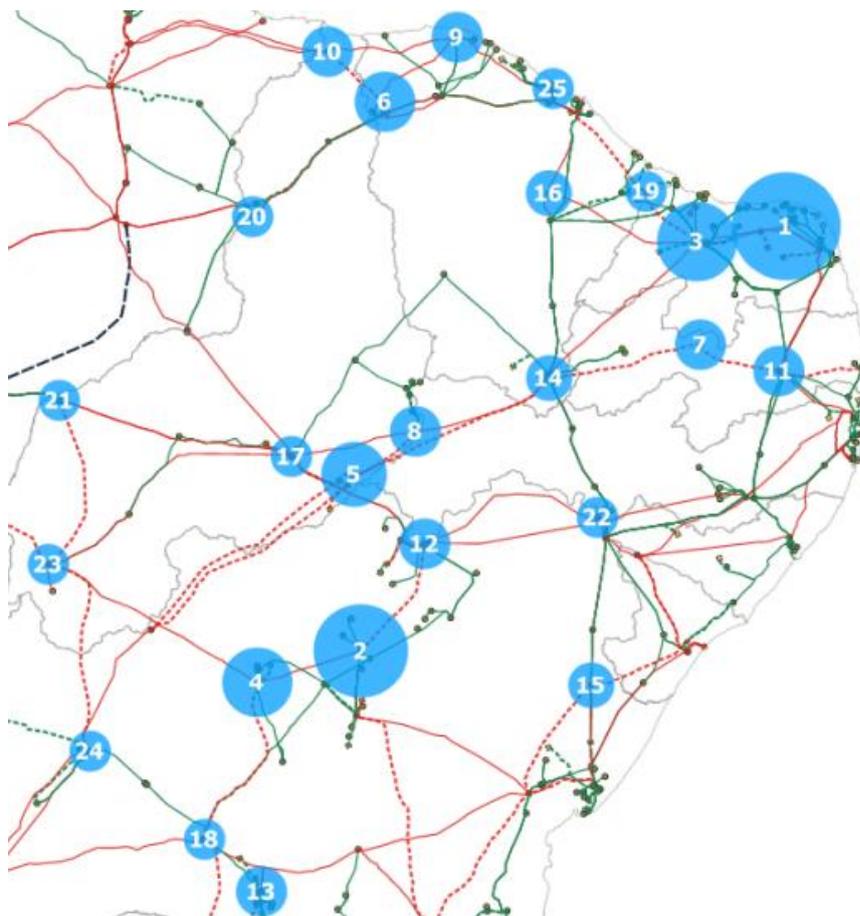
quanto à segurança energética, motivando os países a investirem de maneira mais acelerada em fontes de energia renováveis como solar e eólica (IEA, 2022).

Segundo dados do BEN do ano de 2022 (EPE, 2022), o Brasil possui atualmente, uma matriz elétrica renovável, pois a maior parte da energia gerada e importada pelo país provém de fontes renováveis, representando um valor próximo de 80% da sua oferta interna de energia elétrica. Apesar do maior quantitativo de energia gerada no país ser obtido a partir da geração hidráulica, nota-se também que a maior parte do que é acrescido na capacidade total instalada de energia elétrica do Brasil advém de parques com geradores eólicos. Isto representa que, por três anos consecutivos, a fonte de geração eólica foi a que mais cresceu no país, segundo dados do Boletim de Geração Eólica 2020, 2021 e do BEN 2022 (ABEEólica, 2021; ABEEólica, 2022; EPE, 2022).

O PDE divulgado no ano de 2022 contém estudos relacionados às perspectivas de expansão do setor de energia brasileiro em uma janela de tempo que compreende os próximos 10 anos, a partir da divulgação do plano. Entre os diversos tópicos tratados no PDE 2032 se destacam os que estão relacionados a transmissão de energia. O documento aponta que nos próximos anos haverá um aumento significativo de geração de energia renovável nas regiões norte e nordeste do país. Por essa razão, o sistema de transmissão de energia precisa estar preparado para atender a essa futura demanda de escoamento de geração, que será requisitada em virtude da expansão da energia renovável.

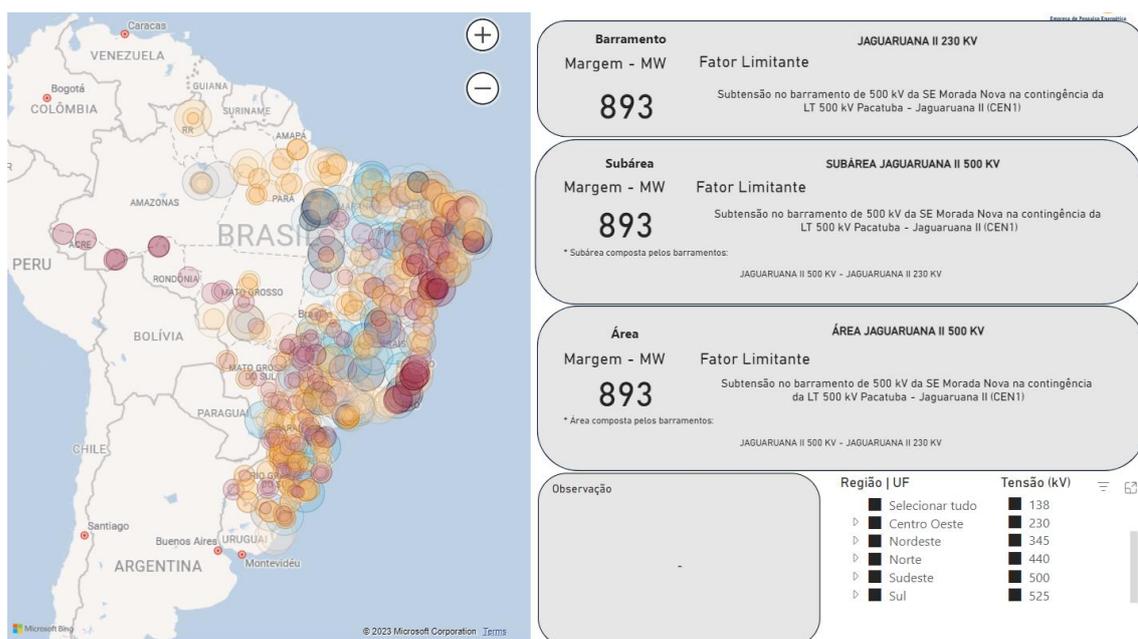
O PDE 2032 apresentou uma metodologia inovadora de clusterização desenvolvida pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), que foi capaz de realizar a previsão da localização da alocação de geração renovável projetada pelo PDE 2032 (EPE, 2023b), expondo informações através de mapa (Figura 2.2). Outra inovação apresentada nessa edição do PDE, foi uma avaliação prospectiva das margens de escoamento de energia da rede “*considerando as recomendações dos principais estudos de planejamento da transmissão emitidos até agosto de 2022*” (EPE, 2023b). Essa novidade conta com uma ferramenta interativa para auxiliar a visualização dos resultados obtidos pelo estudo por meio de um painel interativo (Figura 2.3).

Figura 2.2 – Mapa com resultados da alocação de geração renovável.



Fonte: EPE (2023b).

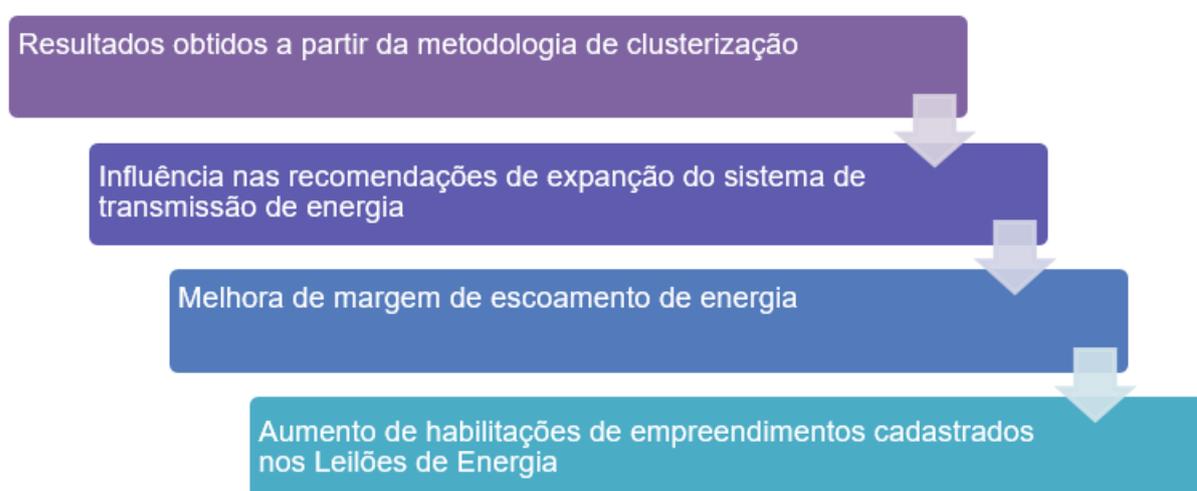
Figura 2.3 – Painel de monitoramento das margens do SIN.



Fonte: EPE (2023c).

Com base nas inovações trazidas pelo PDE 2032, no que tange à expansão do sistema de transmissão de energia, é possível concluir que elas contribuirão para o aumento de empreendimentos habilitados nos próximos Leilões de Energia. Esta interpretação ocorre visto que o empreendedor terá uma ferramenta com dados referentes a margem de escoamento de energia, considerando as recomendações de expansão do sistema elétrico, influenciadas pelos resultados obtidos a partir da metodologia de clusterização (Figura 2.4), a qual possui a capacidade de indicar os pontos da rede de maior interesse do mercado.

Figura 2.4 - Influência da metodologia de clusterização sobre os Leilões.



Fonte: Autoria própria.

A fim de ampliar a compreensão dos fundamentos que dão subsídios ao trabalho, serão apresentados os principais tipos e características de leilões de energia no Brasil.

2.2 Leilões de Energia

Os leilões de energia são mecanismos que viabilizam a contratação de energia no Ambiente de Comercialização Regulado do SIN. Os agentes vencedores dos leilões são aqueles que ofertam as menores tarifas, contribuindo para a modicidade tarifária. Após a conclusão do processo, esses agentes passam a ser responsáveis pelo fornecimento da demanda energética prevista em seu contrato no período que foi negociado.

