Zeta Energia

Consulta Pública MME nº 121/2022

Aprimoramentos propostos pela CPAMP (ciclo 2021-2022)

11 de março de 2021

Consulta Pública MME n° 121/2022

Aprimoramentos propostos pela CPAMP (ciclo 2021-2022)

Sumário

Sumário Executivo **4**

1. Introdução **7**

2. Curvas Referenciais de Armazenamento – CRef **8**

2.1. Utilização das Curvas Referenciais de Armazenamento como Métrica de Tomada de Decisão de Parâmetros de Aversão ao Risco *8*

2.2. Subjetividades Prejudiciais da Curva Referencial de Armazenamento *9*

2.3. Governança da Utilização da Curva Referencial de Armazenamento na Tomada de Decisão de Parâmetros de Aversão ao Risco *9*

3. Resultados de *backtests* não realizados pela CPAMP evidencia decisão prematura e necessidade de mais estudos **11**

3.1. Premissas e ajustes nos decks *11*

3.2. Resultados do backtest *12*

3.2.1. Geração Térmica *12*

3.2.2. Custo Marginal da Operação *14*

4. Análise do Indicador de atendimento à Curva Referencial de Armazenamento da CPAMP 17

4.1. A Ótica do Sobrecusto *17*

4.2. Proposta de Metodologia Considerando Geração Térmica Faltante e Excedente *17*

4.3. Resultados *18*

4.4. Seleção do par de parâmetros para o CVaR *20*

5. Crítica quanto ao PAR(p)-A e a definição da média móvel de 12 meses **22**

Sumário Executivo

Esta seção apresenta um resumo das conclusões e recomendações do Zeta Energia relativo aos estudos desenvolvidos para a utilização da metodologia PAR(p)-A, da Curva Referencial de Armazenamento e reavaliação dos parâmetros de aversão ao risco no presente ciclo.

Neste contexto, entende-se a necessidade de melhoria na representatividade hidrológica dos cenários gerados pelo modelo vigente, PAR(p). A adição de um termo de média móvel na formulação do modelo vigente é uma alternativa viável para a melhoria da representatividade na criação de séries, porém não há estudo que ateste a otimalidade do uso de uma média móvel anual.

Trabalhos científicos que abordam este tema mostram que é improvável que um valor fixo de média móvel seja capaz de atender os princípios estatísticos para a definição de modelos autorregressivos.

Concordarmos que a implementação de um termo anual na criação das séries seja um caminho a ser seguido, sugerimos estudos que atestem a qualidade da média móvel anual e de outras médias móveis, para que assim seja escolhida a média móvel mais adequada para o uso no modelo PAR(p).

Este relatório contempla simulações que incorporam aos modelos computacionais a implementação da representação hidrológica empregando o PAR(p)-A, e avalia a recalibração dos parâmetros do atuais do CVaR α=50% e λ=35%. São apresentadas análises adicionais àquelas feitas pela CPAMP no Relatório Técnico de abertura desta Consulta Pública e críticas quanto a metodologia empregada na escolha dos parâmetros do CVaR.

Inicialmente criticamos o uso da Curva Referencial de Armazenamento - CRef como métrica de tomada de decisão de planejamento e formação de preço de energia elétrica. O propósito que deu origem a CRef é o de auxiliar o ONS e o CMSE nas tomadas de decisão de despacho fora da ordem de mérito, o que limita o seu uso apenas para este objetivo.

Caso o uso de curvas referenciais de armazenamento seja extrapolado para decisões de planejamento e formação de preço, a metodologia deveria passar por aprimoramentos para suprir fragilidades.

Adicionalmente criticamos a governança na utilização da CRef na tomada de decisão de parâmetros de aversão ao risco. O ciclo de trabalho de 2021/2022 foi conduzido de forma independente e decisões de planejamento podem ser tomadas com base em estudos superficiais utilizando uma metodologia com premissas discutíveis e subjetivas. Dada a importância do estudo, antes da aprovação da proposta de alteração em parâmetros de aversão ao risco em Consulta Pública, deve-se aprovar a metodologia proposta para a CRef em uma Consulta Pública própria para isso.

Após esta etapa, foi feita uma reanálise da metodologia de indicador de atendimento à CRef criada pela CPAMP. Neste estudo a CPAMP se limitou a avaliar, de forma binária, qual a combinação de pares de CVaR que apresentam Geração Térmica – GT igual ou superior à indicada pela CRef em cada estágio. Este tipo de abordagem se propõe apenas a analisar a ótica do risco, deixando de lado a ótica do sobrecusto.

