



Empresa de Pesquisa Energética

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032

Transmissão de Energia

Março de 2023

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Objetivo deste Caderno



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



O objetivo deste caderno é apresentar, de forma visual e simplificada, as principais mensagens do PDE 2032 em relação ao segmento de transmissão de energia elétrica.

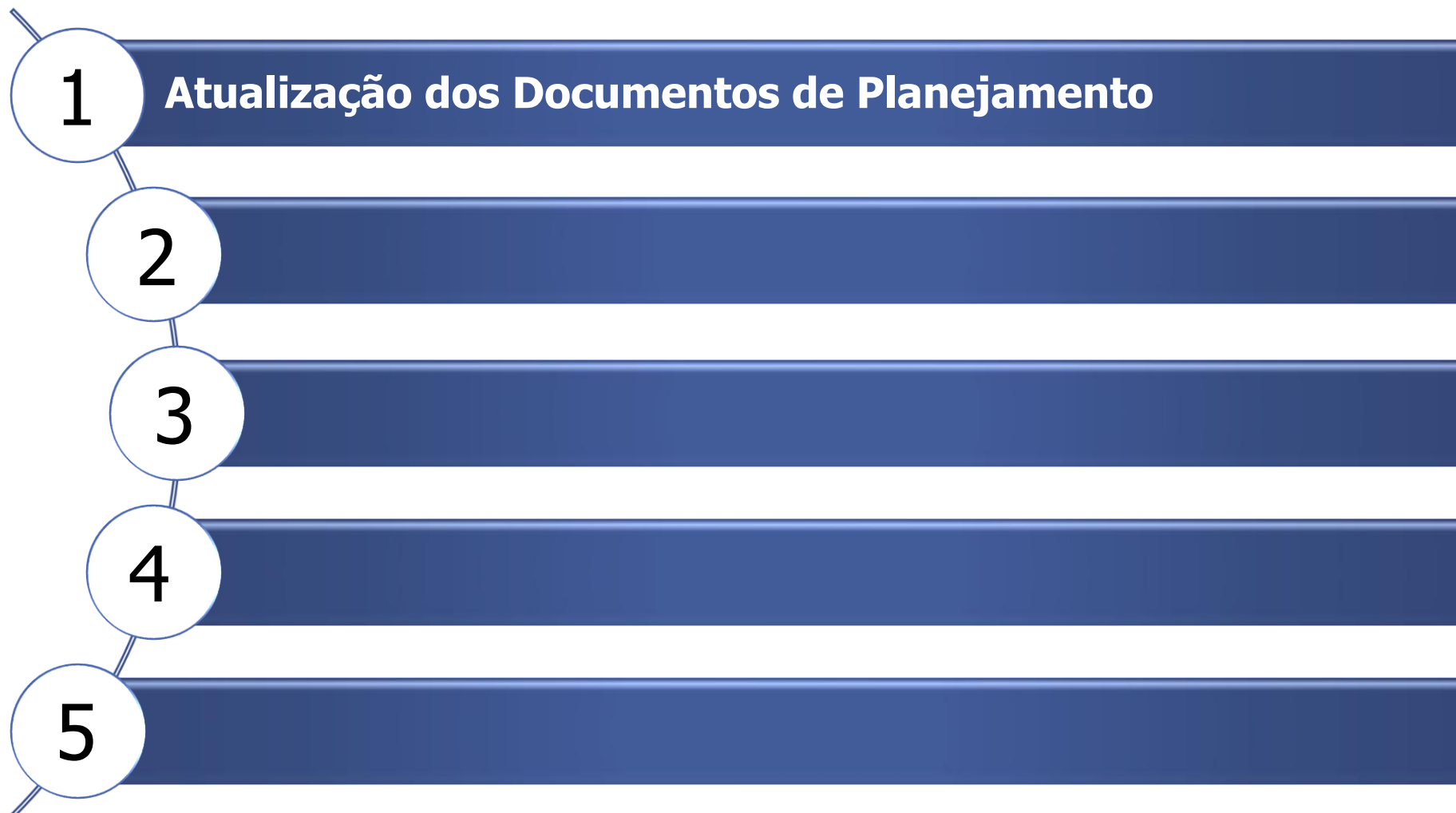
1 Atualização dos Documentos de Planejamento

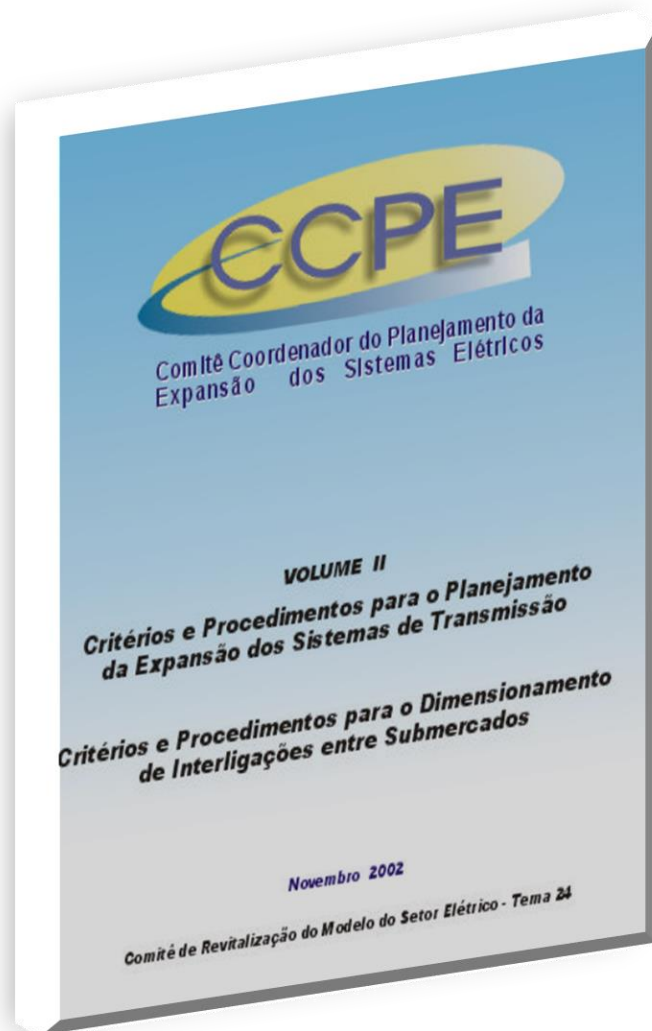
2 Estudos Prospectivos de Transmissão

3 Projeção das Capacidades Remanescentes de
Escoamento do SIN

4 Evolução dos Limites das Interligações Regionais

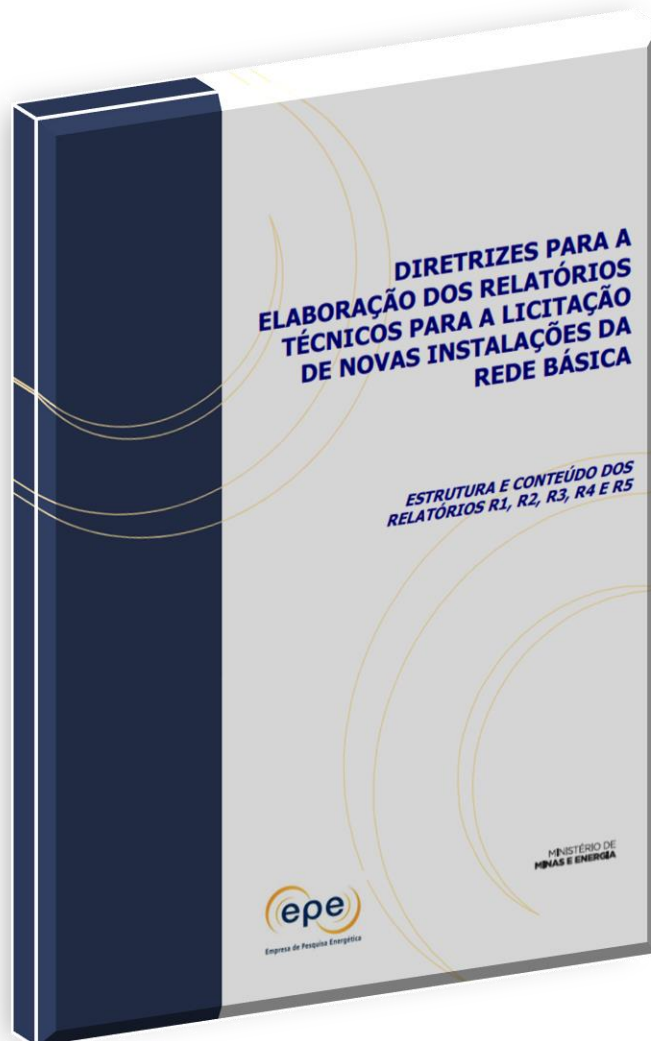
5 Sinalização Econômica para o Setor





Histórico:

- A versão utilizada do documento data de 2002, ainda da época do CCPE.
- Em 2018, foi contratada uma consultoria para elaborar o documento próprio da EPE, a partir da avaliação de diversas referências nacionais e internacionais.
- Paralelamente, em 2020, o MME publicou a Portaria 215/2020, demandando a atualização dos critérios adotados nos estudos de planejamento. O normativo condicionou ainda a aprovação do novo documento à realização de uma Consulta Pública.
- A previsão é de que esse documento seja disponibilizado **ao longo de 2023**.



Histórico:

- A primeira versão do documento foi publicada pela EPE em 2005.
- Em 2018, a EPE publicou uma atualização para o documento.
- Em 2020, a EPE preparou uma nova versão do documento, a qual foi submetida em Consulta Pública pelo MME em 2021.
- Após a avaliação de todas as contribuições encaminhadas pelos agentes, a EPE consolidou, no início de agosto de 2022, nova atualização para o documento, a qual atualmente se encontra em análise pelo MME para fins de aprovação final.
- A previsão é de que a nova versão do documento seja publicada no **primeiro semestre de 2023**.



- ▶ Expressiva **expansão de geração renovável** prevista para se concretizar nas regiões Norte e Nordeste nos próximos anos.
- ▶ Para que esses projetos possam contribuir para a segurança energética e para o aumento da competição na oferta de geração de energia, **é primordial preparar o sistema de transmissão.**

Essa expansão da rede de transmissão deve ser capaz de:

- Prover a integração segura da geração prospectiva projetada.
- Proporcionar o atendimento seguro da demanda do SIN em múltiplos cenários operativos futuros.

