



Empresa de Pesquisa Energética

ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA GERAÇÃO

Lastro e Energia

*Metodologia de Quantificação dos Requisitos
de Lastro de Produção e Capacidade*

Outubro de 2021

Coordenação Geral

Erik Eduardo Rego

Renata Nogueira Francisco de Carvalho

Coordenação Executiva

Bernardo Folly de Aguiar

Renato Haddad Simões Machado

Thiago Ivanoski Teixeira

Equipe Técnica

Adriano Leme Ibri¹ (consultor contratado)

Caio Monteiro Leocádio

Glaysson de Mello Muller

Gustavo Brandão Haydt de Souza

Leandro Pereira de Andrade

Maria Cecília Pereira de Araújo

Renata de Azevedo Moreira da Silva

Roney Nakano Vitorino

Simone Quaresma Brandão

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ministro de Estado

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária-Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Paulo Cesar Magalhães Domingues

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

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



Presidente

Thiago Vasconcelos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

¹ Apoio da Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, por meio da GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES

		
<i>Área de Estudo</i> ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA GERAÇÃO		
<i>Estudo</i> Lastro e Energia		
<i>Macro - atividade</i> Metodologia de Quantificação dos Requisitos de Lastro de Produção e Capacidade		
<i>Ref. Interna (se aplicável)</i>		
<i>Revisões</i>	<i>Data de emissão</i>	<i>Descrição sucinta</i>
r0	29/10/2021	Emissão original

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS REQUISITOS.....	6
2.1	<i>Os Novos Critérios de Garantia de Suprimento</i>	<i>6</i>
2.2	<i>Qual o objetivo da quantificação dos requisitos?.....</i>	<i>7</i>
2.3	<i>Metodologia Inicial para o Cálculo dos Requisitos.....</i>	<i>8</i>
3	DETALHAMENTO DOS REQUISITOS	15
3.1	<i>Requisitos Relacionados a Carga de Eletricidade.....</i>	<i>15</i>
3.2	<i>Aspecto Temporal</i>	<i>24</i>
3.2.1	<i>Sazonalidade</i>	<i>24</i>
3.2.2	<i>Granularidade.....</i>	<i>32</i>
3.2.3	<i>Avaliação do método de quantificação do requisito</i>	<i>44</i>
3.2.4	<i>Consistência temporal do cálculo dos requisitos.....</i>	<i>46</i>
3.3	<i>Aspecto Locacional</i>	<i>50</i>
4	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54
	ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

O Setor Elétrico Brasileiro, assim como em todo o mundo, vem se desenvolvendo e se adaptando às novas condições de composição da matriz. A crescente participação de fontes renováveis variáveis, como eólica e solar fotovoltaica, somadas à redução da participação de hidrelétricas no sistema e às políticas de redução de emissões de carbono vem moldando o parque gerador, aumentando a complexidade de operação e a necessidade de atendimento à demanda com confiabilidade. Novas tecnologias estão emergindo para que a demanda tenha maior flexibilidade, como é o caso da gestão do consumo com monitoramento em tempo real e alternativas como a geração distribuída. Este novo cenário exige planejamento integrado, para que seja mantido adequado balanço entre oferta e demanda, com eficiência econômica e segurança de suprimento.

A adequação do suprimento brasileiro se baseou, historicamente, em grandes hidrelétricas, com as quais ao assegurar o fornecimento de energia em períodos de escassez hídrica, os demais atributos, como a capacidade para o atendimento da demanda máxima instantânea, seriam subprodutos. Porém, nas últimas décadas, a matriz brasileira vem se expandido com diversidade de fontes e o perfil de demanda vem mudando, especialmente nos momentos de pico de consumo. Como consequência dessa evolução, o sistema vem deixando de ser restrito somente em energia, para se tornar também restrito em capacidade de potência, como os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia vêm apresentando. Como essa nova restrição não é sinalizada pelo mecanismo de contratação atual, o atendimento a ela acaba sendo realizado através dos leilões do Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Porém, como a confiabilidade do suprimento é um bem comum de todo o sistema, a alocação do seu custo apenas aos consumidores cativos provoca desequilíbrio em relação aos custos alocados para o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Por isso, a Medida Provisória nº 998/2020, que deu origem a Lei 14.120, de 01/03/2021, estabeleceu a possibilidade de contratação de reserva de capacidade, mecanismo transitório para solucionar a futura necessidade de potência no SIN, e endereçou a eventual contratação da confiabilidade sem concentrar o custo apenas nos consumidores regulados.

No entanto, a dissociação entre os produtos lastro de produção e produção de energia, além da criação do produto adicional lastro de capacidade são passos futuros necessários para permitir valorar cada produto individualmente². Ao garantir a contratação dos produtos relativos à adequabilidade do sistema de forma separada, com alocação de custos proporcional às necessidades geradas por cada agente de consumo, estrutura-se o setor para a abertura integral do mercado, que é uma das propostas que vem sendo conduzidas pelo Ministério de Minas e Energia, no âmbito do Comitê de Implementação da

² Tema abordado em detalhes no Relatório de Apoio ao Workshop Lastro e Energia (MME, 2019) disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/Documents/Modernizacao-Sector-Eletrico/Lastro-Energia/Relat%C3%B3rio%20de%20apoio%20ao%20workshop%20lastro%20e%20energia.pdf>

Modernização do Setor Elétrico (CIM)³, considerando o diagnóstico produzido pelo GT-Modernização do Setor Elétrico⁴.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apresenta ao mercado a expansão otimizada do sistema de energia elétrica, que garante o atendimento aos critérios de garantia de suprimento ao menor custo de operação e expansão, através do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE). A versão mais recente do PDE (MME/EPE, 2021) apresenta uma análise de atendimento aos novos critérios de suprimento de energia e de capacidade aprovados pelo CNPE em dezembro de 2019⁵ na elaboração dos cenários de expansão da oferta. Essa nova abordagem explicita os requisitos do sistema e permite a identificação de quais atributos os atendem, com visão tecnologicamente neutra para a criação de novos produtos e serviços.

Neste contexto, esta Nota Técnica tem como objetivo contribuir para a discussão da Modernização do Setor Elétrico através de metodologia para quantificação de requisitos do sistema elétrico, que serão transformados em produtos e negociados no novo modelo comercial que está sendo conduzido dentro do escopo das propostas para a implementação da separação do lastro da energia, buscando a otimização econômica da operação e da expansão do setor, respeitando os critérios de adequabilidade do suprimento.

A presente Nota Técnica está organizada em quatro capítulos, incluindo esta introdução e as conclusões. O capítulo 2 revisa a metodologia de cálculo dos requisitos de energia e capacidade, já amplamente discutidos no PDE 2030, e reapresentados no âmbito da Consulta Pública nº 108/2021 referente ao Leilão de Reserva de Capacidade. O terceiro capítulo é a novidade propriamente dita do trabalho, no qual será apresentada análise sobre o detalhamento da especificação dos requisitos, assim como proposta de metodologia para identificação do aspecto temporal das necessidades do sistema, o que será importante fator a ser avaliado para transformar os requisitos do sistema em produtos a serem comercializados. Além disso, o capítulo 3 aborda a consistência temporal dos requisitos previamente avaliados, ou seja, se a expansão indicativa proposta a partir dos requisitos se mantém consistente após a simulação da operação do sistema, e finaliza com a explanação sobre o requisito locacional.

³ Portaria MME nº 403, de 29 de outubro de 2019

⁴ Portaria MME nº 187, de 4 de abril de 2019

⁵ Resolução CNPE nº 29, de 12 de dezembro de 2019

2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS REQUISITOS

2.1 Os Novos Critérios de Garantia de Suprimento

Visando aprimorar as métricas e parâmetros de avaliação da adequabilidade do suprimento de energia e de potência, em 2019 foi instituído, através de um grupo de estudo do GT Modernização do Setor Elétrico, a definição dos novos critérios de suprimento a serem aplicados no planejamento da expansão da oferta de energia elétrica e no planejamento da operação do SIN. O resultado foi a publicação da Resolução CNPE nº 29, de 12/12/2019, que estabeleceu as métricas para novos critérios, e da Portaria MME nº 59, de 20/02/2020, que estabeleceu os parâmetros associados a essas métricas, com o objetivo de sinalizar as necessidades requeridas pelo sistema. Com esse novo regramento, o SIN passa a contar com critérios explícitos para o suprimento de potência além de ter seus critérios de suprimento de energia atualizados à nova realidade do sistema. Assim, quando a oferta considerada nas avaliações de suprimento não for suficiente para o atendimento dos critérios, sinaliza-se para a necessidade de expansão complementar que leve ao atendimento dos requisitos do sistema.

Os atuais critérios de suprimento visam o atendimento do sistema como um todo, considerando, dentre outros, os efeitos resultantes da sinergia entre as fontes, isto é, o efeito do portfólio do SIN, reforçando o conceito de que a confiabilidade sistêmica é um bem compartilhado por todos os consumidores e geradores. Assim, o mapeamento do sistema, pela ótica dos critérios de suprimento, poderá indicar quais requisitos do sistema são escassos em cada momento. As novas métricas e parâmetros estabelecidos para a avaliação de adequabilidade do sistema são descritos conforme abaixo.

Critérios de Suprimento de Energia:

- $CVaR^6$ 1% da energia não suprida (ENS) ≤ 5 [%Dem]

Em base anual, 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.

- $CVaR$ 10% CMO ≤ 800 [R\$/MWh]

Em base mensal, são avaliados os 10% cenários com CMO mais elevado, onde a média desses cenários não pode ser superior R\$ 800/MWh em nenhum subsistema avaliado.

⁶ CVaR = Conditioned Value at Risk (Valor esperado condicionado a um determinado nível de confiança)

Crítérios de Suprimento de Capacidade:

- CVaR 5% da potência não suprida (PNS) ≤ 5 [%Dem]

Em base mensal, são avaliados os 5% piores cenários de atendimento à demanda máxima de potência, onde a média desses cenários não pode ser superior à 5% da demanda instantânea do SIN e de cada subsistema.

- LOLP⁷ $\leq 5\%$ (risco de insuficiência de capacidade):

Em base anual, possui um limite de 5% de probabilidade de ocorrência de qualquer déficit por motivo de insuficiência de capacidade de potência, para o SIN e para cada subsistema.

Analisando a operação a partir de uma configuração inicial do sistema, através das novas métricas de segurança e economicidade da operação, é proposto que seja identificada a expansão mínima necessária para atendimento da demanda futura de forma adequada, isto é, que atenda aos critérios de suprimento. Ao observar a operação por essa ótica, é possível identificar instantes em que ocorrem violações dos limites desses critérios. Essas ocasiões podem decorrer da insuficiência de energia ou capacidade de potência (ou ambas) no sistema, o que incorre em custos de operação elevados e/ou déficits. Dessa forma, este documento apresenta metodologia para quantificação do montante dos requisitos de energia e capacidade de potência adicionais necessários para o atendimento da demanda futura.

2.2 Qual o objetivo da quantificação dos requisitos?

Antes de apresentar a metodologia de cálculo propriamente dita, é importante nivelar o conceito do qual trata este documento. Conforme apresentado no Relatório de Apoio ao Workshop de Lastro e Energia (MME, 2019), os requisitos do sistema refletem os montantes necessários para garantia de suprimento do sistema conforme a demanda projetada e os níveis de adequabilidade desejados. Como o adequado atendimento à demanda é medido através dos critérios de suprimento, a quantificação dos requisitos do sistema visa obter, de forma objetiva e reproduzível, o montante de oferta necessária para que os critérios de suprimento sejam atendidos, em todo o horizonte temporal de análise. A quantificação dos requisitos não busca sinalizar as tecnologias para a expansão, mas sim os montantes necessários para atendimento da demanda projetada conforme critérios de suprimento vigentes.

⁷ LOLP = Loss of load probability (risco de insuficiência de capacidade)

É importante destacar a diferença entre o montante sinalizado pela quantificação dos requisitos e a expansão ótima do sistema. Enquanto o cálculo dos requisitos se baseia na menor oferta necessária para o atendimento dos critérios de suprimento, a otimização da expansão busca apresentar o conjunto de empreendimentos que levem à solução de menor custo total de investimento e operação. A depender da relação entre os custos operativos e os valores estimados para realização de novos investimentos, a expansão pela otimização econômica pode sinalizar oferta maior ou menor, e com diferentes participações entre tecnologias. Porém, o sistema só será considerado adequado se essa oferta sinalizada também atender aos critérios de suprimento. Em resumo, espera-se que a expansão sinalizada pela otimização econômica seja maior ou igual àquela resultante da quantificação dos requisitos.

2.3 Metodologia Inicial para o Cálculo dos Requisitos

Neste contexto dos avanços já realizados considerando as métricas de garantia de suprimento, o PDE 2030 apresentou a base para a proposta de quantificação dos requisitos de energia e capacidade de potência, avaliando quanto e quando é necessária a expansão para atender a esses critérios ao longo do horizonte. A avaliação da adequabilidade do suprimento considera a simulação com 2.000 cenários hidrológicos de vazões simulados com o modelo Newave para o horizonte de planejamento, considerando a configuração inicial para a expansão do PDE 2030, que possui como base a configuração do sistema existente, a expansão contratada em leilões e a perspectiva de entrada pelo ACL, com a referência de abril de 2020. As simulações podem resultar em cenários de impossibilidade de atendimento à demanda, ocasião em que o modelo Newave considera um custo de déficit, superior ao custo de despacho das usinas termelétricas em operação. Ocasões como essa são consideradas como corte de carga (energia não suprida – ENS) e elevam o resultado do CMO da simulação.

A primeira etapa da avaliação do atendimento aos critérios de suprimento é a verificação da violação dos critérios de energia. A Figura 1 analisa o CVaR 10% do CMO (para a média dos quatro patamares de carga⁸) em base mensal. Ou seja, para cada mês, é realizada a média do CMO resultante das 200 séries de valores mais elevados (10% da amostra de 2.000 séries sintéticas simuladas no Newave). Para o caso base, que considera a configuração inicial do PDE 2030 sem a expansão indicativa, nota-se que o limite para essa métrica é violado a partir de maio de 2026, com tendência de crescimento ao longo dos anos.

⁸ Os estudos do Plano Decenal consideram quatro patamares de carga tanto no modelo de decisão de investimentos (MDI) quanto no modelo de operação energética (Newave). Esses patamares têm o objetivo de representar a demanda máxima instantânea além dos tradicionais patamares de carga pesada, média e leve.

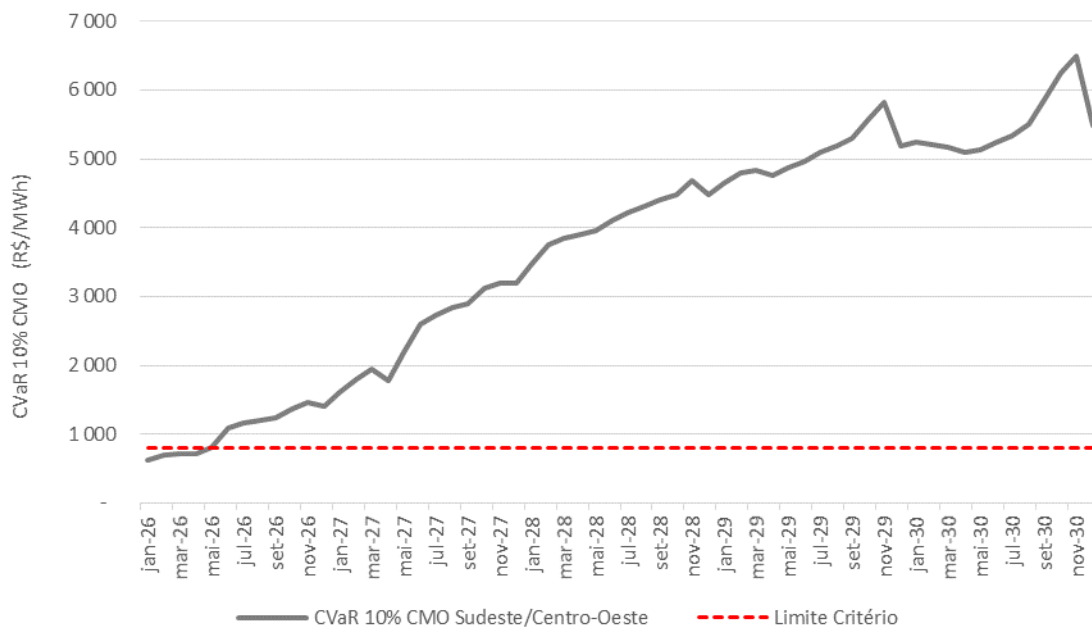


Figura 1 - Avaliação do atendimento ao critério de suprimento de energia: CVaR 10% CMO

Para o cálculo do atendimento do critério CVaR 1% ENS, é utilizada a mesma simulação do modelo Newave, porém é calculada a média do déficit de energia das 240 séries do ano com maiores ENS (1% da amostra de 24.000 valores, considerando as 2.000 séries sintéticas e os 12 meses de cada ano). A Figura 2 apresenta o resultado do atendimento ao critério para o caso base estudado. Os resultados são apresentados em porcentagem da demanda não atendida pelo CVaR 1% ENS, em base anual. Identifica-se que o limite para esse critério, de 5% de demanda do SIN, é violado apenas a partir do ano 2029.

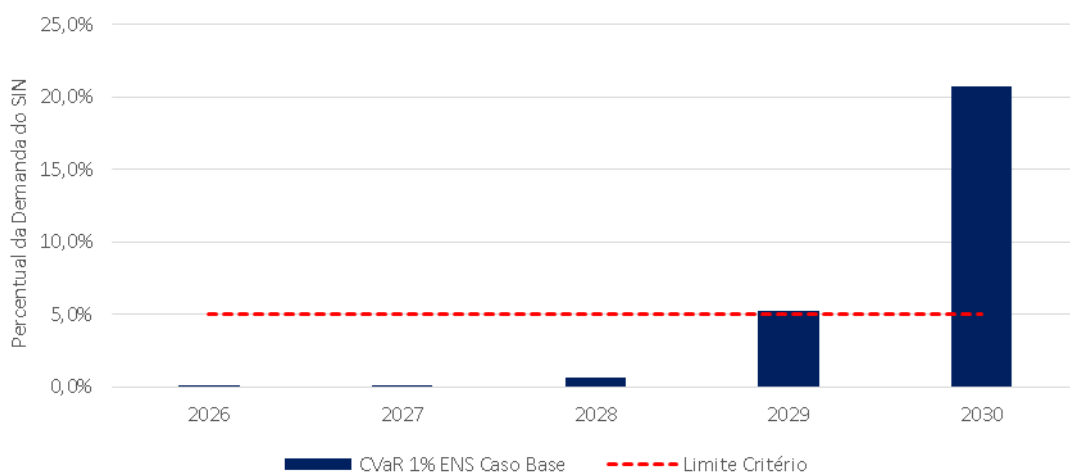


Figura 2 - Avaliação do atendimento ao critério de suprimento de energia: CVaR 1% ENS

Em seguida, é realizada a avaliação do atendimento aos critérios de suprimento na dimensão de capacidade de potência. Para esta avaliação, utiliza-se a ferramenta de

Balanco de Potência⁹, desenvolvida internamente pela EPE, que é acoplada aos resultados da simulação energética realizada com o modelo Newave.

A avaliação do critério LOLP é realizada pela verificação de cenários em que há déficit de potência em cada ano, considerando a simulação das 24.000 séries hidrológicas no ano (2.000 cenários mensais). O critério é considerado violado caso 5% ou mais dos cenários em determinado ano resulte em déficit de potência de qualquer magnitude, ou seja, mais de 1.200 ocorrências de déficit em um ano.

Já o critério CVaR 5% PNS é considerado violado quando a média dos 10% cenários de maiores valores de potência não suprida (PNS) de um mês, é superior a 5% da demanda máxima instantânea do mesmo mês.

A Figura 3 apresenta a avaliação do atendimento aos dois critérios relacionados ao suprimento de potência. Observa-se que, para a configuração inicial do PDE 2030, o primeiro momento de violação do critério de potência, assim como o de energia, ocorre no ano de 2026, e também há a característica crescente da violação ao longo dos anos, o que é esperado dado que não é considerada a oferta indicativa. No entanto, a violação para potência ocorre apenas a partir do segundo semestre.