Os leilões são considerados pilares do arranjo institucional do Setor Elétrico Brasileiro. Com o objetivo de garantir a sustentabilidade e a diversidade da matriz

energética brasileira, o setor elétrico conta com 8 categorias (CCEE, 2022), com detalhes apresentados na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Tipos e características dos leilões de energia no Brasil.

Leilão de Energia Nova	<ul style="list-style-type: none"> • Têm por objetivo a compra e venda de energia elétrica de unidades geradoras que ainda não foram construídas, para atender as futuras necessidades de demanda das distribuidoras.
Leilão de Energia Existente	<ul style="list-style-type: none"> • Esse tipo de leilão visa a contratação de energia elétrica gerada por empreendimentos já existentes, para atender as necessidades de demanda das distribuidoras.
Leilão de Energia de Reserva	<ul style="list-style-type: none"> • Tem como objetivo a contratação de energia elétrica gerada por empreendimentos já existentes ou que ainda serão construídos, com o objetivo de garantir a segurança no fornecimento de energia para os consumidores que fazem parte do SIN.
Leilão de Fontes Alternativas	<ul style="list-style-type: none"> • Visa a contratação de energia elétrica gerada apenas por fontes renováveis.
Leilão de Ajuste	<ul style="list-style-type: none"> • Têm por objetivo complementar em até 5% a carga de energia necessária pela distribuidora para atender o seu mercado consumidor.
Leilão Estruturante	<ul style="list-style-type: none"> • O objetivo desses leilões é a compra de energia de empreendimentos de interesses públicos. Esses empreendimentos possuem prioridade de licitação e de implementação.
Leilão do Sistema Isolado	<ul style="list-style-type: none"> • Tem o objetivo de realizar a contratação de energia elétrica em sistemas isolados do SIN.
Leilão de Reserva de Capacidade	<ul style="list-style-type: none"> • Tem o objetivo de realizar a contratação de empreendimentos que possam atender o mercado consumidor de maneira confiável e segura em períodos críticos

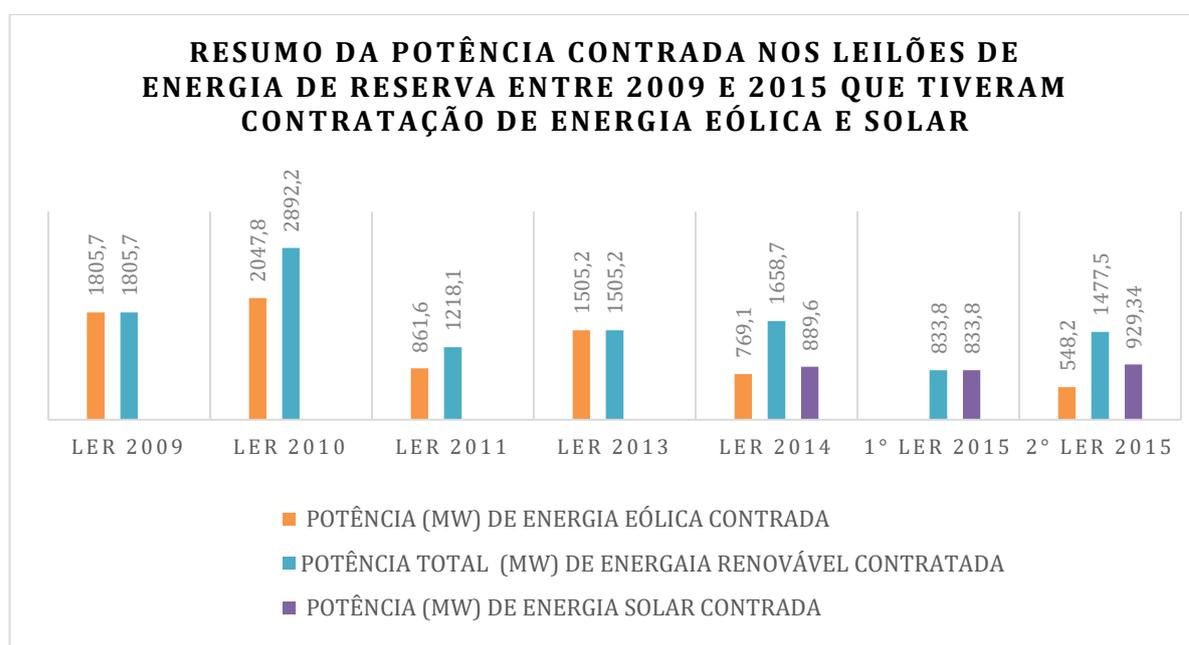
Fonte: Autoria própria.

As seis (06) primeiras modalidades de leilões citadas anteriormente, compõem os chamados leilões de geração de energia elétrica, que são essenciais para a conservação e expansão da produção existente do SIN. Entre as modalidades de Leilões de Energia que viabilizam a contratação de fontes renováveis não convencionais, merece destaque a de contratação de energia de reserva, pois ela foi propulsora da entrada desses ativos nos leilões de energia. Os Leilões de Energia de

Reserva (LERs) são realizados desde 2008 com o objetivo de contribuir para o aumento da segurança de operação do SIN (CCEE, 2023).

No Gráfico 2.1 são apresentados dados referentes aos quantitativos de potência de energia eólica e solar contratados nos Leilões de Energia de Reserva ocorridos entre 2009 e 2015, comparados ao total de potência contratada em cada leilão.

Gráfico 2.1 - Resumo da potência contratada nos leilões de energia de reserva entre 2009 e 2015 que tiveram contratação de energia eólica e solar.³



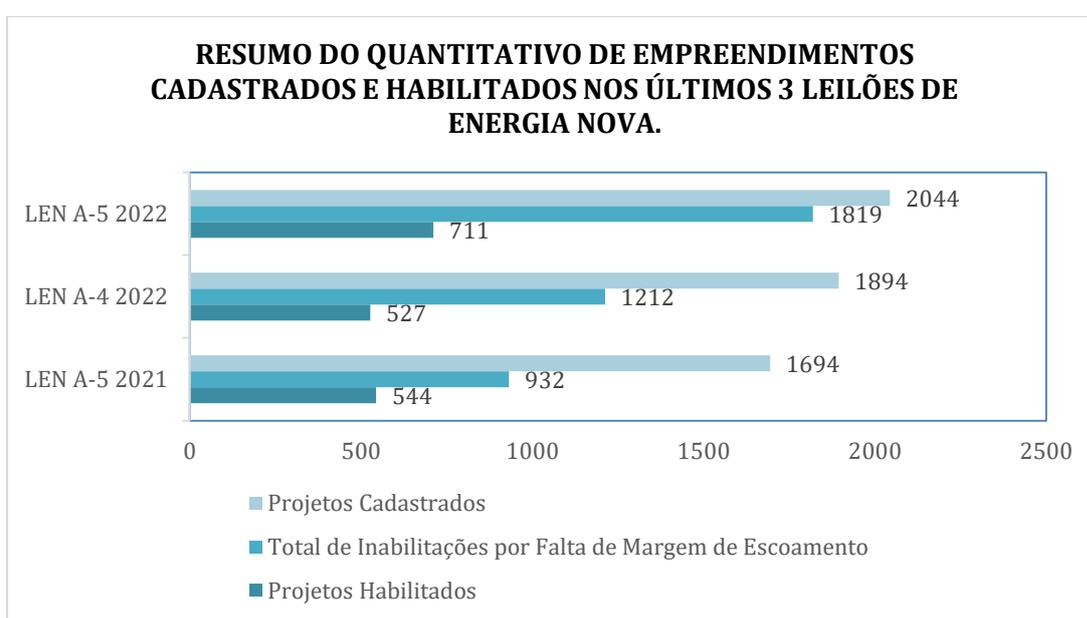
Fonte: Adaptado pela autora.

É possível notar que, até o ano de 2013, a fonte eólica possuía os maiores quantitativos de potência contratada, ultrapassando 70% do total em todos os leilões ocorridos nesse período. Outrossim, a contratação de empreendimentos eólicos passou a corresponder a valores inferiores a 50% da potência total contratada nos leilões seguintes. Entre as justificativas para essa redução é possível citar a entrada da fonte solar nos leilões de energia dessa categoria e o aumento do seu poder competitivo.

³ https://www2.aneel.gov.br//aplicacoes_liferay/editais_geracao/edital_geracao.cfm

No que se refere aos Leilões de Energia Nova (LEN), o número de empreendimentos cadastrados cresceu quase 20,70% comparando os dados do Leilão de Energia Nova A-5 de 2021 com o Leilão de Energia Nova A-5 do ano seguinte (2022). Apesar do número de empreendimentos cadastrados ter aumentado⁴ nos últimos 3 leilões dessa categoria, a quantidade de empreendimentos que conseguiram ser habilitados foi inferior a 50% do total em todos os casos analisados.

Gráfico 2.2 - Resumo do quantitativo de empreendimentos cadastrados e habilitados nos últimos 3 leilões de energia nova.



Fonte: Adaptado pela autora.

Os Informes divulgados pela EPE após a finalização desses leilões apontam que o principal motivo das inabilitações dos empreendimentos cadastrados foi a falta de margem de escoamento de energia. Além disso, os demais motivos das inabilitações foram por falta de comprovação de terreno e a falta de licença ambiental.

Após essa breve apresentação do impacto causado pelo conhecimento da Margem de Transmissão nos leilões de energia, alguns trabalhos relacionados serão expostos. No próximo capítulo, será indicada explanação de conceito, metodologia utilizada pelo ONS para realização desse estudo e funcionamento da ferramenta de cálculo automático do ANAREDE utilizada durante esse processo.

⁴ <https://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes>

2.3 Alguns Trabalhos Relacionados

FERNANDES *et al.* (2019) visaram apresentar em seu trabalho os desenvolvimentos de duas atualizações que foram incrementadas na ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do software ANAREDE no ano de 2019. Com objetivo de validar a eficiência das novas atualizações, um estudo de margem de transmissão do sistema brasileiro referente ao Leilão A-4 2018 na região do estado de São Paulo foi refeito. O resultado obtido demonstrou a agilidade que os estudos de margem passariam a ter com as novas adições a ferramenta.

A dissertação de BRAGA (2021) trata de uma análise relacionada ao potencial de hibridização eólica-solar no estado da Bahia. Além de analisar estatísticas referentes a insolação total e velocidade do vento na região, ela também adicionou um estudo de margem de escoamento de energia a fim de trazer complementariedade para seu estudo. Isto é muito importante considerando a implantação de novos empreendimentos de geração.

