

PDE 2034

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034

Requisitos de Geração para Atendimento aos Critérios de Suprimento

Julho 2024



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ficha técnica

(composição dos cargos em 10 de maio de 2024)



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Arthur Cerqueira Valerio

Secretário de Energia Elétrica

Gentil Nogueira de Sá Junior

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Pietro Adamo Sampaio Mendes

Secretário de Transição Energética e Planejamento

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

www.mme.gov.br



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretora de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

www.epe.gov.br

PDE 2034

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034

Requisitos de Geração para Atendimento aos Critérios de Suprimento

Coordenação Executiva

Reinaldo Garcia

Coordenação Técnica

Bernardo Aguiar

Renato Haddad

Equipe Técnica

Superintendência de Geração

Diego Almeida

Glaysson Muller

Leandro Andrade

Rafael Rigamonti

Renata de Azevedo

Roney Vitorino

André Makishi

Caio Leocádio

Davi Vieira

Pamella Sangy

Guilherme Bassous

Saulo Ribeiro

Simone Brandão

Gustavo Ponte

Amanda Vinhoza

Bruno Cunha

Charles Mello

Leonardo Sanches

Nathalia Tavares

Paula Monteiro

Rafael Furtado

Fernanda dos Santos

Luis Cordeiro

Rafaela Pillar

Thais Iguchi

Apoio Administrativo

Tatiana Freire

Rio de Janeiro, 2024

Foto da capa: EPE

PDE 2034

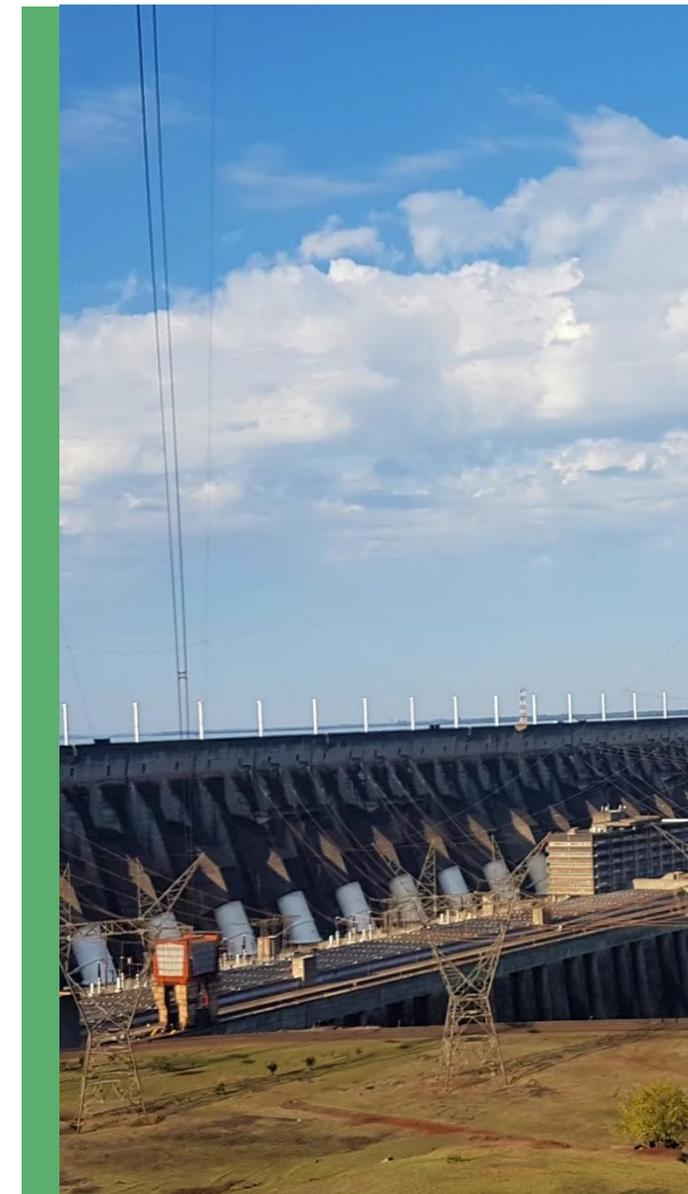
Requisitos de Geração para Atendimento aos Critérios de Suprimento

Valor público

A EPE estima os requisitos de energia e potência do sistema conforme as métricas de critério de suprimento estabelecidas na Resolução CNPE nº 29, de 2019 e parâmetros associados a estas métricas definidos na Portaria MME nº 59, de 2020. Com base neste regramento, a atividade do planejamento da expansão incorpora dimensões que auxiliem no balanço entre oferta e demanda de eletricidade, mais ajustados à nova realidade do sistema, com o desafio da busca pelo menor custo.

Com este Caderno a EPE traz transparência e diminui a assimetria de informações sobre os requisitos de energia e potência do sistema, no contexto dos estudos do planejamento decenal.

Cabe ressaltar que a efetiva necessidade de contratação, em especial no LRCAP 2024, será definida em momento próximo a realização do certame.