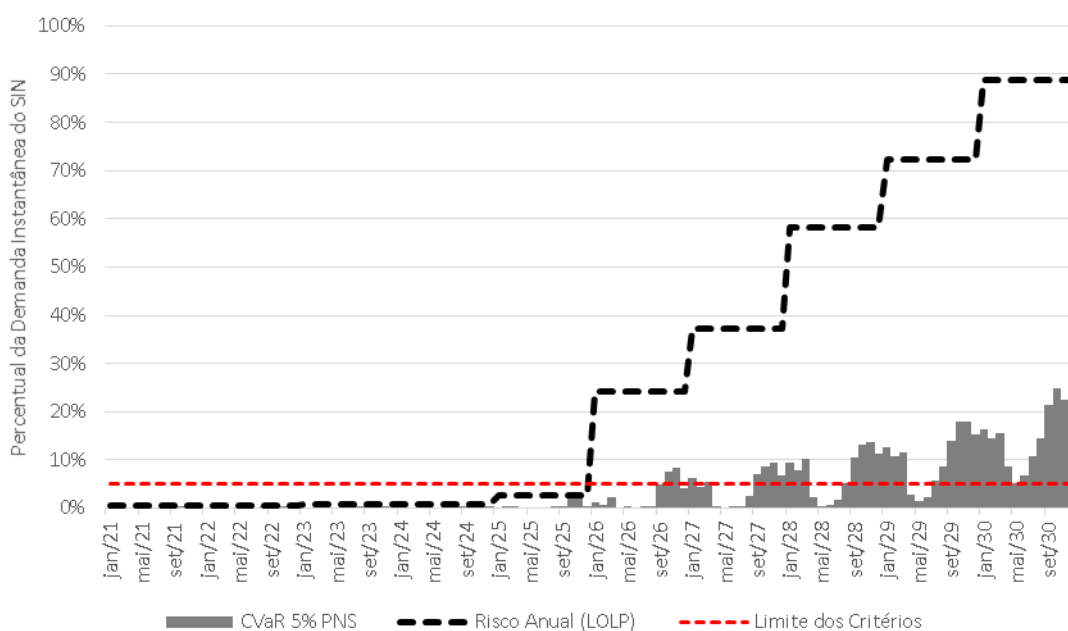


Figura 3 - Avaliação do atendimento aos critérios de suprimento de potência: CVaR 5% PNS [% da Demanda Instantânea] e LOLP

A partir da identificação das violações aos critérios de suprimento, foi elaborada uma metodologia para quantificar quais seriam os requisitos de energia e de capacidade de potência do sistema que eliminem essas violações. Como a metodologia apresentada considera a oferta e demanda de cada região e os limites das interligações de forma

⁹ Conforme metodologia de análise de atendimento à demanda máxima na NT EPE-DEE-NT-037/2021-r0.

integrada, é possível identificar as situações onde o déficit de potência é causado por insuficiência de oferta ou restrições de intercâmbio. Essa identificação é fundamental para embasar as indicações de soluções, apontando situações onde a expansão da transmissão pode contribuir na solução do problema e quando a expansão de oferta se faz mandatória.

Ao analisar as principais variáveis que influenciam o comportamento das métricas utilizadas em cada critério, é possível estimar o montante a adicionar ao sistema para o seu atendimento. Apesar de o cálculo ser feito para cada métrica separadamente, a oferta adicional deve sempre considerar o atendimento às duas simultaneamente para aferir o atendimento do sistema. A Tabela 1 apresenta o resumo das variáveis mapeadas e do método de quantificação para a avaliação da oferta adicional que é necessária para o atendimento aos critérios de suprimento.

Tabela 1– Método de quantificação dos requisitos de energia e de potência

Critério	Métrica	Variáveis que impactam	Método de quantificação
Energia	$CVaR1\%(ENS) \leq 5$ [%Dem] ^(a)	Profundidade do déficit de energia (ENS) nos 1% piores cenários de déficit do ano	Máximo ($CVaR1\%(ENS) - 5$ [%Dem], 0)
	$CVaR10\%(CMO) \leq 800[R\$/MWh]$ ^(b)	Geração termelétrica (GT), Profundidade do déficit de Energia (ENS) e Violação às restrições operativas penalizáveis (VIO) nos 10% piores cenários de CMO de cada mês	Soma ($GT \geq 800$ [R\$/MWh], ENS, VIO) correspondente aos 10% piores cenários de CMO. Após a totalização, é calculada a média desses cenários.
Potência	$CVaR5\%(PNS) \leq 5$ [%Dem] ^(b)	Profundidade do déficit de Potência nos 5% piores cenário de cada mês	Máximo ($CVaR5\%(PNS) - 5$ [%Dem], 0)
	$LOLP \leq 5\%$ ^{(a) (c)}	Profundidade do déficit correspondente aos 5% piores cenários de déficit de potência de cada ano = $Var\ 5\%(PNS)$	$Var\ 5\%(PNS)$

(a) Base anual (b) Base mensal (c) Probabilidade associada à 1,5% mês

A métrica CVaR considera a média dos valores extremos da distribuição considerando os piores cenários da variável que será analisada, onde a média desses piores cenários deve ser inferior ou igual ao limite definido para cada critério. É importante ressaltar que esse limite reflete a percepção do risco diante situações operativas críticas, que precisam ser evitadas para garantia da adequabilidade de atendimento. Nos casos em que a métrica de CVaR envolve a avaliação dos piores cenários de energia não suprida (ENS) ou potência não suprida (PNS), o método de quantificação do requisito do sistema é o montante de energia ou potência, respectivamente, que exceder o limite do CVaR definido como aceitável. Nos critérios utilizados para energia e capacidade, tem-se como limite aceitável 5% da demanda para os piores cenários de energia não suprida e 5% da demanda máxima instantânea para a potência não suprida.

Para o cálculo do requisito de energia nos cenários que violam o critério do CVaR 10% de CMO, as variáveis identificadas que impactam no Custo Marginal de Operação (CMO) estabelecido pelo modelo Newave são: o despacho das termelétricas com CVU superior ao limite do CVaR (nesse caso, de R\$ 800/MWh), o montante de déficit de energia e as

violações às restrições operativas. O somatório desses montantes nos 10% piores cenários de CMO, avaliados em base mensal, indicam a quantidade de energia a ser inserida no sistema para que a violação desse critério seja mitigada. Cabe destacar que as violações às restrições operativas também devem ser consideradas, pois representam situações em que o sistema não dispunha de oferta suficiente para atender a todos os seus requisitos. Para o modelo matemático utilizado, elas impactam no valor da água e, conseqüentemente, no custo marginal de operação, contribuindo assim para a violação do critério.

Quanto à métrica LOLP, que se refere à probabilidade de insuficiência de potência associada às 10h mais críticas de cada mês (equivalente a aproximadamente 1,5% das horas de cada mês), somente é aceita uma probabilidade inferior ou igual a 5% de ocorrências de déficits no ano em análise. Desta forma, considerando a simulação de 2.000 cenários hidrológicos por mês, onde cada um deles é representativo das horas mais críticas, tem-se uma amostra total de 24.000 mil valores anuais. Assim, o limite estabelecido por esse critério permite a ocorrência de déficit de potência em 1.200 cenários simulados (5% do total de 24.000 cenários). Para mitigar a violação do critério de LOLP, a variável que mais impacta para a definição do requisito é o próprio valor de corte de carga que representa o quantil de 5% da distribuição de déficit de potência anual. Dessa forma, caso seja adicionado ao sistema oferta equivalente à profundidade do déficit que resulta neste 5% pior cenário, ou seja, o VaR 5%, o risco de ocorrência de cortes será reduzido ao limite do critério. Assim, esse será o montante mínimo necessário para o atendimento pelo critério de LOLP anual $\leq 5\%$.

Requisito de Energia

A Figura 4 apresenta o requisito de energia calculado conforme método de quantificação apresentado e a discretização temporal das duas métricas de avaliação do atendimento ao critério de energia, em MW médios por mês para o requisito do CVaR 10% CMO e em MW médios por ano para o requisito do CVaR 1% ENS, que é uma métrica avaliada em base anual. Observa-se a marcante sazonalidade presente na avaliação do requisito pelo CVaR 10% do CMO, onde os maiores montantes ocorrem no segundo semestre. É identificada escassez desse requisito, a partir do primeiro semestre de 2026 com valores reduzidos, se elevando ao longo dos anos. Até 2028, o único critério de energia violado, e que, portanto, possui requisito associado, é o CVaR 10% CMO. A partir de 2029, ocorre violação também do critério associado aos déficits de energia (ENS), sendo que a maior violação ocorre no ano de 2030, superando 1.000 MW médios no ano. Para efeito comparativo dos requisitos de energia, que são apresentados em base mensal para CMO e em base anual para os

déficits, os gráficos também mostram, no eixo secundário, a totalização do requisito de energia em GWh. Os valores apresentados indicam que o requisito pelo CVaR 1% ENS supera 10.000 GWh em 2030. No entanto, neste mesmo ano, o maior requisito pelo CVaR 10% CMO ocorre em dezembro, superando 14.000 GWh, o que demonstra que, para o caso apresentado, o requisito pelo CVaR 10% CMO é dominante em relação ao requisito pelo CVaR 1% ENS.

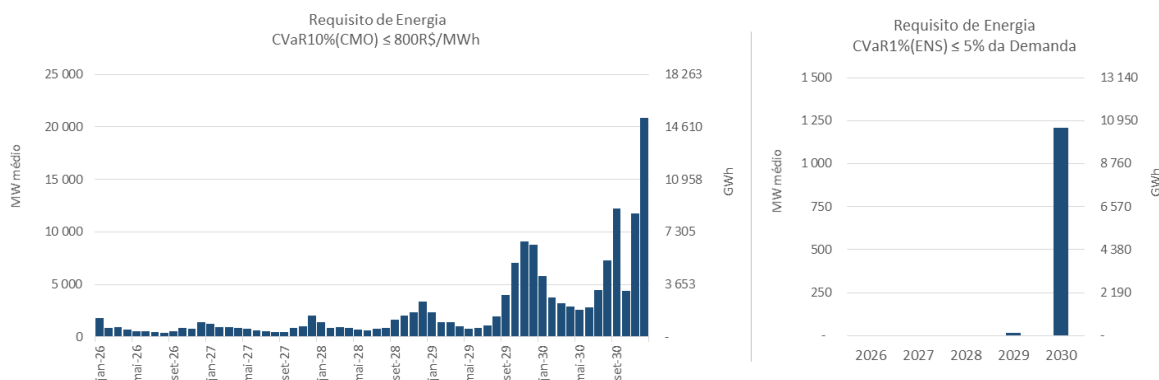


Figura 4 - Requisito de energia calculado para métricas $CVaR1\%(ENS) \leq 5\% \text{ [\% da Demanda]}$ e $CVaR10\%(CMO) \leq 800[R\$/MWh]$

Requisito de Capacidade

Quanto ao requisito de capacidade, a Figura 5 evidencia que os maiores montantes se concentram entre os meses de setembro a março. Como a potência é uma grandeza instantânea, diferentemente da energia que pode ser acumulada no tempo, a comparação entre os requisitos calculados pelas duas métricas pode ser feita de forma direta. A evolução desses montantes demonstra que a necessidade calculada pela LOLP é superior ao valor calculado pelo CVaR 5% PNS durante a maior parte do horizonte de análise. No entanto, destaca-se que este é o requisito de potência total, onde parte pode ser atendido pela contribuição das fontes indicadas para o atendimento ao requisito de energia.

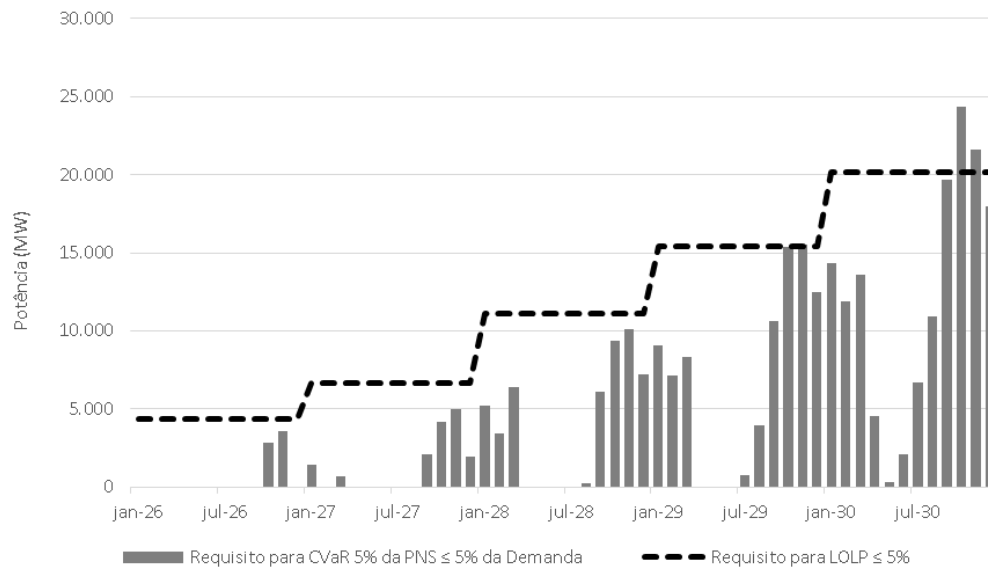


Figura 5 - Requisitos de potência calculados para métricas $CVaR5\%(PNS) \leq 5 [\%Dem]$ e $LOLP \leq 5\%$

Cabe lembrar que esses são os resultados do PDE 2030, uma fotografia do momento de sua elaboração, e apresentados nesta Nota Técnica de forma a facilitar o entendimento da proposta.

3 DETALHAMENTO DOS REQUISITOS

A proposta inicial de quantificação dos requisitos de energia e capacidade apresentada pelo PDE 2030 se mostrou aderente à expansão indicada pela otimização econômica, realizada pelo Modelo de Decisão de Investimentos (MDI), além de atender aos critérios de suprimento. No entanto, o presente trabalho apresenta refinamentos adicionais relacionados à metodologia publicada, objetivando analisar em maior detalhe os aspectos relacionados à carga, como também a variabilidade sazonal e a granularidade temporal dos requisitos. Também foi avaliada a consistência temporal dos requisitos quantificados, de modo a garantir o acoplamento entre os horizontes de estudo. Além disso, é apresentada análise qualitativa do aspecto locacional do requisito.

3.1 Requisitos Relacionados a Carga de Eletricidade

As características da carga do sistema elétrico formam importante conjunto de informações e parâmetros para a quantificação dos requisitos sistêmicos. Dessa forma, à medida que a metodologia de quantificação dos requisitos do sistema evolui, novas avaliações em relação ao perfil atual e futuro da carga de energia elétrica tornam-se necessárias.

Na avaliação proposta a seguir, os principais objetivos são:

- Avaliar as características da carga que devem ser consideradas para a quantificação dos requisitos, considerando o histórico observado e a carga horária projetada pela EPE para o horizonte decenal (EPE, 2020);
- Propor possíveis aprimoramentos para a consideração desses parâmetros nas avaliações de planejamento, em especial, na metodologia de quantificação de requisitos de geração do sistema.

Para reavaliar o comportamento da carga do SIN foram utilizados três conjuntos de dados: dados horários de carga observados entre janeiro de 2012 e dezembro de 2017¹⁰, dados horários de carga observados entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019¹¹ e dados horários de carga projetados para o horizonte do PDE 2030, entre janeiro de 2021 e dezembro de 2030.

¹⁰ Período de dados horários de carga observados que foram utilizados pela CPAMP no trabalho de redefinição dos patamares de carga (Consulta Pública MME nº 51/2018).

¹¹ Período de dados horários de carga observados que foram obtidos através da página do ONS (<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>). Optou-se por não considerar os dados de 2020 em virtude dos efeitos da crise Covid-19.

Importante destacar que, para ambos os grupos de dados, históricos ou projetados, não foram avaliadas mudanças de bens e usos ou efeitos de temperatura, ou seja, as variações de carga decorrentes dessas alterações não foram expurgadas e estão representadas na amostra utilizada.

Em relação às distribuições de dados históricos por submercado, em uma visão geral da amostra, é possível observar diferenças em termos de forma, dadas as especificidades de cada região. Na Figura 6, que apresenta os gráficos de *boxplots* mensais da carga horária de cada submercado (em pu com base na carga média mensal para cada ano entre 2012 e 2017) observa-se que, enquanto a carga do Sul (cor verde na Figura 6) apresenta maior variabilidade intra mensal da carga, devido à maior variação de temperaturas, no Norte (cor salmão) observa-se baixa variabilidade, principalmente em função da representatividade da demanda industrial no total da região.

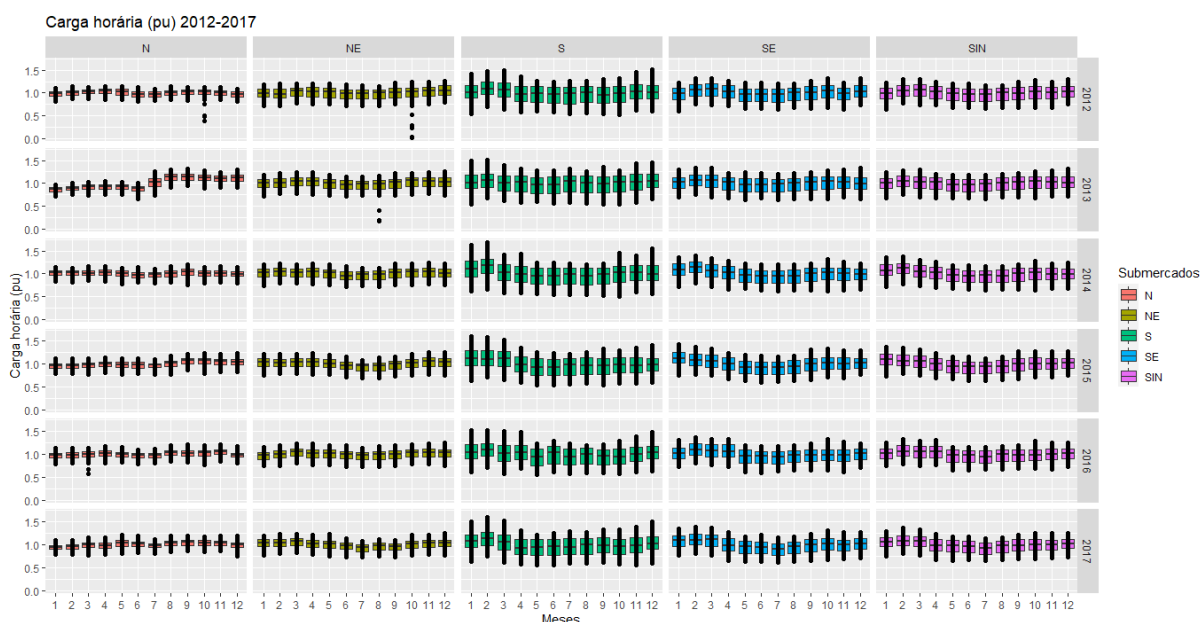


Figura 6 - Distribuições mensais dos valores de carga horária em pu em relação à média mensal

Em relação à carga horária máxima de cada mês (também chamada de intensidade de ponta de carga), observa-se que os maiores valores ocorrem nos meses de temperatura típica mais elevada. Na Tabela 2, que apresenta as cargas horárias máximas mensais do SIN em relação à máxima do ano (em pu), é possível observar a variação de intensidade de ponta dos meses quentes em relação aos meses de temperaturas típicas mais frias.

Tabela 2 – Cargas horárias máximas mensais em relação à carga horária máxima anual (em pu)

Ano	Submercado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	SIN	0.94	1.00	0.99	0.96	0.92	0.92	0.90	0.89	0.95	0.99	0.95	1.00
2013	SIN	0.94	0.98	0.98	0.92	0.90	0.90	0.90	0.91	0.92	0.95	0.97	1.00
2014	SIN	0.98	1.00	0.94	0.92	0.86	0.86	0.85	0.85	0.87	0.93	0.89	0.91
2015	SIN	1.00	0.98	0.95	0.90	0.84	0.84	0.82	0.84	0.93	0.93	0.92	0.93
2016	SIN	0.95	1.00	0.97	0.99	0.88	0.87	0.86	0.88	0.89	0.97	0.95	0.95
2017	SIN	0.95	1.00	0.98	0.91	0.86	0.86	0.83	0.85	0.89	0.92	0.92	0.93
Média	SIN	0.96	0.99	0.97	0.93	0.88	0.87	0.86	0.87	0.91	0.95	0.93	0.95

Essa informação de intensidade de ponta típica é um importante aspecto a ser avaliado em conjunto com as condições e cenários de oferta de geração do sistema, pois podem levar à identificação dos momentos de maior requisito (escassez) para o sistema.

A avaliação de intensidade de ponta apresentada acima, utilizando como referência o histórico, também foi realizada para os dados de carga horária projetados para o horizonte decenal do PDE 2030. Na Figura 7 observa-se a intensidade de ponta da carga horária projetada bruta (nas colunas da figura) e da carga projetada líquida (nas linhas do gráfico), que considera o abatimento horário coincidente de micro e mini geração distribuída (MMGD¹², para o cenário verão do PDE 2030), a partir de dados simulados. Ao considerarmos a MMGD, especialmente a fotovoltaica, a máxima carga instantânea diária pode ser mantida ou deslocada na carga líquida, a depender do horário em que a mesma ocorre (verão ou inverno). Por outro lado, como a geração distribuída reduz a carga média diária (energia), a relação da intensidade da ponta com a carga média se altera para todos os meses observados. Cabe ressaltar que, como a projeção de carga é construída a partir dos dados históricos, observa-se que a carga horária máxima também possui maior intensidade nos meses de temperatura mais elevada.