No trabalho de AGRA NETO (2022) foi realizado o cálculo de capacidade remanescente de um sistema elétrico exemplo do ANAREDE utilizando a ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do software. Além disso, o autor abordou sobre o conceito de margem de transmissão, procedimento de cálculo utilizado nos leilões de energia e a relevância que o estudo de margem de transmissão possui para a comercialização de energia no Brasil.

Além do contexto dos trabalhos, destaca-se também a palestra ofertada no início do mês de Junho/2023, no âmbito do curso de bacharelado em Engenharia Elétrica do IFPE (Campus Garanhuns), com o engenheiro Laércio Flávio de Meneses Guedes, Gerente de Planejamento no ONS. Nela foram trazidas questões relativas à motivação para estruturação da ferramenta automática de cálculo de margem, elementos de gestão e de caráter técnico nas regiões Norte e Nordeste, além de experiências que impactam os estudos de planejamento e de operação.

Os trabalhos analisados e as experiências compartilhadas carregam informações a respeito da relevância dos estudos de margem de transmissão para o funcionamento eficiente do setor de energia elétrica. O trabalho desenvolvido buscou trazer uma breve análise do cenário atual da geração renovável no Brasil e as suas perspectivas projetadas pelo PDE 2032. Além de discorrer sobre o funcionamento da

ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do ANAREDE e apresentar de maneira detalhada a aplicação metodológica em uma situação inspirada em um caso real do sistema elétrico brasileiro.

3. METODOLOGIA

O capítulo irá sintetizar informações sobre o conjunto de conceitos e definições que subsidiam o cálculo de margem de transmissão, elementos técnicos trazidos por portarias e órgãos do setor elétrico. Premissas, critérios e procedimentos para estudos elétricos, neste cerne, serão apresentados. São levantadas informações relevantes contidas em notas técnicas, além de descrito em detalhes procedimentos para aplicação metodológica utilizando a ferramenta de simulação sob estudo. Serão indicados códigos, etapas de pré-processamento e produtos gerados, fornecendo subsídios ao estudo de caso.

3.1 Margem de Transmissão

O cálculo de Margem de Transmissão ou de Capacidade Remanescente de Escoamento de Geração, como também é conhecido, consiste na determinação da quantidade máxima de potência ativa que o sistema de transmissão é capaz de escoar sem que sofra perturbações, violações de tensão ou fluxo no sistema de transmissão, em condição normal de operação e em situação de contingência (CEPEL, 2023a).

Desde o ano de 2013 a avaliação de margem de escoamento de geração é utilizada como critério de classificação na primeira etapa dos leilões de energia realizados no ACR (Ambiente de Contratação Regulada) e também como ferramenta de diminuição de riscos de conexão de novos empreendimentos em curto e médio prazo, pois ela visa evitar restrições de escoamento da geração contratada (EPE, 2022.c). O cálculo de margem considerado nos leilões de energia é realizado pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) e subsidiados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) por definição da portaria N° 444/2016 (MME, 2016). Essa portaria estabelece as diretrizes necessárias para realização do cálculo de margem de transmissão, de empreendimentos provenientes de Leilões de Energia Nova (LENs), de Fontes Alternativas (LFAs) e de Energia de Reserva (LERs).

Após a publicação das diretrizes do leilão e divulgação da Nota técnica 1, os agentes cadastram os pontos do sistema que possuem interesse de conectar seus empreendimentos e a EPE realiza consultas formais às concessionárias de transmissão e de distribuição de energia elétrica a fim de coletar informações preponderantes para elaboração da Nota Técnica 2. Ambas as notas são elaboradas pelo ONS com subsídios da EPE e, quando finalizadas, precisam passar pela aprovação do MME (Ministério de Minas e Energia) para então serem consideradas nos leilões de energia e publicadas nos sítios eletrônicos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), do ONS e da EPE (MME, 2016).

- Nota Técnica 01: contém a metodologia, as premissas e os critérios que devem ser considerados para definição da Capacidade Remanescente do SIN (Sistema Interligado Nacional) para Escoamento de Geração.
- Nota Técnica 02: contém os quantitativos da Capacidade Remanescente do SIN para Escoamento de Geração dos barramentos, subáreas e áreas analisados.

Os principais pontos tratados nesses documentos serão apresentados com base na Nota Técnica NT-ONS DPL 0052-2022 - EPE-DEE-RE-024-2022-r0, elaborada com a finalidade de subsidiar os Leilões de Energia Nova – LEN A-5/2022 e LEN A-6/2022 (ONS, 2022).

3.2 Nota Técnica 01

As subseções a seguir objetivam resumir o conteúdo existente nas Notas Técnicas de Metodologia, Premissas e Critérios considerada nos LENs, LFAs e LERs. promovidos pelo MME.

3.2.1 Premissas e Dados

O item 4 da Nota Técnica 1, estabelece as premissas e dados que deverão ser considerados na construção do caso de referência que será utilizado na definição da Capacidade Remanescente do SIN para Escoamento de Geração, tais como configuração da rede de transmissão e de geração, disponibilidade física das concessionárias, patamares de carga e outros:

i. Configuração da rede de transmissão: para o cálculo de capacidade remanescente de escoamento, a base de dados considerada da rede de transmissão deve corresponder àquela que compreenda ao cenário em que o sistema estará no período em que os empreendimentos leiloados começarem a gerar energia. Para isso, o ONS utiliza dados modificados do Plano de Ampliações e Reforços (PAR). Dentre as modificações consideradas está a inclusão dos empreendimentos de geração e transmissão já autorizados, previstos para estarem em operação no período em torno do mês e ano em que os empreendimentos vencedores do leilão darão início ao suprimento de energia.

ii. Disponibilidade física para conexões: Antes do cálculo de Margem de Transmissão ser realizado a EPE realiza consultas formais às concessionárias de transmissão a fim de verificar se os barramentos candidatos possuem disponibilidade física de conexão de transformadores ou de vãos de entrada de linha. Após essa ação os barramentos que possuem disponibilidade física de conexão são classificados como do Tipo A e os demais como do Tipo B. Essas informações coletadas são de grande valor para os agentes analisarem a viabilidade dos pontos da rede para conexão de seu empreendimento.

iii. Patamares de carga e cenários de geração: Na nota técnica 1, devem constar os patamares de carga e cenários de geração que serão utilizados para realização do cálculo de MT (Margem de Transmissão). Os cenários de geração utilizados no estudo correspondem às mais críticas situações de escoamento de geração.

iv. Análise de curto-circuito no barramento candidato: O estudo de margem também compreende uma análise de curto-circuito dos barramentos candidatos utilizando o software ANAFAS para subsidiar as simulações. Caso existam violações por superação de nível de curto-circuito a solução indicada será a troca dos equipamentos violados e serão especificados na Nota Técnica 2.

3.2.2 Critério, Metodologia e Procedimentos

A Nota Técnica 1 estabelece que, durante o processo de determinação de Margem de Transmissão, os critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS devem ser atendidos incluindo a análise de confiabilidade N-1 (Submódulo 2.3).

A metodologia para o cálculo de margem de transmissão descrita na Nota Técnica 1 explica que, inicialmente, o cálculo deve ser realizado no nível de barramento e, posteriormente, no nível de subárea e, por último, de área.

É importante ressaltar que para as três análises (barramento, subárea e área) é dito que o despacho dos geradores conectados nas subestações que possuem barramentos candidatos deve ser de 100% independente da fonte de geração exceto se ela for solar fotovoltaica pois, nesse caso, a norma determina que o despacho considerado deve ser aquele que a usina possui quando se está no cenário de carga leve. Sobre a determinação das capacidades remanescentes:

i. Determinação da capacidade remanescente do barramento candidato: para execução desse processo, cada barramento candidato é analisado separadamente enquanto recebe acréscimos de geração. A cada passo de alocação adicional de geração é verificado se o barramento sofreu alguma violação ou teve o seu montante de potência cadastrado ultrapassado. Quando um desses fatores ocorre, o quantitativo de capacidade remanescente do barramento é determinado.

ii. Determinação da capacidade remanescente da subárea do SIN: Durante essa etapa é feito o incremento de geração em cada um dos barramentos candidatos da subárea, respeitando os limites que foram calculados na etapa precedente. No decorrer desse processo, combinações de despacho de geração dos barramentos são realizadas para que possa ser determinado o cenário mais restritivo de escoamento de geração que irá corresponder ao quantitativo de capacidade remanescente da subárea.

iii. Determinação da capacidade remanescente da área do SIN: Durante essa etapa é feito o incremento de geração nos barramentos candidatos de cada subárea, respeitando os limites de barramento candidato e de subárea que foram determinados nos passos anteriores. No decorrer desse processo, combinações de despacho de geração entre os barramentos candidatos das subáreas são realizadas para que possa ser determinado o cenário mais restritivo de escoamento de geração que irá corresponder ao quantitativo de capacidade remanescente da área.

Dados complementares sobre disponibilidade e resultados são trazidos pela Nota Técnica 2. Outras informações são apresentadas a seguir.

3.3 Nota Técnica 02

A Nota Técnica de Quantitativo de Capacidade Remanescente do SIN para Escoamento de Geração carrega todos os resultados mencionados na Nota Técnica 1, além de eventuais ajustes. Os principais resultados encontrados na Nota Técnica 2 são: disponibilidade física dos barramentos candidatos para novas conexões, resultado de margem de capacidade remanescente nos níveis de barramento, subárea e área, e as suas respectivas limitações detectadas através das simulações de incremento de geração que foram realizadas, capacidade de escoamento nos barramentos candidatos limitada pela análise de curto-circuito e outros.