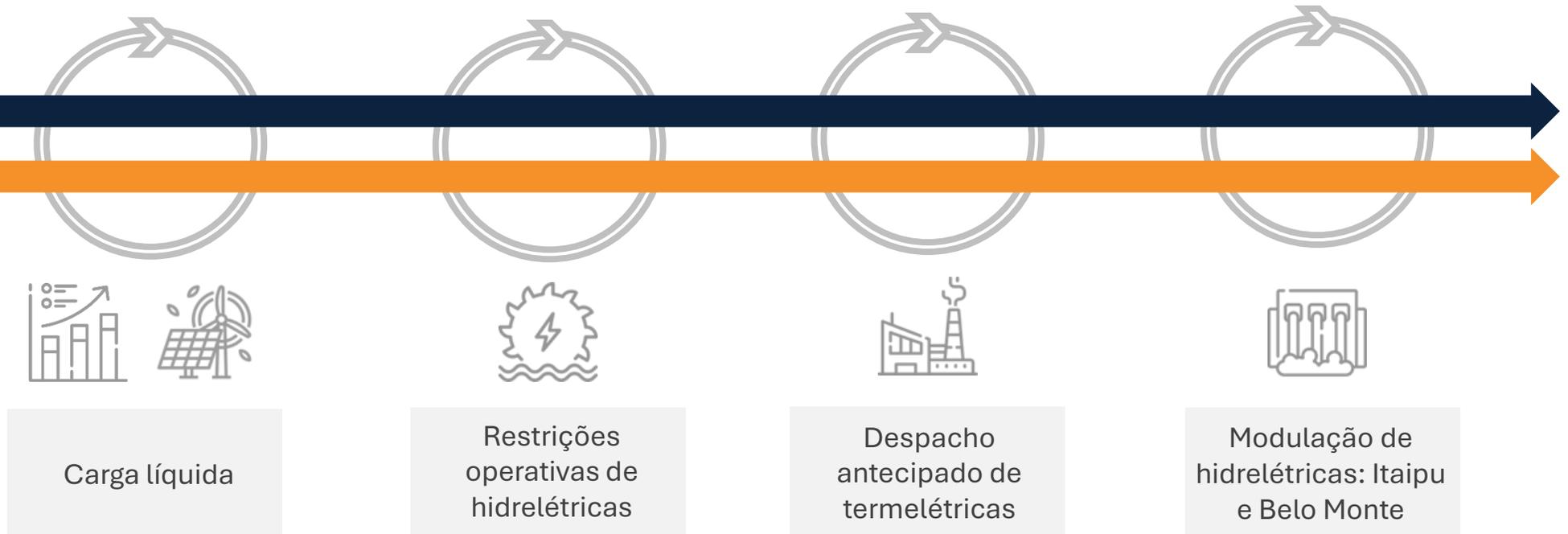


Elaboração do Caso Base para Cálculo de Requisitos do Sistema

Avanços metodológicos para maior aderência do planejamento da expansão à operação do SIN

PLANEJAMENTO
DA EXPANSÃO

PLANEJAMENTO
DA OPERAÇÃO



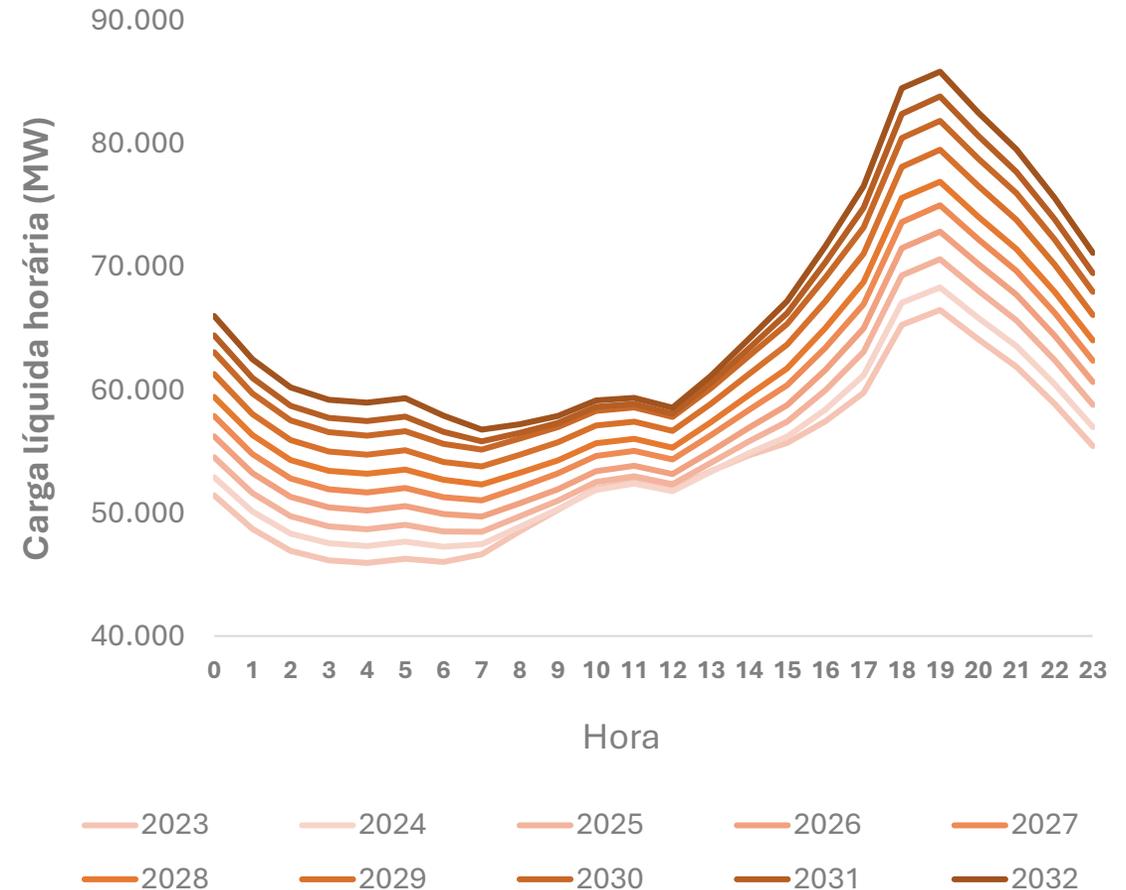
O esforço por melhor representação de modelos computacionais e uso de dados críveis é importante para que o planejamento possa ser cada vez mais efetivo na identificação das necessidades futuras do sistema.

Carga líquida: Representação probabilística da variabilidade das fontes renováveis

A evolução da configuração do parque gerador do SIN, principalmente referente ao crescimento das renováveis variáveis e da micro e mini geração distribuída (MMGD), aumenta a necessidade de aprimoramento da representação da carga líquida nas metodologias e modelos de planejamento da operação e da expansão.



A utilização de cenários horários de projeção de demanda e de geração variável, incluindo micro e mini geração distribuída, para o cálculo da carga líquida do sistema permite que o planejamento **dimensione de forma mais adequada a alocação das usinas despacháveis no atendimento à demanda de energia e de potência.**