¹² Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

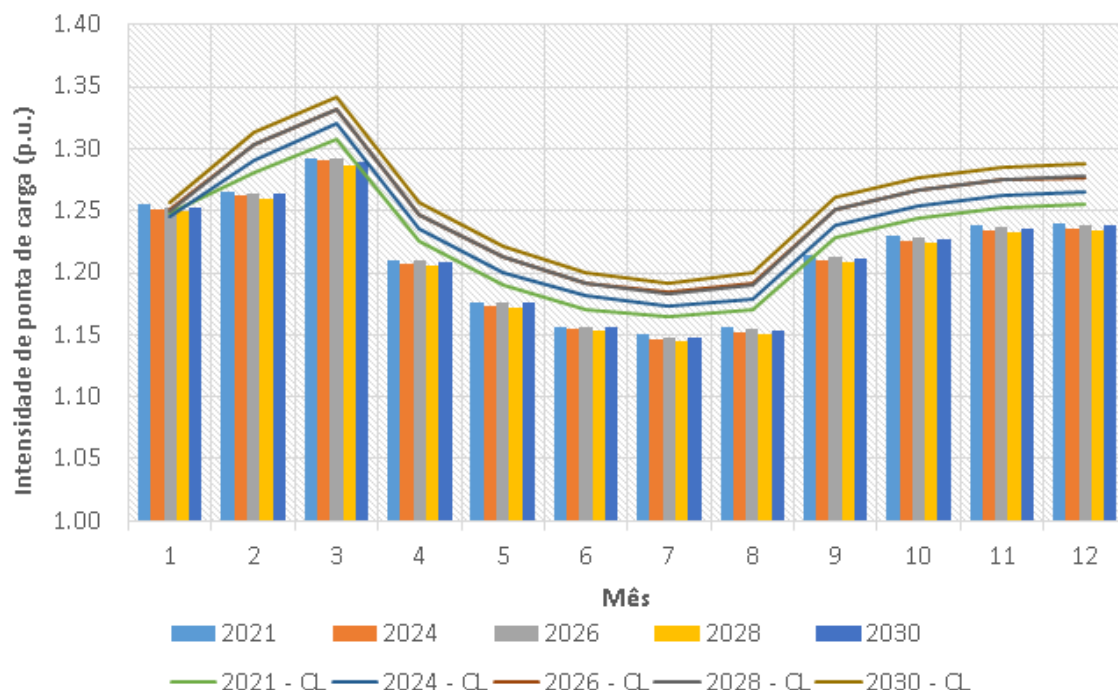


Figura 7 - Intensidade da ponta dos dados projetados para o segundo quinquênio do PDE 2030 considerando a carga bruta e a carga líquida (CL) (pu em relação à carga horária média de cada mês)

Outra importante característica avaliada em relação aos dados horários de carga é a duração mensal a ser considerada para os períodos de carga máxima do sistema. Como atualmente utiliza-se a modelagem da carga de energia elétrica em patamares para execução dos estudos de médio/longo prazo de otimização da operação do SIN, dadas as simplificações da modelagem energética em função do porte do sistema elétrico brasileiro, com o objetivo de melhorar essa representação da carga, os estudos do PDE utilizam quatro patamares, acrescentando a representação explícita da ponta aos outros três níveis tradicionalmente utilizados¹³. Dessa forma, a duração a ser considerada para este patamar de ponta do sistema é importante dado de entrada para as avaliações de planejamento da expansão e operação do sistema.

Para avaliação dessa duração de carga de ponta foram avaliadas três faixas de intensidade de carga horária como premissa de faixa para a carga máxima, conforme exemplificado na Figura 8, onde foi utilizada uma curva de carga hipotética para um determinado mês:

- Duração equivalente a 2% da demanda máxima: Patamar de ponta considerando número de horas onde a carga horária apresenta valores entre a carga horária máxima e valores maiores do que 98% da intensidade da carga horária máxima;

¹³ Atualmente, utiliza-se uma duração de 10h para o patamar de ponta, abatidas da duração do patamar de carga pesada considerado na modelagem do Programa Mensal da Operação (PMO).

- Duração equivalente a 3% da demanda máxima: Patamar de ponta considerando número de horas onde a carga horária apresenta valores entre a carga horária máxima e valores maiores do que 97% da intensidade da carga horária máxima;
- Duração equivalente a 5% da demanda máxima: Patamar de ponta considerando número de horas onde a carga horária apresenta valores entre a carga horária máxima e valores maiores do que 95% da intensidade da carga horária máxima.

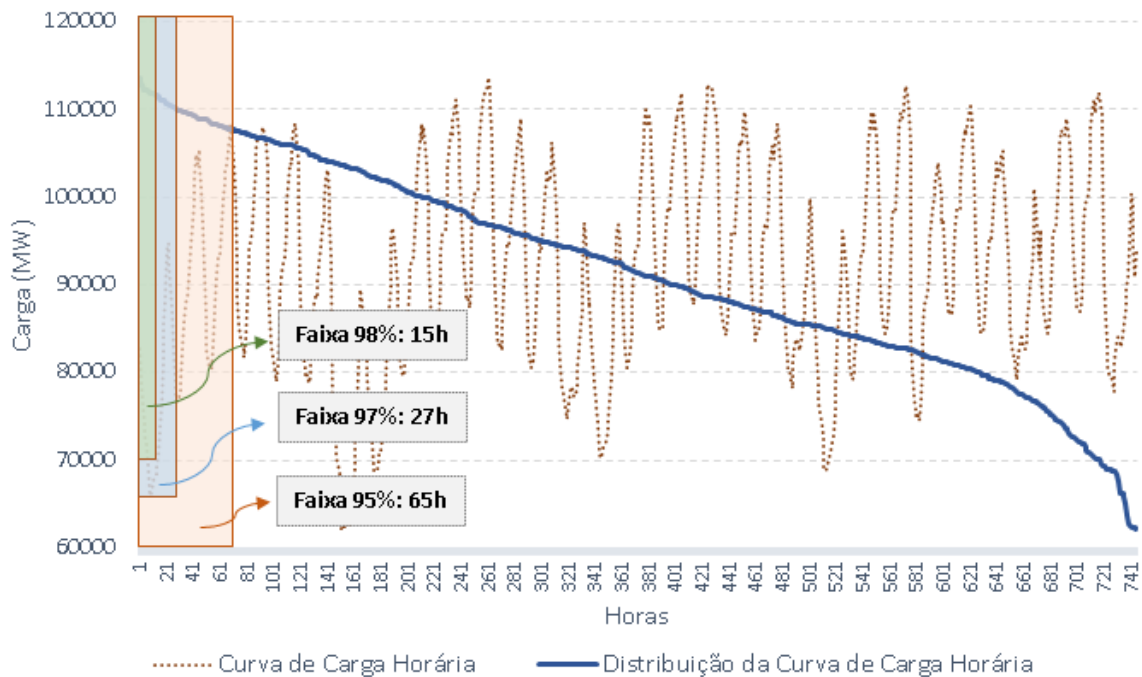


Figura 8 - Exemplo de aplicação das faixas de intensidade e suas durações associadas

Considerando essas faixas de intensidade para representar a duração da demanda de ponta do sistema, foram avaliadas as durações observadas no histórico e na carga projetada, tanto para carga bruta, como líquida. Para os dados históricos, considerando a evolução de bens e usos da carga, optou-se por avaliar em detalhe o conjunto com os dois anos mais recentes da amostra, 2018 e 2019. Na Figura 9, apresentam-se as médias de duração encontradas para cada faixa de ponta. Como esperado, quanto maior a faixa de valores de carga considerados como ponta, maior a média de horas observadas.

MÉDIA DAS HORAS - 2018 E 2019

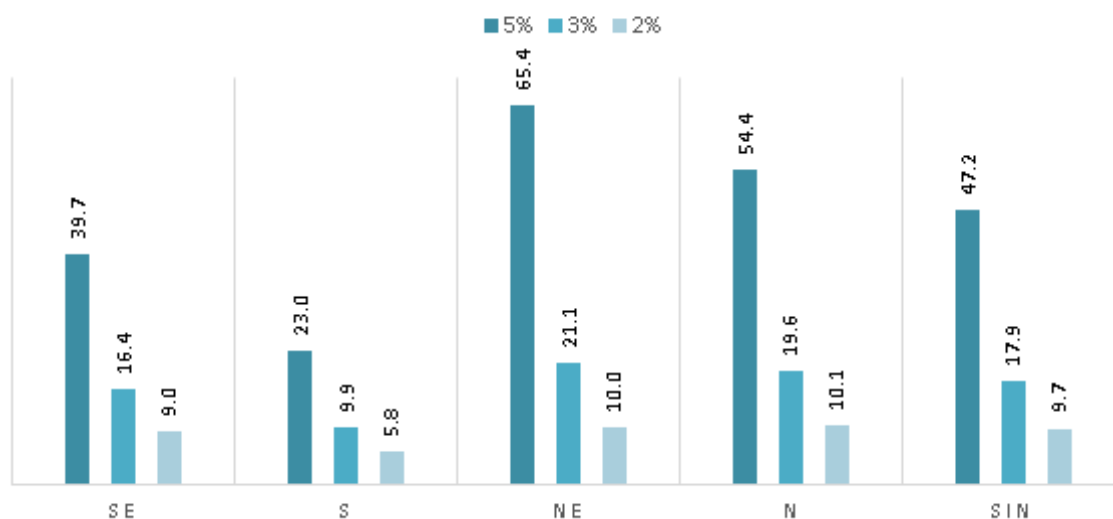


Figura 9 - Médias anuais de duração de ponta de cada submercado e SIN para faixas de intensidade de ponta pré-selecionadas (2%, 3% e 5%)

Como a carga projetada é construída a partir dos dados históricos, resultados semelhantes foram observados para essa amostra. Na Figura 10, são apresentados os gráficos em radar das durações para as faixas de ponta indicadas, em horas. Nas tabelas de cada gráfico encontram-se as médias anuais das durações mensais de ponta para os dados de carga bruta e líquida projetados.

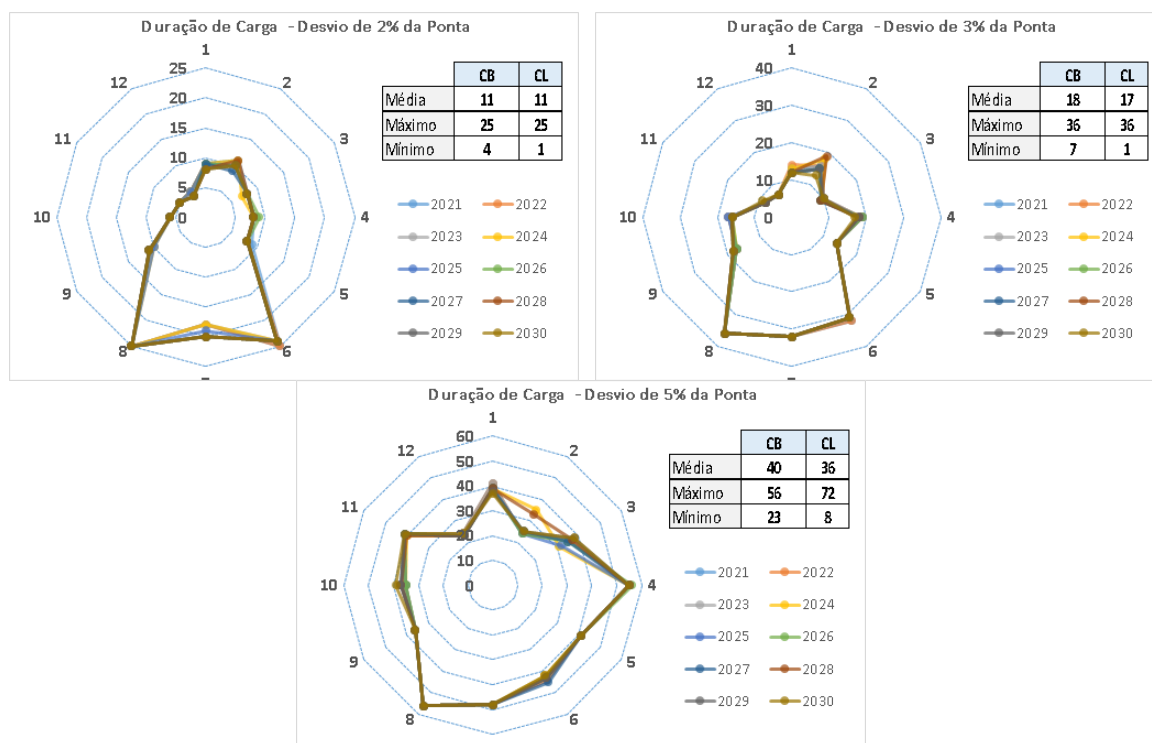


Figura 10 - Durações mensais e médias anuais de ponta na amostra de carga horária projetada para o PDE 2030 (em horas), considerando as faixas de ponta de 2%, 3% e 5%.

Analizadas as características principais das amostras de carga, a etapa seguinte da avaliação consiste na aplicação das informações observadas na metodologia de quantificação de requisitos proposta. Dessa forma, foram realizadas simulações com o modelo Newave e a ferramenta de Balanço de Potência¹⁴ considerando os valores máximos de carga de cada mês e quatro possibilidades de duração do patamar de ponta: 8h/mês, 10h/mês, 12h/mês e 50h/mês.

Essas durações foram selecionadas considerando as durações observadas para as faixas de intensidade apresentadas nas figuras anteriores, onde verificou-se que as faixas 2% e 3% não possuem variação significativa no número de horas, enquanto que a de 5% apresenta uma duração até 5 vezes maior que as anteriores. Nesse sentido, optou-se por avaliar três durações próximas as observadas na faixa 2% (8h, 10h e 12h) e uma semelhante à verificada na faixa de 5% (50h).

A Figura 11 apresenta os resultados de requisitos de potência para as 4 possibilidades consideradas. Para os casos com 8h, 10h e 12h mensais observam-se resultados próximos, com diferenças que variam entre os anos do segundo quinquênio do horizonte. De forma geral, conclui-se que as mudanças decorrentes da diferença de 2h para mais ou para menos em relação às 10h atualmente utilizadas nos estudos de Plano Decenal tendem a ser menores que as variações devido à precisão e sensibilidade dos modelos atualmente utilizados. Dessa forma, pode-se dizer que o uso das três durações é indiferente, pois apresentam resultados equivalentes para os propósitos da metodologia.

Já para o caso com duração de ponta de 50h, observa-se alteração relevante nos requisitos de potência do sistema. Contudo, para uma duração elevada como essa, a avaliação deixa de ser caracterizada como potência (atendimento instantâneo) e torna-se uma avaliação de energia (atendimento acumulado, considerando um valor de demanda médio no intervalo), visto que, dessa forma, aumenta-se a energia a ser alocada nesse bloco. Além disso, a necessária adequação do valor de demanda para um patamar de maior duração afasta a formulação do seu propósito específico, que é a avaliação do sistema no seu momento de maior requisito

¹⁴ Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ferramenta-de-balanco-de-potencia>

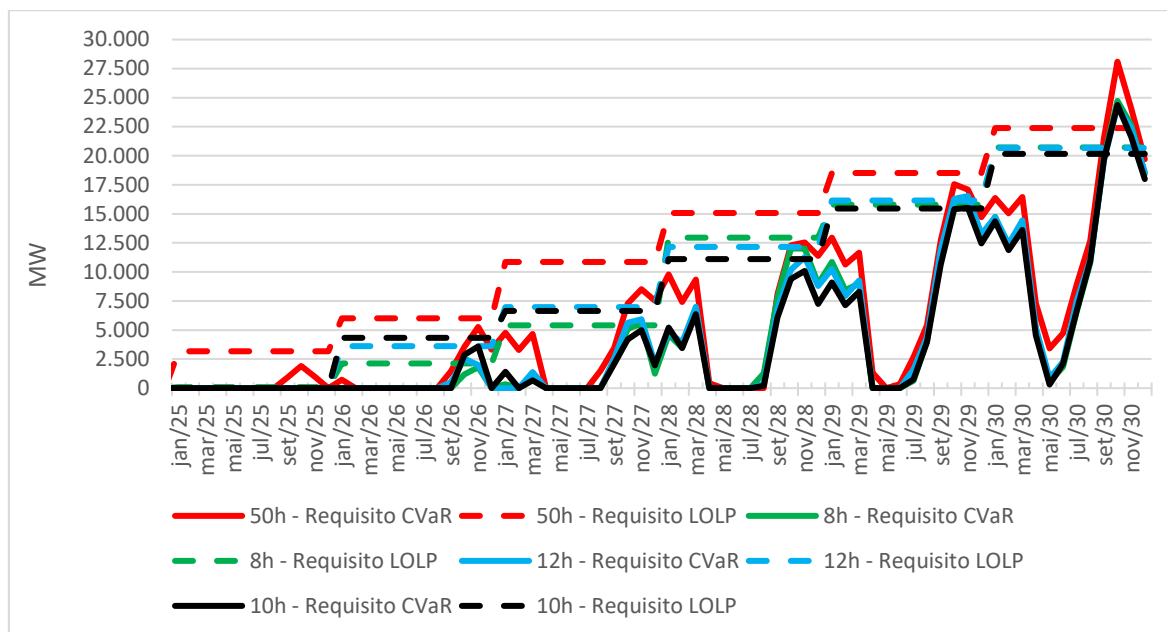


Figura 11 - Requisitos de potência para diferentes alternativas de duração de ponta

Para complementar a avaliação das durações de ponta em relação à carga do sistema, avalia-se a permanência dos valores mensais horários de carga considerando ambas as representações de ponta: de 10h (faixa de ponta de 2%), escolhida por representar o valor central entre 8h e 12h, dada a indiferença de resultados entre essas durações, e de 50h (faixa de ponta de 5%) para o SIN nos valores do mês de novembro de 2019. O mês de novembro foi escolhido em virtude da criticidade observada nos resultados de requisito de potência, no entanto, foi verificado comportamento semelhante na análise de outros meses. Tais representações encontram-se, respectivamente, na Figura 12 e na Figura 13.

A comparação dessas figuras evidencia que a duração de ponta considerando a faixa de intensidade de 2% representa número de horas reduzido em relação a permanência mensal da carga e abrange valores muito próximos da carga máxima do mês. Dessa forma, considerar a carga máxima projetada para o mês em questão como o valor representativo desse patamar de ponta não traz prejuízos por essa aproximação. Já para a duração de ponta de 50h, considerando faixa de intensidade de 5%, observa-se que mais horas da permanência seriam consideradas como ponta e, utilizar o valor de carga máxima do mês, importante para indicar o requisito de potência do sistema, pode ser uma aproximação grosseira dos valores de carga contidos nesse patamar, o que resultaria no sobredimensionamento do requisito. Além disso, como explicado anteriormente, com o aumento das horas consideradas nesse patamar, passa-se a representar um requisito energético ao sistema, quando a intenção é a representação do requisito de potência.