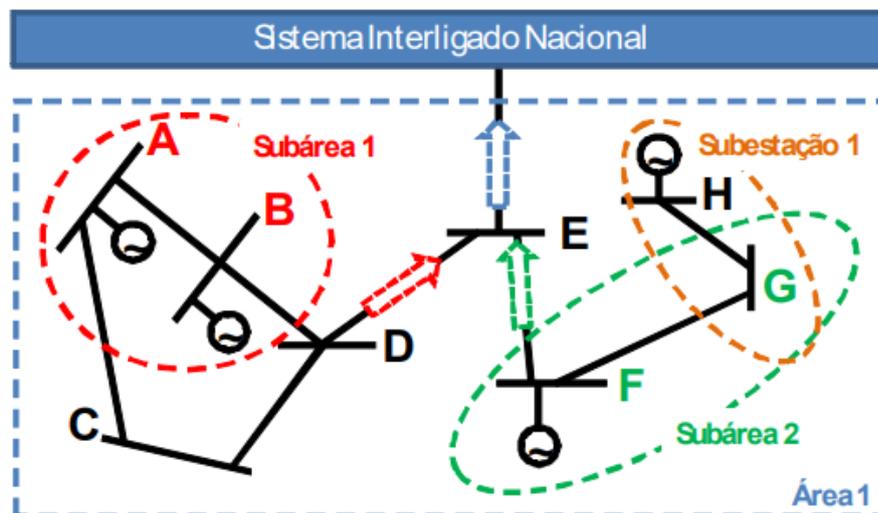
Juntamente com a publicação da Nota Técnica 2, são disponibilizados para o público os casos de referência que foram utilizados para o estudo, informações sobre a geração adotada, a capacidade instalada, a data de início de operação e o ambiente de contratação considerado.

3.4 Cálculo de Margem de Transmissão

Segundo o CEPEL (2023b), o cálculo da Margem de transmissão é feito considerando três níveis de análise (Figura 3.1), sendo eles:

- *Barramento candidato*, o qual corresponde ao barramento cadastrado como ponto de conexão que os empreendimentos de geração acessam o sistema de transmissão;
- *Subárea*, o qual corresponde a um conjunto de barramentos candidatos, que concorrem pelo mesmo recurso de escoamento de geração;
- *Área*, o qual corresponde a um conjunto de subáreas, que concorrem pelo mesmo recurso de escoamento de geração.

Figura 3.1 - Sistema exemplo para conceitualização de área e subárea.



Fonte: CEPEL, 2023b.

Na Figura 3.1 é possível observar a representação simplificada de um sistema de transmissão (FERNANDES *et al.*, 2019), em que os barramentos candidatos A e B possuem unidades geradoras, concorrem pelo mesmo recurso de transmissão e compõem a subárea 1, enquanto a subárea 2 é formada pelos barramentos candidatos F e G, com geração e sem geração respectivamente. Juntas, as subáreas 1 e 2 compõem a área 1 do sistema exemplo, pois concorrem pelo mesmo meio de escoamento de geração. No sistema também é possível notar a subestação 1, composta pelo barramento candidato G e o barramento H, que não é um barramento candidato e possui geração.

A definição dos barramentos candidatos e dos conjuntos de subáreas e áreas se trata de um dos requisitos necessários para que o cálculo da Margem de Transmissão possa ser realizado. Detalhes sobre a recente automatização deste processo com o ANAREDE são apresentadas na próxima seção.

3.4.1 Cálculo Automático de Margem de Transmissão no ANAREDE

Desde o ano de 2018 o software ANAREDE conta com uma ferramenta capaz de executar o cálculo automático de Margem de Transmissão, sendo aperfeiçoada, seguindo as premissas definidas pelo ONS e pela EPE consideradas nos Leilões de Energia promovidos pelo MME. A ferramenta é composta por um conjunto de códigos

de execução que controlam a entrada dos dados necessários para realização do cálculo (FERNANDES *et al.*, 2019). Esses códigos de execução são (CEPEL, 2023b):

- *DMTE (Dados de Monitoramento de Tensão)*: código de execução que realiza a leitura dos dados de monitoração de tensão em barra CA. Na ferramenta esse código é opcional e, caso seja utilizado, será responsável por monitorar a tensão nos barramentos candidatos.
- *DMFL (Dados de Monitoramento de Fluxo)*: código de execução que realiza a leitura dos dados de monitoração de fluxo em circuito CA. Na ferramenta esse código é opcional e, caso seja utilizado, será responsável por monitorar o fluxo nas vizinhanças dos barramentos candidatos.
- *DEMT (Dados de Estudo de Margem de Transmissão)*: código de execução que realiza a leitura dos dados de estudo de margem de transmissão. Na ferramenta, é um código obrigatório para o tipo de estudo descrito e será responsável pela entrada de dados pertinentes aos barramentos candidatos.
- *DGMT (Dados de Geração para Margem de Transmissão)*: código de execução que realiza a leitura dos dados de geração para Margem de Transmissão. Na ferramenta, é um código opcional utilizado para indicar as demais gerações que compõem a subestação que o barramento candidato está inserido, mas que não são de barramentos candidatos.
- *EXMT (Executa cálculo de Margem de Transmissão)*: código de execução que inicia o cálculo de margem de transmissão e prepara lista de contingências por meio de linguagem de seleção do ANAREDE. Na ferramenta sob estudo se trata de um código obrigatório.

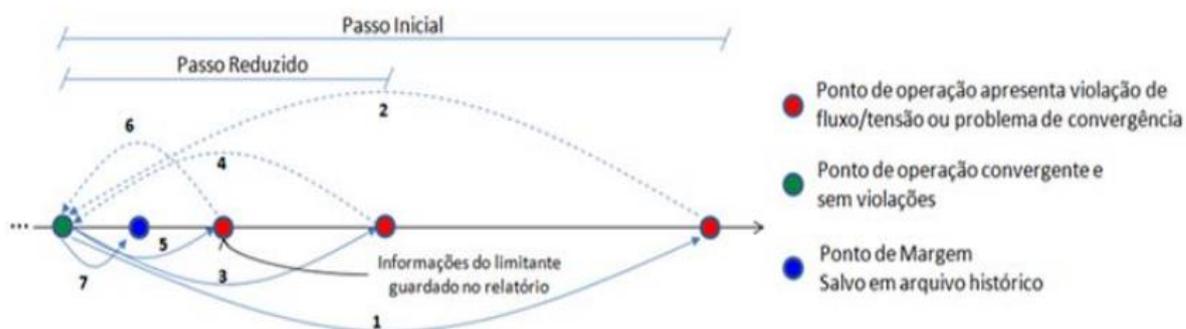
Caso o campo referente à entrada de dados de contingência do código EXMT não seja preenchido, o programa irá utilizar as contingências listadas no código de execução DCTG (Dados de Contingência), mas se não existirem dados de contingência em nenhuma das opções, a margem de transmissão será calculada apenas para o caso de operação normal.

É importante ressaltar que a ferramenta de cálculo automático de Margem de Transmissão do ANAREDE possui uma ferramenta complementar denominada IDSA (Identificação de Subáreas e Áreas), capaz de auxiliar o analista na definição das

subáreas e áreas do sistema sob análise. A opção IDSA, quando utilizada, deve aparecer em conjunto com o código de execução EXMT.

Como é pontuado pelo ONS, o cálculo da capacidade remanescente consiste na determinação da capacidade máxima de injeção de geração que um determinado ponto do sistema é capaz de suportar sem que sofra algum tipo de violação em operação normal ou em situação de contingência (ONS, 2022). Sendo assim, a ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do ANAREDE realiza esses incrementos de geração considerando dados de passo de geração e passo mínimo de incremento determinados pelo usuário através do código de execução EXMT. Nessa etapa do processo, incrementos de geração e divisões sucessivas de passos são realizadas repetidamente até que se atinja o passo mínimo informado pelo usuário. Caso o usuário não preencha estes campos, os valores *default* 20 MW e 5 MW são utilizados pelo software. A Figura 3.2 exemplifica como é realizada essa etapa do processo do cálculo de margem.

Figura 3. 2 - Esquema de divisões sucessivas do passo de incremento de geração



Fonte: CEPEL (2023b).

Os códigos de execução apresentados anteriormente devem ser inseridos no código base contendo o sistema que se deseja calcular a margem de transmissão. Vale ressaltar que, ao utilizar a ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão, o campo Pg (Potência Ativa Gerada) do código de execução DBAR (Dados de Barra) do arquivo de entrada do caso base, não deve conter valores negativos. Caso isso seja observado, os respectivos valores precisam ser alterados para zero. O motivo dessa mudança de dados é o fato da margem ser calculada

considerando a “*diferença entre a máxima injeção ao final do cálculo e a injeção inicial do barramento candidato*” (CEPEL, 2023b).

3.4.1.1 Etapa de Pré-processamento

Para que a ferramenta de cálculo automático de margem possa ser implementada corretamente, alguns requisitos precisam ser cumpridos, são eles:

- (i) O caso base deve ser convergente;
- (ii) O caso base, em operação normal, não deve possuir violações de tensão ou fluxo na região de monitoração definida pelos códigos de execução DMTE e DMFL. Caso esses códigos não sejam utilizados, o programa ANAREDE automaticamente fará a monitoração apenas os barramentos candidatos para violação de tensão e os circuitos conectados a eles para monitoração de fluxo;
- (iii) A lista de contingências fornecida não deve causar problemas de convergência ou violação de tensão ou fluxo na região de monitoração do caso base.
- (iv) O caso base deve ser capaz de suportar, em operação normal e em emergência, cada uma das montagens de subestações definidas com os códigos de execução DEMA e DEMA (CEPEL, 2023b).