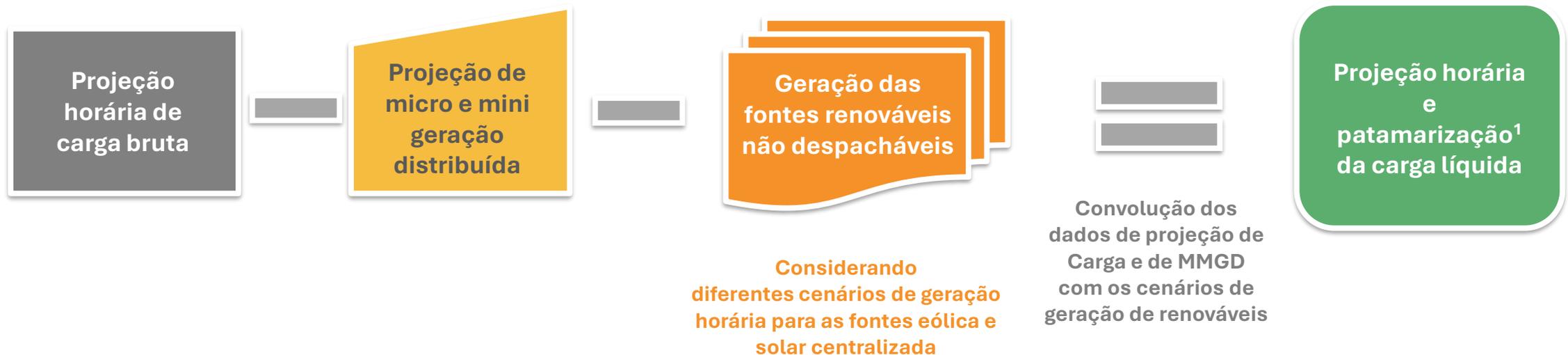


Fonte: Adaptado de [“Flexibilidade: Metodologia de Estimativa de Requisitos e Recursos”](#)

Carga líquida: Representação probabilística da variabilidade das fontes renováveis

Visando melhor embasar a decisão de uso dos recursos despacháveis, os requisitos foram calculados utilizando-se como dado de entrada a carga líquida. A metodologia de carga líquida apresenta algumas características como:

- Melhor representação das fontes, pois algumas renováveis variáveis possuem **grande concentração de geração** em horários específicos
- A metodologia proposta considera melhor os **efeitos da massiva penetração de micro e mini geração distribuída** (MMGD)
- **Diferença de profundidade dos patamares** resultantes para a decisão de despacho das centralizadas **é preservada**
- Profundidade de ponta considera a **carga coincidente de cada subsistema** durante a carga máxima instantânea do SIN



¹ Metodologia disponível em [“PDE 2031 – Estudos Complementares”](#)

Aprimoramento da representação da contribuição de UHE no atendimento à carga líquida máxima

Visando uma **maior aderência à realidade operativa** das usinas, desde o PDE2031 a EPE tem considerado o histórico de operação das UHE para definir restrições hidráulicas nos modelos de operação, sendo esta metodologia atualizada e aprimorada em cada ciclo de planejamento.



Para o **ciclo de estudos do PDE 2034**, as restrições foram definidas conforme operação verificada entre 01/06/2018 a 31/05/2021 (período de escassez hídrica, sem flexibilizações conjunturais).



A análise das restrições operativas permite que a representação desta fonte nos modelos de operação caracterize a contribuição das hidrelétricas para atendimento da carga líquida máxima de maneira coerente com dados verificados, e deste **modo aprimorar o dimensionamento do requisito de potência**

A metodologia de definição das restrições operativas contou com a calibração de parâmetros, conforme resumido a seguir:

Meta de geração hidrelétrica mínima (GHmin)

- CVaR 10% da geração hidrelétrica nos horários de menor geração em cada reservatório equivalente, patamar e mês
- Classificação dos patamares conforme carga líquida verificada, com clusterização por k-means

Vazão defluente mínima (vazmin)

- CVaR 1% da geração hidrelétrica nos horários de menor geração em cada reservatório equivalente e mês, conforme produtividade de cada UHE
- Maior valor entre o calculado a partir do histórico e a restrição oficial.
- Ajuste dos valores para as grandes UHE conforme histórico de defluências verificadas

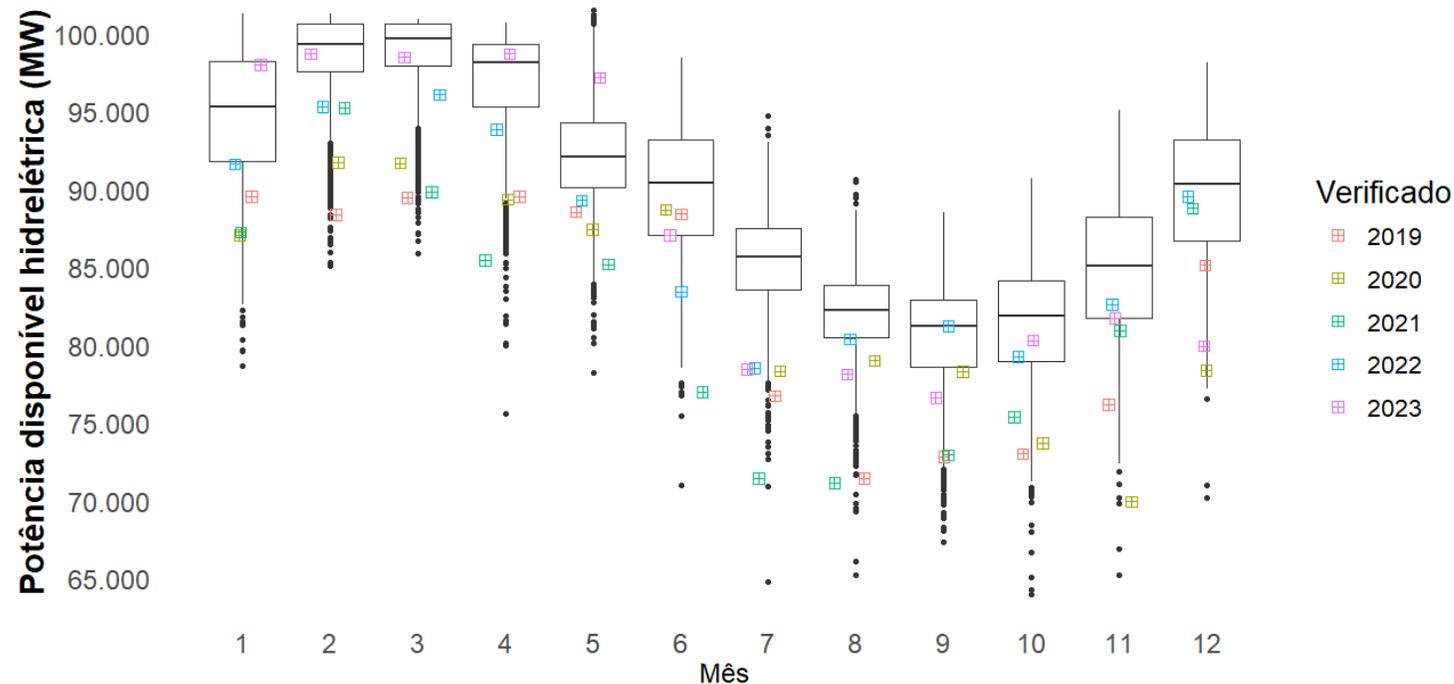
Volume máximo do reservatório (Vmáx)