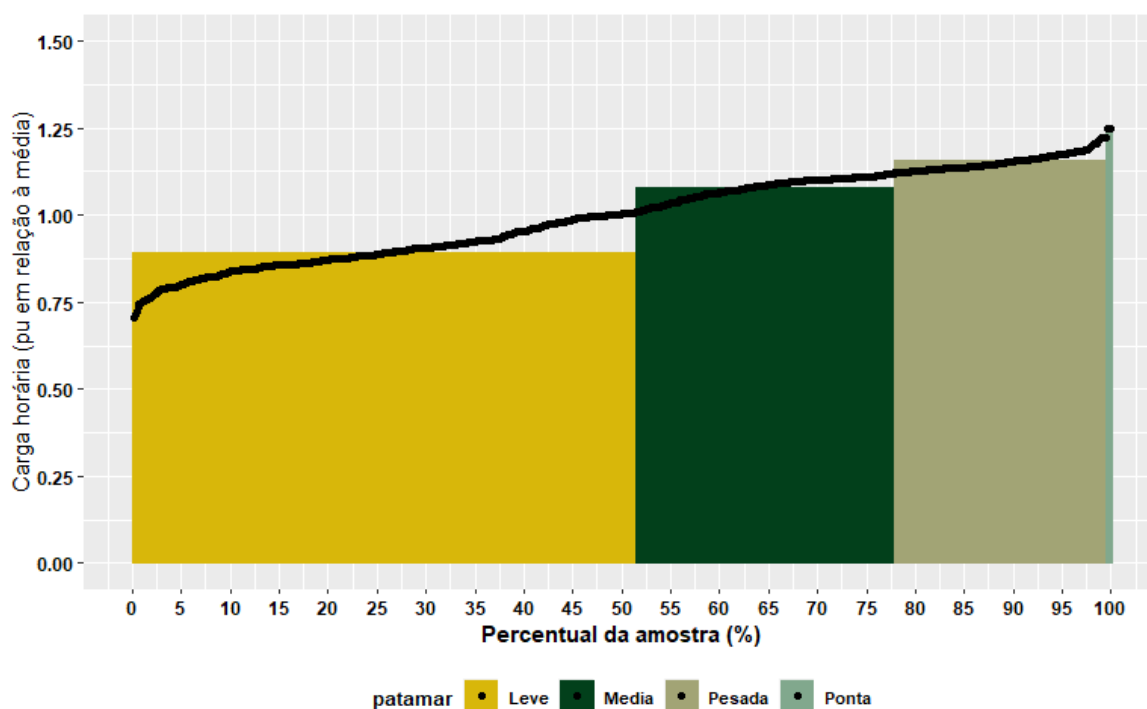


Figura 12 - Permanência da carga horária de nov/19 e representação dos patamares de carga (Leve, Média, Pesada e Ponta 2%)

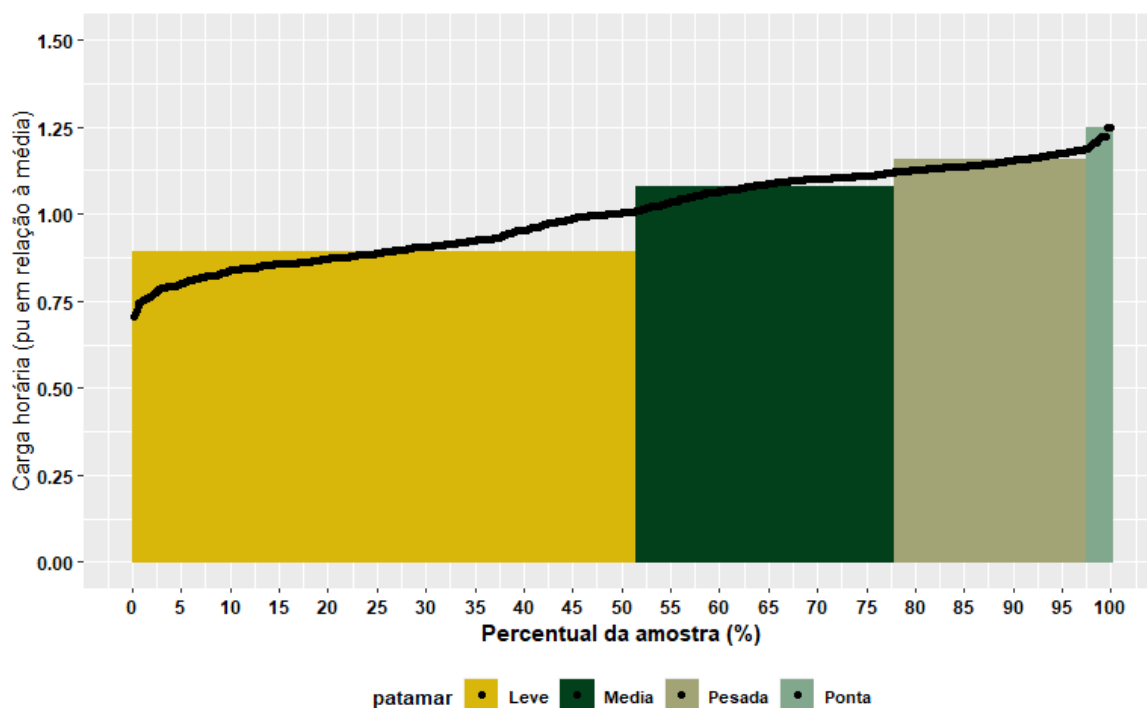


Figura 13 - Permanência da carga horária de nov/19 e representação dos patamares de carga (Leve, Média, Pesada e Ponta 5%)

Dessa forma, considerando a análise dos dados históricos e projetados e visando preservar o mínimo impacto na caracterização do requisito energético provida pela representação dos outros patamares de carga, entende-se que:

- Diante da observação dos dados de carga históricos (2012-2019), dos dados projetados para o PDE 2030 e os resultados das sensibilidades com o Newave e a ferramenta de Balanço de Potência, a melhor decisão é utilizar a duração de 10h e a intensidade (carga máxima instantânea do SIN) conforme consideração atual, utilizada na metodologia de requisitos proposta e apresentada no PDE 2030;
- No entanto, a melhor representação da carga nos modelos (em termos energéticos e de potência) deve ser continuamente reavaliada e aprimorada, com o intuito de atingir a meta de representação horária e cronológica;
- Enquanto a representação horária e cronológica não é viável para o horizonte de planejamento, uma alternativa transitória seria a discussão para inclusão de mais patamares de carga nos estudos de médio e longo prazo¹⁵, buscando não só representar o requisito de potência, mas também melhor detalhamento do requisito de energia.

3.2 Aspecto Temporal

Um dos fatores que balizaram a necessidade de detalhamento dos requisitos do sistema, em relação à base da metodologia apresentada no PDE 2030 e no capítulo 2 desta Nota Técnica, é justamente a definição do aspecto temporal dos lastros de produção e de capacidade. A partir da avaliação do perfil sazonal e da granularidade temporal que mais se adeque a cada requisito, é possível avaliar, por exemplo, se faria sentido propor o lastro de produção em base anual, tal como ocorre com a Garantia Física atualmente, e com qual discretização temporal o lastro de capacidade deve ser criado.

3.2.1 Sazonalidade

Para a avaliação do perfil de entrega dos produtos de energia e capacidade que melhor se adeque às necessidades do sistema, é necessário antes avaliar a sazonalidade dos requisitos.

A sazonalidade do requisito de energia pode ser definida diretamente da variação mensal do requisito obtido a partir do CVaR 10% CMO, que já é calculado em base mensal e se apresenta dominante em relação ao requisito do CVaR 1% ENS, definido em base anual, conforme destacado na Figura 4. Cabe ressaltar, também, que os momentos de maior

¹⁵ Recomendação também avaliada no ciclo CPAMP 2017/2018 e apresentada na Consulta Pública MME nº 51/2018.

ocorrência de energia não suprida tendem a resultar em maior CMO, fazendo com que a sazonalidade das duas métricas seja similar. Dessa forma, o CVaR do CMO se mostra como a métrica adequada para avaliação da sazonalidade do requisito de energia.

A análise de capacidade, por outro lado, apresenta o requisito para LOLP, que é definida em base anual, superior ao calculado em base mensal para o CVaR 5% PNS, conforme Figura 5. Além disso, o momento de maior probabilidade de déficit (que impacta na LOLP) não necessariamente será o momento de maior profundidade do déficit de potência (que impacta na PNS). Portanto, para identificar aspectos sazonais do requisito de capacidade englobando os dois critérios, é necessário realizar análise complementar, que será detalhada a seguir.

A metodologia proposta para detalhamento da sazonalidade do requisito LOLP parte do requisito anual, apresentado no capítulo 2 deste documento, e prossegue com a avaliação da probabilidade mensal de ocorrência de déficit de potência. A análise da sazonalidade da LOLP, neste contexto, servirá não só para avaliar se os meses de maior profundidade de déficit coincidem com os meses de maior probabilidade, como também servirá de importante balizador para sinalizar ajustes necessários na expansão indicativa para melhor atendimento ao requisito LOLP anual. Cabe reforçar, entretanto, que o objetivo dessa avaliação é a melhor alocação temporal dos recursos necessários para o atendimento aos critérios de suprimento, que possuem as discretizações temporais apresentadas no Relatório Final dos Critérios de Garantia de Suprimento (MME, 2020), assim como o embasamento e motivações para elas.

Para ilustrar melhor a metodologia proposta, a Figura 14 apresenta o valor de corte de carga correspondente ao quantil de 5% da distribuição mensal em cada mês do ano de 2026, para o caso base do PDE 2030. Considerando a amostra de 24.000 cenários de déficit simulados em um ano, o VaR 5% anual é igual a 4.326 MW. No entanto, ao avaliar a mesma métrica para 2.000 cenários de cada mês, percebe-se que o VaR 5% nos meses de outubro e novembro excede o valor anual.

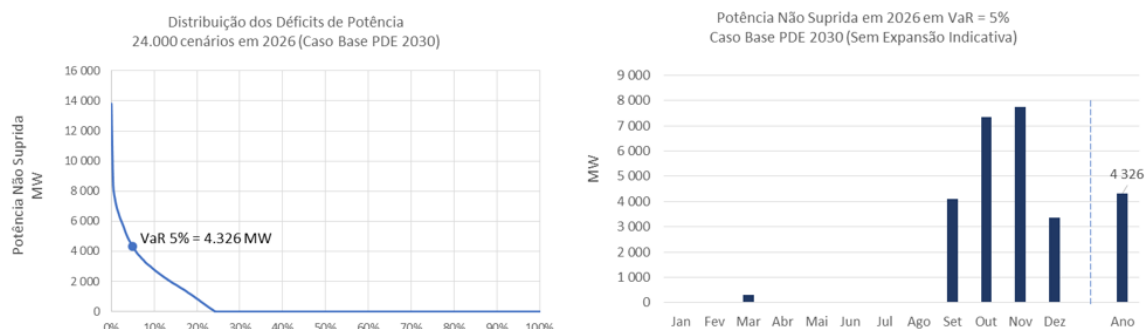


Figura 14 - Distribuição de probabilidade de Potência Não Suprida em 2026 e quantil de 5% referente ao corte de carga no ano

Considerando a proposta de sazonalização do requisito da LOLP pelo VaR 5% mensal, teremos o resultado de indicação pela LOLP conforme apresentado na Tabela 3, para o ano de 2026 do caso base do PDE 2030.

Tabela 3 – Indicação pelo requisito LOLP considerando o VaR 5% mensal no ano de 2026

Indicação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Var 5% Mensal	0	0	316	0	0	0	0	0	4 092	7 338	7 744	3 365

Destaca-se que, se por um lado essa indicação representa a necessidade de capacidade maior nos meses de outubro e novembro em relação ao que seria o requisito calculado pelo Var 5% anual, por outro lado, essa diferença se concentra exatamente nos meses de maior ocorrência de déficit, o que é benéfico do ponto de vista de segurança do sistema. Em outras palavras, a alocação dos recursos será maior nos momentos de maior necessidade, trazendo maior eficiência alocativa para a expansão. Desta forma, a Figura 15 apresenta o cálculo do requisito de capacidade em 2026 após a inclusão da expansão indicativa apresentada na Tabela 3.

Destaca-se que os resultados apresentados a seguir são os obtidos considerando apenas a simulação na ferramenta do Balanço de Potência (EPE, 2020), isto é, sem executar nova simulação da operação com o modelo Newave, a qual será realizada em etapa posterior. Com a eliminação dos déficits para níveis de risco de 5% em todos os meses de 2026, com montante de oferta indicada superior ao necessário para o atendimento ao critério LOLP anual $\leq 5\%$, o risco de déficit de potência em 2026, nesse caso, atingiu o nível de 2%. Esse resultado evidencia a diferença de resultado caso fosse adotado apenas o requisito anual de 4.326 MW para o atendimento ao critério LOLP em todos os meses do ano. Como a distribuição de probabilidade dos déficits é diferenciada entre os meses, incrementos de capacidade nos meses de maior probabilidade podem afetar o requisito LOLP anual em maior proporção do que aplicar o mesmo requisito anual em todos os meses do ano, onde há muitos meses com baixa probabilidade de ocorrência de déficit.

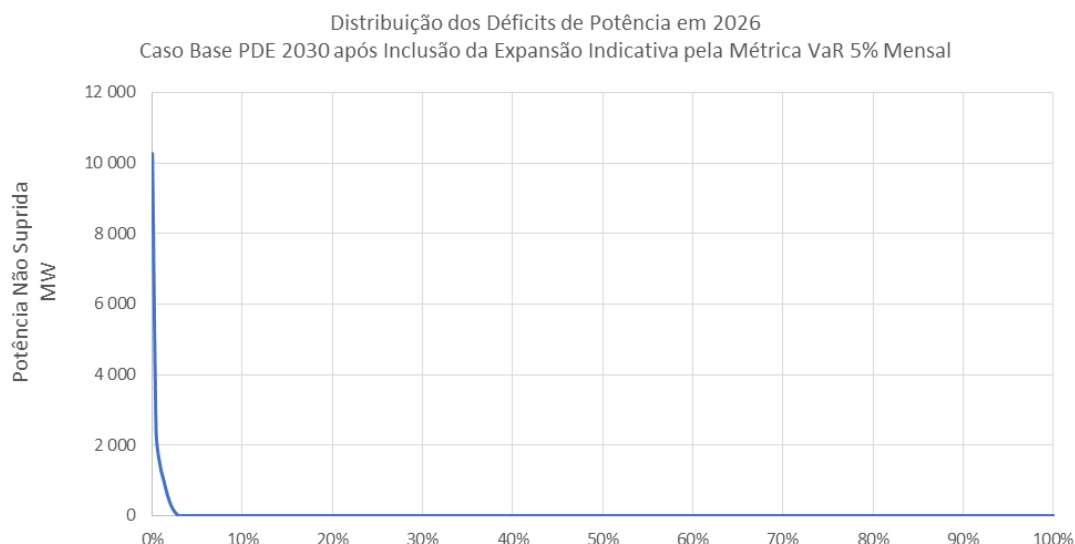


Figura 15 - Distribuição dos 24.000 cenários de Potência Não Suprida em 2026 do PDE 2030 (após indicação de capacidade adicional pela métrica VaR 5% Mensal)

Portanto, para melhor ajuste ao critério anual, foram realizadas etapas posteriores buscando reduzir o montante mensal indicado de capacidade adicional, de modo a atender ao requisito LOLP anual. A primeira etapa consiste em limitar a indicação mensal ao próprio VaR 5% anual, ou seja, 4.326 MW. Essa limitação levaria a situação contrária à indicação apresentada na Figura 15, pois ainda assim seria necessário um montante de indicação adicional para atender à LOLP anual, pois o VaR 5% no ano para a etapa 1 ainda apresenta déficit. Desta forma, na etapa 2, é adicionada capacidade suficiente para atender ao requisito LOLP 5%, nos meses de maior probabilidade de déficit, através de um processo iterativo até que o requisito seja atendido.

A Figura 16 ilustra as etapas 1 e 2 realizadas após simulação do balanço de potência e os déficits apresentados, para melhor visualização do efeito das etapas de inclusão da oferta indicativa de capacidade para o atendimento ao critério LOLP = 5%, onde espera-se que, para atender a esse critério, não ocorra déficit para o nível de risco de 5%, ou seja, o VaR 5%. Os montantes de indicação para o atendimento ao critério LOLP, em cada etapa, são apresentados da Tabela 4. Observa-se na etapa 2 que a inclusão de aproximadamente 1.000 MW de capacidade adicional nos meses de outubro e novembro seriam suficientes para atender ao requisito LOLP anual de 5%. No entanto, para avaliar se os montantes calculados atendem aos critérios, é necessário realizar uma nova simulação da operação com o modelo Newave, incluindo a capacidade adicional calculada antes da rodada do balanço de potência.

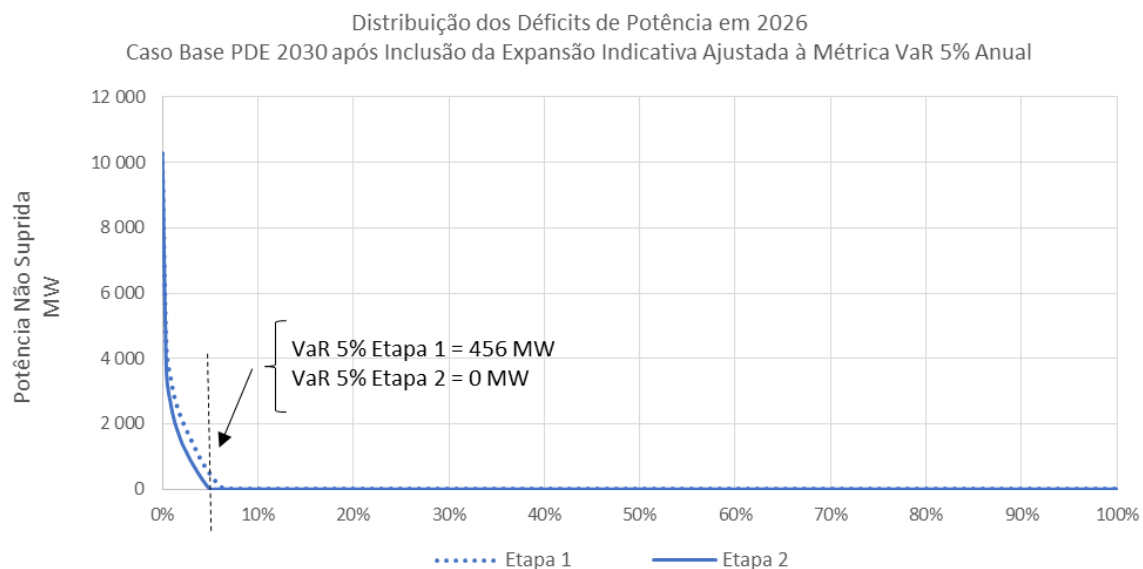


Figura 16 - Quantil de 5% referentes aos piores cenários de Potência Não Suprida em 2026 (após indicação em 2 etapas pela métrica VaR 5% mensal, evitando exceder o requisito LOLP anual)

Tabela 4 – Indicação pelo requisito LOLP considerando o VaR 5% mensal no ano de 2026, ajustado ao requisito LOLP anual

	Indicação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Etapa 1	Var 5% Mensal (Limitado ao Anual)	0	0	316	0	0	0	0	0	4 092	4 326	4 326	3 365
Etapa 2	Adicional para atender LOLP anual	0	0	316	0	0	0	0	0	4 092	5 274	5 274	3 365

Assim, foram definidos dois métodos de cálculo do requisito mensal de capacidade englobando os critérios de suprimento de potência:

Método 1: Máximo entre o Requisito LOLP mensal e o Requisito CVaR 5% PNS mensal.

A Figura 17 a seguir ilustra os valores obtidos conforme aplicação do cálculo dos requisitos mensais.

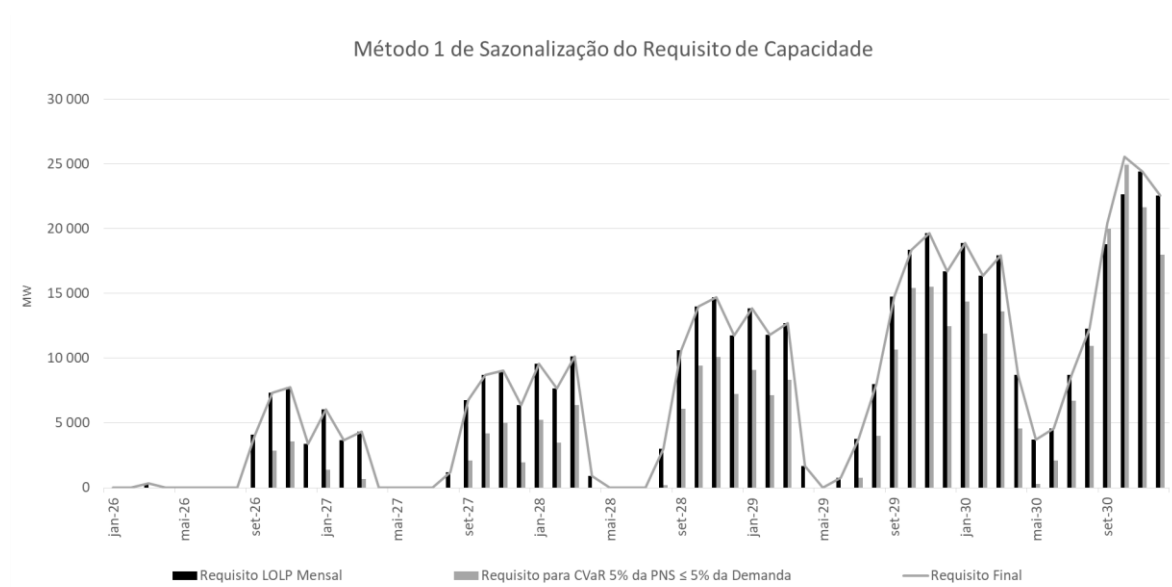


Figura 17 – Requisito mensal de capacidade do Caso Base do PDE2030, aplicando o método 1 de sazonalização dos requisitos LOLP e CVaR

Método 2: realizado em 2 etapas, onde:

- Etapa 1: Máximo entre o Requisito LOLP mensal e o Requisito CVaR 5% PNS mensal, onde o requisito LOLP mensal é limitado ao requisito LOLP anual.
- Etapa 2: Ajuste final do requisito através de inclusão de capacidade adicional nos meses de maior probabilidade de déficit, até que se atenda à LOLP anual.

A Figura 18 ilustra as duas etapas de cálculo realizadas para a sazonalização dos requisitos.