A fim de verificar o cumprimento desses requisitos, a ferramenta conta com uma etapa de pré-processamento, composta por três etapas:

i. Avaliação do Caso Base: nessa etapa é verificado se o sistema sob estudo possui problema de convergência ou alguma violação na região monitorada. Caso um desses itens seja verificado a etapa de pré-processamento é encerrada e um relatório é emitido pelo ANAREDE informando o fator que impediu a continuação do processo.

ii. Validação de Contingências: na sequência, é verificado se as contingências determinadas para efetivação do estudo causam problemas de convergência, violações ou isolamento de parte do sistema. Caso um desses problemas seja verificado, a etapa de pré-processamento é encerrada e um relatório é emitido pelo ANAREDE informando o fator que impediu a continuação do processo.

iii. Avaliação de Subestações: a última etapa do pré-processamento verifica se a elevação das subestações do sistema causa problemas de convergência ou violação tanto em operação normal quanto em situação de emergência. A elevação das subestações é determinada pelo usuário ao realizar a alteração dos dados dos campos de potência máxima e percentual dos códigos de execução DEMA e DEMA. Caso algum problema de convergência ou violação

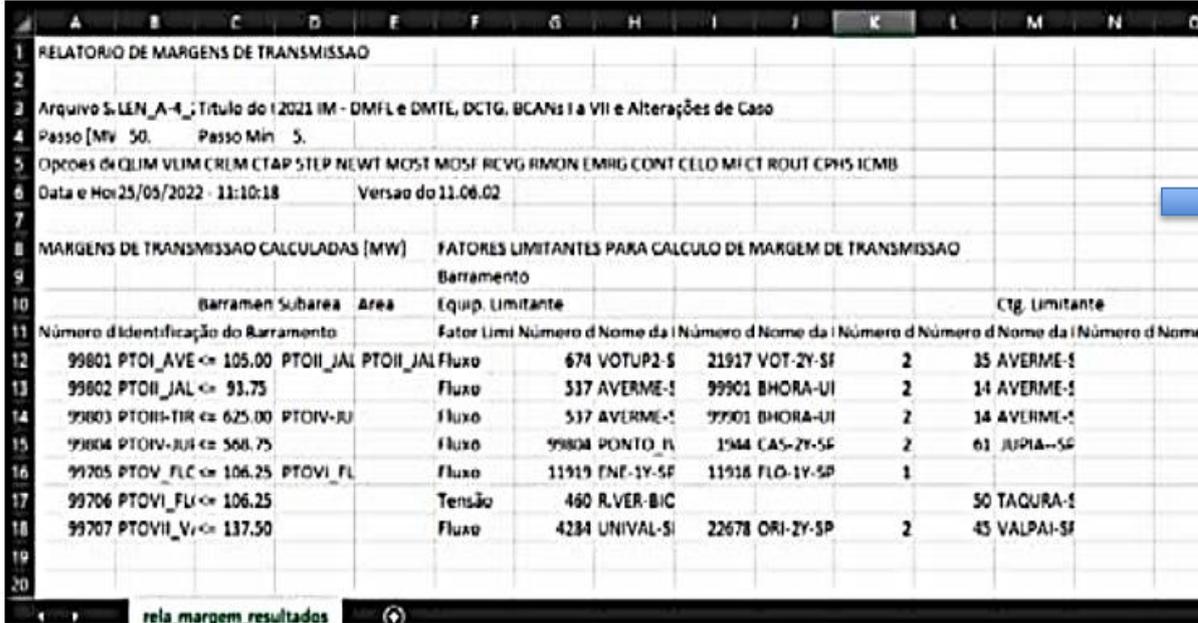
seja verificado, a etapa de pré-processamento é encerrada e um relatório é emitido pelo ANAREDE informando o fator que impediu a continuação do processo.

A etapa de pré-processamento proporciona ao usuário economia de tempo para realização do estudo de margem de transmissão, uma vez que ela presta auxílio na seleção e no ajuste dos casos por meio da identificação de fatores que podem impedir a execução correta da ferramenta antes que o cálculo seja iniciado.

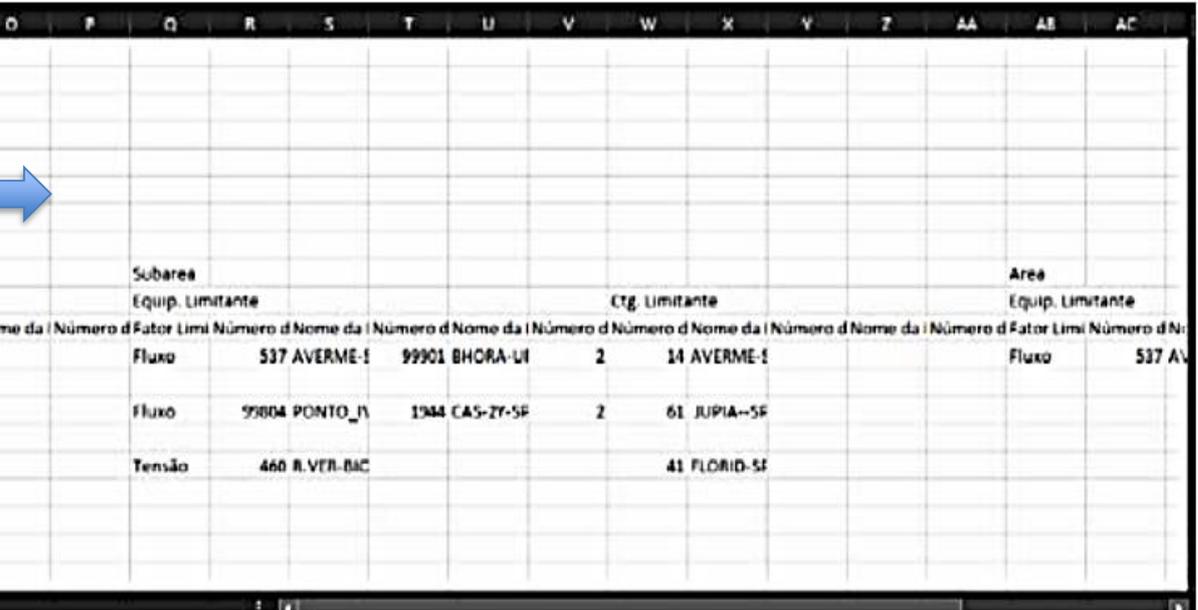
3.4.1.2 Resultados e Produtos Gerados pela Ferramenta

Ao final do processo de cálculo de margem, o ANAREDE gera automaticamente um arquivo nomeado como *rela_margem_resultados* em CSV (exemplo na Figura 3.3), contendo os quantitativos que foram calculados para margem de barramento candidato, subárea e área. Além desse relatório são criados, também, arquivos históricos em “.SAV” com os pontos de operação que definiram as margens calculadas (CEPEL, 2023b).

Figura 3.3 - Visualização do relatório de resultados em formato CSV.



RELATORIO DE MARGENS DE TRANSMISSAO													
Arquivo S:\LEN_A-4; Titulo do I 2021 IIM - DMFL e DMTE, DCTG, BCANs I a VII e Alterações de Caso													
Passo [Mv 50. Passo Min 5.													
Opcoes de CLIM VLIM CREM CTAP STEP NEWT MOST MOSF RCVG RMON EMRG CONT CELO MFC CT ROUT CPMS ICMB													
Data e Hora 25/05/2022 - 11:10:18 Versao do 11.06.02													
MARGENS DE TRANSMISSAO CALCULADAS [MW]					FATORES LIMITANTES PARA CALCULO DE MARGEM DE TRANSMISSAO								
Barramento					Barramento								
Barramen		Subarea	Area	Equip. Limitante	CTG. Limitante								
Número d Identificação do Barramento					Fator Limi	Número d	Nome da	Número d	Nome da	Número d	Nome da	Número d	Nome da
99801	PTOI_AVE	<=	105.00	PTOI_JAL	Fluxo	674	VOTUP2-S	21917	VOT-2Y-SF	2	35	AVERME-S	
99802	PTOI_JAL	<=	93.75		Fluxo	537	AVERME-S	99901	BHORA-UI	2	14	AVERME-S	
99803	PTOIV-TIR	<=	625.00	PTOIV-RJ	Fluxo	537	AVERME-S	99901	BHORA-UI	2	14	AVERME-S	
99804	PTOIV-RJ	<=	568.75		Fluxo	99804	PONTO_FL	1944	CAS-2Y-SF	2	61	JUPIA-SF	
99705	PTOV_FL	<=	106.25	PTOVI_FL	Fluxo	11919	INF-1Y-SF	11918	FLO-1Y-SP	1			
99706	PTOVI_FL	<=	106.25		Tensão	460	R.VER-BIC				50	TAGURA-S	
99707	PTOVII_V	<=	137.50		Fluxo	4284	UNIVAL-SI	22678	ORI-2Y-SP	2	45	VALPAI-SF	



Subarea	Equip. Limitante	CTG. Limitante	Area
	Fluxo	537 AVERME-S	99901 BHORA-UI
	Fluxo	99804 PONTO_FL	1944 CAS-2Y-SF
	Tensão	460 R.VER-BIC	41 FLORID-SF

Fonte: CEPEL, 2023b.

No arquivo “*rela_margem_resultados*” também estão presentes os fatores que foram limitantes para o cálculo de margem, equipamentos com violação e contingências. As figuras apresentadas a seguir (3.4 a 3.6) possuem exemplos de arquivos históricos obtidos após a conclusão do cálculo de MT. Nota-se que o programa realiza a identificação da margem do barramento candidato em operação normal e em emergência, MODO (N) e MODO (N-1), respectivamente, além de indicar o passo que foi utilizado no momento em que a margem foi determinada.

Figura 3.4 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de barramento candidato.

Caso	Título	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	24/10/2018 - 15:57:24	V10.03.00
2	Margem Barramento Candidato 23 - Passo: 2.500MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 15:58:27	V10.03.00
3	Margem Barramento Candidato 23 - Passo: 1.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 15:57:51	V10.03.00
4	Margem Barramento Candidato 24 - Passo: 1.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 15:59:28	V10.03.00
5	Margem Barramento Candidato 72 - Passo: 2.500MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 16:00:18	V10.03.00
6	Margem Barramento Candidato 72 - Passo: 1.250MW - Modo (N)	24/10/2018 - 16:00:04	V10.03.00
7	Margem Barramento Candidato 31 - Passo: 1.250MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 16:01:35	V10.03.00
8	Margem Barramento Candidato 31 - Passo: 10.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 16:01:33	V10.03.00
9	Margem Barramento Candidato 32 - Passo: 1.000MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 16:02:48	V10.03.00
10	Margem Barramento Candidato 32 - Passo: 10.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 16:02:44	V10.03.00
11	Margem Barramento Candidato 113 - Passo: 1.000MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 16:03:35	V10.03.00
12	Margem Barramento Candidato 113 - Passo: 10.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 16:03:31	V10.03.00
13	Margem Barramento Candidato 1 - Passo: 1.250MW - Modo (N-1)	24/10/2018 - 16:04:12	V10.03.00
14	Margem Barramento Candidato 1 - Passo: 10.000MW - Modo (N)	24/10/2018 - 16:04:09	V10.03.00

Caso

Sumário Restabelecer Eliminar Salvar Fechar

Fonte: CEPEL (2023b).

Figura 3.5 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de subárea.