- Volume de espera (controle de cheias) para as UHE que prestam esse serviço de forma recorrente
- Conforme PMO/PEN

Aprimoramento da representação da contribuição de UHE no atendimento à carga líquida máxima: Restrições Operativas

Potência hidrelétrica disponível nos cenários simulados (2028) e no histórico de operação

Histórico dos últimos 5 anos

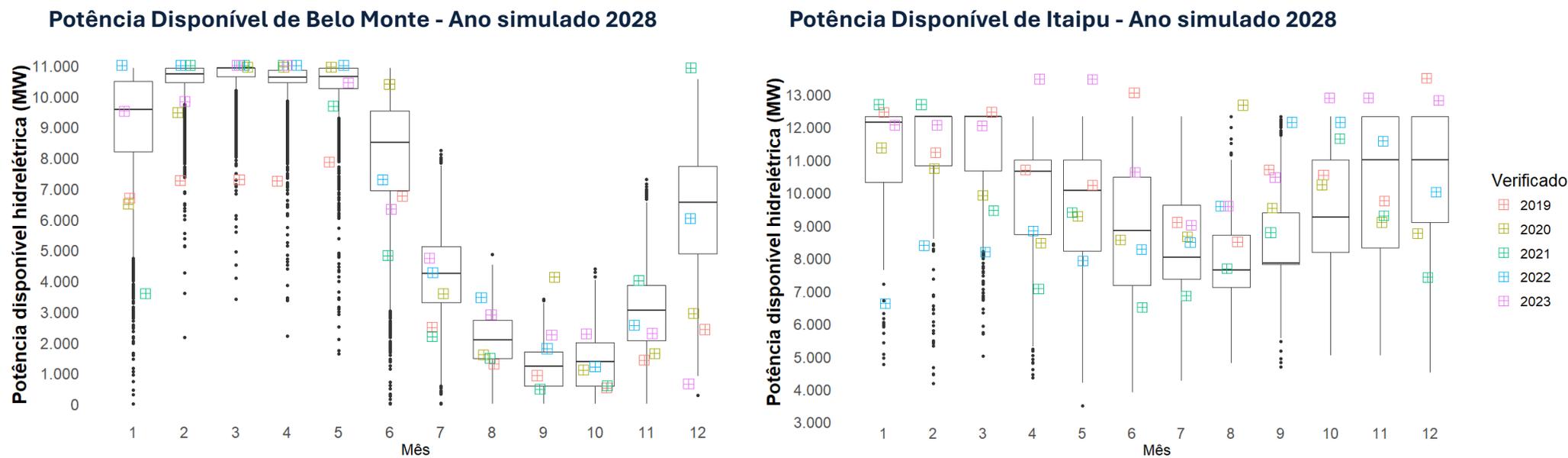


Com a aplicação das restrições operativas calculadas para o ciclo do PDE 2034, os dados simulados de potência hidrelétrica disponível para o ano de 2028 contém o conjunto da dados verificados nos últimos 5 anos



Deste modo, a calibração adequada das restrições operativas torna a **simulação representativa do histórico operativo**

Aprimoramento da representação da contribuição de UHE no atendimento à carga líquida máxima: Modulação de hidrelétricas de Itaipu e Belo Monte



Os cenários simulados contemplam situações vivenciadas entre 2019 e 2023



Para as UHE Itaipu e Belo Monte (casa de força principal), a potência disponível é obtida por meio de uma tabela de modulação, disponibilizada pelo ONS, a partir dos valores de defluência média mensal em cada cenário.

A consideração da modulação destas usinas permite que o requisito de potência seja dimensionado de forma a considerar suas contribuições no momento de demanda máxima de forma mais coerente com o observado na operação do SIN².

² Devido à forte sazonalidade da região, a potência disponível das usinas do Madeira e Tapajós vai depender fundamentalmente das vazões afluentes. Por esse motivo adota-se para essas UHE a geração hidrelétrica média mensal obtida na simulação energética

Despacho antecipado de termelétricas: Maior coerência com a disponibilidade de GNL para a demanda de ponta

As usinas termelétricas que utilizam Gás Natural Liquefeito (GNL), cuja indicação de despacho deve observar um prazo de pelo menos 60 dias de antecedência segundo previsto no edital e demais regras aplicáveis dos seus respectivos leilões de contratação, só estarão disponíveis para atendimento de potência quando acionadas com a antecedência devida.



Para o cálculo do requisito de energia é utilizado o modelo energético Newave, enquanto que os resultados do modelo Balanço de Potência são a base para a determinação do requisito de Potência do SIN. E esta característica de despacho antecipado deve constar nas simulações, para o dimensionamento adequado da contribuição destas usinas ao atendimento à demanda média e demanda máxima de eletricidade.



A evolução da metodologia para esta consideração prevê que usinas termelétricas que possuam despacho antecipado tenham tratamento diferenciado no cálculo da potência máxima disponível.

Desta maneira, essas usinas só têm as suas contribuições de potência máxima disponível contabilizadas nos meses e cenários em que tenham sido despachadas pelo modelo energético Newave.

Com este aprimoramento a contribuição de potência deste conjunto de termelétricas fica mais próxima à realidade operativa. E, conseqüentemente, o dimensionamento dos requisitos ganha robustez, aumentando a integração entre as atividades de planejamento e de operação do SIN