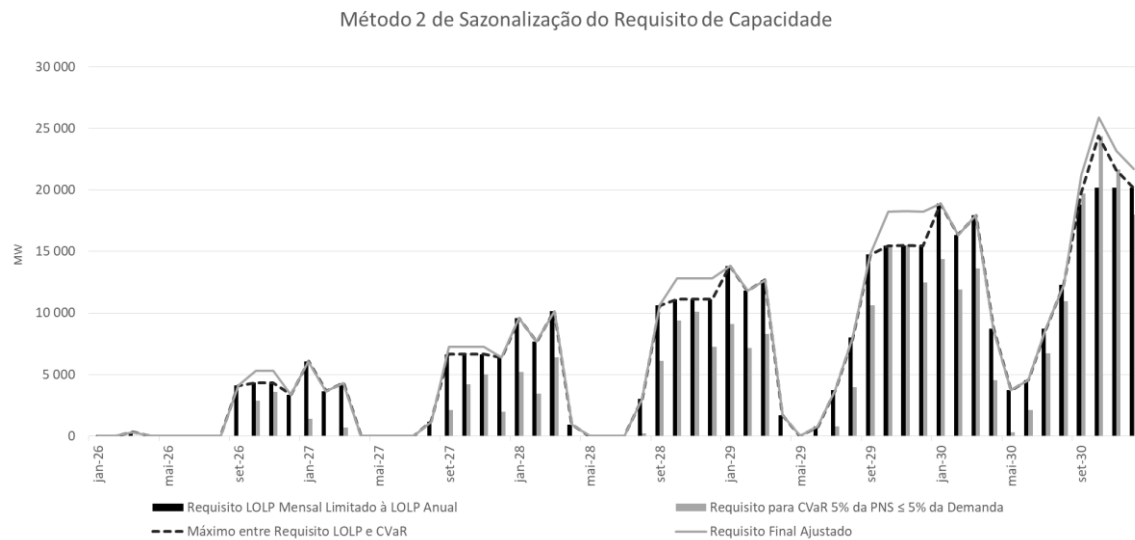


Figura 18 - Requisito mensal de capacidade do Caso Base do PDE 2030, aplicando o método 2 de sazonalização dos requisitos LOLP e CVaR

Portanto, a Figura 19 apresenta o fluxograma das etapas de cálculo para os dois Métodos apresentados de cálculo e sazonalização do requisito de capacidade de potência. Observa-se que como o Método 1 não apresenta limitação para o cálculo do requisito mensal para LOLP, o resultado na última etapa já retorna o cálculo do requisito que atende a ambos os critérios LOLP anual e CVaR Mensal. No entanto, o método 2 calcula a LOLP mensal tendo como objetivo definir uma sazonalização para o requisito com discretização anual (LOLP anual), que é superior ao requisito com discretização mensal (CVaR mensal) em alguns meses. Como, em alguns meses, o requisito calculado pela LOLP mensal pode levar a uma indicação de capacidade maior que o calculado para a LOLP anual, esse método possui como restrição não exceder o requisito LOLP anual. Para este fim, é necessário realizar etapa complementar de avaliação de necessidade de incremento de capacidade adicional, sendo esse o mínimo necessário para atender ao critério LOLP anual, concentrando a indicação nos meses de maior probabilidade de déficits mensais.

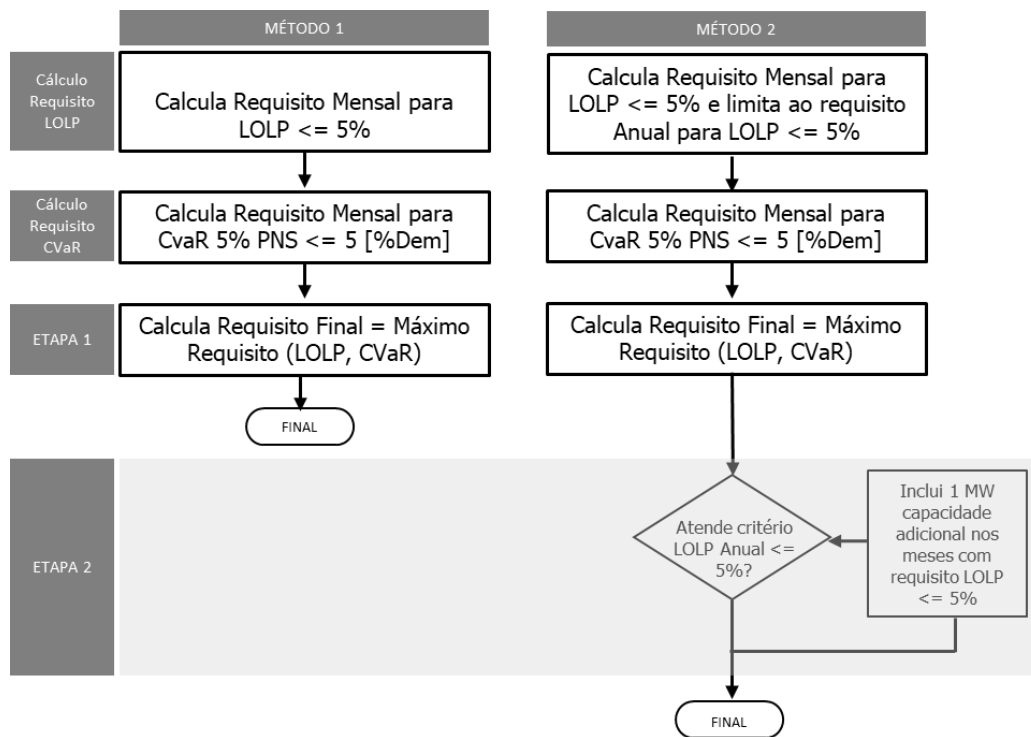


Figura 19 - Fluxograma do cálculo do requisito de capacidade de potência

A partir das duas metodologias de sazonalização propostas, conforme resultados comparativos apresentados na Figura 20, é possível definir montantes de indicação para o atendimento aos critérios de suprimento de potência, sendo que como o Método 1 apresentado não limita a necessidade de capacidade adicional da LOLP mensal ao requisito calculado pela LOLP anual, ele acaba antecipando a indicação nos meses de maior probabilidade de ocorrência de déficits mensais, o que pode representar maior segurança de suprimento em relação ao Método 2. Por outro lado, o requisito calculado pelo Método 2 prioriza a indicação de capacidade mais “enxuta” ao evitar exceder o montante indicado pela LOLP anual, tendo como meta o atendimento exato aos critérios de suprimento.

Destaca-se que os dois métodos apresentados servem apenas de exemplos para ilustrar possíveis cálculos, de forma simplificada, para definição do requisito sazonal, onde há uma infinidade de possibilidades de métodos que poderiam ser aplicados, tendo como base os dois critérios para capacidade. O melhor ajuste aos critérios passará depois pela inclusão dessa oferta indicativa no modelo de simulação para validação se, com a operação otimizada, os critérios estão sendo atendidos. Esta análise será realizada a partir das duas seções subsequentes, onde a definição da melhor granularidade é apresentada na seção 3.2.2 e a avaliação do método mais promissor é apresentada na seção 3.2.3.

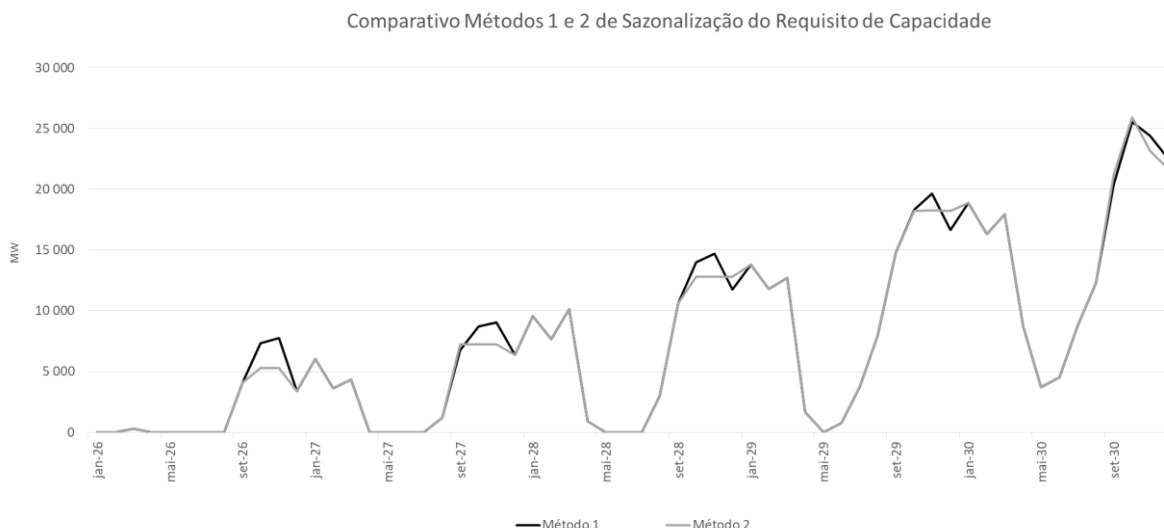


Figura 20 – Comparativo dos Métodos 1 e 2 de Cálculo do Requisito mensal de capacidade do Caso Base do PDE 2030

3.2.2 Granularidade

A análise da granularidade dos requisitos de energia e de capacidade de potência tem como objetivo a definição de um perfil para a futura entrega desses produtos. Portanto, é um meio de compatibilizar o perfil da entrega à avaliação do requisito conforme sazonalização calculada na seção anterior. Desta forma, assim como a sazonalidade, a granularidade pode variar à medida que a composição da matriz mudar ao longo dos anos. O presente estudo avaliou, a partir do requisito mensal calculado, três granularidades com agrupamento de meses fixos: trimestral, quadrimestral, semestral; e uma granularidade agrupada com diferente quantidade de meses, que melhor se adequasse ao requisito de capacidade. Para esse agrupamento, o ano foi dividido em dois grupos: um composto por 7 meses e outro por 5 meses. Neste contexto, foi considerado que o requisito de energia é obtido pela média dos valores mensais calculados para cada agrupamento, considerando o caráter acumulativo dessa grandeza. Já o requisito de capacidade, que representa o atendimento instantâneo, o montante para cada agrupamento será o correspondente ao mês de maior requisito dentro de cada intervalo para cada granularidade definida. Desta forma, as análises a seguir apresentarão os valores calculados para os requisitos de energia e, em seguida, para o requisito de capacidade.

Requisito de Energia

A Figura 21 apresenta o requisito de energia calculado para as granularidades trimestral (linha contínua) e quadrimestral (linha pontilhada), que se apresentam bem ajustadas à sazonalidade do requisito mensal calculado (em barras).

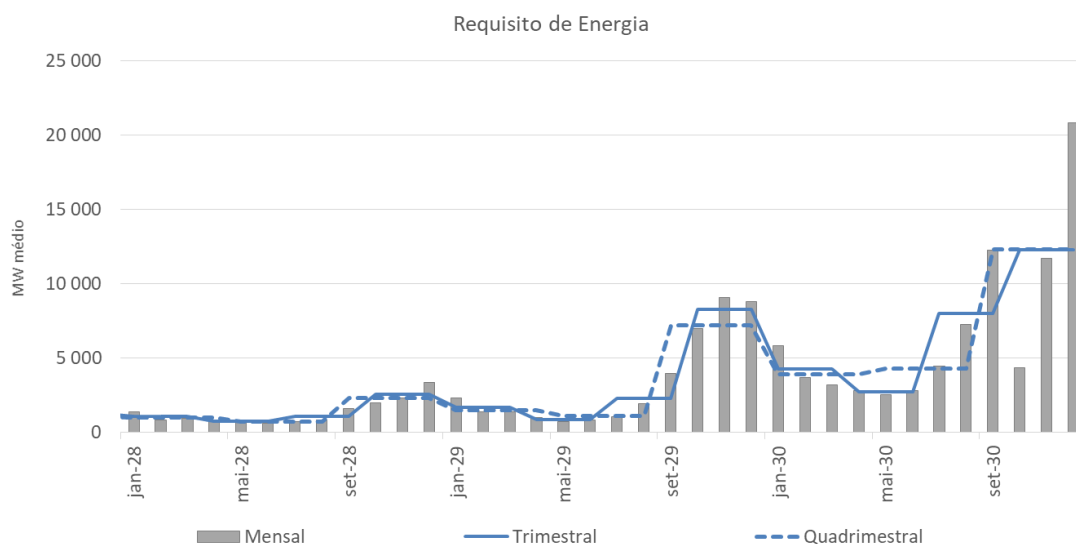


Figura 21 – Requisito de energia trimestral e quadrimestral

Já a granularidade semestral contida em um ano civil, representada pela curva tracejada na Figura 22 não apresentou um bom ajuste, principalmente no segundo semestre, onde é evidenciada maior diferença entre o requisito semestral calculado e o requisito mensal. Por agrupar meses de baixo requisito, como julho e agosto, com meses de maior requisito, como outubro e novembro, percebe-se desbalanço que pode não ser adequado no futuro, principalmente se considerada a tendência de redução da capacidade de regularização do sistema¹⁶. No entanto, à medida que é deslocado o agrupamento semestral passando a incorporar o próximo ano civil, conforme curvas semestrais de Ago-Jan/Fev-Jul e Set-Fev/Mar-Ago, a sazonalidade do requisito de energia fica um pouco mais aderente, reduzindo as diferenças em relação ao requisito mensal.

¹⁶ Quanto menor seja a capacidade de regularização, mais difícil será deslocar o recurso de um mês de maior excesso para o de maior escassez. Por isso, colocar em um mesmo agrupamento meses com características distintas, como mostrado no gráfico, não é adequado.

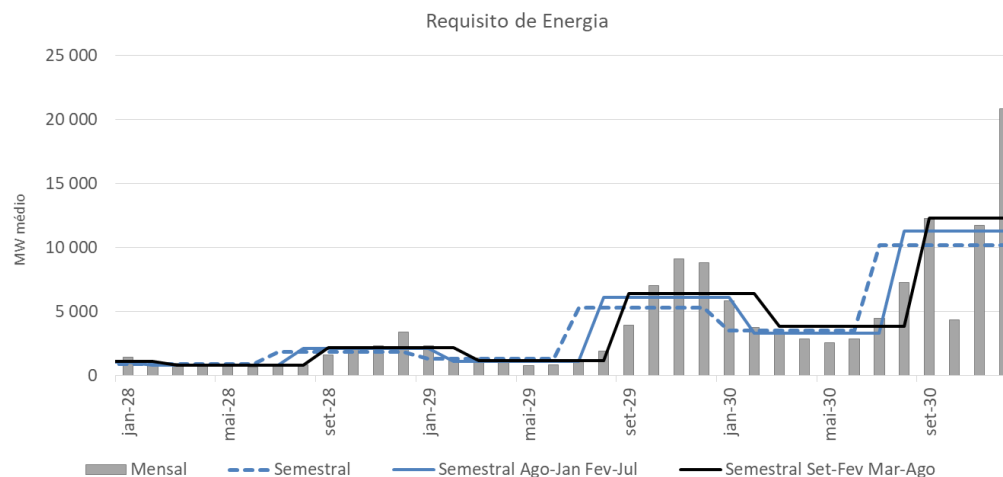


Figura 22 – Requisito de energia semestral

A Figura 23 apresenta a definição de uma granularidade para energia que acompanhe melhor a sazonalidade do requisito de capacidade. Conforme pode-se observar na Figura 5, o maior requisito de capacidade para o caso analisado do PDE 2030 está compreendido entre os meses setembro a abril do ano seguinte (total de 7 meses). Como o requisito de energia, principalmente o obtido pelo CVaR 10% CMO também possui relação com o requisito de capacidade, a análise desse tipo de agrupamento se torna relevante para efeito comparativo em relação aos resultados obtidos com a expansão conforme outras formas de agrupamento. Entretanto, assim como a granularidade semestral, principalmente aquele dentro do ano civil, esse agrupamento também se mostrou menos aderente às necessidades energéticas do que quando ajustado de forma trimestral e quadrimestral.

Como mostra a Figura 23, ao agrupar meses de diferentes características, os momentos de maior criticidade apresentam requisitos mais reduzidos que o requisito mensal. Por outro lado, momentos de menor necessidade levam a excessos em relação ao requisito mensal. Essa diferença é mais evidenciada no ano de 2030, em que o requisito de energia é mais elevado que nos anos anteriores e a sazonalidade é bem definida. Caso a sinalização para expansão ocorra dessa forma, haverá uma menor clareza quanto às necessidades do sistema em determinados momentos, o que pode resultar em uma pior alocação de recursos, além de aumentar a dependência da gestão dos reservatórios, pois são eles que deverão deslocar a oferta no tempo.

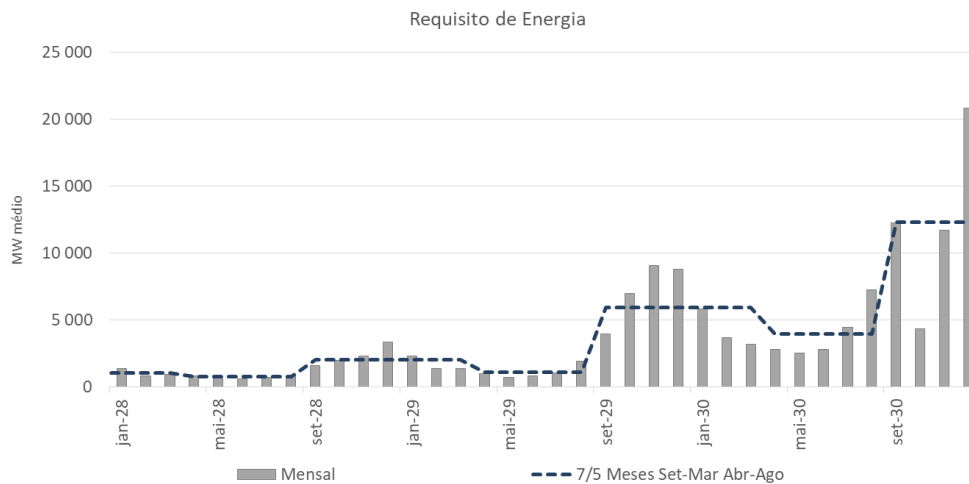


Figura 23 - Requisito energia em agrupamento de 7/5 meses

Como o objetivo da análise é avaliar a granularidade que apresente maior aderência às necessidades do sistema, os gráficos anteriores indicam que os requisitos trimestral e quadrimestral são os que se destacam, por melhor se ajustarem aos valores do requisito mensal de energia. De modo a trazer maior robustez à análise, a Figura 244 reúne os gráficos de dispersão para apresentar a correlação entre o requisito mensal e as granularidades calculadas, e o respectivo coeficiente de correlação de Pearson¹⁷ "r". Este coeficiente mede a direção e a força da relação linear entre duas variáveis, apresentados nesta análise pela correlação entre a granularidade sendo avaliada e o requisito mensal.

O coeficiente de correlação de Pearson é um valor adimensional que se situa no intervalo entre -1 e 1. Como o valor igual a 1 indica uma correlação perfeita positiva, para o objetivo desta análise quanto maior este coeficiente melhor. Para fins de referência, segundo a literatura, valores acima de 0,7 possuem a interpretação de uma correlação positiva alta e os acima de 0,9 são considerados como correlação positiva muito alta. Conforme resultados apresentados, todos as granularidades apresentam índices de correlação elevados pelo fato de serem valores médios do requisito mensal. No entanto, os casos trimestral e quadrimestral são os que apresentam correlação mais elevada para o requisito de energia.

¹⁷ O coeficiente de correlação de Pearson "r" indica o grau de relação entre duas variáveis e é calculado pelo quociente da co-variância das duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão, dado pela fórmula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde $x_1, x_2, \dots, x_n$ e $y_1, y_2, \dots, y_n$ são os valores das variáveis x e y .

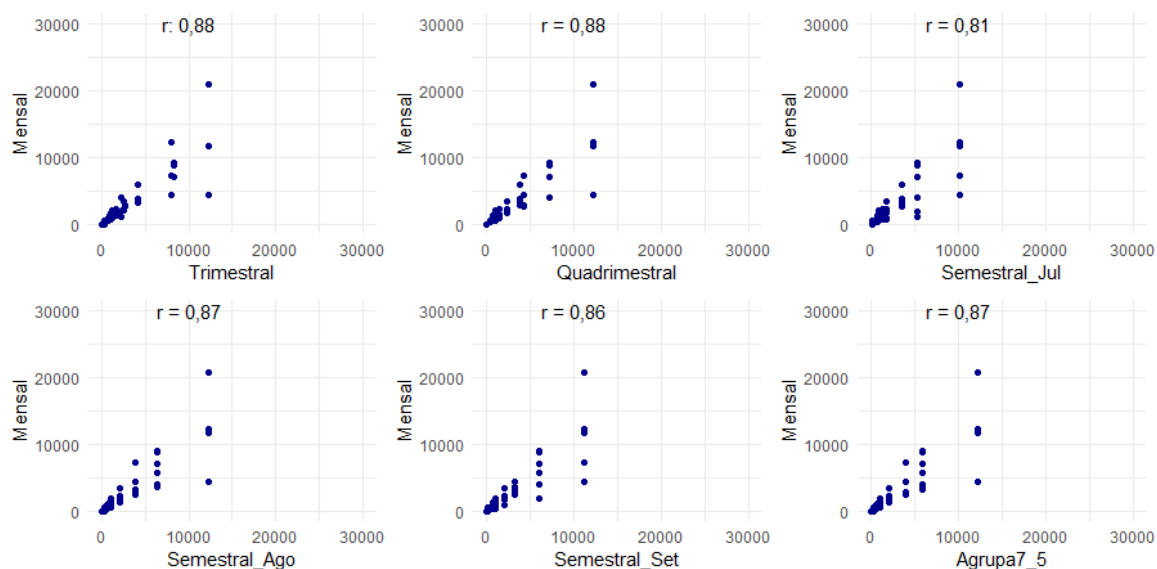


Figura 24 – Dispersão entre as granularidades do requisito de energia e o requisito mensal

De forma análoga, são apresentados a seguir os requisitos de capacidade de potência para as mesmas granularidades já analisadas para o requisito de energia. No entanto, no caso de capacidade, o valor definido é o maior requisito a cada agrupamento de meses.

Requisito de Capacidade de Potência

A Figura 25 apresenta o requisito de capacidade de potência considerando os agrupamentos trimestrais e quadrimestrais para essa dimensão. Como pode ser visto no gráfico, até 2028 a granularidade quadrimestral (linha contínua) é a que acompanha melhor a sazonalidade mensal, em relação à opção trimestral (linha pontilhada), apresentando menores diferenças em relação ao requisito mensal (em barras). A partir de 2029, tanto a granularidade trimestral como a quadrimestral se destacam como uma boa opção para representação da sazonalidade do requisito de capacidade.