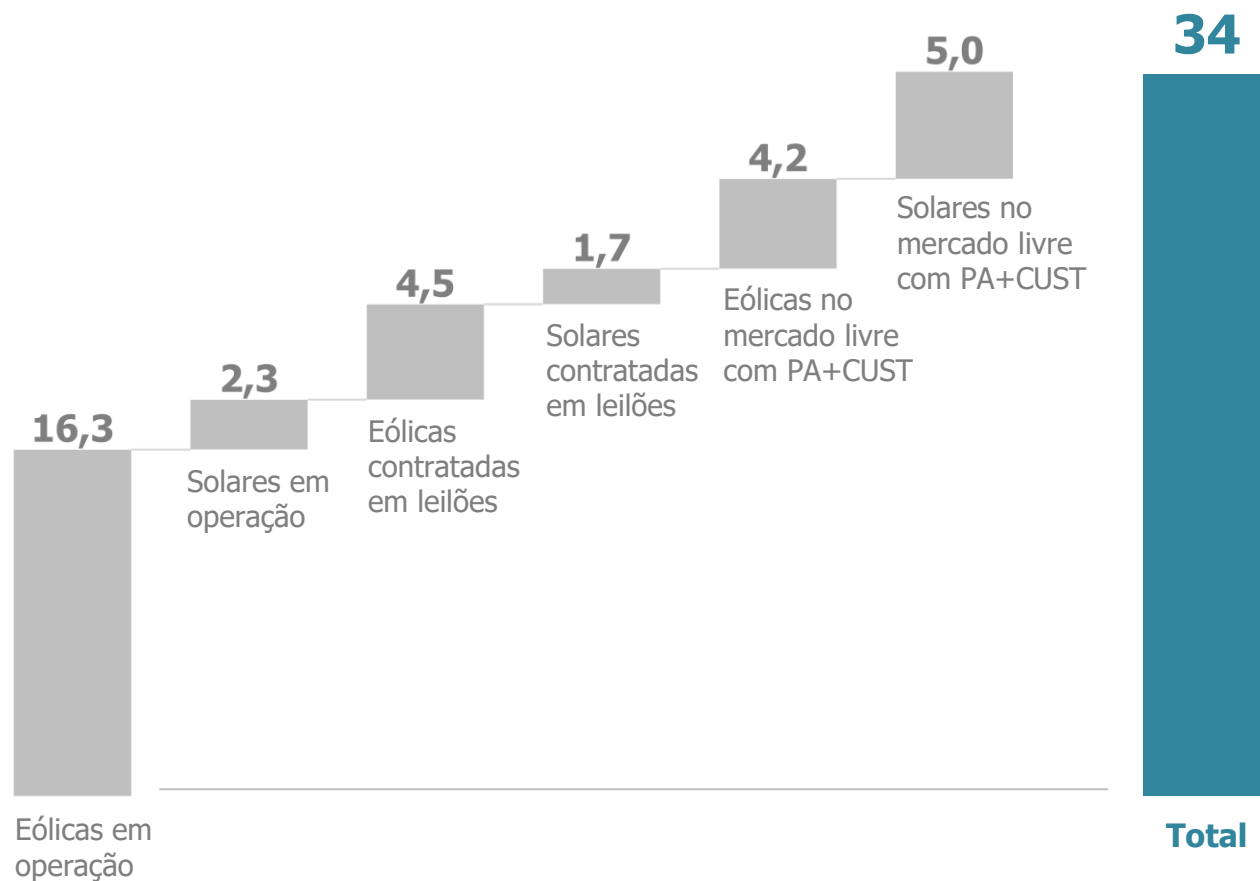
Montantes Considerados (Até 2025)



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Região Norte/Nordeste: geração eólica e solar considerada até 2025

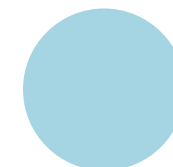


Foram contabilizados no estudo de diagnóstico

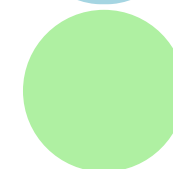
34 GW de geração

eólica e solar já contratada ou confirmada até 2025, na região Norte/Nordeste

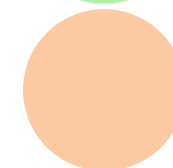
Data de referência: 19/04/2021



19 GW em operação



6 GW contratados em leilões



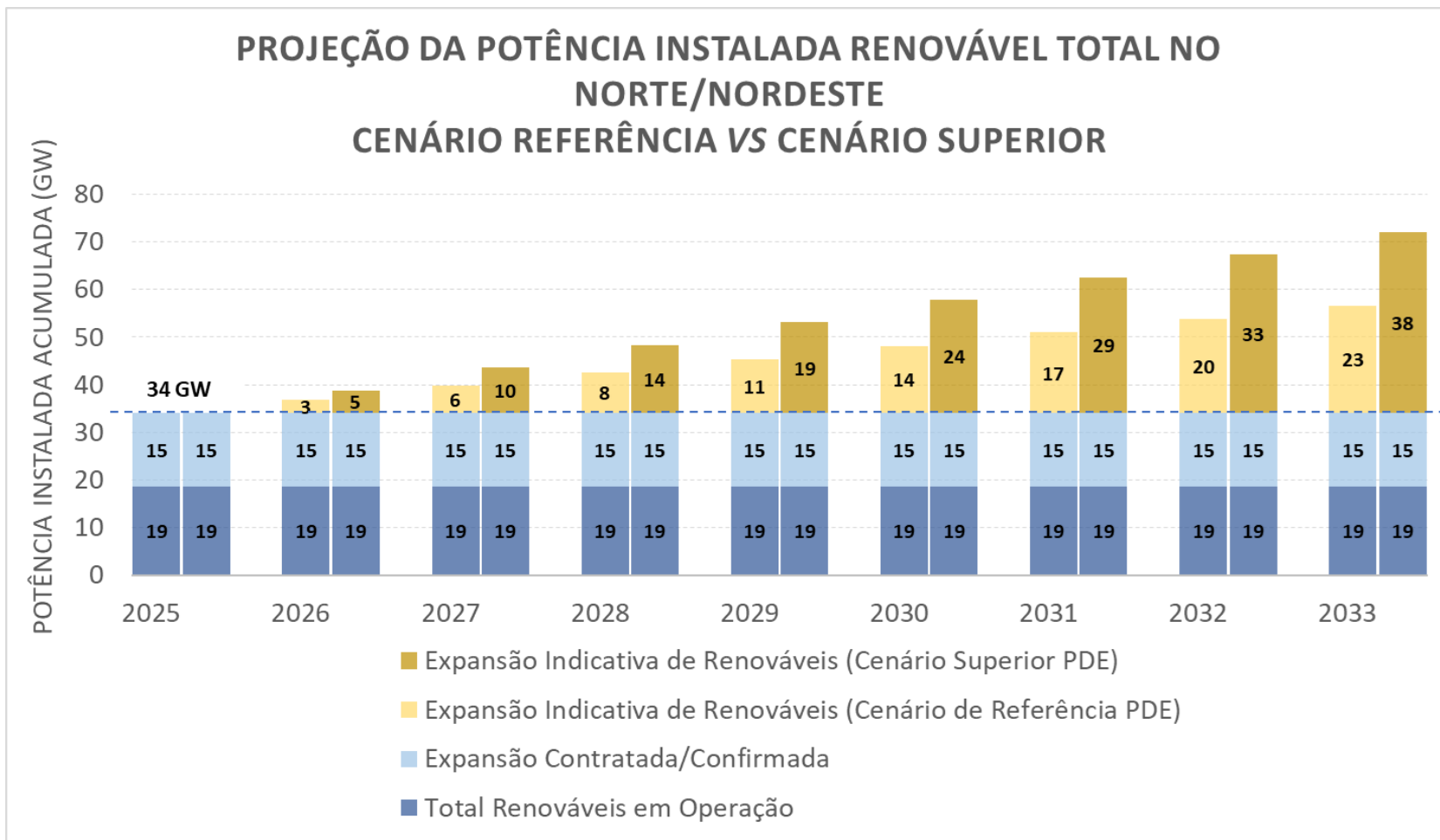
9 GW com parecer de acesso e CUST assinado no mercado livre

* PA: Parecer de acesso

Montantes Considerados (Pós-2025)



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Expansão Indicativa PDE 2030

Cenário de Referência (2033)

+23 GW

Geração Indicativa

57 GW

Capacidade Instalada

Cenário Superior (2033)

+38 GW

Geração Indicativa

72 GW

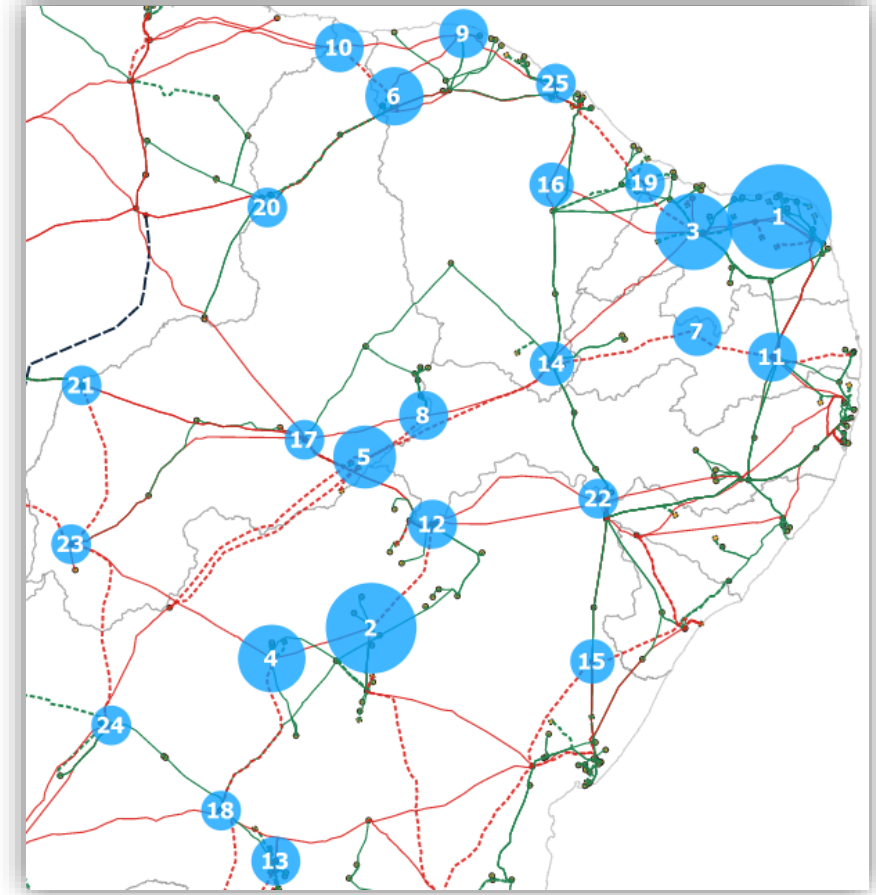
Capacidade Instalada

A projeção de crescimento da capacidade instalada da geração indicativa mostrada neste gráfico tomou por base as expansões previstas no PDE 2030 disponível neste [LINK](#).

Montantes Considerados

Em função da dificuldade de previsão da localização da geração indicativa renovável na rede de transmissão, foi adotada uma estratégia de agregação do potencial prospectivo em *clusters* na Região Nordeste.

- Metodologia de clusterização desenvolvida pela EPE baseada no método *k-means*.
- Análises de dados dos sistemas AEGE (EPE) e SIGEL (ANEEL).
- Contempla projetos desde a fase de DRO, o que permitiu a avaliação de uma ampla amostra de empreendimentos de geração, indicando os pontos da rede de maior interesse do mercado.