Caso	Título	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	24/10/2018 - 16:11:14	V10.03.00
2	Subarea 1 - Permutacao: 23 24 72	24/10/2018 - 16:11:15	V10.03.00
3	Subarea 2 - Permutacao: 113 32 31	24/10/2018 - 16:11:21	V10.03.00
4	Subarea 3 - Permutacao: 1 4 8 12	24/10/2018 - 16:13:32	V10.03.00
5	Subarea 4 - Permutacao: 53 54	24/10/2018 - 16:14:08	V10.03.00
6	Subarea 5 - Permutacao: 49 66 65	24/10/2018 - 16:14:10	V10.03.00

Fonte: CEPEL (2023b).

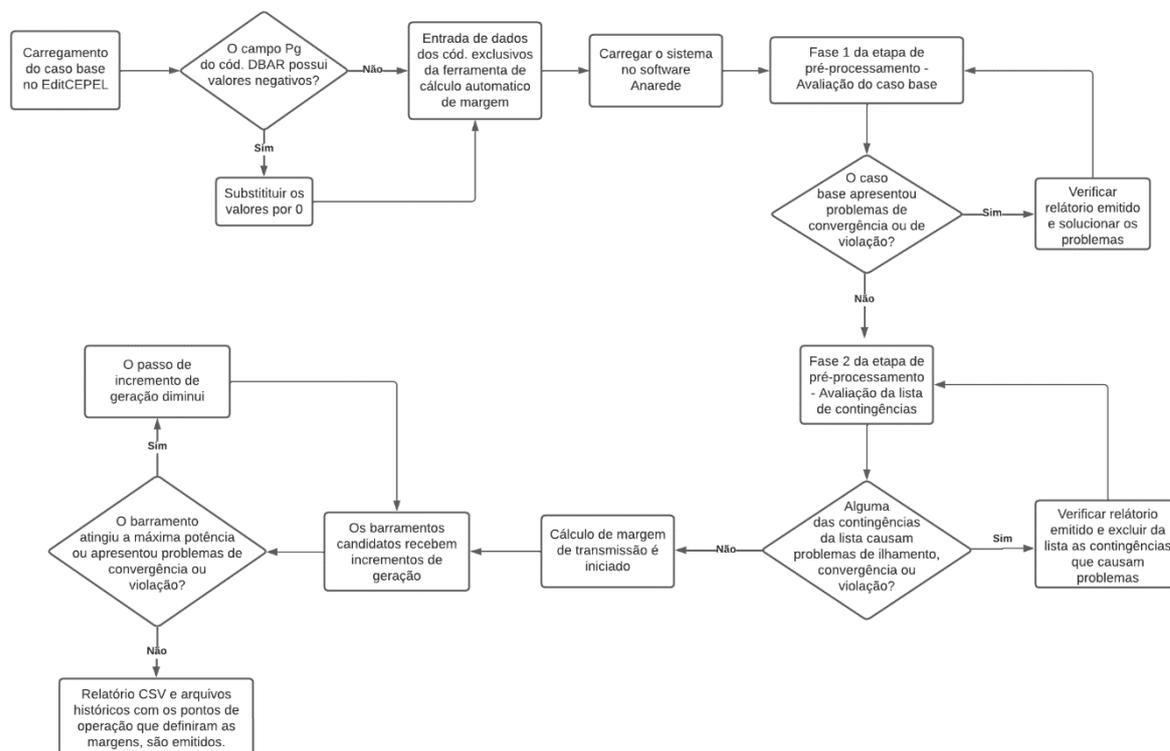
Figura 3.6 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de área.

Caso	Título	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	24/10/2018 - 16:14:10	V10.03.00
2	Margem Area 1 - Passo: 10.000MW - Permutacao: 3 1 2	24/10/2018 - 16:15:34	V10.03.00
3	Margem Area 2 - Subareas nao formam Area	24/10/2018 - 16:15:35	V10.03.00

Fonte: CEPEL (2023b).

O fluxograma apresentado na Figura 3.7 contempla o processo realizado pela ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do ANAREDE.

Figura 3.7 - Fluxograma do processo realizado pela ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão do ANAREDE.



Fonte: Autoria própria.

Ademais, nos arquivos históricos do processo de determinação de subárea e área, está presente a ordem de permutação que definiram as suas margens (CEPEL, 2023b). Uma implementação com elementos preliminares e inspirados em parte do SIN será apresentada no próximo capítulo. Será executada a Metodologia de Cálculo sob estudo, além de descritos elementos baseados em critérios, nas premissas e nos procedimentos de rede.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso considerou apenas o item 6.4 da Nota Técnica 1, referente a Análise de Fluxo de Potência e Cálculo de Margem de Escoamento, e utilizou para sua concretização dados contidos no arquivo base do Quadrimestral 3Q2022 do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), relativos ao mês de setembro de 2022. Neste sentido, tratará de um caso teste baseado em um sistema anterior de operação do SIN, inspirado neste. Não trará, portanto, eventuais conflitos em relação a estudos sob realização ou estudos futuros desenvolvidos pelo operador.

O objetivo deste estudo é apresentar a implementação da metodologia com suporte do ANAREDE. Será determinado qual dos barramentos escolhidos para realização do cálculo de margem de transmissão possui melhor desempenho para efetuar o escoamento de geração de energia em relação às expectativas relacionadas ao empreendimento eólico Serra da Gameleira. Entretanto, não serão consideradas atualizações do sistema elétrico, cálculos de curto-circuito com o ANAFAS ou estudos complementares de segurança que se desdobram deste, os quais são reconhecidamente importantes para tomada de decisão em ações de planejamento e pré-operação do SIN.

4.1 Características dos Empreendimentos e da Área sob Estudo

O complexo eólico considerado se trata de um conjunto de nove (09) empreendimentos sob estudo, que até o presente momento possui apenas DRO (Despacho de Registro de Requerimento de Outorga) aprovado. O complexo é formado por 9 parques eólicos: Serra da Gameleira I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX. A potência total prevista é de 353.400 kW.

Os dados referentes ao complexo eólico, disponíveis no SIGA (Sistema de Informação de Geração da ANEEL)⁵ indicam que as unidades geradoras desse complexo serão localizadas nos municípios de Sento Sé e Umburanas, que são municípios vizinhos localizados no Norte da Bahia. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam as informações disponibilizadas pelo SIGA.

⁵ <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>

Figura 4.1 - Número de empreendimentos eólicos em estudo nos municípios de Sento Sé e Umburanas - BA– maio 2023.



Número de Empreendimentos

9

DROs Ambiente Livre emitidos para UTEs e UFVs não possuem prazo de vigência.
DROs Ambiente Livre emitidos para EOL possuem prazo de vigência de um ano.

Tipo

EOL

Objeto do DRO

DRO Ambiente Livre

UF

BA

Nome do Empreendimento

- Serra da Gameleira I
- Serra da Gameleira II
- Serra da Gameleira III
- Serra da Gameleira IX

Município

- Sento Sé - BA
- Sento Sé - BA, Umburanas - BA

Fonte: SIGA – Maio/2023.

Figura 4.2 - Características dos empreendimentos eólicos em estudo nos municípios de Sento Sé e Umburanas - BA– maio 2023.

Empreendimento	CEG	Objeto do ato	Tipo	Município	Potência (kW)	Latitude	Longitude	Ato	Data de Publicação	Vigência do Ato
Serra da Gameleira I	EOL.CV.BA.048898-4	DRO	EOL	Sento Sé - BA, Umburanas - BA	43.400,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira II	EOL.CV.BA.048899-2	DRO	EOL	Sento Sé - BA	43.400,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira III	EOL.CV.BA.048900-0	DRO	EOL	Sento Sé - BA, Umburanas - BA	31.000,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira IX	EOL.CV.BA.051572-8	DRO	EOL	Sento Sé - BA	43.400,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira V	EOL.CV.BA.049028-8	DRO	EOL	Sento Sé - BA, Umburanas - BA	31.000,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira VI	EOL.CV.BA.049029-6	DRO	EOL	Sento Sé - BA	31.000,00	-10,37242546	-41,39390691	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira VIII	EOL.CV.BA.049285-0	DRO	EOL	Sento Sé - BA	43.400,00	0,00000000	0,00000000	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira X	EOL.CV.BA.049030-0	DRO	EOL	Sento Sé - BA	43.400,00	-10,33139791	-41,38534540	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Serra da Gameleira XI	EOL.CV.BA.048903-4	DRO	EOL	Sento Sé - BA	43.400,00	-10,36680275	-41,35623148	2.735	24/10/2022	24/10/2023
Total					353.400,00					

Fonte: SIGA – Maio/2023.

Para realização do estudo, foram determinados 5 barramentos como potenciais candidatos para realizar o escoamento da energia gerada por esses empreendimentos, por se tratar de barras geograficamente próximas aos municípios onde os empreendimentos serão construídos.

A questão da distância geográfica entre o empreendimento gerador de energia e o barramento candidato é um fator importante, pois está diretamente relacionada a economia de despesas de construção de linhas de transmissão. Nisto, os barramentos considerados como candidatos para realização do estudo foram: Campo Formoso 230 KV, Sobradinho 230 KV, Juazeiro I 500 KV, Juazeiro III 230 kV e Futura de 500 KV (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Dados de barra do sistema estudado.

NÚMERO	TIPO	NOME	TENSÃO BASE (KV)	LIMITE DE TENSÃO
6107	0 - PQ	CAMPO FORMOSO	230	0.95 – 1.05
6301	0 - PQ	SOBRADINHO	230	0.95 – 1.05
6500	0 - PQ	JUAZEIRO I	500	1.0 – 1.1
6501	0 - PQ	JUAZEIRO III	230	0.95 – 1.05
8980	0 - PQ	FUTURA	500	1.0 – 1.1

Fonte: Arquivo base ONS.

Todas os barramentos candidatos considerados no estudo se tratam de barras do tipo PQ (barras de carga, classificação admitida no fluxo de potência), ou seja, não possuem unidades geradoras conectadas a elas.

4.2 Simulação

Como mencionado anteriormente, o cálculo de margem de transmissão é realizados em três níveis: barramento, subárea e área. Por essa razão, se fez necessário determinar as subáreas e áreas do sistema analisado e, para essa etapa, foi utilizada a opção IDSA (Identificação de Subáreas e Áreas) do código de execução EXMT (Executa Cálculo de Margem de Transmissão) da ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão.