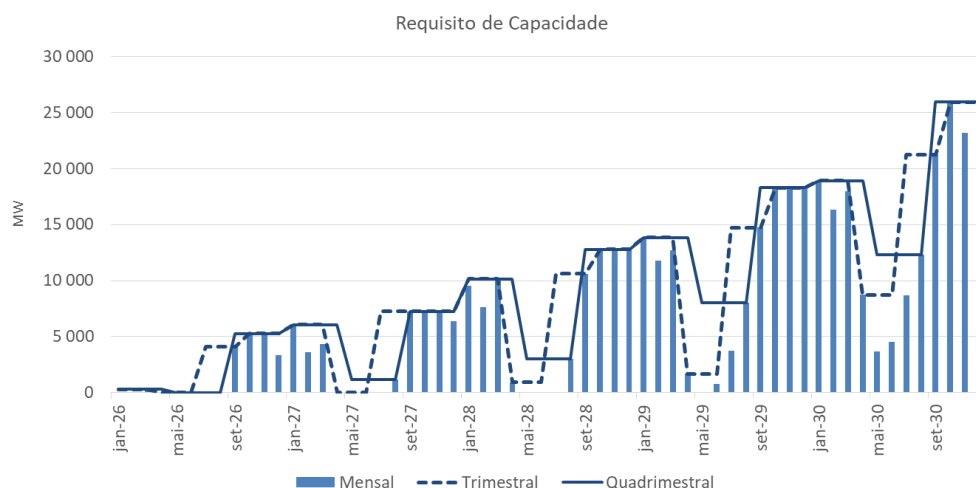


Figura 25 - Requisito de capacidade trimestral e quadrimestral

A avaliação semestral para capacidade de potência, que consta na Figura 26, não faz uso adequado da variação sazonal definida pelo requisito mensal. Conforme pode-se observar, os incrementos de requisito do segundo semestre de cada ano são mantidos quase constantes até o ano seguinte, quando ocorre um novo incremento. Isso se verifica porque, como o requisito de capacidade semestral é definido pelo máximo requisito entre os meses agrupados, como entram no mesmo agrupamento meses de diferentes características, perde-se possíveis benefícios da sazonalidade existente.

Como as análises anteriores apontam para perceptível variação entre os meses dos requisitos do SIN, a exigência de oferta em momentos de baixa necessidade pode incorrer em custos desnecessários e, portanto, reduzir a eficiência alocativa da expansão. Por este motivo, como o objetivo desta análise é identificar granularidade compatível com a sazonalidade dos requisitos, conclui-se que a granularidade semestral não é uma boa alternativa para diferenciar os produtos sazonais a cada ano. Para trazer mais robustez a análise, foram avaliadas opções contendo granularidade semestral conforme ano civil e conforme os intervalos de meses Ago-Jan/Fev-Jul e Set-Fev/Mar-Ago, todas elas levando a mesma conclusão.

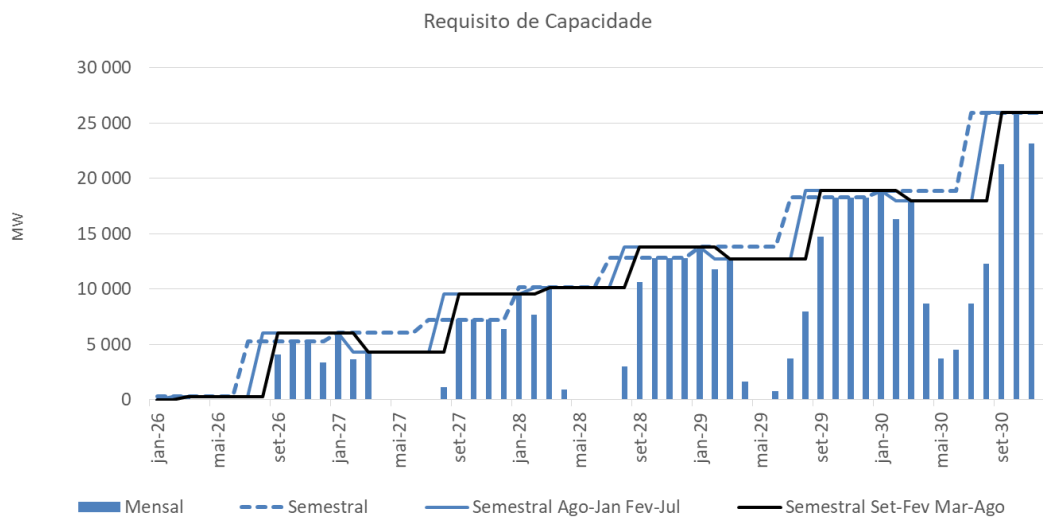


Figura 26 – Requisito de capacidade semestral

Por fim, a granularidade que melhor acompanha a sazonalidade do requisito de capacidade é a definida por agrupamentos de 7 e 5 meses conforme Figura 27. Isso ocorre pois os meses de setembro a março englobam períodos de maior dificuldade de atendimento à demanda máxima, onde há meses com menor disponibilidade hidráulica e outros onde ocorrem as demandas mais elevadas.

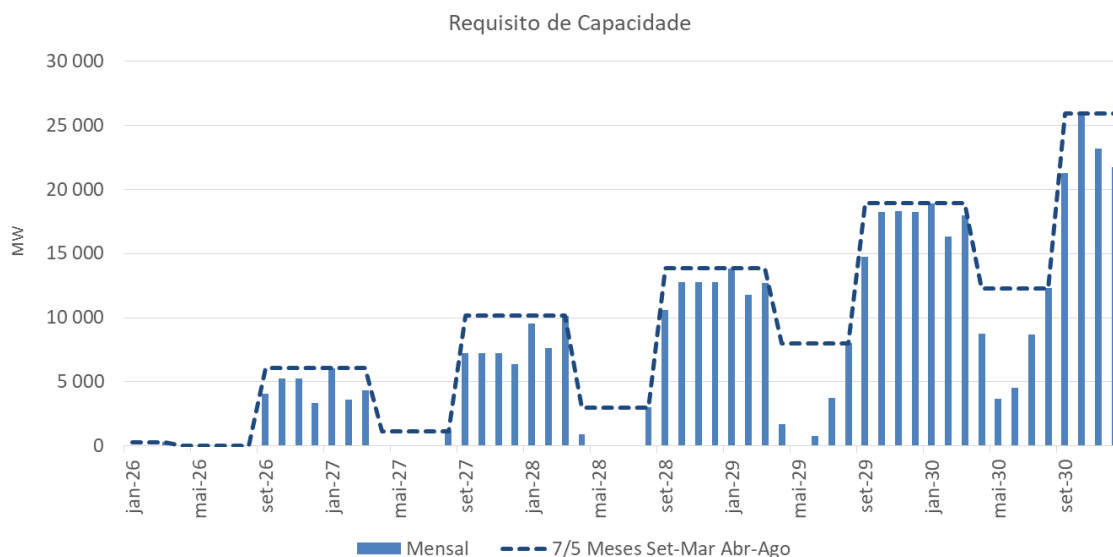


Figura 27 - Requisito de capacidade em agrupamento de 7/5 meses

De forma análoga à análise da dispersão entre as granularidades analisadas e o requisito mensal, apresentadas para o requisito de energia, a Figura 28 apresenta a mesma análise para o requisito de capacidade de potência. Assim como foi constatado pela inspeção visual, o caso que apresenta o maior coeficiente de correlação, como era de se esperar, é justamente o caso agrupado conforme sazonalidade observada do requisito de potência, envolvendo o agrupamento de 7 e 5 meses. O segundo melhor resultado obtido, com coeficiente de Pearson de 0,92, é o do agrupamento quadrimestral, que apresentou o melhor resultado para energia. Por outro lado, o caso semestral pelo ano civil obteve o pior ajuste, assim como também foi confirmado pela análise visual.

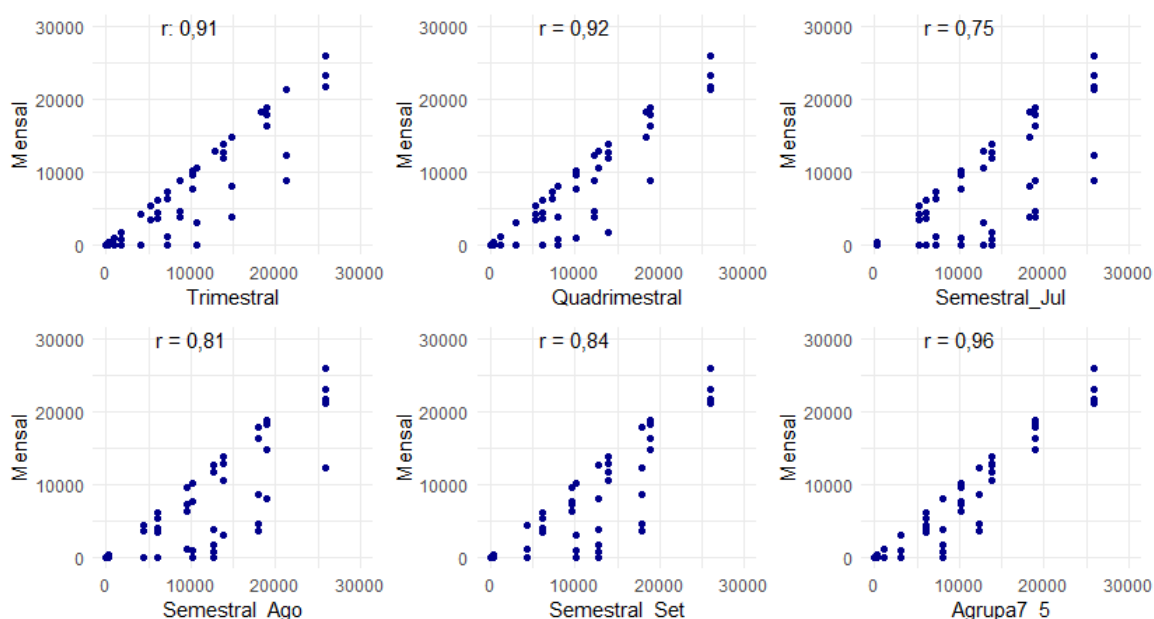


Figura 28 - Dispersão entre as granularidades do requisito de capacidade de potência e o requisito mensal

Em resumo, as recomendações para granularidade de energia e capacidade de potência são que, além da granularidade mensal, os casos com granularidades trimestral e quadrimestral apresentam características mais favoráveis para uma representação de sazonalidade que se aplique a ambos os requisitos. Os casos com granularidade semestral “deslocados no ano civil” e “7/5 Meses” não foram recomendados por apresentarem bom ajuste apenas ao requisito de energia ou de potência, respectivamente. Para a definição da granularidade considerada como mais adequada, foi realizada análise de vantagens e desvantagens de cada caso avaliado, apresentada na Tabela 5 - Avaliação das vantagens e desvantagens de cada granularidade

Tabela 5 - Avaliação das vantagens e desvantagens de cada granularidade

Granularidade:	Prós	Contras
Mensal	Melhor ajuste à sazonalidade de ambos os requisitos. Menor expansão para atender aos requisitos (maior precisão).	Menor gestão para ajustes a desvios futuros entre o planejado e realizado.
Trimestral	Ajuste à sazonalidade de ambos os requisitos. Ajuste aos critérios de suprimento.	
Quadrimestral	Ajuste à sazonalidade de ambos os requisitos. Ajuste aos critérios de suprimento. Representa bem a sazonalidade da oferta UHE.	
Semestral	Ajuste à sazonalidade do requisito de energia. Ajuste aos critérios de suprimento.	Não representa a sazonalidade do requisito de capacidade: excedente de capacidade no período de menor requisito.
7/5 Meses	Ajuste à sazonalidade do requisito de capacidade de potência. Ajuste aos critérios de suprimento.	Não representa a sazonalidade do requisito de energia, em especial devido ao comportamento sazonal da oferta hidráulica (agrupa meses com características diferentes).

A partir dos requisitos de energia e de capacidade de potência e das variações de granularidade apresentadas na seção anterior para ambos os requisitos, foi realizada a avaliação da operação do sistema, a partir da simulação da operação do caso Base do PDE 2030 com o modelo Newave, considerando 2.000 séries sintéticas de energia natural afluyente, inserindo o montante de oferta necessário em cada situação. Para efeito de representação desta oferta, a expansão referente ao requisito de energia foi considerada como fontes não despacháveis que possuem a mesma contribuição energética para capacidade. Já a expansão de capacidade de potência adicional foi modelada como termelétricas totalmente flexíveis utilizando custo variável unitário (CVU) compatível com o preço de gás natural considerado no PDE.

É importante frisar que a modelagem apresentada nesta etapa não representa qualquer definição e/ou recomendação dos tipos de tecnologias que irão compor a oferta futura, e objetivam apenas simplificar o exercício de análise em questão. Os gráficos apresentados no Anexo I ilustram o montante indicado e a sazonalidade dos requisitos para cada granularidade. A partir dessas simulações é possível analisar o atendimento aos critérios de suprimento para cada caso, como será apresentado a seguir.

A Simulação da Operação para a Avaliação do Atendimento aos Critérios de Suprimento

Após avaliação da granularidade que pode ser aplicada na definição dos requisitos, que será um dos elementos para embasar a definição dos produtos de Lastro, a simulação da operação dos casos que foram considerados adequados no passo anterior de avaliação do

perfil de cada granularidade é importante para avaliar se a metodologia de quantificação dos requisitos proposta leva ao atendimento dos critérios de suprimento. Portanto, foram considerados nesta etapa os casos com granularidade mensal, trimestral e quadrimestral. Os resultados de avaliação de atendimento aos critérios de energia e capacidade são apresentados para a expansão contida no Anexo I, conforme Método 2 de quantificação do requisito de capacidade, em que o montante calculado para a métrica de probabilidade de déficit de capacidade (LOLP) é referente ao limite permitido, ou seja, para um nível de risco de 5% de probabilidade de déficit no ano.

A avaliação realizada para o critério de energia CVaR 10% CMO resultou em pior ajuste para a granularidade mensal, conforme evidencia a Figura 29. O resultado obtido pode ser justificado pelo fato de a política operativa dos modelos de otimização do sistema poder apresentar variações a depender da oferta. Dessa forma, a tentativa de “acerto” com alto grau de detalhamento, por exemplo, buscando definir o montante exato para cada mês do horizonte de análise, não se mostra aderente às características do sistema brasileiro. Por outro lado, para as granularidades trimestral e quadrimestral, o critério CVaR 10% CMO foi atendido em todos os meses.

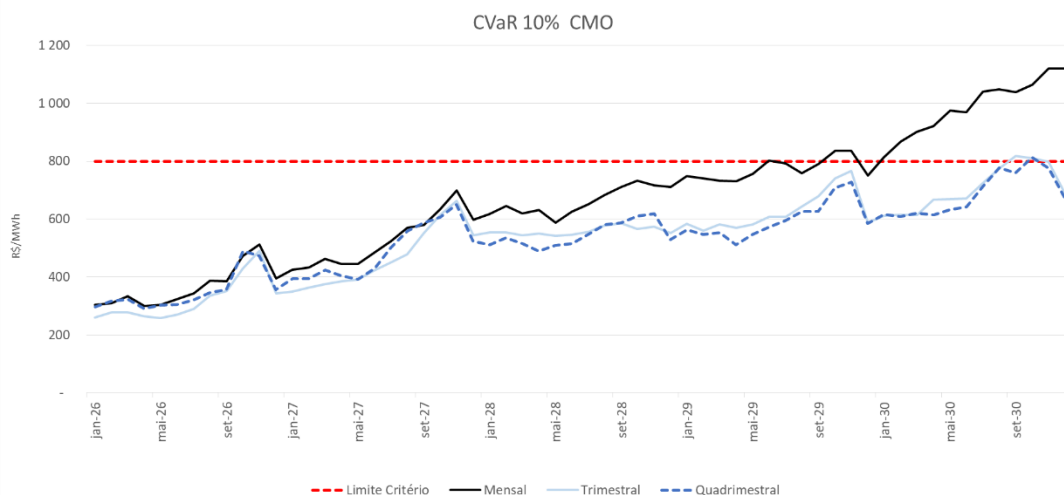


Figura 29 - Atendimento ao critério de suprimento de energia (CVaR 10% CMO)

A avaliação realizada para o atendimento à demanda máxima também apresentou pior ajuste para a granularidade mensal, que violou o limite de atendimento ao critério LOLP anual em todos os anos, conforme apresentado no Figura 30. Dentre os agrupamentos avaliados, o quadrimestral foi o que mais se aproximou do limite do critério de 5%. Considerando os níveis de risco existentes para o caso sem expansão indicativa apresentados no Figura 3, onde havia a probabilidade em torno de 90% de risco anual em

2030, constata-se redução efetiva da probabilidade dos déficits de potência, após a inclusão da oferta indicativa calculada pelo método apresentado. Cabe destacar que, nessa etapa, pequenos desvios em relação ao critério de suprimento podem ser relevados. Durante o processo de indicação da oferta, executado, por exemplo, nos Planos Decenais, ajustes finos são realizados para adequação aos critérios em todos os períodos.

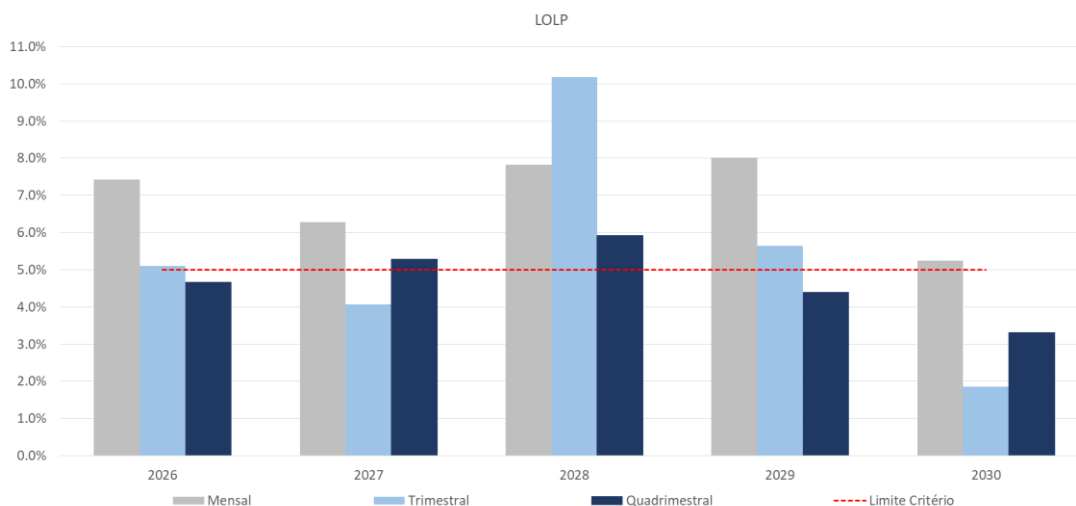


Figura 30 - Atendimento ao critério de suprimento de capacidade de potência (LOLP)

A Figura 31 apresenta as condições de atendimento ao critério de capacidade pela avaliação da profundidade dos déficits nos 5% piores cenários. Pode-se observar que quanto a esse critério, praticamente todos os meses foram atendidos, onde verificam-se violações pontuais, que são naturalmente ajustadas com refinamentos dos casos simulados no processo de convergência. Contudo, devido às violações observadas para a métrica LOLP na Figura 30 e, considerando que os resultados apresentados são obtidos a partir de uma nova simulação com o modelo Newave, onde ocorrem possíveis mudanças na operação devido à nova composição da matriz ao adicionar oferta de energia e capacidade conforme Método 2 de sazonalização do requisito apresentado previamente, será realizada análise posterior comparativa. Dessa forma, será avaliado se com o Método 1 de sazonalização do requisito é possível atender com maior segurança aos critérios de suprimento, justamente pelo fato desse método ser caracterizado pela maior folga para o atendimento à métrica LOLP em sua igualdade (LOLP = 5%).