Montantes Considerados

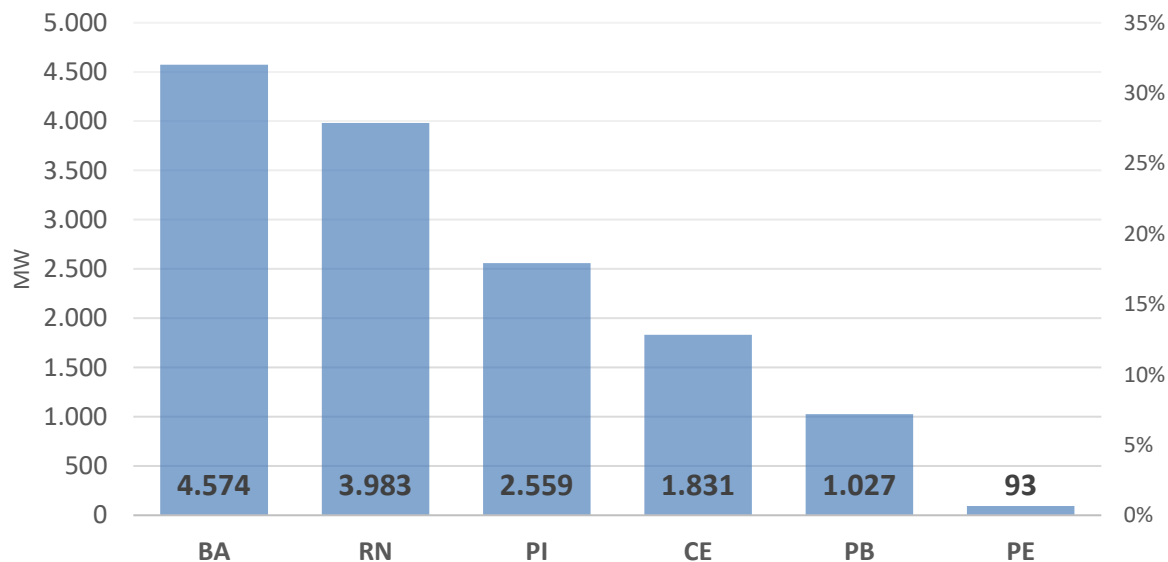


MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

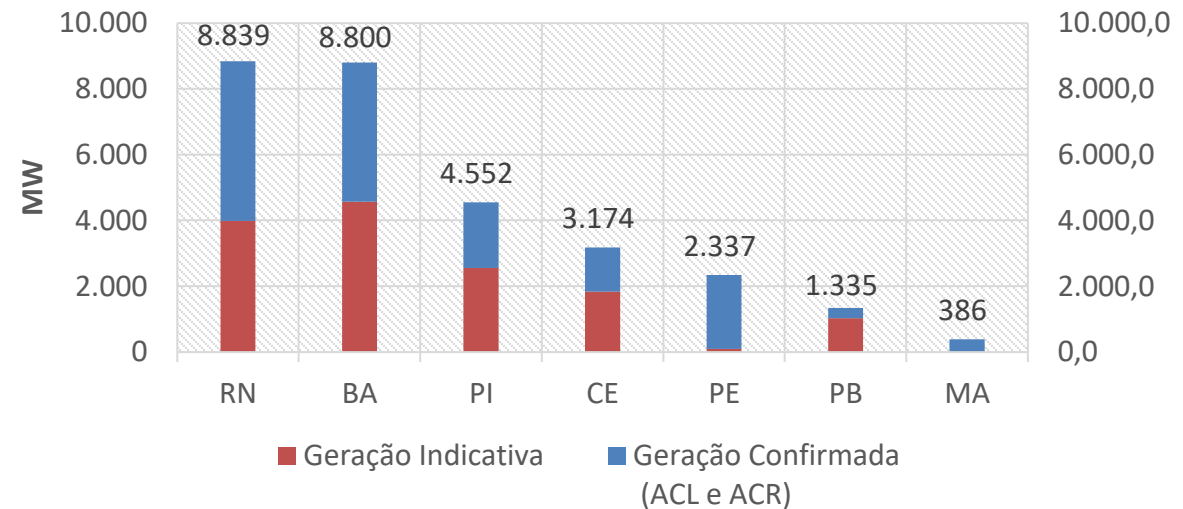


Foi utilizada uma **Metodologia de Clusterização** desenvolvida pela EPE baseada no método k-means baseando-se nas análises de dados dos sistemas AEGE (EPE) e SIGEL (ANEEL).

ALOCAÇÃO DA GERAÇÃO INDICATIVA RENOVÁVEL POR ESTADO DA REGIÃO NORDESTE – PDE 2030



Expansão da geração renovável acumulada por estado da região NORDESTE – PDE 2030

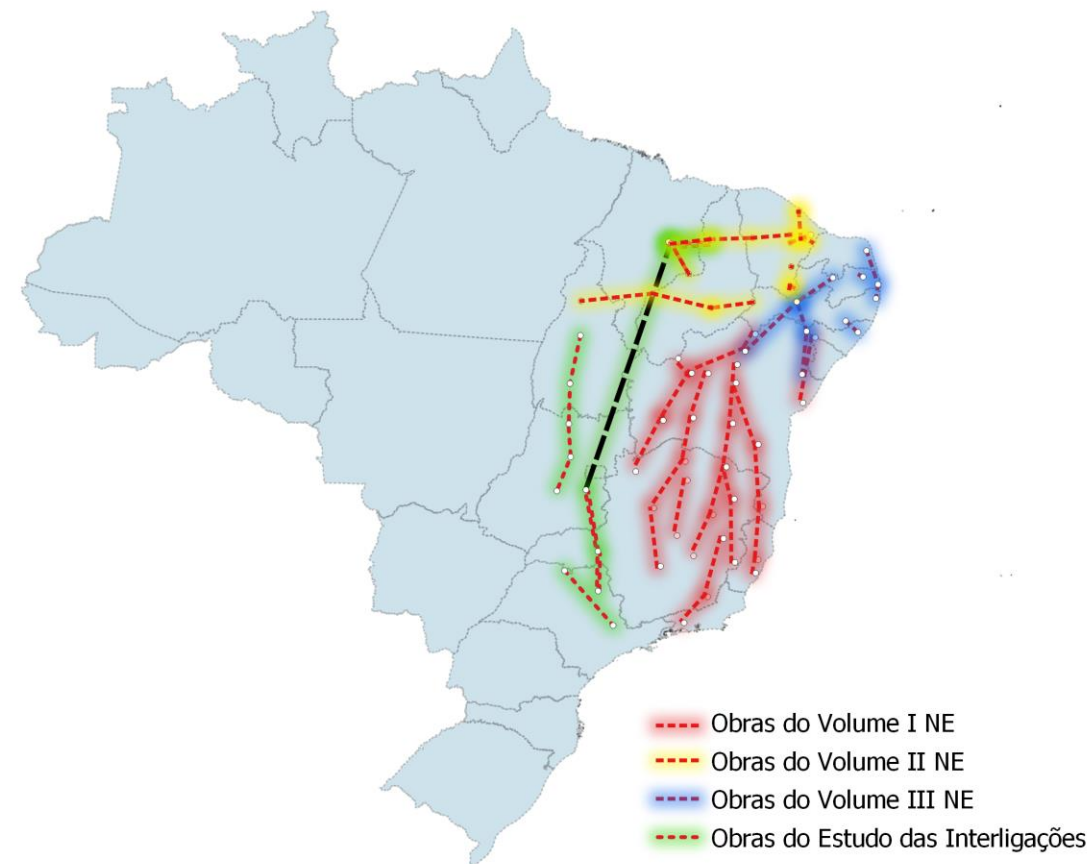


A alocação da geração indicativa mostrada nos gráficos é o resultado da aplicação direta da metodologia de *clusterização* desenvolvida pela EPE e apresentada no slide [11](#). A efetiva concretização desses potenciais dependerá dos resultados dos leilões de geração do Ambiente de Contratação Regulado e da viabilização de novos projetos via Ambiente de Contratação Livre.

- Estudo de Escoamento de Geração da Região Nordeste - Volume I - Área Sul
- Estudo de Escoamento de Geração da Região Nordeste - Volume II - Área Norte
- Estudo de Escoamento de Geração da Região Nordeste - Volume III - Área Leste
- Expansão das Interligações Regionais – Parte II – Expansão da Capacidade de Exportação da região Norte/Nordeste

O conjunto de obras recomendadas pelos estudos já publicados mostrado na figura ao lado soma aproximadamente R\$ 50 bilhões de investimentos necessários, envolvendo cerca de 15 mil km de novas linhas de transmissão (expansão de aproximadamente 8% da extensão total de linhas de transmissão previstas para dez/2022) e 16 novas subestações.

Essas obras deverão entrar em operação no período 2028/2029, a depender da programação de leilões de transmissão para os próximos anos.



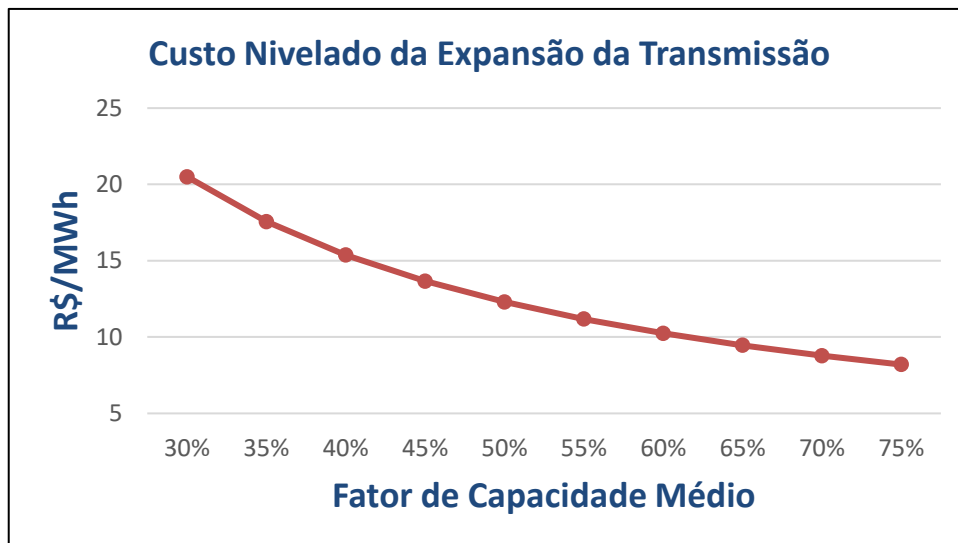
Valor da Solução de Planejamento



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



- ▶ Os investimentos necessários para a expansão do sistema propiciarão um fornecimento de energia elétrica **mais competitiva** ao SIN, ao proporcionar o acesso de novos empreendimentos de geração de energia, de baixo custo, à rede elétrica.
- ▶ Quando avaliado o custo global de expansão do sistema, considerando-se as parcelas de geração e de transmissão (G+T), conclui-se que os referidos investimentos **retornam benefício financeiro a ser usufruído** não apenas pelos agentes do mercado de geração, mas também pelo consumidor final de energia elétrica.
- ▶ O LCOE médio (taxa de desconto de 8%) de usinas eólicas ou solares, mais presentes no Norte/Nordeste, acrescidos dos custos nivelados da expansão da transmissão (~R\$ 15/MWh) ainda se apresentam **competitivos** quando comparados com os LCOE médios de usinas a biomassa, termelétricas a gás natural ou PCH, mais comuns no Sudeste/Centro-Oeste.