Foi identificado que em muitos cenários descartados pela CPAMP, a geração térmica anual é superior à GT de referência da CRef, porém esses cenários não foram escolhidos porque a metodologia se limitava a analisar apenas os meses em que a CRef não foi atendida. Desta

forma, a CPAMP decidiu por sugerir parâmetros que chegam a ser 40% mais custosos e que apresentam Geração Térmica 26% maior do que o indicado pela CRef.

Independentemente das críticas feitas no uso da CRef em metodologias que envolvam planejamento e formação de preço, na construção de um indicador de atendimento da Geração Térmica da CRef, a Geração Térmica Excedente precisa ser avaliada com a mesma importância da Geração Térmica Faltante (metodologia utilizada pela CPAMP).

Ao realizar este tipo de análise, nota-se que pares de CVaR como o a=25% e λ=30% e a=25% e λ=35% deixariam de ser descartados e tornar-se-iam viáveis. Adicionamos a simulação do par a=25% e λ=25% e este também se mostra viável dentro da metodologia de indicador de atendimento à CRef quando a GT Excedente é considerada. A Figura 1 apresenta o resumo da análise de atendimento à CRef considerando a GT Excedente.

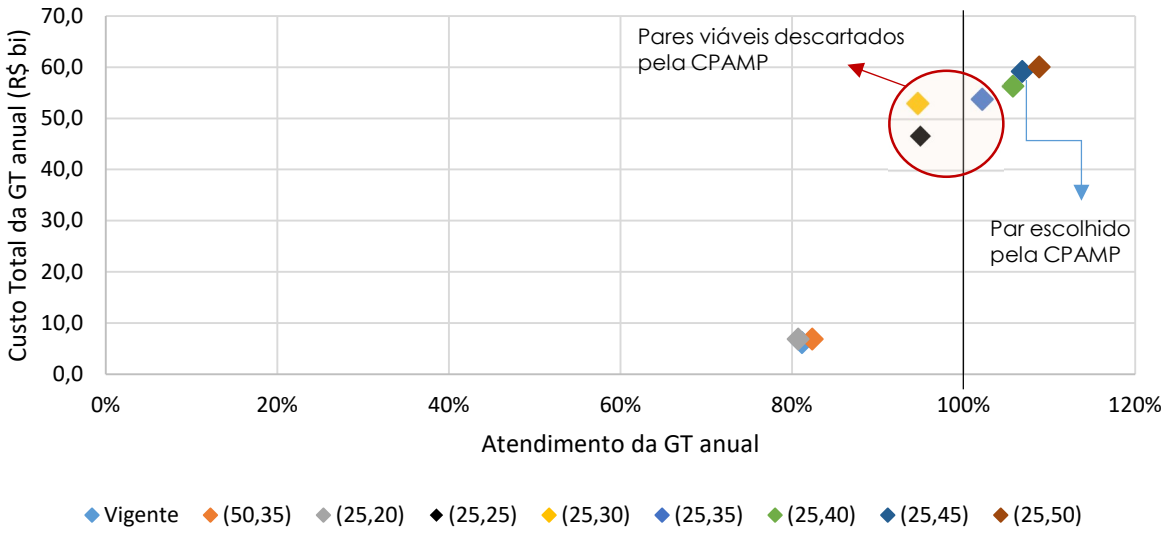


Figura 1 – Resumo dos resultados obtidos no indicador de atendimento da CRef

Por fim, foi realizado um estudo retrospectivo no horizonte de 2018 a 2021 com o objetivo de encontrar quais parâmetros de CVaR apresentam maior aderência da GT projetada em relação à GT utilizada pelo ONS.

Foi identificado que o próprio PAR(p)-A pode ser classificado como um mecanismo de aversão ao risco, pois apenas a adição dele nas simulações já foi capaz de aumentar significativamente o despacho térmico no estudo retrospectivo. Neste estudo é identificado que novamente os parâmetros a=25% e λ=25% são eficientes na representação do despacho térmico.

Também foi notado que há períodos em que nenhuma das combinações de parâmetros de CVaR seria capaz de representar a aversão ao risco percebida pelo ONS e CMSE. Isto ocorre principalmente pelo fato de a aversão ao risco não poder ser medida, logo, tanto a coerência do despacho realizado quanto os parâmetros do CVaR se tornam grandezas subjetivas.