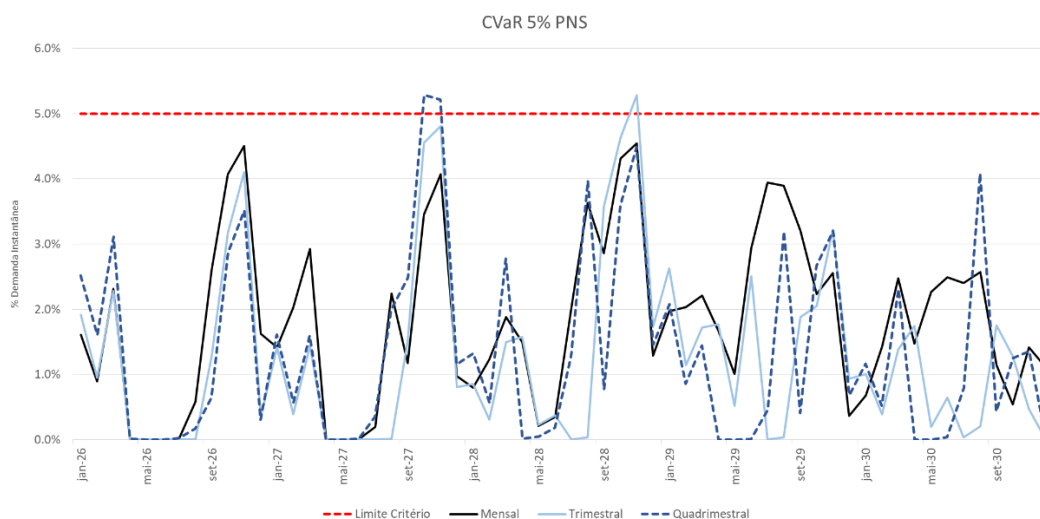


Figura 31 - Atendimento ao critério de suprimento de capacidade de potência (CVaR 5% PNS)

Portanto, pode-se concluir que para o método de quantificação apresentado e granularidades propostas, o requisito mensal foi o que apresentou as maiores violações, justamente por buscar “acertar” a indicação de forma precisa, desconsiderando mudanças na política operativa esperadas ao longo do processo de convergência.

Dessa forma, a avaliação de atendimento aos critérios de suprimento permite descartar a granularidade mensal. No entanto, para escolher entre as granularidades trimestral e quadrimestral, como estas apresentaram resultados muito próximos apenas pela avaliação de atendimento aos critérios de suprimento, foram utilizados os resultados da análise de granularidade da seção 3.2.2, em que é avaliado o perfil da contribuição da oferta, para a definição da granularidade mais adequada.

Pela análise de granularidade realizada na etapa anterior, a trimestral apresentou forte sazonalidade, reduzindo significativamente a necessidade de disponibilidade de potência nos meses de menor requisito, o que pode significar maior risco de atendimento em caso de variações imprevistas nesta sazonalidade. Já a quadrimestral, ao dividir o ano civil em três agrupamentos de meses, permite capturar melhor a sazonalidade dos requisitos de energia e de capacidade sem, no entanto, reduzir em demasia a disponibilidade de capacidade nos meses de menor requisito, tal como ocorre com a granularidade avaliada com quatro agrupamentos de meses (trimestral), conforme pode ser observado na Figura 25 da seção 3.2.2, de avaliação do requisito de capacidade trimestral e quadrimestral. Portanto, através da avaliação de atendimento aos critérios de suprimento e análises realizadas de granularidades dos requisitos, a granularidade quadrimestral se apresenta como a mais adequada para quantificação dos requisitos do SIN.

Devido às violações da LOLP ao aplicar o Método 2 de quantificação dos requisitos, será realizada uma avaliação adicional na seção 3.2.3 a seguir, comparando os resultados obtidos de avaliação de atendimento aos critérios de suprimento para os Métodos 1 e 2. Será utilizada a granularidade quadrimestral nesta análise comparativa, motivada pelos bons resultados apresentados quanto à aderência à sazonalidade dos requisitos.

3.2.3 Avaliação do método de quantificação do requisito

Ao compararmos os Métodos 1 e 2 de quantificação dos requisitos com relação ao atendimento aos critérios de suprimento para o agrupamento quadrimestral, pode-se concluir que o Método 1, ao incorporar maior indicação nos meses de maior probabilidade de ocorrência de déficits, contribui para maior segurança de suprimento, principalmente considerando a possibilidade de mudanças operativas e a ocorrência de hidrologias futuras piores que aquelas verificadas no histórico.

A Figura 32 ilustra o resultado comparativo da aplicação dos dois métodos para o critério de energia CVaR 10% CMO, mostrando que as duas formas de quantificação dos requisitos não levaram a diferenças significativas.

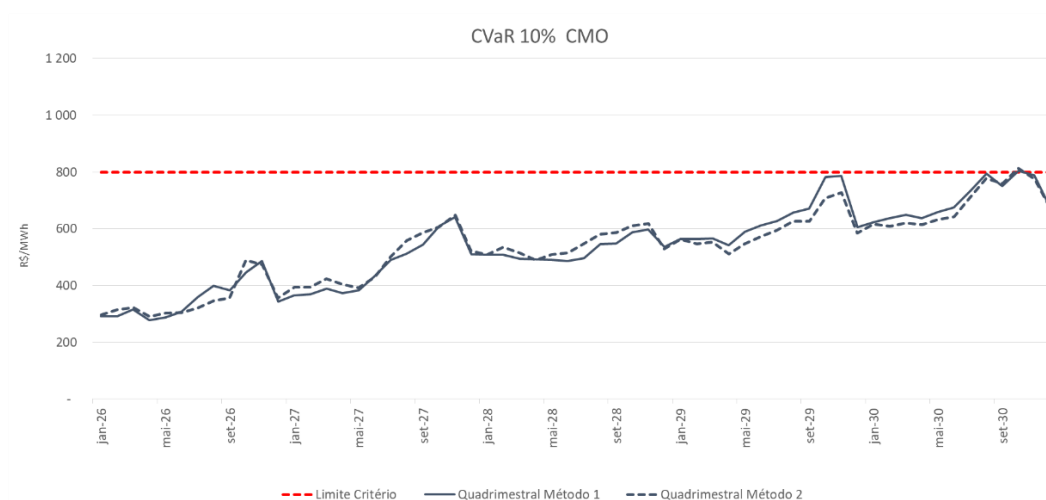


Figura 32 - Comparativo do atendimento ao critério de energia (CVaR 10% CMO)

A Figura 33 apresenta tendência de redução da LOLP no Método 1 em relação ao Método 2. Essa redução é bastante significativa em 2026, que é o primeiro ano da análise, devido à antecipação de complementação de capacidade nos meses de maior requisito, conforme

foi destacado na Figura 20, que compara os montantes indicados por ambos os métodos. Portanto, através da complementação de capacidade nos meses de maior requisito pelo Método 1, é possível obter uma redução da LOLP em todos os anos avaliados.

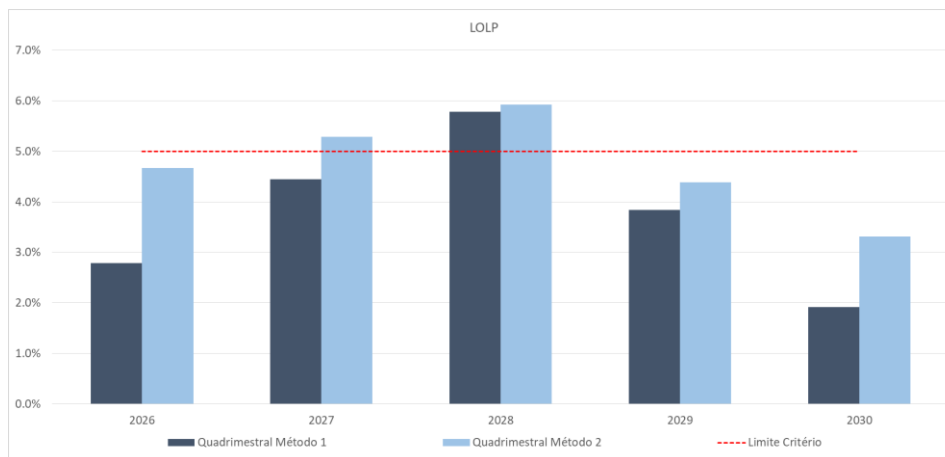


Figura 33 - Comparativo do atendimento ao critério de capacidade (LOLP)

A Figura 34 evidencia que a profundidade dos déficits também apresentou resultado mais satisfatório ao considerar o Método 1 de quantificação do requisito, na medida em que houve violação do critério CVaR 5% PNS em 2027 com a consideração do montante estimado pelo Método 2.

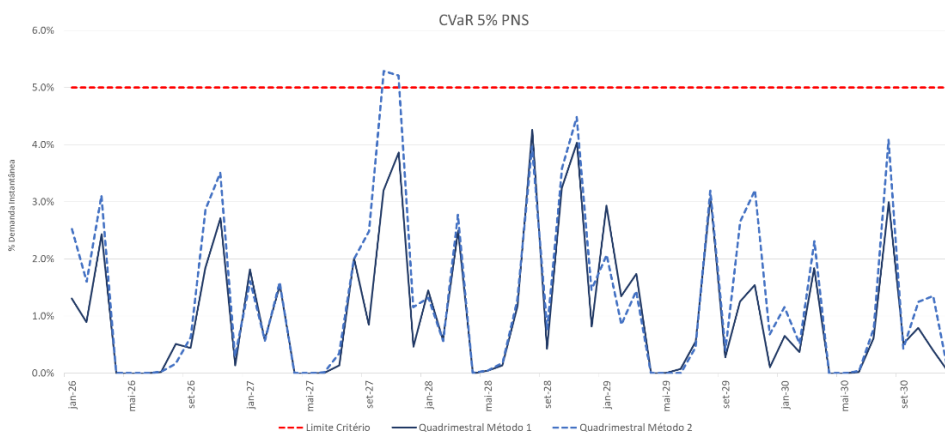


Figura 34 - Comparativo do atendimento ao critério de capacidade (CVaR 5% PNS)

Conclui-se que o Método 1 de quantificação do requisito de capacidade, ao permitir antecipar a indicação nos meses avaliados como de maior probabilidade de déficit de potência, aumenta o nível de segurança de suprimento ao disponibilizar uma folga adicional de oferta de capacidade que já seria, de qualquer forma, demandada nos períodos subsequentes, devido à incerteza na operação futura e composição da matriz.

3.2.4 Consistência temporal do cálculo dos requisitos

A análise de consistência temporal tem como objetivo avaliar os efeitos provocados na operação do sistema eletroenergético pela adoção do cálculo dos requisitos para o atendimento aos critérios de suprimento, à medida que os empreendimentos que venderam lastro de energia e de capacidade, nos montantes previamente calculados, forem inseridos na matriz, ou seja, à medida que entrarem em operação comercial. Ao quantificar os lastros de energia e de capacidade utilizando métricas de aversão a risco coerentes, como é o caso do CVaR, espera-se um parque gerador mais robusto e aderente às necessidades quando o sistema planejado se tornar realidade. Desta forma, a aferição se a decisão de despacho e as condições de suprimento do sistema estão adequadas deve se tornar cada vez mais frequente tanto nos processos de planejamento da operação, quanto de planejamento da expansão da geração e da transmissão.

Os gráficos apresentados a seguir detalham as condições de atendimento aos critérios e o cálculo dos requisitos – pelo Método 2 com granularidade quadrimestral, ao simular a implementação, a cada ano, da oferta planejada e quantificar a necessidade remanescente para os anos seguintes. Desta forma, o objetivo é confirmar a consistência temporal dos requisitos previamente calculados, demonstrando que ao adicionar parte da oferta necessária no horizonte, o requisito remanescente se mantém aderente ao anteriormente calculado.

A Figura 35 resume o atendimento aos critérios de suprimento de energia e capacidade do caso Base do PDE 2030, sem expansão indicativa, conforme já apresentado em Figura 1, Figura 3, Figura 4 e Figura 5. Esse será o ponto de partida para iniciar a avaliação da consistência do requisito calculado para cada ano do horizonte.

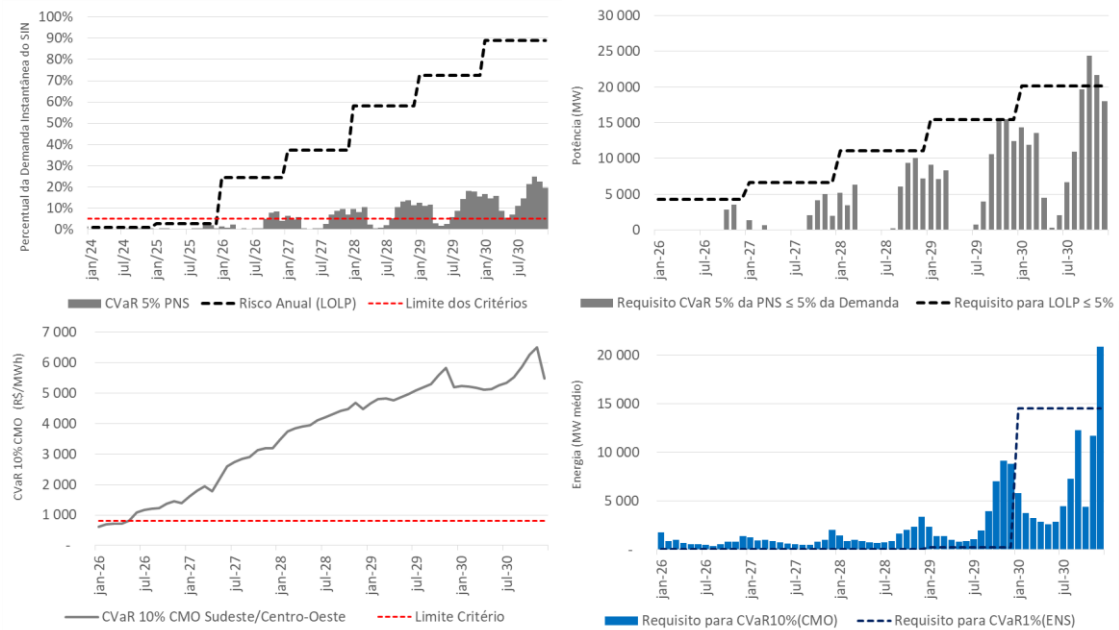


Figura 35 - Avaliação dos requisitos para o caso do PDE 2030 sem expansão indicativa

A Figura 36 apresenta a evolução do atendimento aos critérios após a entrada da oferta calculada para o ano de 2026. Observa-se que o requisito de energia e de capacidade foi deslocado para o ano de 2027.

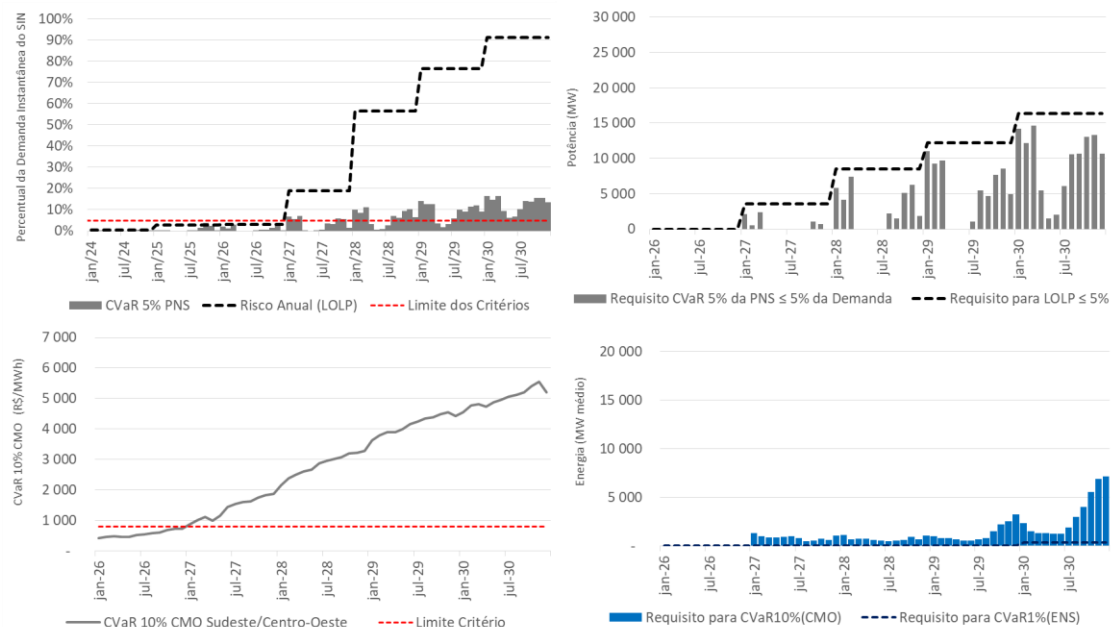


Figura 36 - Avaliação dos requisitos para o caso com expansão indicativa até 2026

A Figura 37 dá o prosseguimento na análise com o montante de oferta calculado inserida apenas até o ano de 2027. Observa-se redução de déficits em 2027 e a demanda por nova oferta passa a se concentrar a partir do ano de 2028. Ressalta-se que a escala é mantida nos gráficos apresentados para melhor efeito comparativo da progressão dos resultados apresentados no horizonte indicativo.

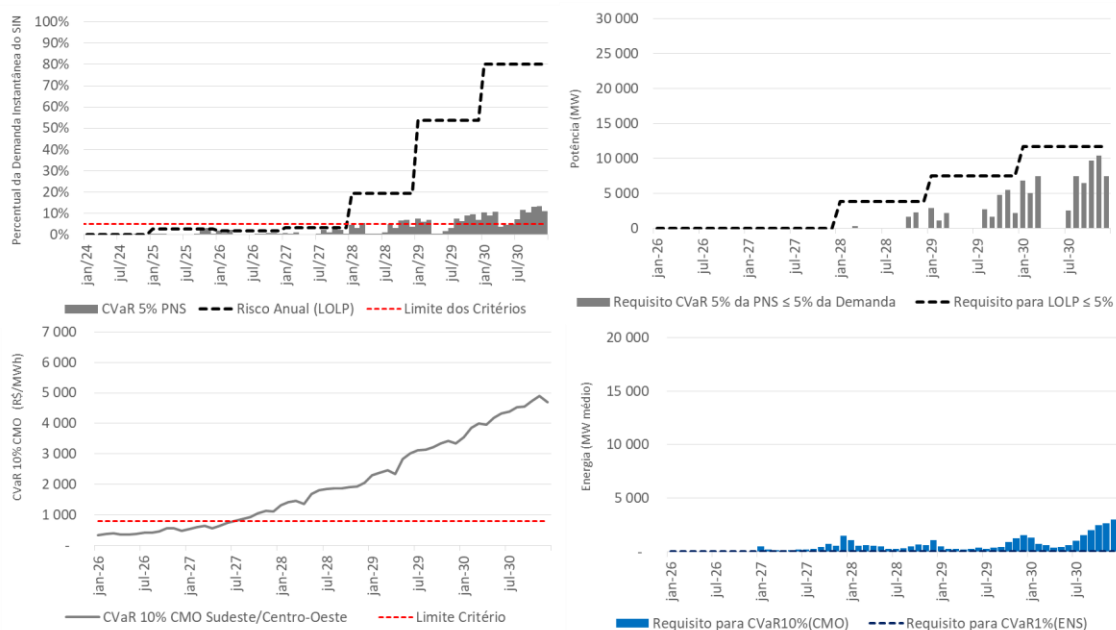


Figura 37 - Avaliação dos requisitos para o caso com expansão indicativa até 2027

A Figura 38 apresenta os resultados considerando a inclusão de oferta até o ano de 2028. Neste caso, os requisitos de energia e de capacidade, passaram a ser concentrados a partir de 2029. Observa-se redução nos requisitos em 2028 em relação à etapa anterior da análise temporal, embora ainda permaneça requisito menor de energia e de capacidade a partir do segundo semestre 2028. Considerando que houve uma nova simulação com o modelo Newave, onde são esperadas variações na operação, diferenças desta ordem são possíveis de acontecer. Assim, questões referentes à variabilidade dos resultados da simulação e sobre qual deve ser a margem de segurança a ser adotada na quantificação dos requisitos são pontos de recomendações para análise futura.

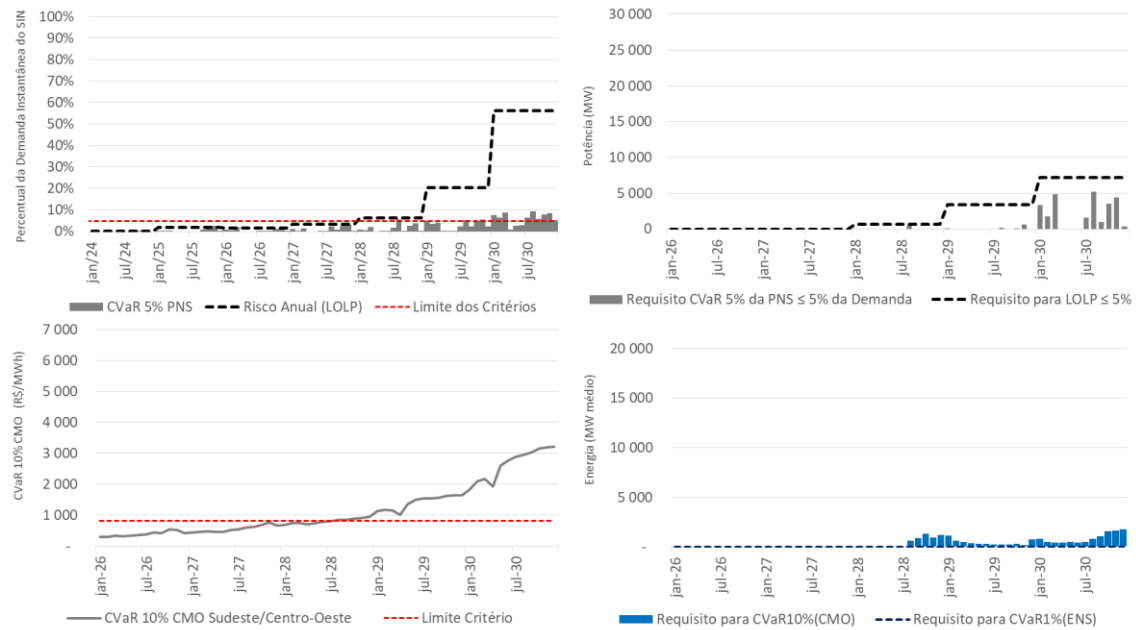


Figura 38 - Avaliação dos requisitos para o caso com expansão indicativa até 2028

Finalmente, a Figura 39, apresenta os resultados após inclusão até 2029 dos montantes de requisito calculados. Observa-se que os requisitos de energia e de capacidade foram deslocados para o ano de 2030.