Custo nivelado de expansão da transmissão, em R\$/MWh (Fonte: Elaboração própria)

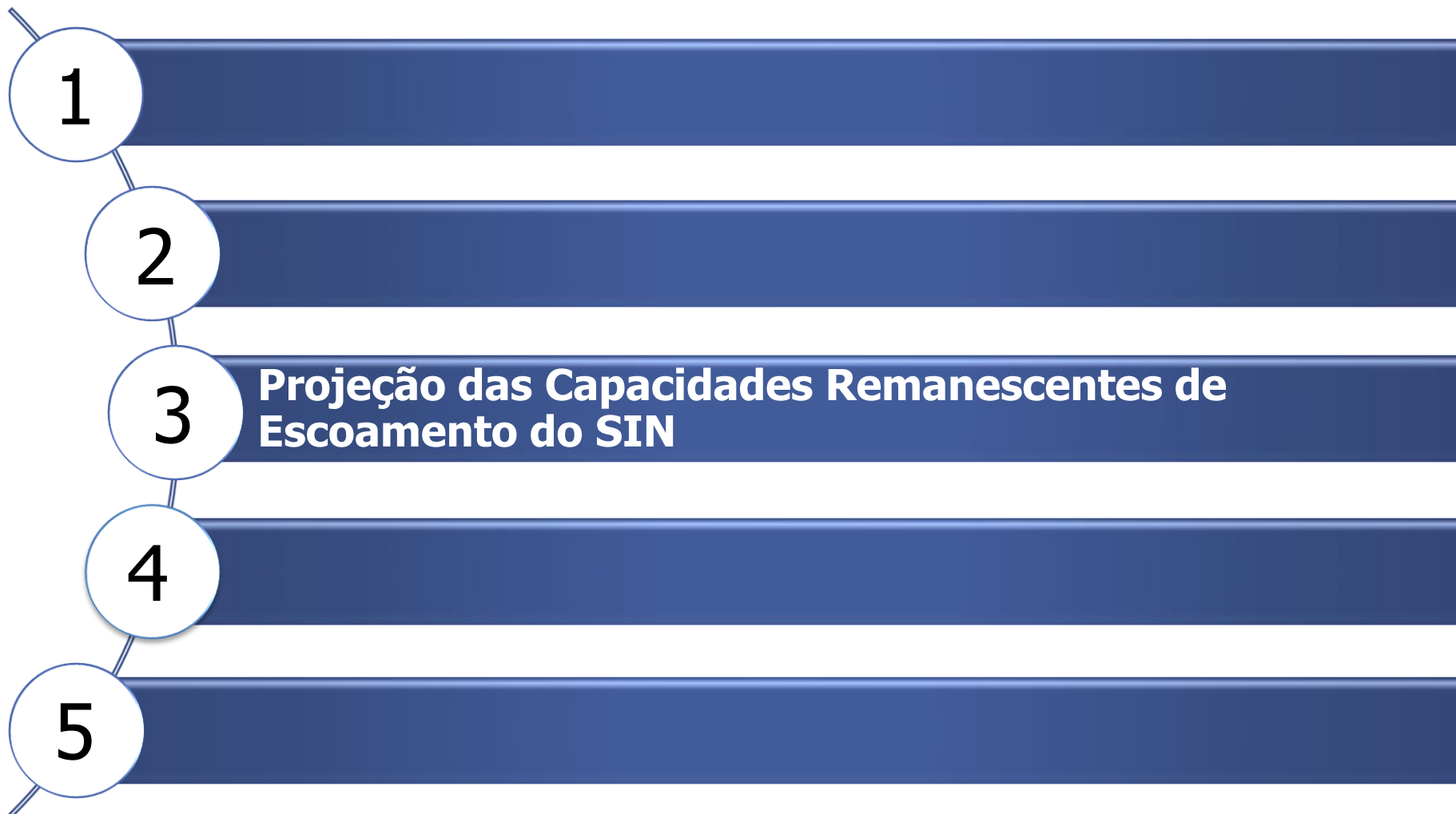
Fonte	LCOE Médio (R\$/MWh)
Eólica	129,00
Solar	149,00
PCH	193,00
Térmica a gás ciclo simples	541,00
Térmica a gás ciclo combinado	297,00
Térmica a biomassa	247,00

LCOE (Levelized Cost of Energy) apresentado na Documento Caderno de Preços da Geração 2021 disponível neste [link](#).



- Em função dos elevados montantes demandados para expansão da interligação, verifica-se a necessidade de um segundo corredor expresso, eventualmente em CC.
- Estão em avaliação algumas possibilidades de conexão para esse novo corredor, observando diversos fatores tais como:
 - ✓ Otimização energética.
 - ✓ Minimização de perdas elétricas.
 - ✓ Redução de interações *multi-infeed*, em caso de novo bipolo.

1- Emissão prevista no segundo semestre de 2023



Projeção das Margens de Escoamento

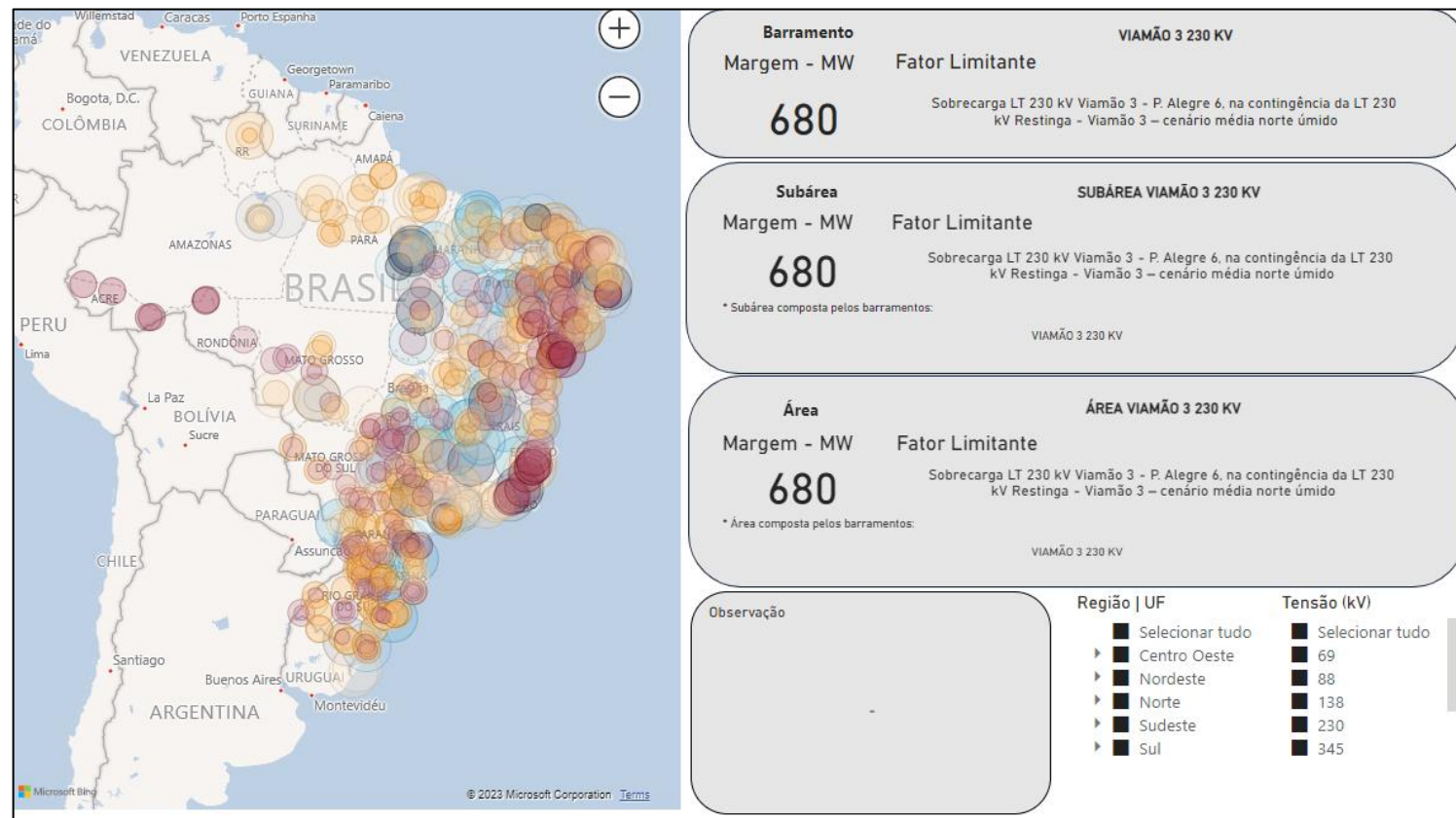


MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



A EPE realizou, como inovação nesta edição do PDE, 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, tendo por foco o período 2028-2029 e a referência de análise em agosto de 2022

Para facilitar a visualização dos resultados dessa análise, foi elaborada uma **ferramenta interativa** que contempla os principais resultados e conclusões da avaliação prospectiva das margens de escoamento do SIN.



Fonte: Painel de Monitoramento das Margens do SIN. Disponível no site da EPE em: [Painel de Monitoramento](#)

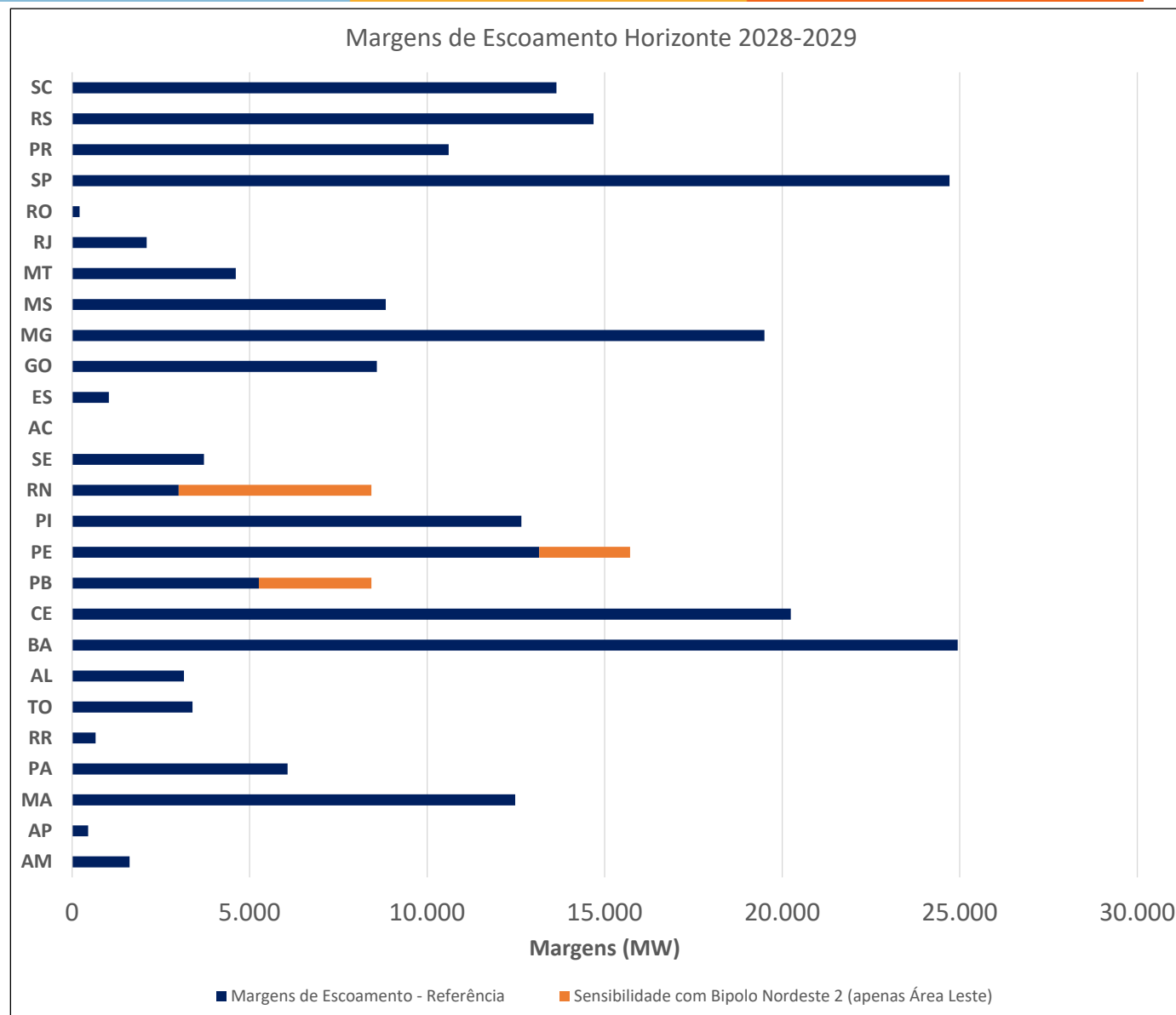
- ▶ A avaliação do quantitativo das capacidades de escoamento remanescente do sistema (margens de escoamento de geração) se iniciou em 2013 com a realização do Leilão de Energia de Reserva (LER) de 2013 e foi motivada, dentre outros aspectos, pela necessidade de **mitigar descompassos** entre a entrada em operação de empreendimentos de geração e de transmissão.
- ▶ Após a aplicação dessa metodologia no LER de 2013, esse mecanismo foi **replicado e aprimorado** para os leilões de energia subsequentes, em especial aqueles com menor prazo de início de suprimento como os Leilões A-3 e A-4, sendo atualmente utilizado inclusive nos leilões A-5 e A-6.
- ▶ Os valores de margem calculados pela EPE devem ser considerados apenas de **forma orientativa**, pois representam uma **situação conjuntural** e que pode ser alterada em função da entrada em operação de novos empreendimentos de geração, antecipação ou postergação de reforços na rede.
- ▶ Deve-se evitar buscar uma correlação direta entre os valores calculados nesse trabalho e aqueles calculados por ocasião da realização dos leilões de energia em função de eventuais **diferenças de premissas de cálculo**.