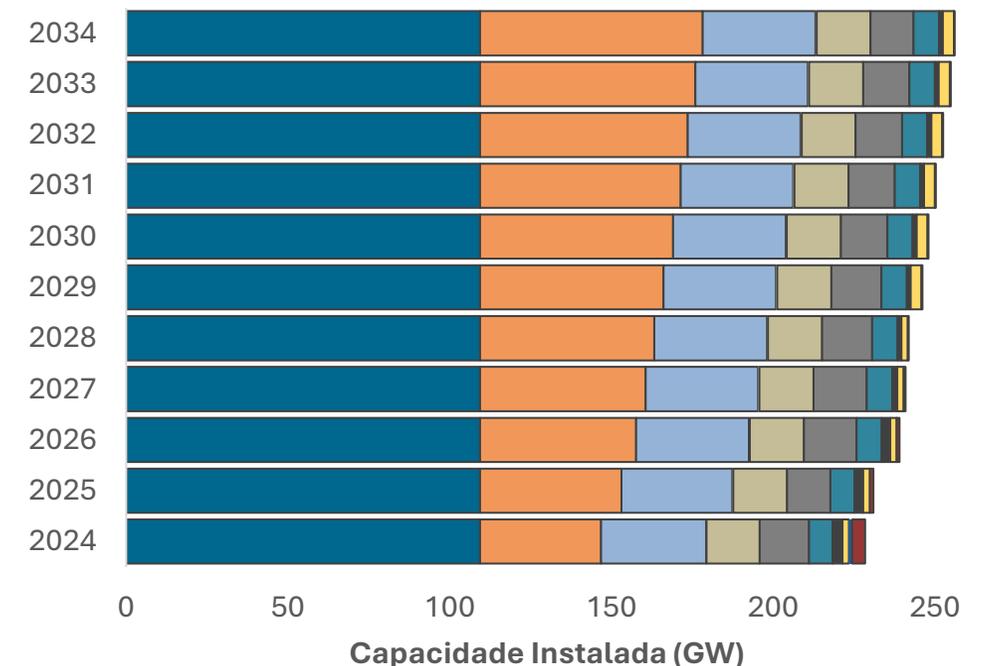
Capacidade instalada do caso para cálculo de requisitos

O Caso Base consiste em um cenário com configuração do **parque existente** e considera a **expansão já contratada** no mês inicial da simulação, sem ainda a expansão indicativa.

É considerada a projeção de demanda no horizonte decenal e então são **quantificados os requisitos** conformes os critérios de suprimento.

- Configuração do sistema existente em janeiro de 2024
 - Utiliza-se como base a configuração do sistema existente e empreendimentos contratados, conforme Departamento de Monitoramento do Setor Elétrico (DMSE) de dezembro/2023 (que subsidia o Programa Mensal de Operação – PMO – de janeiro/2024)
 - Expansão contratada em leilões regulados
 - Perspectiva de entrada pelo ACL (Ambiente de Contratação Livre) de alta viabilidade
- São consideradas as termelétricas a gás natural já contratadas no âmbito da Lei nº 14.182/2022
- Retirada da oferta termelétrica existente em final de contrato³, e aquelas com expectativa de perda dos benefícios relacionados a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e do Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) ao longo do horizonte decenal

Caso composto apenas pelo parque existente e contratado



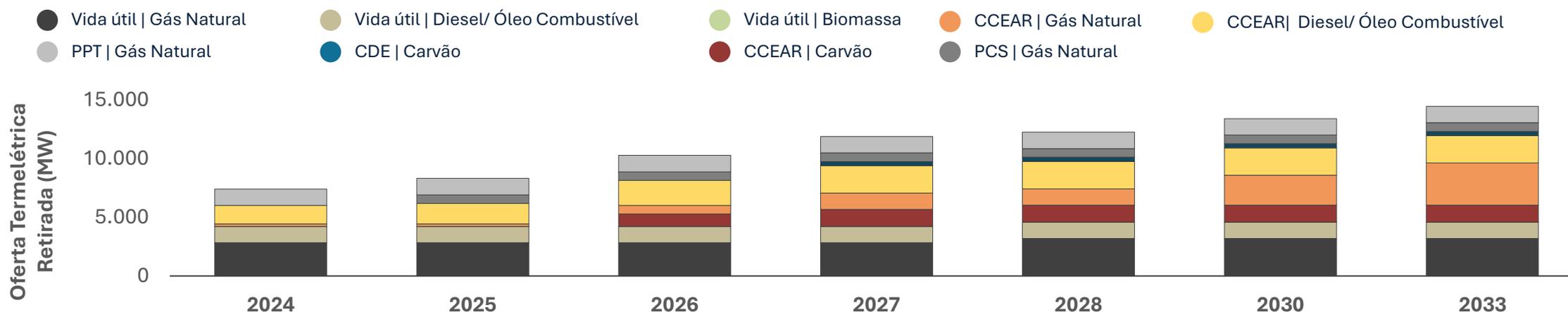
³ Detalhado no slide 13

Retirada de termelétricas do parque existente

No Caso Base são retiradas da simulação, ao longo do horizonte, cerca de 14.500 MW de usinas termelétricas que estejam nas seguintes situações:

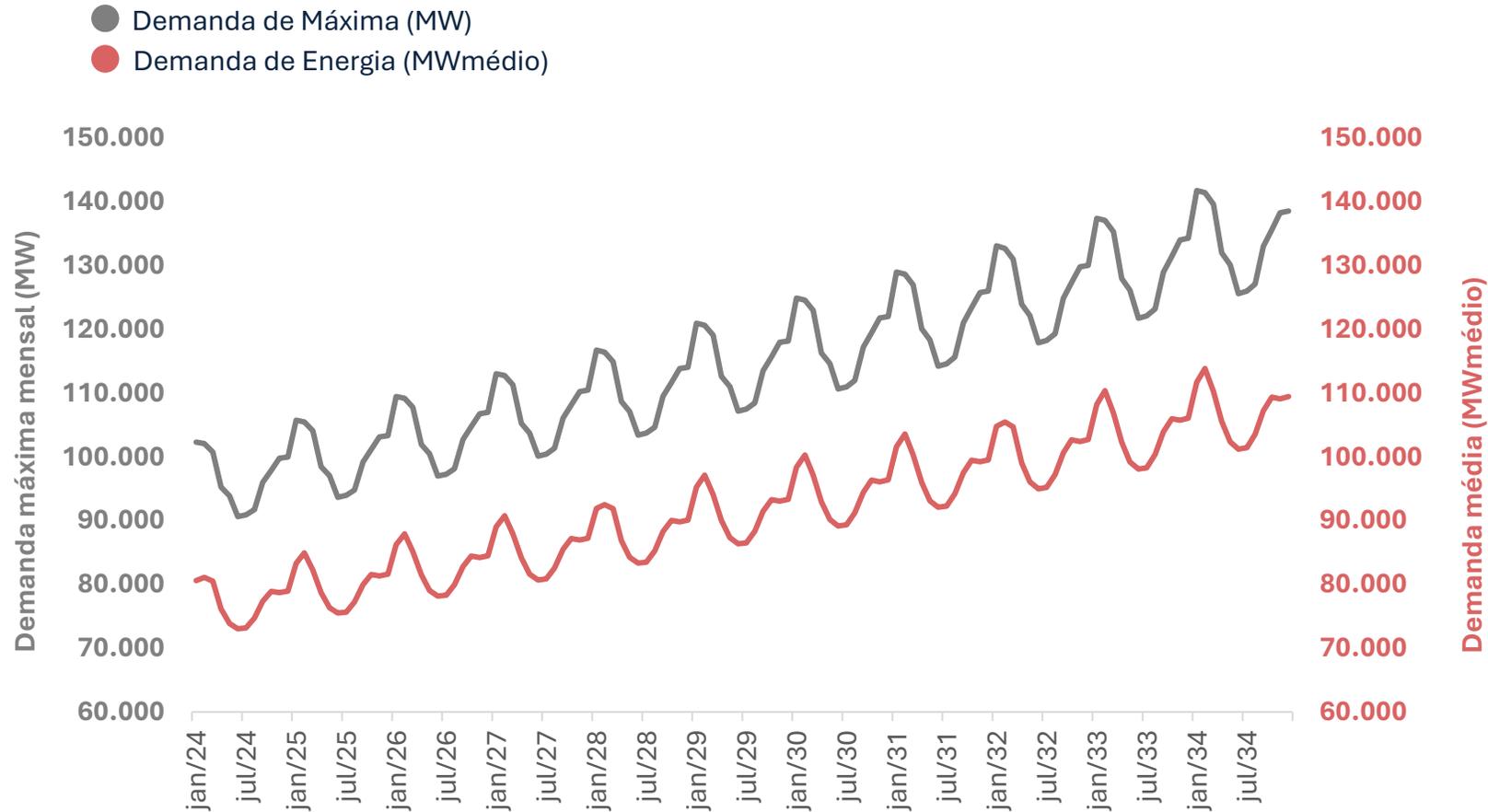
- Usinas termelétricas (UTE) movidas a diesel e óleo combustível que possuem contratos no Ambiente Regulado (CCEAR) findados no horizonte de planejamento são retiradas do sistema na data dos respectivos contratos
- UTES movidas a gás natural e integrantes do PPT e/ou com CCEAR são removidas na maior data entre o fim do CCEAR e do PPT (que possui prazo estabelecido de 20 anos a partir da data de operação da usina, conforme disposto no Decreto nº 3.371/2000)
- Usinas *Merchant* (sem CCEAR e/ou não integrante do PPT) são retiradas após 20 anos da sua entrada em operação comercial, representando o fim do período de vida útil considerado
- Termelétricas movidas a carvão mineral nacional são retiradas do sistema no final de 2027 em função do término do benefício da CDE. O Complexo Jorge Lacerda não foi retirado em atendimento à Lei nº 14.299/2022
- Usinas que, pelas premissas anteriores, já não deveriam ser consideradas nas simulações, e usinas *Merchant* com potência disponível igual a zero no PMO de janeiro do ano corrente, são retiradas ao fim do primeiro ano considerado no estudo

Oferta termelétrica retirada da configuração do Caso Base no horizonte decenal por motivação e fonte (MW)



Projeção de demanda: carga bruta

Projeção da média de energia e demanda máxima Base Mensal



- **Carga de energia e demanda máxima possuem crescimento médio de 3,3% no horizonte decenal**
- **As duas variáveis possuem perfis mensais próximos**
- **Para utilização no Balanço de Potência, há o acréscimo de reserva operativa de:**
 - 5% da demanda máxima em todas regiões
 - 6% da geração eólica para o subsistema Nordeste e 15% para o Sul

PDE 2034

Requisitos do Sistema: Energia e Potência



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Requisitos do Sistema

Conceituação

Os requisitos do sistema tem relação com os critérios de garantia de suprimento no setor de energia. Os critérios de garantia de suprimento válidos até 2019 eram compostos pelo risco de insuficiência da oferta de energia elétrica, limitado a 5% em qualquer subsistema, e a igualdade entre Custo Marginal de Operação (CMO) e Custo Marginal de Expansão (CME)

Esses critérios foram suficientes para sinalizar **os requisitos (necessidades estruturais)** do sistema, quando a participação das hidrelétricas era predominante na composição da matriz de geração de energia elétrica. Naquela época, o perfil da matriz do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) levava a um sistema onde a energia média era o requisito mais relevante para o adequado suprimento, já que as hidrelétricas prestam diversos serviços ao sistema. Nesse contexto o atendimento à potência, por exemplo, vinha como um subproduto ao se garantir o suprimento de energia

No entanto, o parque gerador vem passando por significativas transformações que, no médio e longo prazo, ainda devem se acentuar. Assim, as premissas utilizadas no passado para definir as diretrizes da expansão do sistema elétrico brasileiro não mais se verificam⁴

Os critérios de suprimento têm o objetivo de **aferir a adequação do suprimento, ou seja, de garantir que os investimentos na expansão sejam feitos no momento e do modo corretos**. Sempre que necessário (quando a otimização econômica não for suficiente para induzir o investimento), eles devem sinalizar para a contratação de oferta adicional que ajude a atender aos requisitos do sistema

Deste modo, hoje temos duas dimensões do critério de garantia de suprimento, que serão abordados nesse caderno: **energia e potência.**

⁴Para detalhes dos cálculos dos novos critérios de garantia de suprimento, ver: [2020_GT Modernização_Critério de Suprimento_Relatório Final.pdf \(epe.gov.br\)](#)

Critérios de suprimento do sistema: Energia

Conceituação

Para o cálculo dos requisitos de energia é utilizado o Caso Base. A simulação no modelo matemático de despacho hidrotérmico Newave, com 2.000 cenários hidrológicos, permite a análise operativa do sistema composto apenas pelo parque existente e contratado.

- Na dimensão de energia são avaliados dois critérios de risco, ambos utilizam o indicador estatístico *Conditioned Value at Risk (CVaR)*, caracterizado pela média dos valores mais extremos de uma curva de distribuição acumulada, até um determinado nível de risco.



CVaR do Custo Marginal de Operação

Para cada mês, são avaliados os 10% cenários com CMO mais elevado, onde a média dos custos marginais nesses cenários não pode ser superior a R\$ 800/MWh.



CVaR da Energia não Suprida

Para cada ano, são avaliados os 1% piores cenários de atendimento à demanda de energia, onde a média do corte de carga nesses cenários não pode ser superior à 5% da demanda do SIN e de cada subsistema.