4.2.1 Dados de entrada da ferramenta IDSA

Para realização dessa etapa do estudo, inicialmente o caso base foi carregado no EditCEPEL para que os dados requisitados pela opção IDSA pudessem ser inseridos nos códigos de execução exclusivos da ferramenta de cálculo automático de margem de transmissão e, também, para que alguns ajustes no caso base pudessem ser realizados de acordo com as recomendações apresentadas no capítulo anterior:

- (i) Dados negativos do campo de Potência ativa gerada do código de execução DBAR (Dados de Barra) foram alterados para 0.
- (ii) Códigos de execução DMTE (Dados de Monitoração de Tensão) e DMFL (Dados de Monitoramento de Fluxo) (Figura 4.4), foram adicionados e preenchidos com os dados relacionados à região que existia interesse de monitoração de tensão e de fluxo na etapa de cálculo de margem no nível de barramento.

Figura 4.3 - Dados do código de execução DMTE e DMFL.

```

DMTE
(tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) O F
AREA 701 A AREA 702
99999
(
DMFL
(tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) O I
AREA 701 A AREA 702
99999

```

Fonte: Autor própria.

- (iii) Dados de capacidade Normal de algumas linhas da região de monitoração foram adicionados.
- (iv) Código de execução DEMA (Dados de Margem de Transmissão) (Figura 4.5) foi adicionado e preenchido com os dados de caráter obrigatório para execução da ferramenta.

Figura 4.4 - Dados do código de execução DEMA.

```

DEMA
(BCan ( Iden ) (SE) (SA) (Ar) (P.CC) (Pmx) (P)
6107 Barra---6107 0
6301 Barra---6301 0
6500 Barra---6500 0
6501 Barra---6501 0
8980 Barra---8980 0

```

Fonte: Autoria própria.

- (v) Código de execução EXMT (Figura 4.6), em conjunto com a opção IDSA e a opção ROU, foi adicionado e preenchido com os dados de caráter obrigatório para execução da ferramenta.

Figura 4.5 - Dados do código de execução EXMT com a opção IDSA.

```

EXMT IDSA ROU
(tp) (num) C (tp) (num) C (tp) (num) C (tp) (num) O (Passo (Pasmn
                                     10      1
99999

```

Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Etapa de Pré-processamento

Após os dados necessários para a execução da ferramenta terem sido inseridos no caso analisado, o sistema foi carregado no ANAREDE e a etapa de pré-processamento foi iniciada. O resultado desse procedimento foi um relatório (Figura 4.6), indicando que a região analisada apresentou violações de tensão em alguns barramentos.

Para resolver essas violações foram respeitados os procedimentos do submódulo 2.5, do módulo 2 dos procedimentos de rede do ONS, referente à hierarquização dos recursos para controle de tensão na Rede de Operação.⁶

⁶ Recursos de controle de tensão (sequência): (a) reatores de barra manobráveis; (b) bancos de capacitores; (c) excitação das unidades geradoras; (d) compensadores síncronos e estáticos; (e) reatores de linha manobráveis; (f) comutadores sob carga de transformadores e de reguladores série; e (g) manobras de linhas de transmissão - https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%202.5-CR_2020.12.pdf.

Figura 4.6 - Resultado da etapa 1 do pré-processamento do cálculo de margem.

MONITORACAO DE TENSAO SELECIONADA

```

X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
      BARRA          TENSAO          VIOLACAO SHUNTBAR SHUNTLIN          SEVERIDADE
      NUM.          NOME          ARE  MIN  MOD.  MAX  (PU)  (Mvar)  (Mvar)
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X

      8979 FUT-F1-BA034 701  0.950  1.070  1.050  0.020                **
      44474 MSULT11BA000 701  0.950  1.064  1.050  0.014                **
      44477 MSULT14BA000 701  0.950  1.064  1.050  0.014                **
      44478 MSULT1-BA013 701  0.950  1.064  1.050  0.014                **
      44481 MSULT21BA000 701  0.950  1.063  1.050  0.013                **
      44484 MSULT24BA000 701  0.950  1.063  1.050  0.013                **
      44485 MSULT2-BA013 701  0.950  1.063  1.050  0.013                **
      44483 MSULT23BA000 701  0.950  1.059  1.050  0.009                *
      44482 MSULT22BA000 701  0.950  1.059  1.050  0.009                *
      6295 SOBRADSIN001 701  0.950  1.058  1.050  0.008                *
      7914 ARI--2-BA034 701  0.950  1.058  1.050  0.008                *
      44475 MSULT12BA000 701  0.950  1.058  1.050  0.008                *
      44476 MSULT13BA000 701  0.950  1.058  1.050  0.008                *
      8476 ARI--1-BA034 701  0.950  1.055  1.050  0.005                *

----- IND SEVER.      19.1 -----

```

Fonte: Resultados de simulações.

Com a conclusão dessa etapa, o caso foi carregado mais uma vez no ANAREDE e agora com o sistema sem violações, as áreas e subáreas foram determinadas. Na tabela 4.2 é possível verificar que a opção IDSA realizou a identificação de 2 áreas e 3 subáreas.

Tabela 4.2 - Resultado da simulação com a opção IDSA.

ÁREAS	SUBÁREAS	BARRAMENTOS	REFERÊNCIA
1	1	6107	CAMPO FORMOSO
	2	6301 6501	SOBRADINHO, JUAZEIRO III
2	3	6500 8980	JUAZEIRO I, FUTURA

Fonte: Autoria própria

4.2.3 Margem de Transmissão do Caso Analisado

Com os dados obtidos, foi possível realizar o cálculo de margem de transmissão nos níveis de barramento, subárea e área considerando cenários com e sem emergência.

A opção IDSA identificou 2 áreas, a primeira composta pelos barramentos 6107, 6301 e 6501 e a segunda composta pelos barramentos 6500 e 8980. É

importante ressaltar que esses agrupamentos identificados já pertenciam a duas áreas distintas no caso base, as áreas 702 e 701 respectivamente. Considerando esse fato o preenchimento do código de execução DEMA foi realizado da seguinte forma:

Figura 4.7 - Dados do código de execução DEMA com áreas e subáreas.

```
DEMA
(BCan ( Iden ) (SE) (SA) (Ar) (P.CC) (Pmx ) (P)
6107 Barra---6107      1   702      0
6301 Barra---6301      2   702      0
6500 Barra---6500      3   701      0
6501 Barra---6501      2   702      0
8980 Barra---8980      3   701      0
99999
```

Fonte: Autoria própria

A fim de simular a operação do caso considerando um cenário de emergência o código EXCA (Execução automática de contingências de circuito), foi utilizado em conjunto com a opção GRAV para gerar contingências automaticamente.

Figura 4.8 - Dados do código de execução EXCA.

```
EXCA GRAV
(tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no )
AREA 701 E AREA 702
99999
```

Fonte: Autoria própria

As contingências geradas considerando a condição de união entre as áreas 701 (BAHIA 500 kV Oeste) e 702 (BAHIA 230 kV Oeste), foram adicionadas ao caso base através do código de execução DCTG (Dados de Contingências) juntamente com o código de execução EXMT.

Figura 4.9 - Dados do código de execução EXMT.

```
EXMT ROUT
(tp) (num) C (tp) (num) C (tp) (num) C (tp) (num) O (Passo (Pasmn
                                     10      1
99999
```

Fonte: Autoria própria

Ao carregar o caso no ANAREDE, a etapa de pré-processamento, referente à lista de contingências, foi executada e o relatório gerado indicou as contingências que deveriam ser desconsideradas para que o cálculo de margem pudesse prosseguir

normalmente. Após essa etapa ter sido concluída, o cálculo foi finalizado e a síntese dos resultados obtidos podem ser visualizados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Margem para os níveis de barramento, subárea e área.

DADOS DOS BARRAMENTOS		MARGEM DE CAPACIDADE REMANESCENTE (MW)		
NOME	IDENTIFICAÇÃO DO BARRAMENTO	BARRAMENTO	SUBÁREA	ÁREA
CAMPO FORMOSO	BARRA---6107	$\leq 32,5$	BARRA 6107 $\leq 32,50$	BARRA 6107+ BARRA 6501 + BARRA 6301 $\leq 32,50$
SOBRADINHO	BARRA---6301	$\leq 38,75$	BARRA 6501 + BARRA 6301 $\leq 37,5$	
JUAZEIRO III	BARRA---6501	$\leq 37,50$		
JUAZEIRO I	BARRA---6500	$\leq 37,50$	BARRA 6500 + BARRA 8980 $\leq 37,5$	BARRA 6500 + BARRA 8980 $\leq 37,50$
FUTURA	BARRA---8980	$\leq 38,50$		

Fonte: Resultados de simulações.

O relatório referente aos fatores que foram limitantes para a determinação das margens de transmissão informou que, para todos os níveis de análise, o fator limitante foi a tensão na barra 8387 (CAETID-BA034), que corresponde a barra de carga (PQ). Com os resultados obtidos é possível concluir que todos os barramentos candidatos analisados possuem margem adicional para realizar escoamento de energia, com o sistema operando em situação normal e em emergência.

Vale ressaltar que, apesar do barramento SOBRADINHO 230 kV (6301) possuir a margem de 38,75 MW, o valor calculado para a área, a qual esse barramento pertence, equivale a 32,50 MW, valor de margem que deve ser considerado para todos os barramentos que compõem essa área visto que, no que se refere ao cálculo de margem de transmissão o cenário mais limitante é o que precisa ser considerado.

Além de emitir os quantitativos de margem de transmissão ao final da simulação, o software também retornou os arquivos históricos contendo os pontos de operação que definiram as margens de cada barramento candidato, subárea e área. No que se refere à definição de margem dos barramentos candidatos, na Figura 4.10

é apresentada a identificação, o passo que foi usado pela ferramenta quando sua margem foi definida e o modo de operação que estava sendo analisado.

Figura 4.10 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de barramento candidato do sistema estudado.