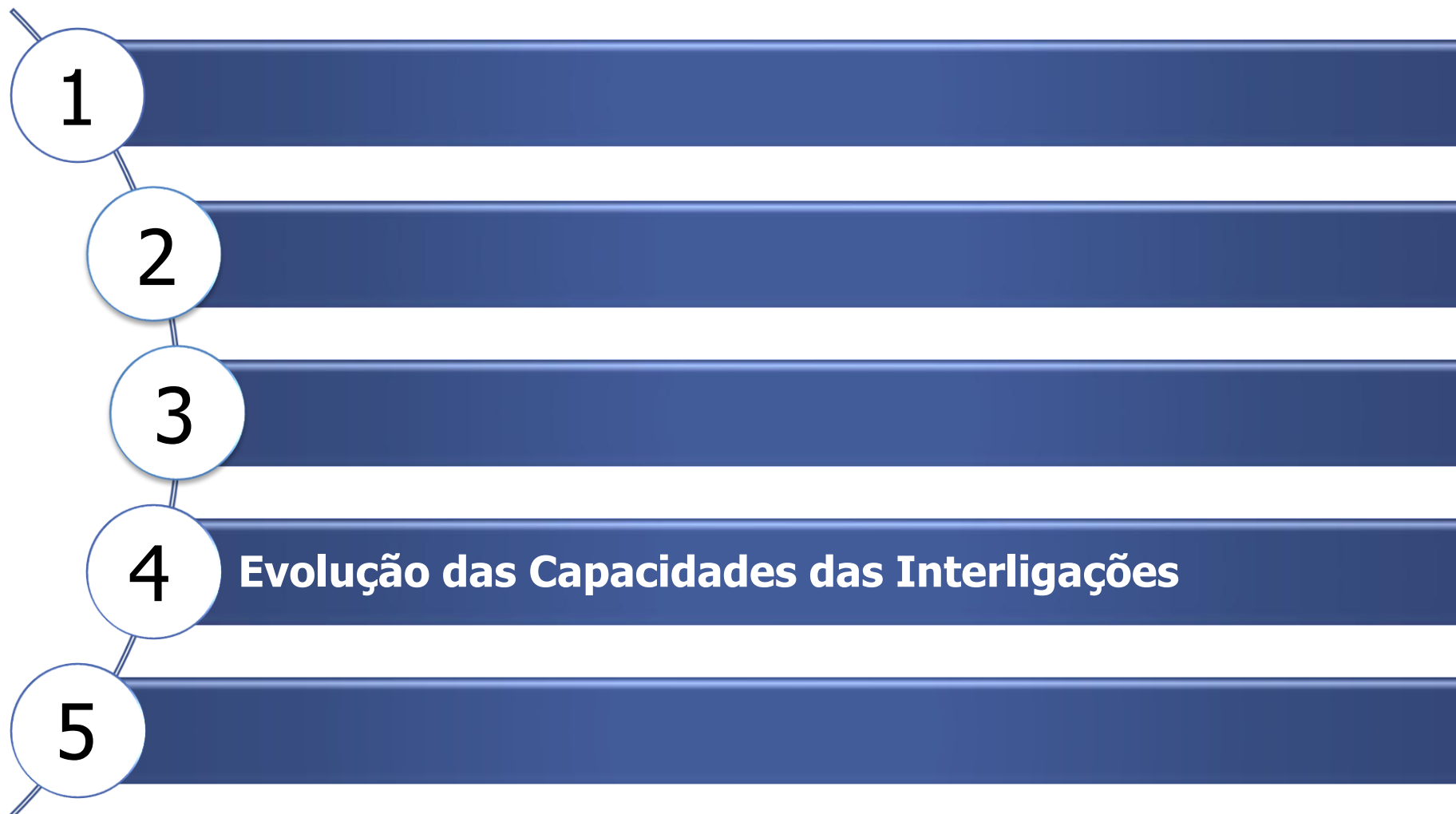
Síntese dos Resultados



▶ A figura ao lado apresenta uma síntese das margens calculadas, explicitando o somatório das margens de área mais restritivas calculadas para cada estado.

▶ Ressalta-se que os valores apresentados para as margens de escoamento calculadas não podem ser utilizados de forma simultânea tendo em vista que, nesse tipo de análise, não são considerados os limites das interligações regionais como fatores limitantes das margens de escoamento.



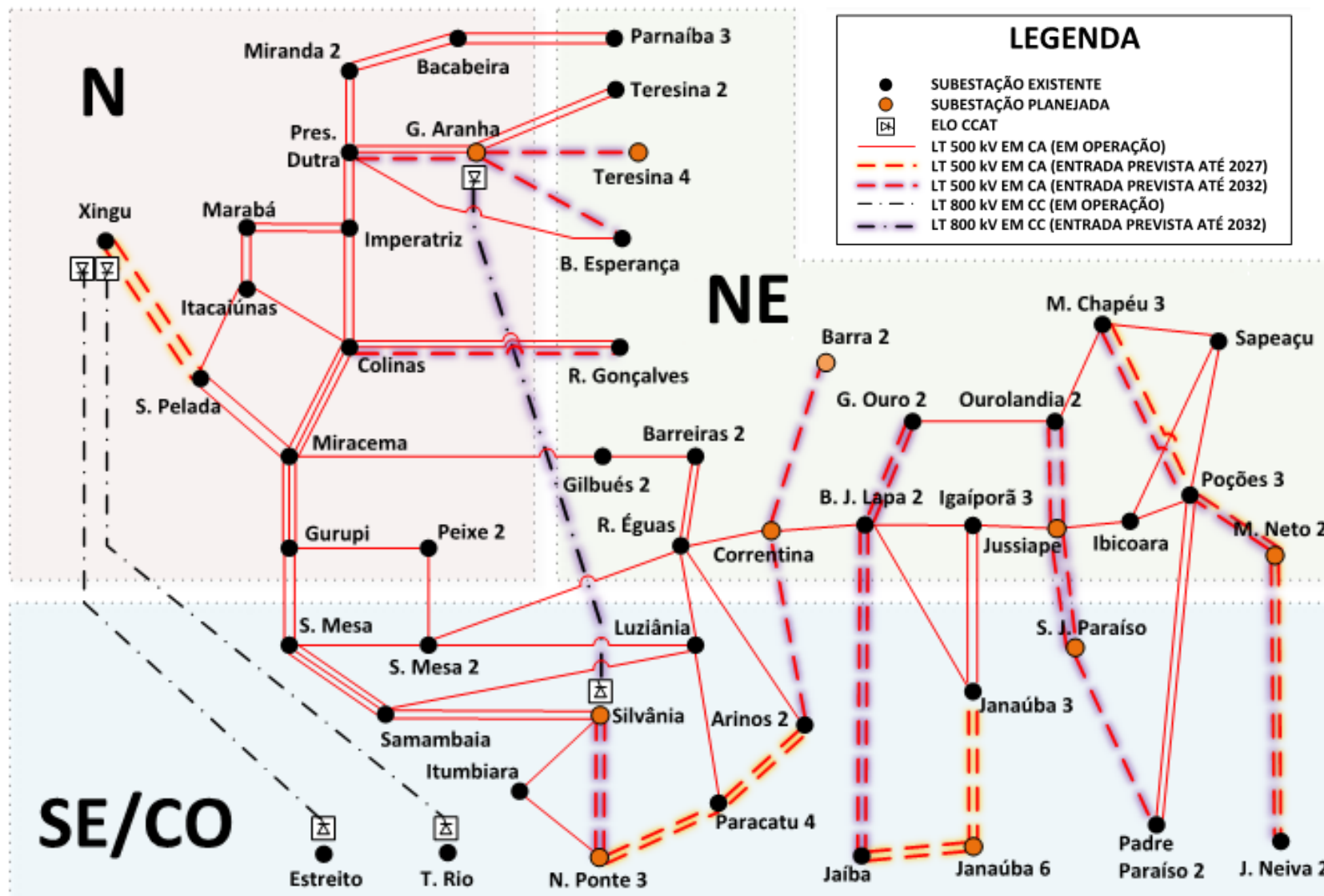


Interligações Envolvendo os Sistemas Norte/Nordeste

Configurações Avaliadas



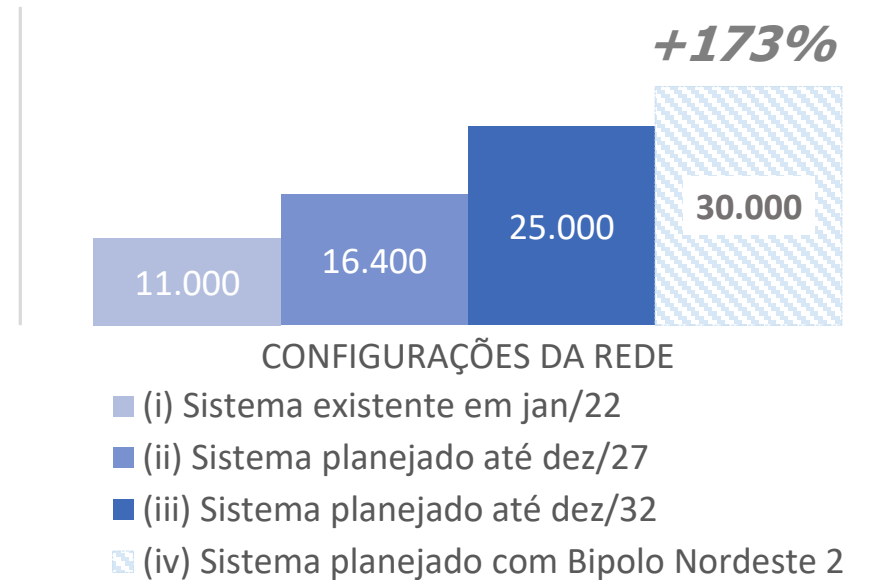
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Capacidade Exportação Total da Região Nordeste



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

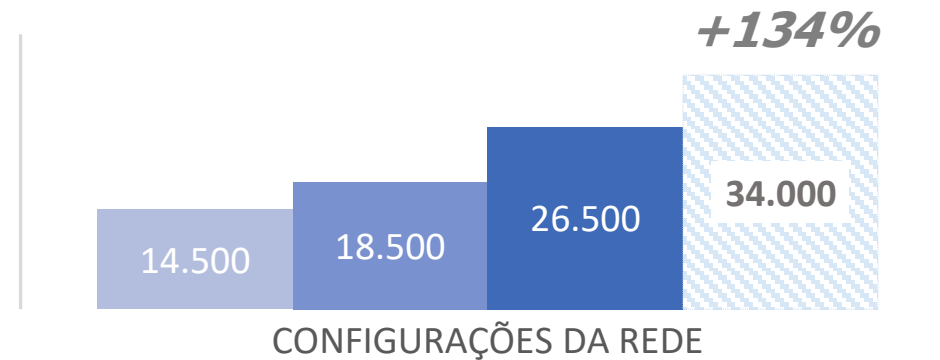


Obs.: A evolução dos limites de transmissão acima apresentada reflete os ganhos esperados com as expansões já planejadas no SIN. Para a última configuração de referência, foi realizada uma sensibilidade considerando a presença do Bipolo Nordeste 2.