Critérios de suprimento do sistema: Energia

Conceituação e verificação das violações

CVaR do Custo Marginal de Operação

CVaR 10% CMO ≤ 800 [R\$/MWh]

Avaliação do Atendimento ao Critério de Suprimento de Energia: CVaR 10% CMO

Caso Base (Sem expansão indicativa)

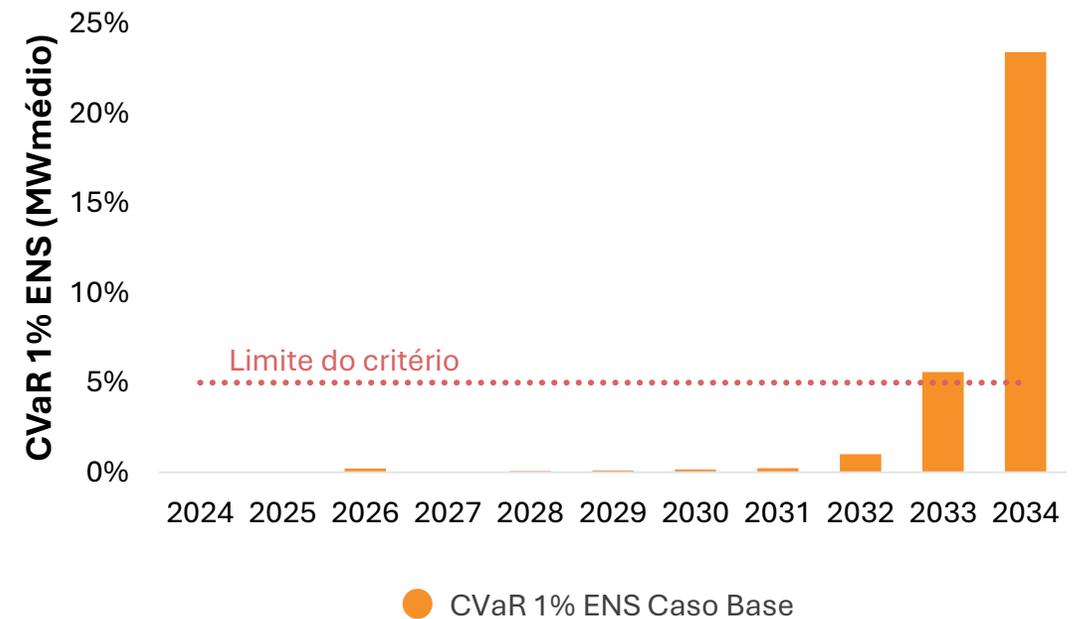


CVaR da Energia não Suprida

CVaR 1% ENS $\leq 5\%$ da Demanda

Avaliação do Atendimento ao Critério de Suprimento de Energia: CVaR 1% ENS

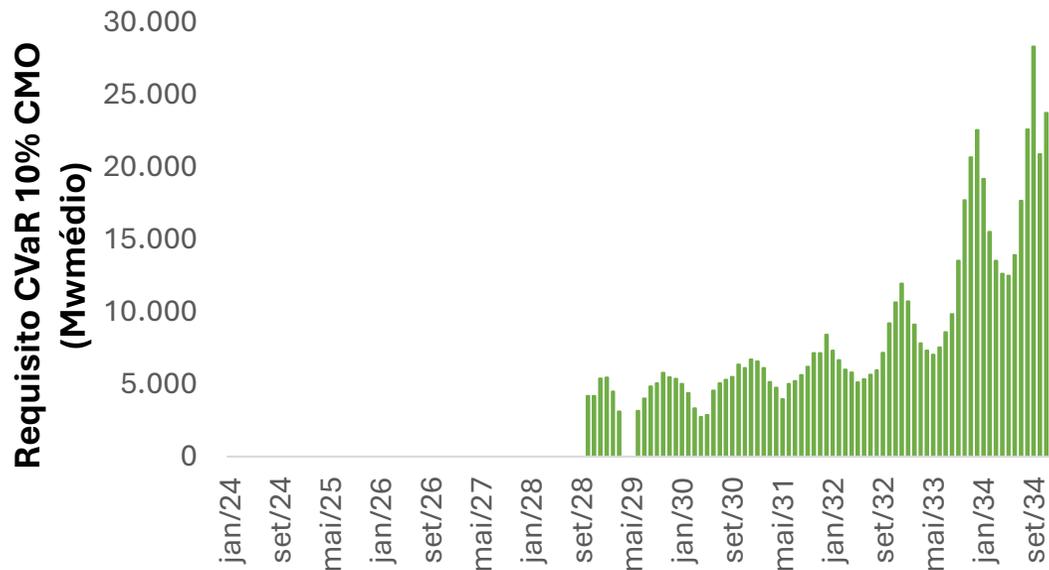
Caso Base (Sem expansão indicativa)



Requisito de Energia: Necessidade de oferta a partir das violações aos critérios de suprimento de energia

Requisito de energia calculado para métrica CVaR10%(CMO) \leq 800[R\$/MWh]

Base Mensal



● Requisito para CVaR10%(CMO) \leq 800R\$/MWh

Requisito de energia calculado para métrica CVaR1%(ENS) \leq 5% da Demanda

Base Anual



● Requisito para CVaR 1% ENS

- A necessidade de oferta adicional de energia para atender aos requisitos de energia ocorre a partir do ano de 2028
- O requisito de energia possui marcante sazonalidade, com aumento no período seco e com tendência de crescimento no horizonte decenal.

Critérios de suprimento do sistema: Potência

Conceituação

Através do Caso Base, a simulação do Balanço de Potência², com 2.000 cenários hidrológicos acoplados à simulação de energia, permite a análise do atendimento à projeção de demanda máxima líquida instantânea somada às necessidades de reserva operativa do sistema utilizando apenas o parque existente e contratado.

- Na dimensão de potência são avaliados dois critérios de risco. A *Loss of Load Probability* (LOLP) anual é a taxa de cenários em que ocorrem déficits de potência em relação ao total de cenários hidrológicos simulados. E para potência não suprida é utilizado o indicador estatístico CVaR, caracterizado pela média dos valores mais extremos de uma curva de distribuição acumulada, até um determinado nível de risco.



CVaR da Potência Não Suprida Mensal

Para cada mês, os valores de potência não suprida (PNS) são ordenados e calcula-se a média dos 5% maiores valores. A média da PNS para estes piores cenários não pode ultrapassar 5% da demanda máxima instantânea.



LOLP Anual

Para cada ano, o percentual de cenários que apresentam déficit de potência não pode ultrapassar 5%.

Critérios de suprimento do sistema: Potência

Conceituação e verificação das violações

Avaliação do Atendimento aos Critérios de Suprimento de Potência: CVaR 5% PNS[%Demanda Instantânea] e LOLP

Caso Base (Sem expansão indicativa)



LOLP Anual

Para cada ano, o percentual de cenários que apresentam déficit de potência não pode ultrapassar 5%.