Caso	Título	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	23/06/2023 - 15:31:10	V11.05.04
2	Margem Barramento Candidato 6107 - Passo: 2.500MW - Modo (N-1)	23/06/2023 - 15:38:32	V11.05.04
3	Margem Barramento Candidato 6107 - Passo: 2.500MW - Modo (N)	23/06/2023 - 15:36:58	V11.05.04
4	Margem Barramento Candidato 6301 - Passo: 1.250MW - Modo (N-1)	23/06/2023 - 15:49:19	V11.05.04
5	Margem Barramento Candidato 6301 - Passo: 1.000MW - Modo (N)	23/06/2023 - 15:45:18	V11.05.04
6	Margem Barramento Candidato 6500 - Passo: 2.500MW - Modo (N-1)	23/06/2023 - 15:58:40	V11.05.04
7	Margem Barramento Candidato 6500 - Passo: 2.500MW - Modo (N)	23/06/2023 - 15:55:48	V11.05.04
8	Margem Barramento Candidato 6501 - Passo: 2.500MW - Modo (N-1)	23/06/2023 - 16:08:43	V11.05.04
9	Margem Barramento Candidato 6501 - Passo: 1.000MW - Modo (N)	23/06/2023 - 16:05:56	V11.05.04
10	Margem Barramento Candidato 8980 - Passo: 1.000MW - Modo (N-1)	23/06/2023 - 16:19:53	V11.05.04
11	Margem Barramento Candidato 8980 - Passo: 1.250MW - Modo (N)	23/06/2023 - 16:15:31	V11.05.04

Caso

Sumário Restabelecer Eliminar **Salvar** Fechar

Fonte: Resultados de simulações.

Figura 4. 11 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de subárea do sistema estudado.

Caso	Título	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	23/06/2023 - 16:20:43	V11.05.04
2	Margem Subarea 1 - Subarea formada por um unico Barramento	23/06/2023 - 16:20:44	V11.05.04
3	Subarea 2 - Permutacao: 6501 6301	23/06/2023 - 16:21:25	V11.05.04
4	Subarea 3 - Permutacao: 6500 8980	23/06/2023 - 16:22:06	V11.05.04

Caso

Sumário Restabelecer Eliminar Salvar **Fechar**

Fonte: Resultados de simulações.

Figura 4. 12 - Lista dos casos salvos no arquivo histórico referente à etapa de área do sistema estudado.

Caso	Titulo	Data de modificação	Versão
1	Caso Base	23/06/2023 - 16:22:07	V11.05.04
2	Margem Area 702 - Passo: 10.000MW - Permutacao: 1 2	23/06/2023 - 16:22:49	V11.05.04
3	Margem Area 701 - Area formada por uma unica Subarea	23/06/2023 - 16:22:50	V11.05.04

Caso

Sumário Restabelecer Eliminar Salvar Fechar

Fonte: Resultados de simulações.

Uma avaliação geral expõe a identificação dos procedimentos e requisitos de simulação no ANAREDE para realização do cálculo de margem de escoamento, expuseram as barras com maior margem de transmissão (FUTURA – 8990; JUAZEIRO I – 6500), apontando por meio de estudo de caso baseado em configuração passada do SIN (Sistema Interligado Nacional), condições para o escoamento de geração de empreendimentos eólicos. Estudos complementares se fazem necessários, sobretudo em que pese, além da identificação da área 1 (CAMPO FORMOSO – 6107, SOBRADINHO - 6301 e JUAZEIRO III) como potencial para receber novo bloco de geração renovável, a especificação de estudos de curto-circuito em consonância com os procedimentos de rede do ONS. Ainda, o estudo de sensibilidade de parâmetros de geração-carga na área seria muito importante reconhecida as variações do perfil da curva de geração eólica, para além da definição da margem em caráter de planejamento. Isto orientaria também elementos de pré-operação e operação uma vez que já é identificado em outras regiões do SIN com elevada geração eólica localizadas no nordeste, a demanda por desligamentos de linhas e manobra de reatores para evitar tensões em patamares inseguros (acima do preconizado pelo operador).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência da essencialidade que os estudos de capacidade remanescente de escoamento de energia representam para o mercado de energia, o trabalho buscou realizar um estudo de margem de transmissão de energia de um caso baseado em uma configuração anterior do sistema elétrico brasileiro a fim de determinar o quantitativo de margem de barramentos localizados geograficamente próximos aos municípios de Sento Sé e Umburanas no estado da Bahia, localização onde está sendo estudada a construção do complexo eólico Serra da Gameleira.

Para realização do estudo, documentos como a Nota Técnica NT-ONS DPL 0052-2022 - EPE-DEE-RE-024-2022-r0 foram considerados, além de respeitados requisitos, critérios e procedimentos para Estudos Elétricos desta natureza. A ferramenta de Cálculo Automático de Margem de Transmissão do software ANAREDE foi utilizada, em que sua estruturação organizacional para este tipo de análise foi apresentada em detalhes.

Os resultados obtidos demonstraram que as barras FUTURA – 8990 e JUAZEIRO I - 6500 possuíam as maiores margens de transmissão (37,50 MW) e que, desse modo, qualquer uma das duas seria capaz de suportar o escoamento de geração de um dos empreendimentos de 31 MW do Complexo Serra da Gameleira. Outrossim, o estudo aponta que um segundo empreendimento eólico de mesmo potencial de geração do complexo de geração em questão poderia ser conectado a um dos barramentos da área 1 (CAMPO FORMOSO – 6107, SOBRADINHO - 6301 e JUAZEIRO III) visto que a margem calculada para ela foi de 32,50 MW.

Algumas hipóteses para estudos futuros:

- a realização de um novo estudo com ampliação da quantidade de barramentos candidatos e atualização de alguns ativos (linhas, transformadores, recursos de controle de tensão), com o intuito de indicar o escoamento de geração total do complexo eólico.
- o estudo dos gastos referentes à conexão entre os barramentos candidatos considerados para escoamento e o empreendimento eólico, assim como impactos no Fluxo de Potência / Despacho Econômico.
- a realização do estudo utilizando um caso base com a configuração do sistema elétrico correspondente a um horizonte de tempo médio para

construção e implantação de empreendimentos de geração renovável de grande porte.

Cabe registrar que, durante a análise de consecução dos procedimentos de simulação, houve interação com a equipe do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) responsável pela gestão técnica do ANAREDE. Foram relatadas dúvidas e elementos procedimentais de uso da ferramenta de cálculo de margem, conhecimento necessário à realização do trabalho. Disto, foi evidenciado pela Equipe de Desenvolvimento do Programa, em desdobramento desta interação, que a partir de versões futuras do software haverá uma nova checagem na etapa de pré-processamento da Margem para verificar se existe ao menos um circuito monitorado com dados de capacidade consistente, evitando a repetição de um tipo de mensagem de erro que reportamos durante os estudos. Ressalta-se, neste sentido, a importante interação e canal de comunicação para com a equipe do CEPEL, resultante dos estudos conduzidos em nível de TCC no IFPE (Campus Garanhuns), além do claro interesse e disponibilidade daquela organização nesses processos que evidenciam a presteza na apresentação de soluções ao usuário e um *feedback* dos usuários para a equipe de desenvolvedores.

6. REFERÊNCIAS

AGRA NETO, Salviano. **Cálculo da capacidade remanescente de um sistema elétrico para escoamento de geração de energia**. 2022. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Cabo de Santo Agostinho, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS - ABEEólica. **Boletim Anual 2020**, 2021. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/04/PT_Boletim-Anual-de-Geracao_2020.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS – ABEEólica. **Boletim Anual 2021**, 2022. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/07/ABEEOLICA_BOLETIMANUAL-2021_PORT.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

BRAGA, N. **Análise do Potencial de Híbridização e Capacidade de Escoamento no SIN de Usina Eólica-Solar no Estado Brasileiro da Bahia**. 2021. 132 f. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2021.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Além do Seminário I Identificação de Automática de Subáreas e Áreas Para Margem de Transmissão**, 2023a. Disponível em: <https://www.cepel.br/?s=margem+de+transmiss%C3%A3o>. Acesso em: 03 abr. 2023.

CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Energia de Reserva**, 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/energia-de-reserva>. Acesso em: 01 jun. 2023.

CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Leilões**, 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/leilao-mercado>. Acesso em: 02 fev. 2022.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Programa de análise de redes: manual do usuário**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2023b. Disponível em: <http://www.cepel.br/produtos/anared-2/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2022**, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE **Capacidade de Escoamento do SIN**, 2023c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/planejamento-da-transmissao/capacidade-de-escoamento-do-sin>. Acesso em: 05 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 Energia e Meio Ambiente**, 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20Energia%20e%20Meio%20Ambiente%20-%20PDE%202032.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 Transmissão de Energia**, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Transmiss%C3%A3o%20de%20Energia%20-%20PDE%202032.pdf>. Acesso em: 26 maio 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Informe à Imprensa Leilão de Reserva 2013 (eólica)**, 2013a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-93/20130611_1.pdf. Acesso em: 30 maio 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Informe à Imprensa Leilão de Reserva 2013 (eólica)**, 2013b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-93/20130814_1.pdf. Acesso em: 30 maio 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Informe à Imprensa Leilão de Reserva/2013**, 2013c. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-93/20130823_1.pdf. Acesso em: 30 maio 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Mudanças Climáticas e Transição Energética**, 2023d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>. Acesso em: 16 fev. 2023.

FERNANDES, Renan Pinto et al. **Utilização de ferramenta para cálculo automático de margem de transmissão em estudos para leilões de energia**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 25., 2019, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: Grupo de Estudo de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência-GAT, 2019. p. 1-9. Disponível em: <http://www.bvr.com.br/snptee/xxvsnptee/public/GAT/4359.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Renewable power's growth is being turbocharged as countries seek to strengthen energy security**, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/news/renewable-power-s-growth-is-being-turbocharged-as-countries-seek-to-strengthen-energy-security>. Acesso em: 07 fev. 2023.

INSTITUTO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – INEEP. **A crise energética de 2021: origem, impacto e transformações**, 2022. Disponível em: <https://ineep.org.br/a-crise-energetica-de-2021-origem-impacto-e-transformacoes/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Portaria MME nº 444**, de 25 de agosto de 2016. Estabelece diretrizes gerais para definição de capacidade remanescente do Sistema Interligado Nacional - SIN para escoamento de geração de energia elétrica proveniente de Leilões de Energia Nova, de Fontes Alternativas e de Energia de Reserva. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 ago. 2016. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/72128/268773/Portaria_n_444-2016.pdf/db5d07c9-1ce5-d4d4-a09e-2b34a1674dd3. Acesso em: 24 abr. 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **LEN A-5 E A-6/2022: METODOLOGIA, PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO SIN PARA ESCOAMENTO DE GERAÇÃO PELA REDE BÁSICA, DIT E ICG**. Rio de Janeiro: ONS, 2022. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT-ONS%20DPL%200052-2022%20-%20EPE-DEE-RE-024-2022-r0%20LEN-A-5-A-6-2022.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2023.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. **Emissões Totais**, 2022. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 09 maio 2023.