Exportação Total do Norte/Nordeste



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



- (i) Sistema existente em jan/22
- (ii) Sistema planejado até dez/27
- (iii) Sistema planejado até dez/32
- ▨ (iv) Sistema planejado com Bipolo Nordeste 2

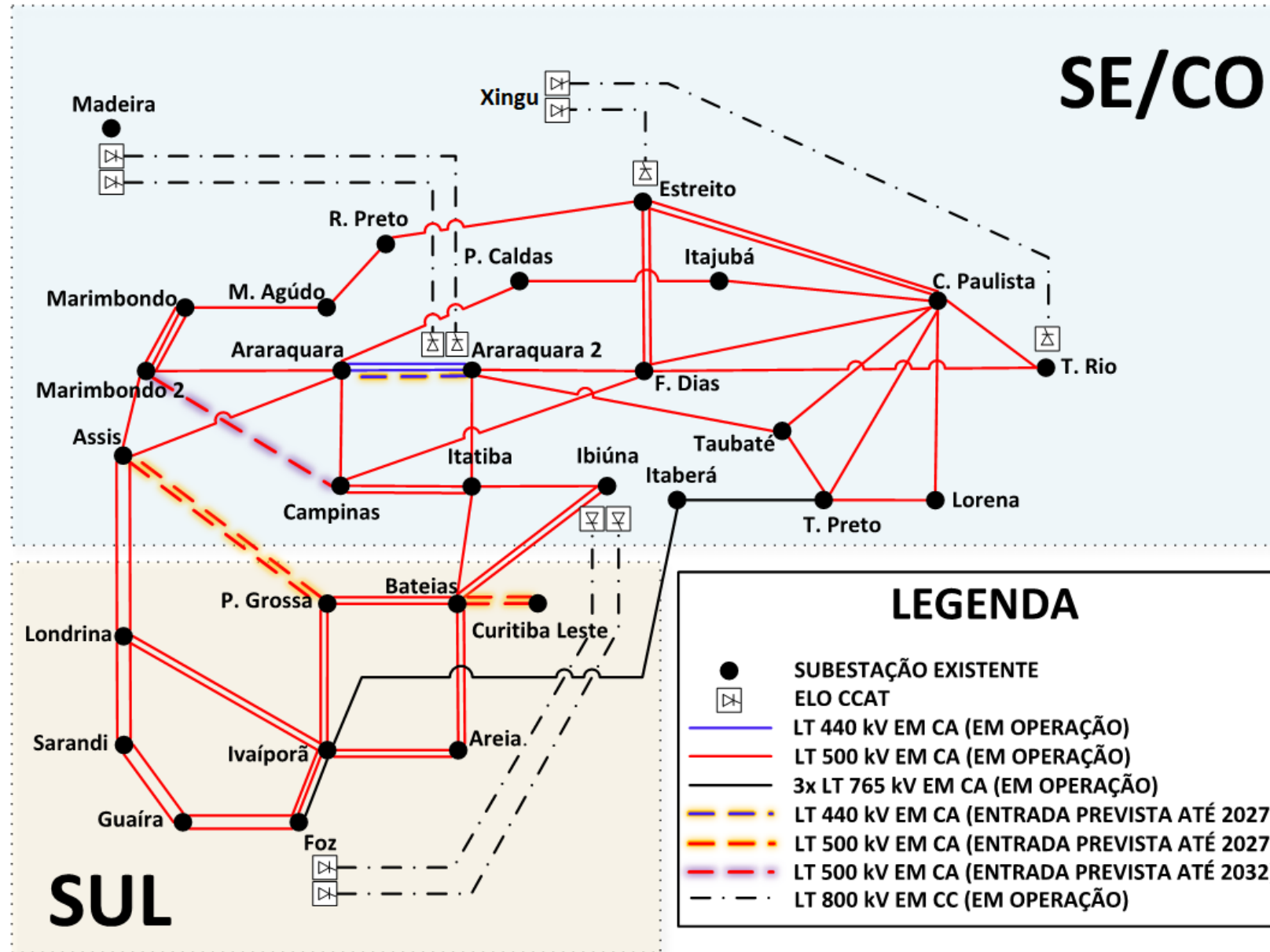
Obs.: A evolução dos limites de transmissão acima apresentada reflete os ganhos esperados com as expansões já planejadas no SIN. Para a última configuração de referência, foi realizada uma sensibilidade considerando a presença do Bipolo Nordeste 2.

Interligações Envolvendo o Sistema Sul

Configurações Avaliadas



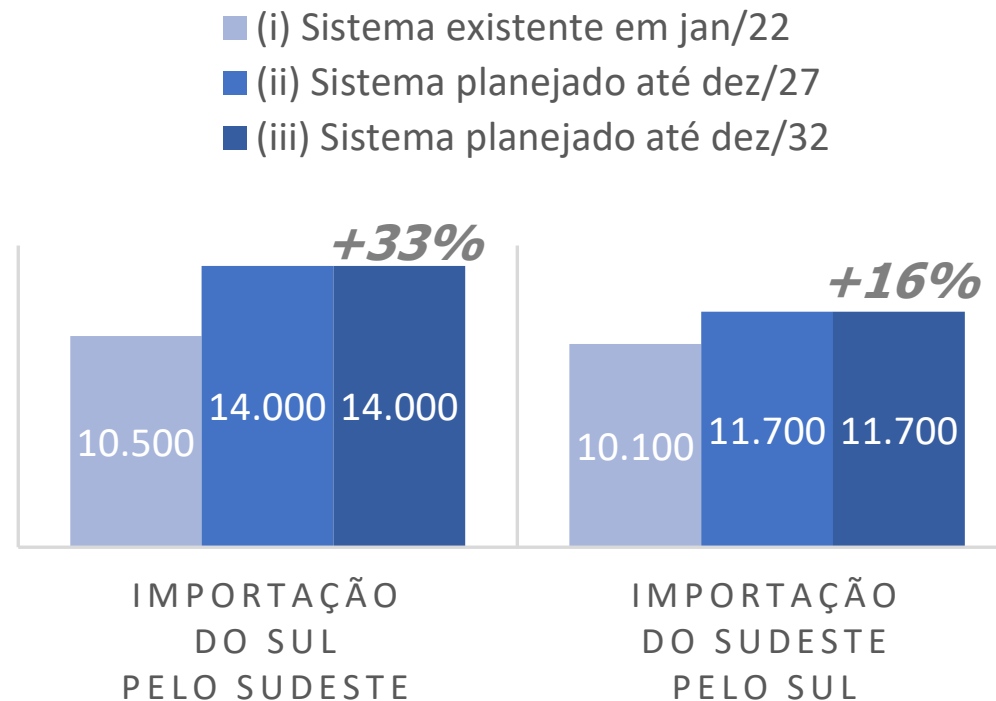
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Importação Total entre o Sul e o Sudeste



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



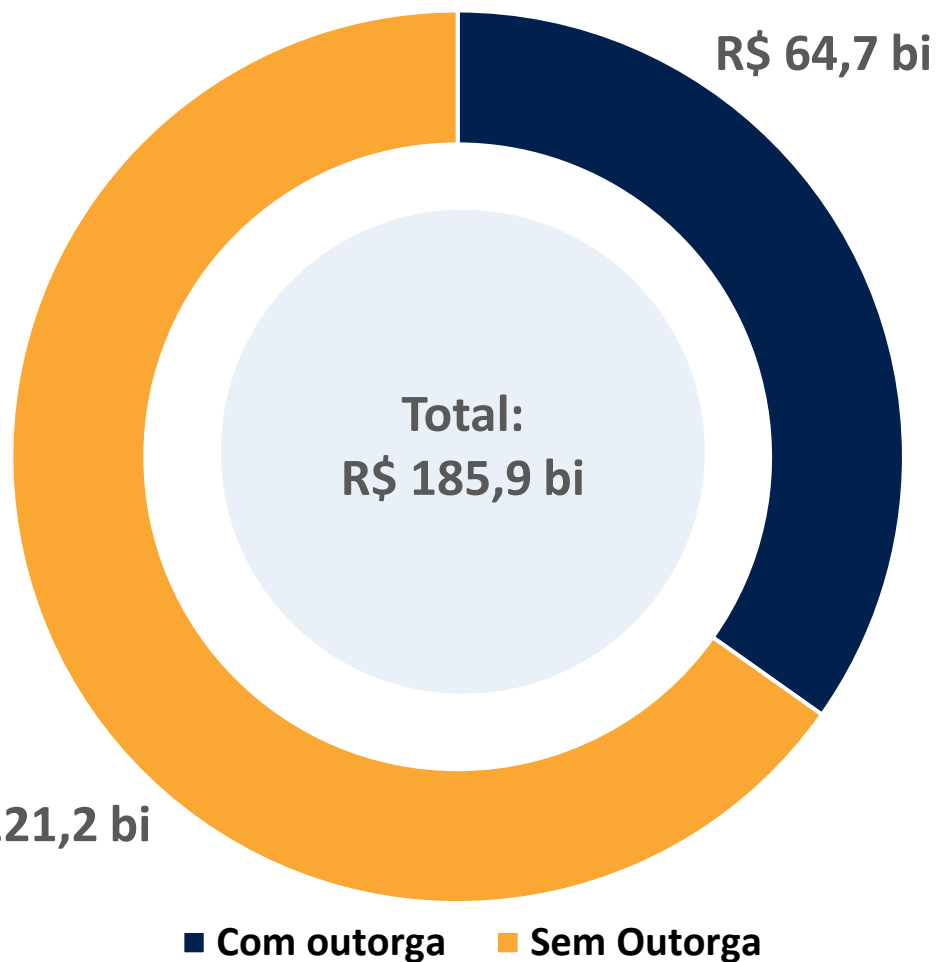
Obs.: A evolução dos limites de transmissão acima apresentada reflete apenas os ganhos esperados com as expansões já planejadas no SIN.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5 **Sinalização Econômica para o Setor**

Cenários Avaliados

▶ Considerando as incertezas inerentes ao processo de planejamento, buscou-se, nesta edição do PDE, avaliar a dinâmica temporal de implantação das obras ainda sem outorga (R\$ 121,2 bilhões) em **três cenários**:

- ✓ Cenário otimista: implantação de todas as obras sem outorga considerando a data de necessidade originalmente prevista nos estudos de planejamento e data de tendência estimada com base nos prazos médios do processo de outorga.
- ✓ Cenário de referência: cenário base deste PDE; variação do cenário otimista, considerando uma reavaliação preliminar da data de necessidade das obras sem outorga dentro do horizonte de 2032 e atualização das suas respectivas datas de tendência.
- ✓ Cenário pessimista: sem a implantação das obras sem outorga.