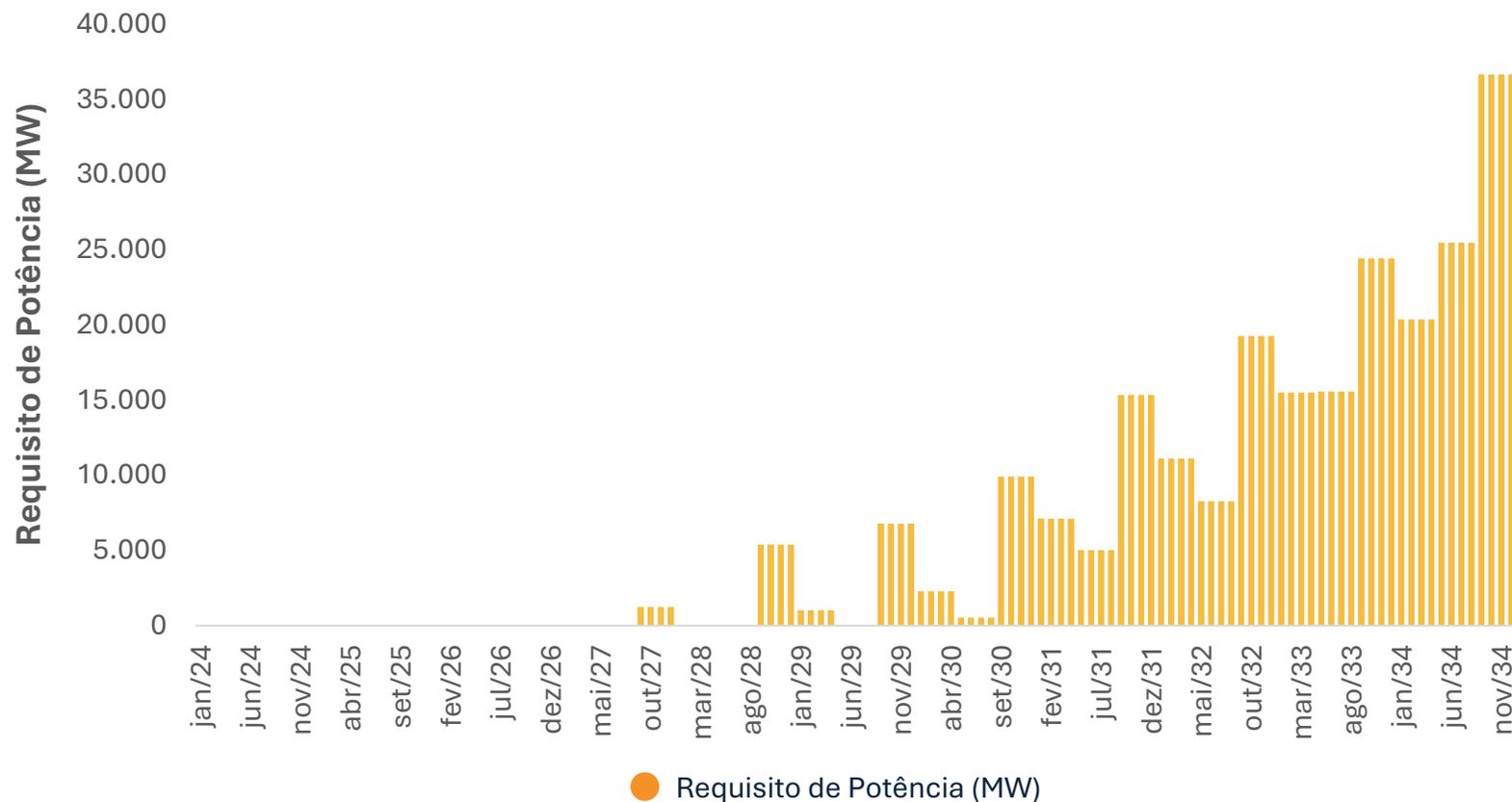
CVaR da Potência Não Suprida Mensal

Para cada mês, os valores de potência não suprida (PNS) são ordenados e calcula-se a média dos 5% maiores valores. A média da PNS para estes piores cenários não pode ultrapassar 5% da demanda máxima instantânea.

Requisito de Potência: Necessidade de oferta a partir das violações aos critérios de suprimento de potência

Requisitos de potência calculados para métricas CVaR5%(PNS) e LOLP

Base Quadrimestral



Para o cálculo dos requisitos de potência é utilizado o Caso Base (sem expansão indicativa). A simulação no modelo Balanço de Potência com 2.000 cenários hidrológicos, permite a análise operativa do sistema composto apenas pelo parque existente e contratado.

- A necessidade de oferta adicional para suprir o requisito de potência se inicia em 2027, chegando a ordem de 5.500 MW em 2028.
- A partir deste ano todos os meses apresentam valores de CVaR5% da PNS maiores que zero.

Considerações finais

- Os requisitos do sistema tem relação com os critérios de garantia de suprimento no setor de energia. Os critérios de suprimento⁴ têm o objetivo de **aferir a adequação do suprimento, ou seja, de garantir que os investimentos na expansão sejam feitos no momento e do modo corretos**. Sempre que necessário (quando a otimização econômica não for suficiente para induzir o investimento), eles devem sinalizar para a contratação de oferta adicional que ajude a atender aos requisitos do sistema
- Deste modo, o cálculo do requisito de energia e potência apresenta uma **expectativa de necessidade de oferta adicional** dessas grandezas, em uma avaliação na qual a demanda do SIN cresce no horizonte de estudo **com o atendimento realizado exclusivamente pelo parque já contratado e/ou em operação**
- A análise realizada mostra que o SIN necessita de oferta adicional de **potência a partir de 2027**, e verifica a necessidade de oferta adicional de **energia a partir de 2028**. É importante frisar que os requisitos de energia e potência são crescentes ao longo dos anos, mostrando a importância de uma **expansão perene e uma estratégia para viabilizar investimentos de forma contínua**
- O atual resultado apresenta coerência com o perfil já indicado em outras versões do Caderno de Requisitos, reforçando assim **a continuidade e robustez dos estudos de Planejamento da Expansão do SIN**

⁴Para detalhes dos cálculos dos novos critérios de garantia de suprimento, ver: [2020 GT Modernização Critério de Suprimento Relatório Final.pdf \(epe.gov.br\)](#)



PDE 2034

Clique [aqui](#) e acesse todos os estudos do PDE 2034



Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