Aproveitamos aqui para fazer uma reflexão à citação do matemático e físico britânico William Thomson, que diz que "O que não pode ser medido não pode ser melhorado". O Setor Elétrico Brasileiro constantemente propõe melhorias em problemas que não são ou não podem ser medidos, isso traz ações prematuras, reativas e sem planejamento para o SEB.

A Tabela abaixo contém a compilação das principais conclusões das críticas e estudos realizados para avaliação dos aprimoramentos metodológicos que estão sendo recomendados pelo GT-Metodologia/CPAMP para o ciclo de 2021/2022.

Conclusões

A CRef só tem utilização funcional para o objetivo que a originou, não sendo satisfatória para o uso na calibração dos parâmetros do CVaR.
Para a plena utilização de Curvas Referenciais na calibração de parâmetros de aversão ao risco, a metodologia deve passar por profundos aprimoramentos e aprovação em Consulta Pública.
Independentemente da metodologia empregada, quaisquer escolhas de parâmetros de aversão ao risco devem levar em consideração o equilíbrio entre a Geração Térmica Faltante e Geração Térmica Excedente. A consideração apenas da GT Faltante, como feito pela CPAMP, traz apenas a ótica do risco pontual mensal de não atendimento, enquanto se a mesma análise considerar a GT Excedente nos meses em que a GT superou a necessidade, outras opções atendem os mesmos requisitos a um custo menor.
A metodologia empregada no PAR(p)-A necessita de estudos que atestem a superioridade da média móvel de 12 meses frente outras médias móveis.
A aversão ao risco percebido pelo ONS e CMSE é subjetiva e conjuntural, a escolha dos parâmetros do CVaR também é. Percepções de risco, influências e limitações conjunturais não devem balizar tomadas de decisão estruturais e de planejamento.
Deve haver a necessidade de despachos fora da ordem de mérito sempre que a percepção de risco do ONS e CMSE não estiverem aderentes com a percepção de risco resultante dos modelos computacionais. Porém o que se espera é que esses momentos sejam pouco frequentes.
A análise dos estudos retrospectivo e prospectivo aponta que os parâmetros α=25% e λ=25% são os mais indicados para o uso a partir do ano de 2023.

1. Introdução

A presente Consulta Pública propõe modificações nos modelos computacionais utilizados no processo de despacho energético e formação do preço de energia elétrica, com a finalidade aprimorar os resultados e aumentar a aderência face as condições operativas do sistema elétrico.

O aprimoramento na cadeia de modelos computacionais que são utilizados pelo ONS, CCEE e EPE é constante, e sempre visa buscar respostas para apoiar a decisão. A aversão ao Risco bem como a minimização do custo total de operação sempre foram o binômio ancorado do setor.

Um ponto importante é que as propostas da CPAMP tenham um cunho estrutural e que situações conjunturais, como a consideração das piores afluências do histórico (*outliers*), não sirvam de combustível para influenciar ou mesmo direcionar a tomada de decisão olhando apenas um prisma do problema.

O Zeta Energia sempre mostrou-se a favor da evolução dos modelos de formação de preço e otimização energética, recorrentemente colocando-se na posição de contribuir nas discussões e análises relacionadas aos aprimoramentos dos modelos.

Na atual consulta pública, consideramos que foi proposta uma superposição de implementações que devem ser analisadas com grande profundidade, tanto de forma individual quanto conjunta, já que as mesmas podem apresentar interações que significativamente alteram a política operativa dos modelos.

Neste contexto, o presente documento tem o objetivo de explorar as sugestões feitas pelas CPAMP na CP 121/2022 e expor as contribuições e considerações do Zeta Energia.

2. Curvas Referenciais de Armazenamento – CRef

Nesta seção são abordadas as principais contribuições relacionadas à Consulta Pública 121/2022 no ponto de vista do Zeta Energia.

A primeira delas é associada à **utilização das Curvas Referenciais de Armazenamento – CRef no processo de decisão dos parâmetros que influenciam o planejamento do setor elétrico e formação de preço de energia elétrica.**

2.1. Utilização das Curvas Referenciais de Armazenamento como Métrica de Tomada de Decisão de Parâmetros de Aversão ao Risco

Conceitualmente, a CRef é construída através de uma análise recursiva, onde o objetivo é encontrar qual é o armazenamento inicial de cada mês em que, se aplicada a pior série hidrológica do histórico, seria capaz de finalizar o mês com um armazenamento dentro dos níveis aceitados pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE.

Desta forma, utilizar a CRef como armazenamento a ser atingido é uma *proxy* de estar preparado para que o pior cenário hidrológico do histórico ocorra no mês seguinte.