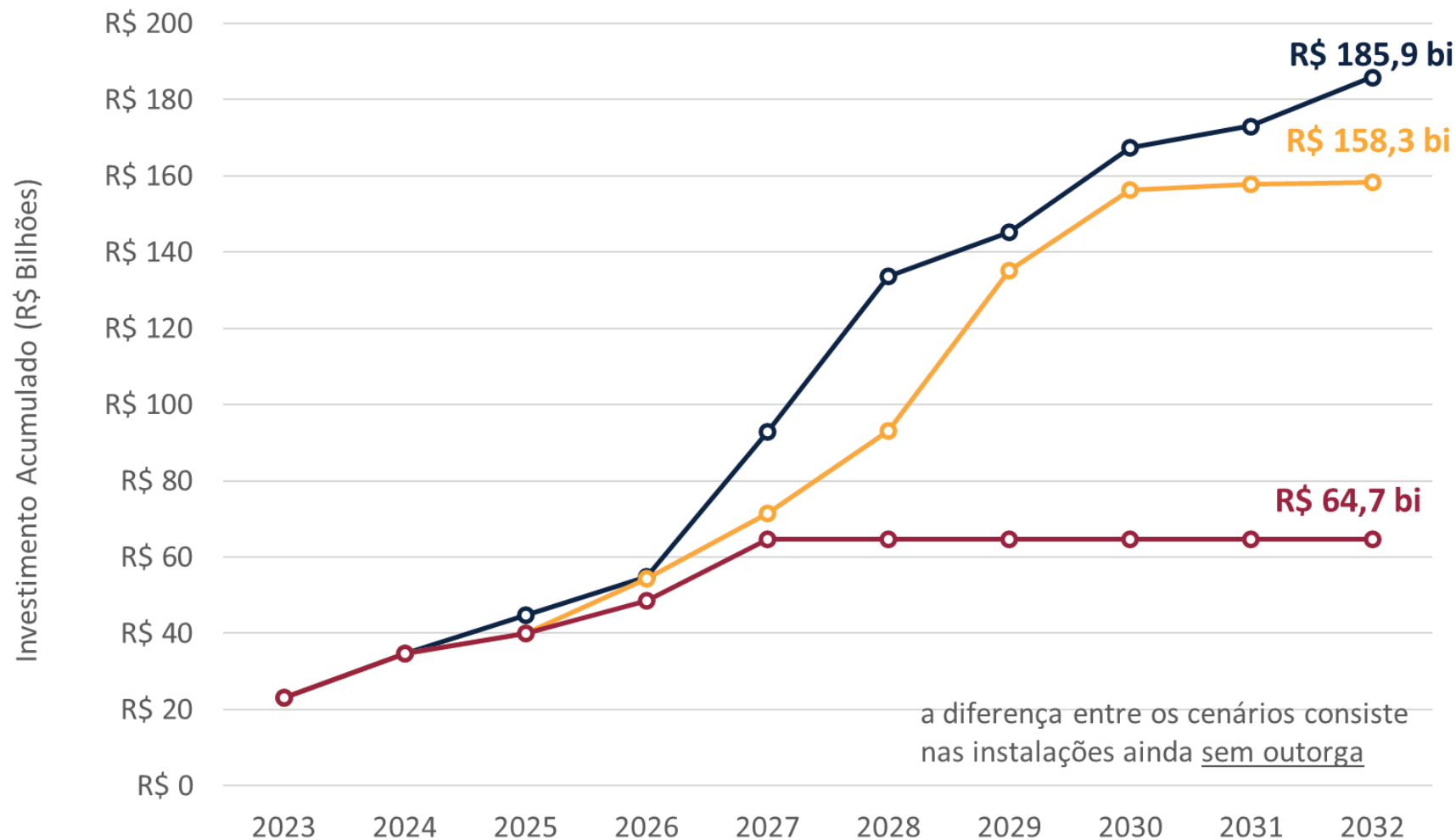


Ref.: BPR ANEEL, março de 2022

- Cenário otimista
- Cenário de referência
- Cenário pessimista



Ref.: BPR ANEEL, março de 2022



*Não contempla os investimentos potenciais associados aos ativos em final de vida útil.

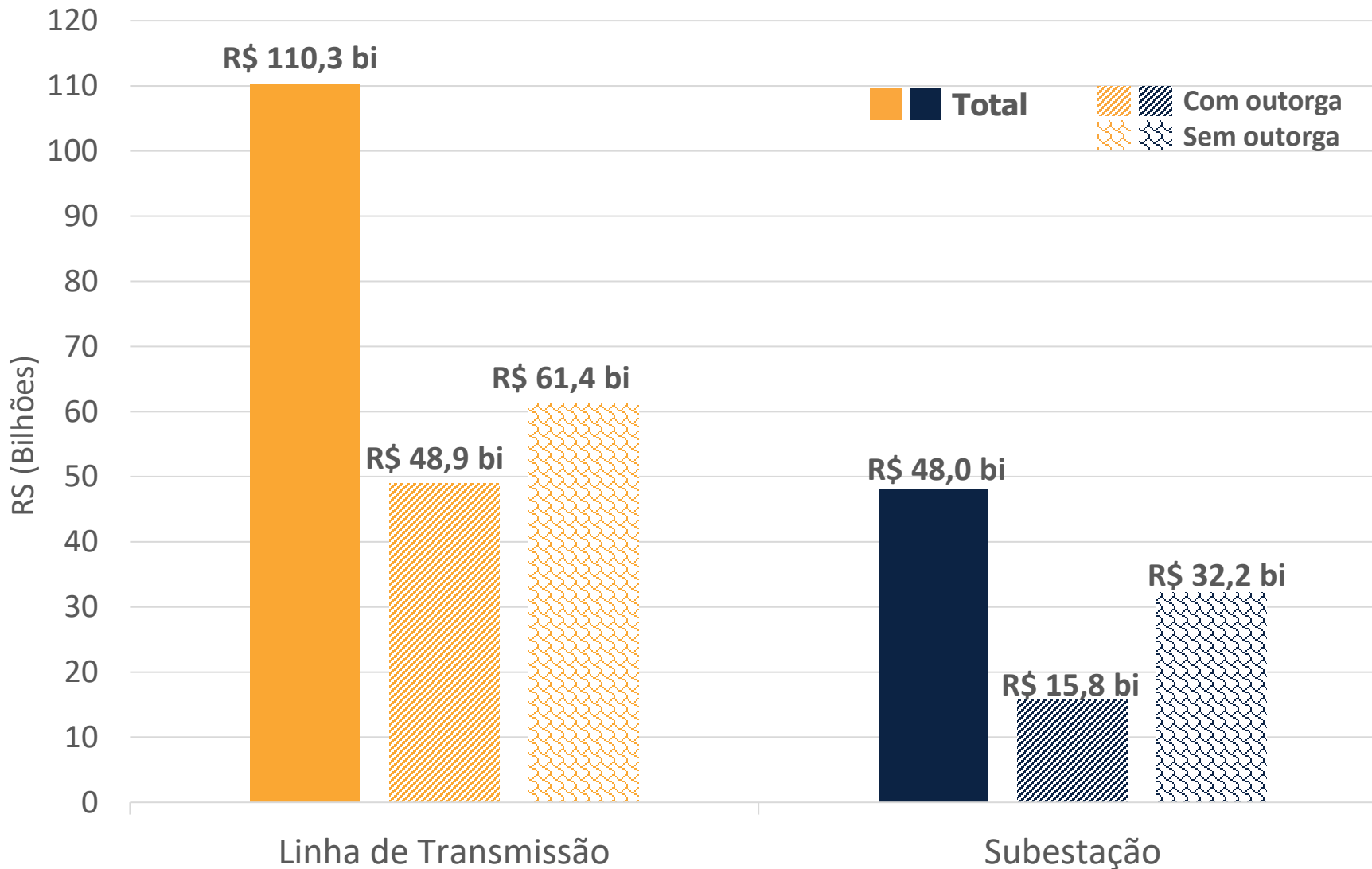
- ▶ Nos slides anteriores, foram apresentados cenários possíveis para a expansão do sistema de transmissão nos próximos anos, considerando as incertezas inerentes ao processo de planejamento.
- ▶ Os cenários contemplam duas hipóteses mais extremas de expansão, sendo uma otimista e outra pessimista, ambas com menor probabilidade de ocorrência, e uma **hipótese mais ponderada, adotada como referência**.
- ▶ De forma geral, o cenário de referência considera cerca de 77% das obras sem outorga representadas no cenário otimista. Cabe destacar que esse cenário foi estabelecido a partir de análises elétricas que poderão ser atualizadas durante o ano de 2023.
- ▶ As informações apresentadas nos slides subsequentes se baseiam no cenário de referência.

Investimentos e Evolução Física

Investimentos



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



R\$ 158,3 bi
total

R\$ 64,7 bi
com outorga

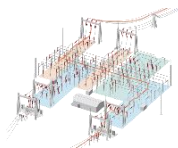
R\$ 93,6 bi
sem outorga
(equivale a **77%** das
obras sem outorga no
cenário otimista)



Linhas de Transmissão

Tensão	±800 kV	750 kV	±600 kV	500 kV	440 kV	345 kV	230 kV	TOTAL
	km							
Estimativa dez/2021	9.204	2.683	12.816	70.031	6.859	11.092	66.612	179.297
Evolução 2023-2032	2.880	0	0	28.083	77	1.105	9.314	41.459
2023-2027	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>11.043</i>	<i>77</i>	<i>1.092</i>	<i>5.574</i>	<i>17.786</i>
2028-2032	<i>2.880</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>17.040</i>	<i>0</i>	<i>13,52</i>	<i>3.740</i>	<i>23.674</i>
Estimativa dez/2032	12.084	2.683	12.816	98.114	6.936	12.198	75.926	220.757





Subestações

Tensão	800 kV	750 kV	500 kV	440 kV	345 kV	230 kV	TOTAL
	MVA						
Estimativa dez/2022	15.700	24.897	212.703	30.892	58.645	118.449	461.286
Evolução 2023-2032	10.000	0	63.758	1.681	14.602	29.986	120.027
2023-2027	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>38.336</i>	<i>1.231</i>	<i>13.803</i>	<i>20.727</i>	<i>74.097</i>
2028-2032	<i>10.000</i>	<i>0</i>	<i>25.422</i>	<i>450</i>	<i>799</i>	<i>9.259</i>	<i>45.930</i>
Estimativa dez/2032	25.700	24.897	276.461	32.573	73.247	148.435	581.313

120mil
MVA
+26%



*Os valores em MVA apresentados são associados à capacidade instalada nominal dos transformadores referenciados ao lado de alta dos equipamentos.

Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão

- ▶ As simulações relacionadas ao cálculo da TUST foram efetuadas neste Plano Decenal com base nas **regras mais recentes de aplicação da Metodologia Nodal**, aprovadas por meio da Resolução Normativa no 1041/2022 e dispostas na Versão 1.1 C do Submódulo 9.4 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), não obstante esse assunto ainda esteja sendo discutido no âmbito do Congresso Nacional.
- ▶ Dentro desse contexto, o cálculo da TUST foi realizado com base em **dois cenários energéticos**, sendo um elaborado com a aplicação do **Despacho Proporcional Regional** (DPR) e outro utilizando o conceito do **Despacho Proporcional Nacional** (DPN).
- ▶ Ainda em consonância com as novas regras de cálculo da TUST, as simulações foram realizadas contemplando, como limites mínimos para a TUST-Geração e TUST-Carga, o valor de **50% da Tarifa Equivalente Uniforme** (TEU) de cada caso.