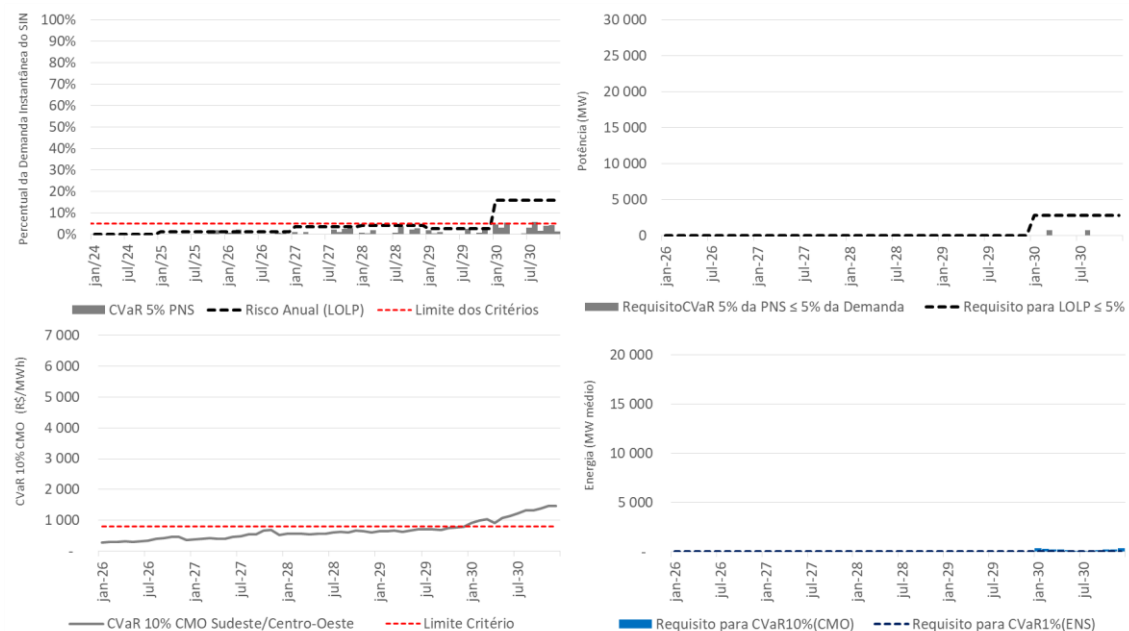


Figura 39 - Avaliação dos requisitos para o caso com expansão indicativa até 2029

Os resultados com a inclusão total da oferta até 2030 já foram apresentados na etapa anterior, onde foi constatado o atendimento aos critérios de suprimento, o que confirma que o método de quantificação proposto é consistente no tempo à medida que a oferta planejada se concretiza ao longo dos anos.

3.3 Aspecto Locacional

À medida que a configuração do sistema elétrico brasileiro passa a contar com presença cada vez maior de recursos de menor escala e pulverizados (como parques eólicos, fotovoltaicas, além da maior participação dos consumidores) em substituição aos grandes empreendimentos (como as usinas hidrelétricas de grande porte), a integração entre soluções de geração e transmissão cresce em importância. Nesse sentido, quando mais correta for a sinalização locacional para os empreendimentos, maior será a possibilidade de que a alocação dos investimentos no sistema seja feita de modo eficiente.

A discussão sobre aspectos locais dos lastros está diretamente relacionada a esse contexto. É importante frisar que as metodologias de cálculo dos requisitos, que são baseadas nas metodologias implementadas no Plano Decenal de Expansão, são capazes de identificar situações nas quais apenas soluções locais (e/ou soluções de geração associadas a ampliação das interligações) trariam o SIN para condições de operação que atendam aos critérios de suprimento. Sempre que situações como essa sejam identificadas, os estudos de planejamento deixarão claras essas necessidades para que o poder concedente atue da melhor maneira possível. Porém, as avaliações realizadas até aqui indicam que tais situações são pontuais, e não a regra.

Dessa forma, e de modo a reduzir as alterações a serem implementadas simultaneamente no desenho de mercado do SEB, a recomendação da EPE é de que, no primeiro momento, os requisitos de lastro continuem sendo quantificados de modo sistêmico. Em paralelo, ações para a melhoria do sinal locacional para a expansão devem continuar ocorrendo. Uma maior sinalização locacional pela TUST, por exemplo, pode indicar, através de sinais de preço, o benefício que a instalação de um novo empreendimento no local mais propício trará ao sistema, como aponta a Nota Técnica EPE-DEE-NT-014-2021-rev0, de 05 de fevereiro de 2021¹⁸.

¹⁸ Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-com-analise-de-sensibilidade-em-relacao-as-condicionantes-adotadas-no-calculo-da-tust>

Assim como os demais aspectos analisados na presente nota técnica, cabe lembrar o contínuo avanço metodológico, especialmente relacionado à melhoria das ferramentas computacionais e metodologias aplicadas nos estudos de longo prazo. É de suma relevância que dentre esses aperfeiçoamentos estejam presentes a maior granularidade espacial e a integração dos estudos de geração e transmissão. Quanto mais discretizado for o sistema simulado mais próximo da realidade operativa os resultados estarão. Esse passo é fundamental para a plena integração entre geração e transmissão e refinamento das indicações de expansão.

Os estudos relacionados à metodologia de quantificação dos requisitos do SIN continuarão. E, caso se identifique, em um momento futuro, que a sinalização de requisitos locacionais tornou-se a regra, e não mais ocorrências pontuais, avanços metodológicos poderão ser propostos, de forma incremental à metodologia aqui apresentada.

4 CONCLUSÕES

As análises e a metodologia apresentada neste documento objetivam a quantificação dos requisitos de energia e capacidade de potência, bem como sinalizar algumas características que servirão de base para a futura definição dos produtos de Lastro. Esta metodologia, como demonstrado, atende ao objetivo de corresponder às necessidades sistêmicas refletidas nos critérios de garantia de suprimento.

Primeiramente foi apresentada uma análise dos requisitos relacionados à carga de eletricidade, principalmente em relação a melhor forma de modelagem disponível. Diante da observação dos dados de carga históricos (2012-2019), dos dados projetados para o PDE 2030 e os resultados das sensibilidades com o modelo Newave e a ferramenta de Balanço de Potência, propõe-se a manutenção da utilização de duração de 10h e a intensidade (carga máxima instantânea do SIN) conforme consideração atual para representação do requisito de carga de ponta.

Vale ressaltar, contudo, que a melhor representação dos parâmetros da carga nos modelos (em termos energéticos e de potência) deve ser continuamente reavaliada e aprimorada, com o intuito de atingir a meta de representação horária e cronológica. Enquanto esta representação não é viável para o horizonte de planejamento, uma alternativa transitória seria a reavaliação para inclusão de mais patamares de carga nos estudos de médio e longo prazo¹⁹, buscando não só representar o requisito de potência, mas também o melhor detalhamento do requisito de energia.

Em seguida, as análises apresentadas evoluem para avaliar aspectos da oferta do sistema e da metodologia como um todo, partindo da lógica de avaliação dos critérios de suprimento de energia e de potência, identificando a coerência entre as métricas e avaliando seus limites e níveis de confiança pré-estabelecidos para a definição dos requisitos do sistema. Para a constatação da aderência das análises apresentadas à realidade operativa, são realizadas simulações da operação do sistema eletroenergético incorporando os requisitos avaliados.

Através da avaliação da sazonalidade e granularidade dos requisitos de energia e capacidade, tendo como referência o Caso Base do PDE 2030, a granularidade quadrimestral apresentou resultados mais coerentes em relação aos demais agrupamentos temporais avaliados. Essa discretização temporal dos requisitos se mostra como um

¹⁹ Recomendação também avaliada no ciclo CPAMP 2017/2018 e apresentada na Consulta Pública MME nº 51/2018.

importante avanço em relação ao atual requisito anual (representado no cálculo das Garantias Físicas) por estar aderente ao atendimento dos critérios de suprimento e também capturar as variações de disponibilidade dos recursos e as variações sazonais da carga de energia elétrica.

No entanto, destaca-se a necessidade constante de reavaliação dos aspectos temporais apresentados neste estudo à medida que ocorra a evolução da expansão da matriz elétrica e consequente mudança da sua composição com relação ao mix de fontes, além de mudanças nos hábitos de consumo. O contexto de mudança da matriz e a proposta de abertura de mercado trazem desafios que naturalmente devem vir acompanhados de evolução ao longo do tempo na representação dos modelos de otimização e simulação da operação, de forma a permitir avaliar de modo cada vez mais robusto os requisitos de energia e capacidade de potência para a garantia da confiabilidade e segurança do sistema.

REFERÊNCIAS

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] EPE-DEE-NT-037/2021-r0 - **Metodologia de Análise para o Atendimento à Demanda Máxima de Potência e Requisito de Capacidade**. Nota Técnica. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: [Consultas Públicas - Ministério de Minas e Energia \(mme.gov.br\)](https://www.mme.gov.br/consultas-publicas)

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] EPE-DEA-NT-005/2020 – **Metodologia: Projeção de Curva de Carga Horária**. Nota Técnica. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

Ministério de Minas e Energia (MME), 2019 - **GT Modernização do Setor Elétrico. Relatório de Apoio ao Workshop Lastro e Energia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/Documents/Modernizacao-Setor-Eletrico/Lastro-Energia/Relat%C3%B3rio%20de%20apoio%20ao%20workshop%20lastro%20e%20energia.pdf>

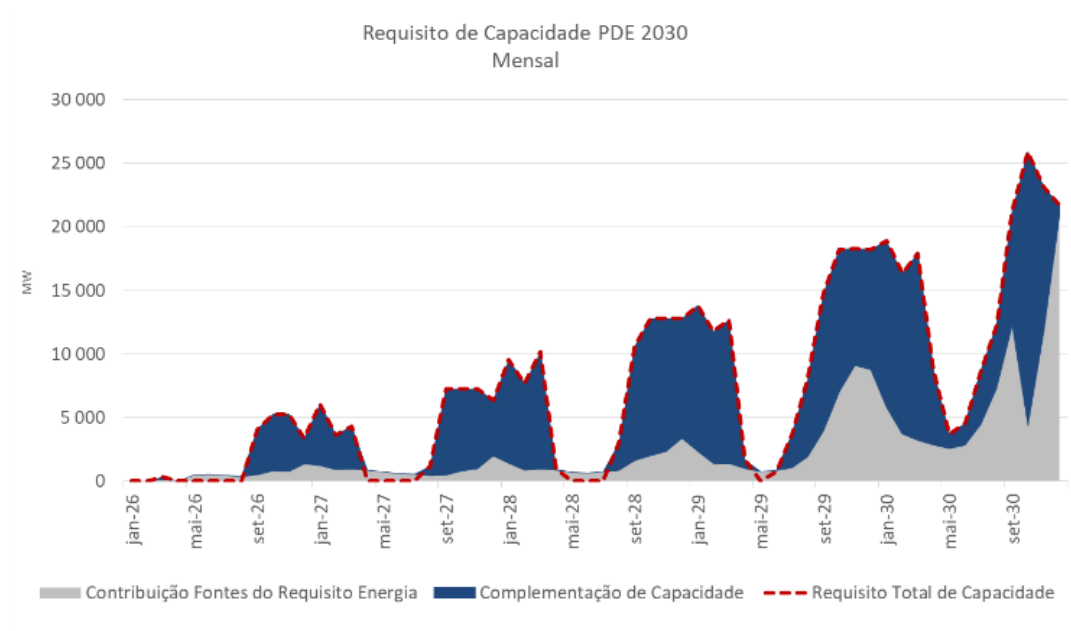
Ministério de Minas e Energia (MME), 2020 - **GT Modernização do Setor Elétrico. Relatório Final do Grupo Temático. Critérios de Garantia de Suprimento**. Disponível em: [2020 GT Modernização Critério de Suprimento Relatório Final.pdf \(epe.gov.br\)](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf)

Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf

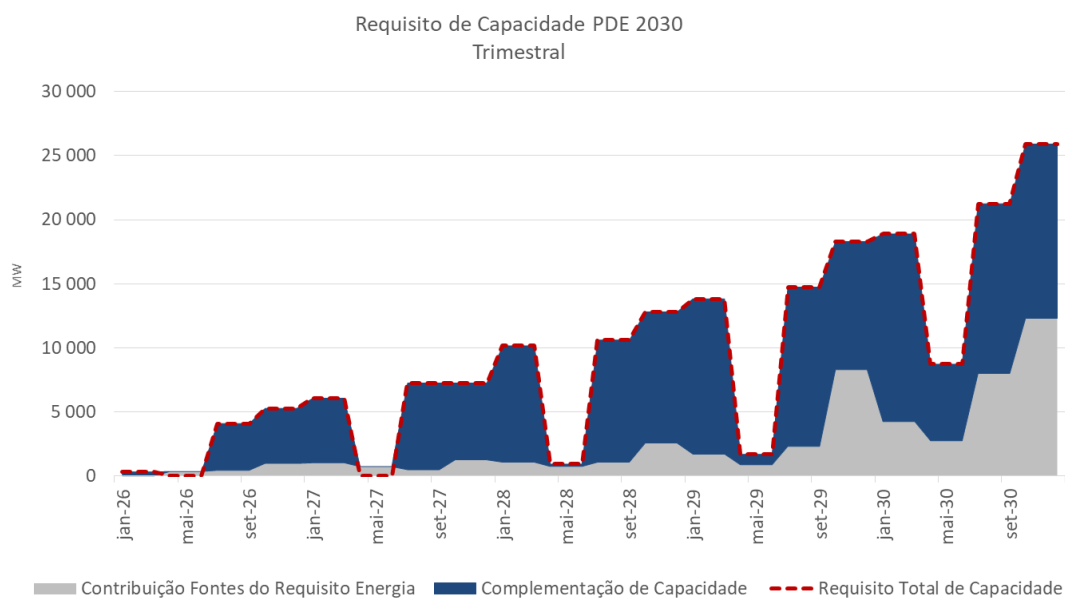
Moore, David S. and McCabe, George P. **Introduction to the Practice of Statistics**, W.H. Freeman and Company.

ANEXOS

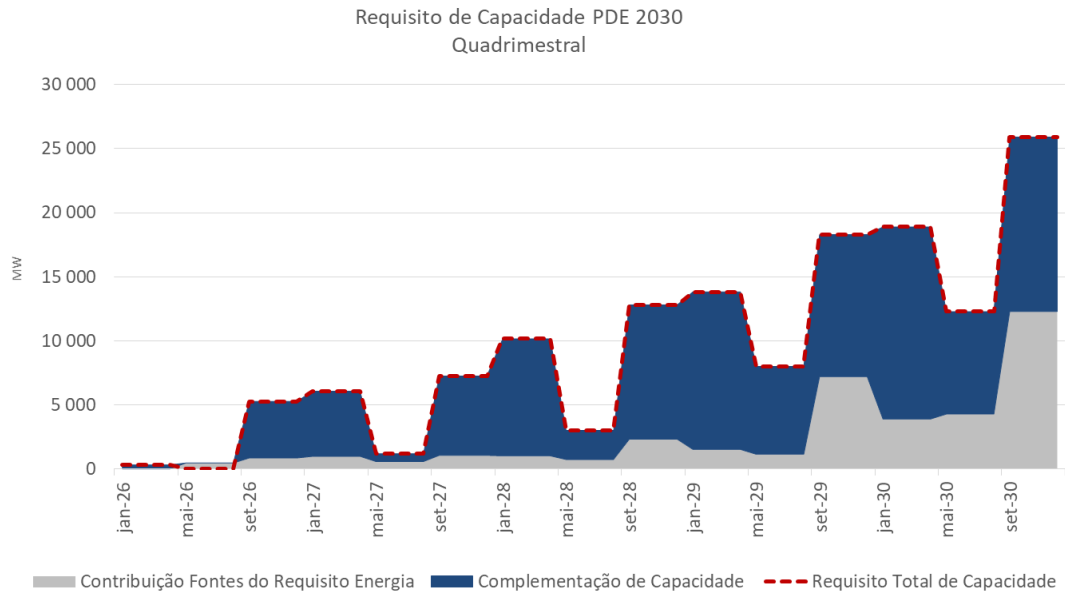
ANEXO I - Representação dos requisitos para simulação da operação eletroenergética



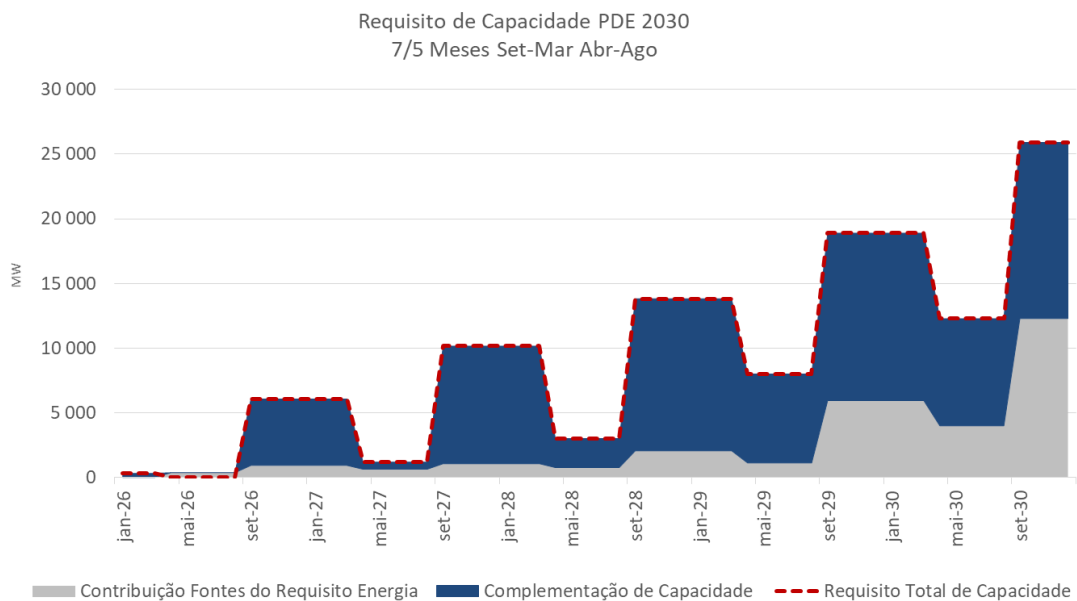
Requisito Mensal de Capacidade do PDE 2030



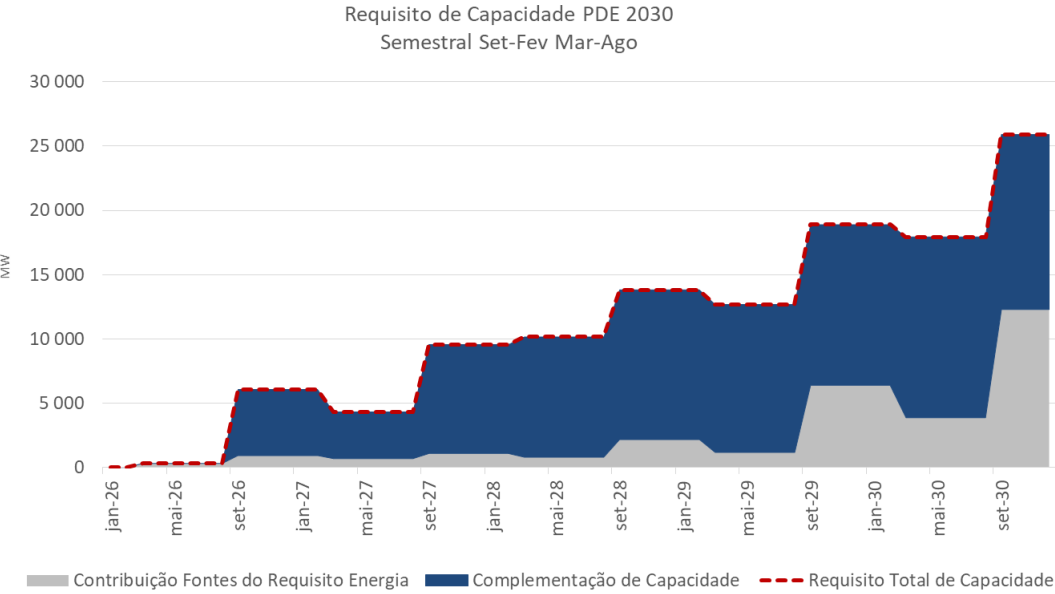
Requisito Trimestral de Capacidade do PDE 2030



Requisito Quadrimestral de Capacidade do PDE 2030



Requisito Agrupamento 7/5 Meses de Capacidade do PDE 2030



Requisito Semestral de Capacidade do PDE 2030 (Set-Fev e Mar-Ago)