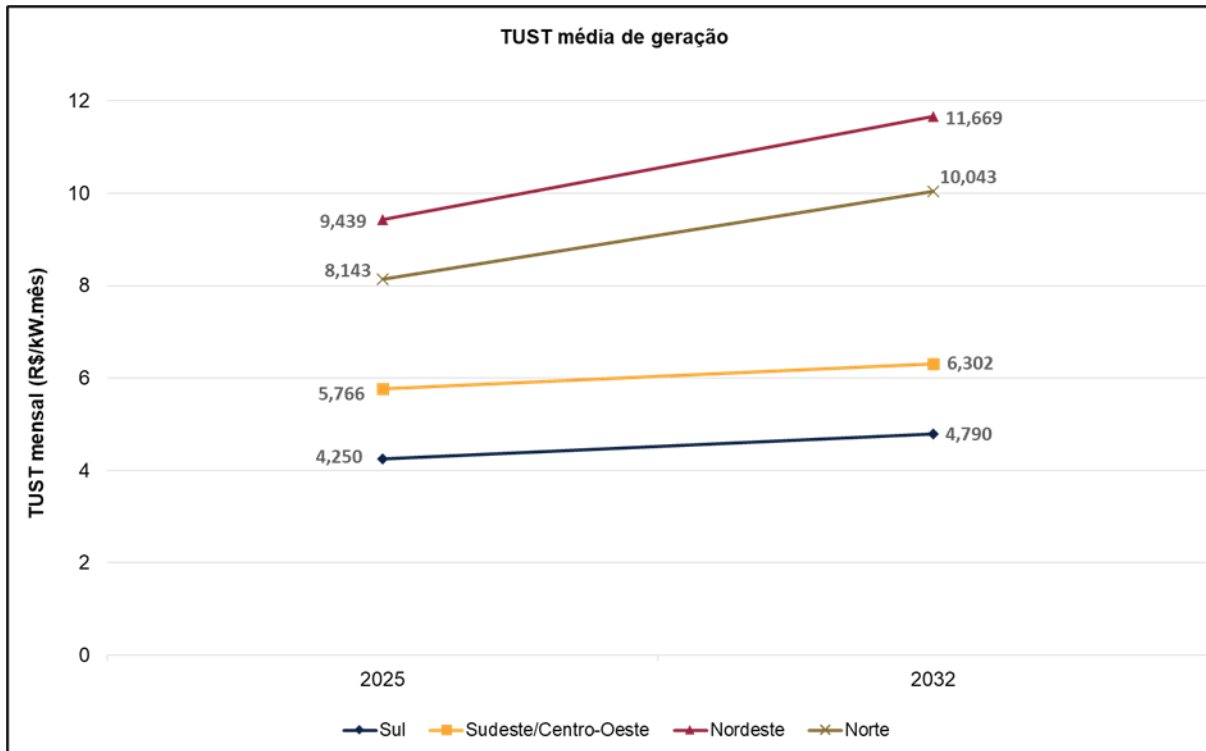
Ponderações dos Resultados



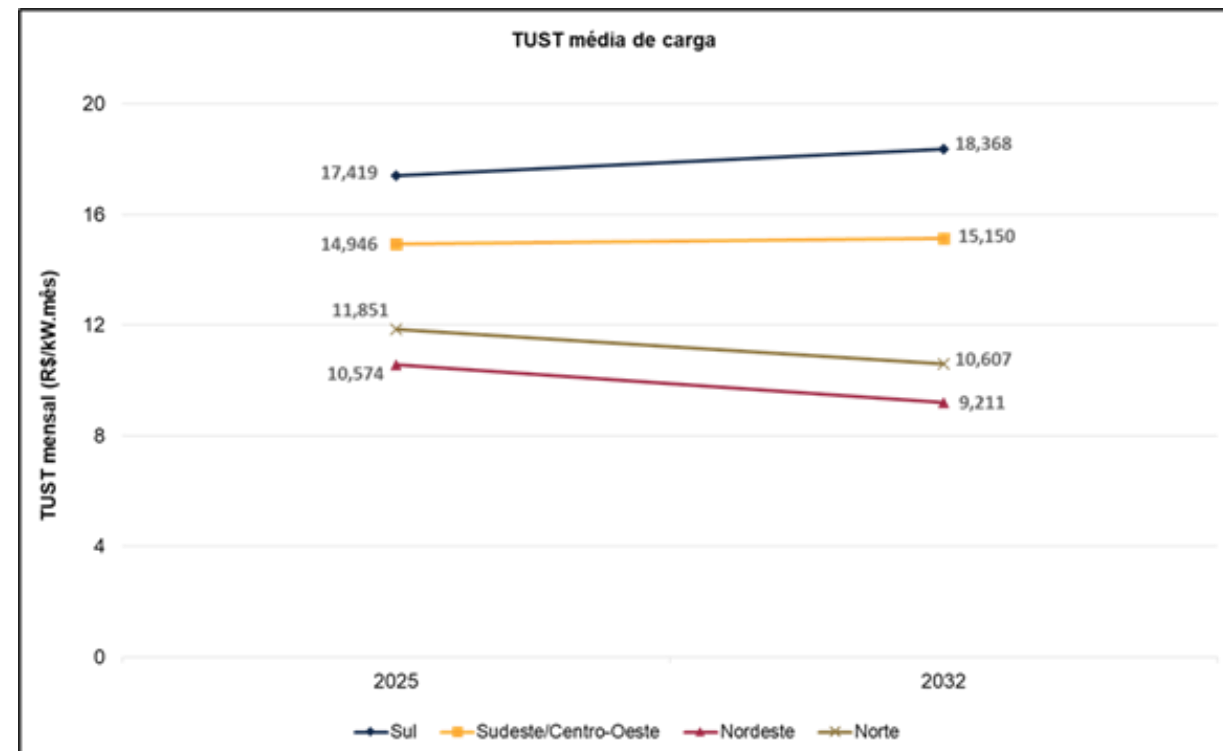
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



- Os resultados obtidos com a nova metodologia vigente apresentam, para o ano inicial de análise (2025), uma maior concentração das tarifas **em torno de valores médios**.
- Contudo, na avaliação realizada para o ano de 2032, verificou-se uma **distribuição mais acentuada** das tarifas em função da atualização dos fatores de participação dos cenários nesse ano com maior relevância para o cenário relativo ao **Despacho Proporcional Nacional**, o que resulta na intensificação do sinal locacional.



Cenário de referência: TUST- Geração média nos anos 2025 e 2032

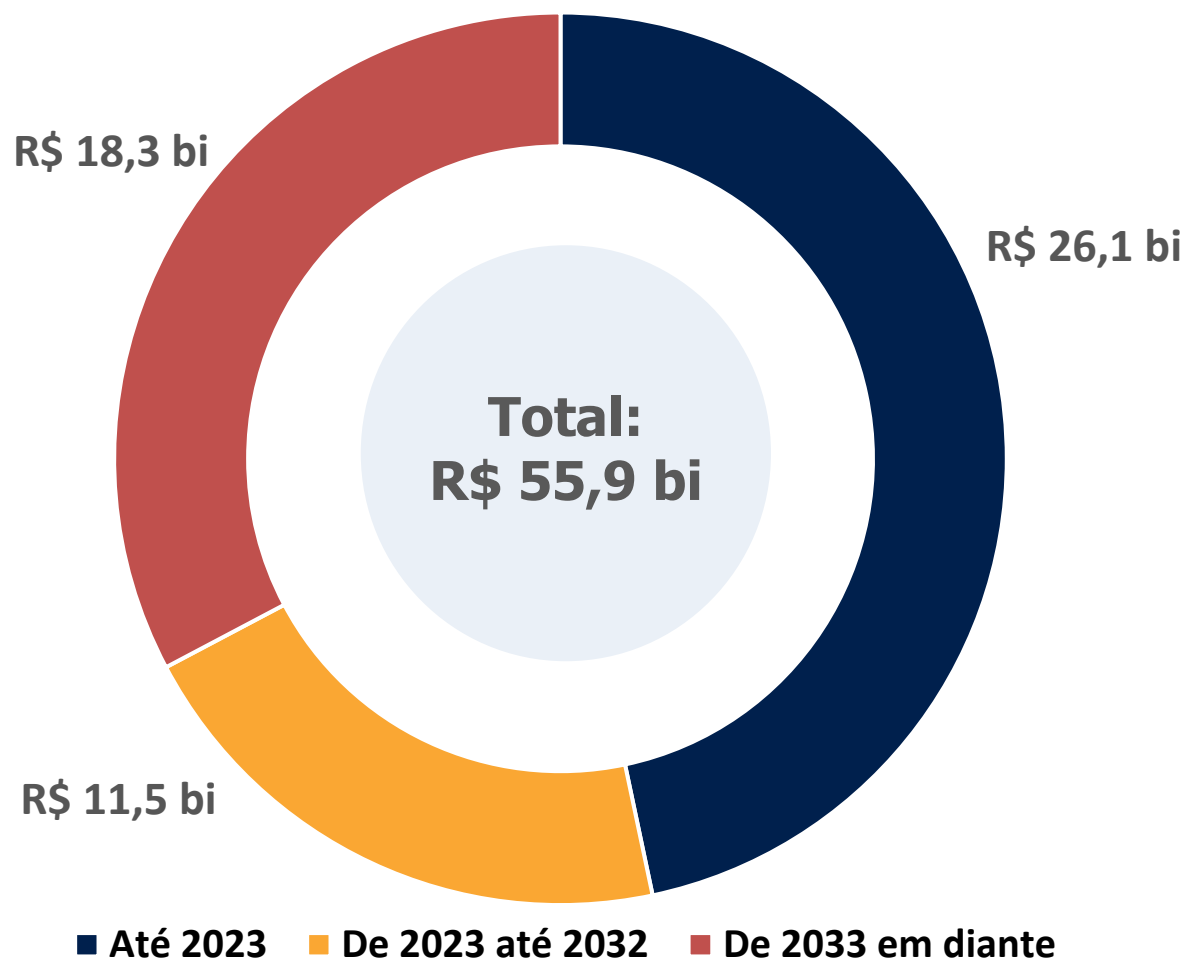


Cenário de referência: TUST- Carga média nos anos 2025 e 2032

Ativos em Final de Vida Útil

Um desafio a ser enfrentado pelo planejamento da transmissão consiste no envelhecimento do sistema de transmissão brasileiro, realidade que tende a se tornar mais crítica nos próximos anos. Há que assegurar a **substituição racional** da infraestrutura do sistema elétrico em fim de vida útil de modo que a malha de transmissão possa operar com os níveis de confiabilidade e qualidade exigidos pela sociedade.





Fonte: Relatório de Controle Patrimonial, Transmissoras Seleccionadas, ANEEL, 2018

R\$ 37,6 bi de investimentos **potenciais** entre 2023 e 2032

Esses investimentos não estão associados à superação técnica das instalações, mas apenas à **referência temporal da vida útil regulatória**.

Este gráfico contempla apenas a substituição de **equipamentos em subestações**. Os investimentos estão pulverizados em todo o sistema e não estão contemplados no montante total previsto até o ano horizonte deste PDE, por serem potenciais.

A necessidade de substituição efetiva desses equipamentos depende de **informação prestada pelas concessionárias** responsáveis pelos ativos. Só então o Planejamento passa a avaliar a indicação do investimento, de acordo com as necessidades sistêmicas mais atualizadas.

Superintendência de Transmissão de Energia

Diretor Interino

Giovani Vitória Machado

Coordenação Técnica

Thiago de Faria Rocha Dourado Martins

Marcos Vinicius G. da Silva Farinha

Thais Pacheco Teixeira

Daniel José Tavares de Souza

Lucas Simões de Oliveira

Rafael Theodoro Alves e Mello

Equipe Técnica

Armando Leite Fernandes

Bruno Cesar Mota Maçada

Bruno Scarpa Alves da Silveira

Dourival de Souza Carvalho Junior

Fabiano Schmidt

Fabio de Almeida Rocha

Fatima Gama

Igor Chaves

Jean Carlo Morassi

João Alves da Silva Neto

Joao Mauricio Caruso

Lucas Simões de Oliveira

Luiz Felipe Froede Lorentz

Marcelo Lourenco Pires

Marcelo Luiz de C. Moura Moreira

Marcelo Willian Henriques

Mateus Ribeiro Pereira

Miguel Ferraz M. Sampaio Pinto

Paulo Fernando de Matos Araujo

Priscilla de Castro Guarini

Rafael de Carvalho Caetano

Rodrigo Ribeiro Ferreira

Rodrigo Rodrigues Cabral

Tiago Campos Rizzotto

Tiago Veiga Madureira

Vanessa Penteadó Stephan

Vinicius Ferreira Martins



Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



 Empresa de Pesquisa Energética

 @EPE.Brasil

 @EPE.Brasil

 @EPE.Brasil

 @EPEBrasil