Gostaríamos de apontar que momentos de crise devem ser avaliados com a devida cautela que os mesmos exigem. **A partir do momento que são escolhidos como parâmetros aceitáveis apenas aqueles em que seria possível a operação dos reservatórios do sistema acima de uma curva que foi gerada através do pior cenário hidrológico já registrado, um direcionamento externo, passível de questionamentos, é inserido no contexto, já que o modelo é induzido a considerar que a situação hidroenergética sempre passa por um momento crítico, o que não é uma verdade absoluta.**

Achamos válida a intenção de criar uma métrica de escolha de parâmetros de aversão ao risco que atenda, ao menor custo, a demanda do sistema com segurança. **Porém, dado que as Curvas Referenciais de Armazenamento foram construídas com base em apenas um cenário hidrológico, elas não deveriam ser utilizadas como métrica única na decisão de parâmetros de aversão ao risco, mas sim como métrica de apoio na tomada de decisão,** assim como é apresentado na Carta ONS DPL 2784/2021:

> *"Destaca-se que as Curvas Referenciais de Armazenamento – CRef apresentadas nesta Nota Técnica se limitam a servir como apoio às decisões tomadas pelo CMSE, sendo responsabilidade deste Comitê o comando pelo acionamento de geração térmica complementar àquelas despachadas por ordem de mérito."*

Sugerimos a criação de uma metodologia mais abrangente para a utilização da CRef como um balizador para a calibração do CVaR, através da utilização de mais de um cenário hidrológico e, consequentemente, através da criação de mais de uma curva de armazenamento, visando assim uma parametrização estrutural. Consideramos que curvas conjunturais devam ser utilizadas somente no âmbito do CMSE para contornar situações de curto prazo.

2.2. Subjetividades Prejudiciais da Curva Referencial de Armazenamento

A CRef é um importante mecanismo auxiliar e apoiamos o uso dela para a negociação e argumentação do Operador com o CMSE para a avaliação das condições hidroenergéticas e auxílio na decisão do despacho de usinas térmicas adicionais, em condições especiais.

Porém, não há governança sobre quais são as aplicações da CRef no setor elétrico. Consideramos que a utilização da CRef nas tomadas de decisão sobre assuntos que não envolvem a avaliação conjuntural das condições hidroenergéticas é questionável e prejudicial para todo o setor elétrico.

A crítica é associada a subjetividade na definição das premissas que criam a CRef, pois **são utilizadas decisões conjunturais na criação de um cenário base**, que ressaltamos ser um bom cenário para avaliação do ONS e do CMSE, porém é um cenário exageradamente crítico para a tomada de decisão de planejamento do setor elétrico. Abaixo são citados os principais pontos de subjetividade ou de influência conjuntural:

- Nível de aversão ao risco percebido pelo Operador e pelo CMSE, no curto prazo, face às condições hidroenergéticas vigentes (transcrito da Carta ONS DPL 2784/2021);
- Cenário de vazões verificadas no período de outubro/2020 a setembro/2021;
- Regras operativas da bacia do Rio Tocantins estabelecidas pela Resolução ANA nº 70/2021;
- Utilização do "Plano de contingência para a Recuperação de Reservatórios do Sistema Interligado Nacional – dezembro/2021 a abril/2022", elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, divulgado em novembro/2021;
- Consideração das flexibilizações de vazão nas UHEs Jupiá e Porto Primavera.

Percebe-se que muitas premissas de curto prazo foram adotadas na criação da Curva Referencial de 2022 e que os mesmos critérios não foram seguidos na criação da Curva Referencial de 2021. Isso traz uma instabilidade regulatória, evidencia a falta de governança e aumenta a subjetividade nas decisões de planejamento do setor elétrico.

Desta forma, a Zeta Energia discorda da utilização de limitações conjunturais em tomadas de decisão estruturais e de planejamento.

2.3. Governança da Utilização da Curva Referencial de Armazenamento na Tomada de Decisão de Parâmetros de Aversão ao Risco

Alterações metodológicas que influenciam diretamente no processo de formação de preço, formação de garantia física e planejamento energético deveriam ser submetidas à Consulta Pública, dando oportunidade dos agentes se manifestarem e contribuírem para a criação de um processo robusto.

O ciclo de trabalho de 2021/2022 foi conduzido de forma independente e decisões de planejamento podem ser tomadas com base em estudos superficiais utilizando uma metodologia com premissas discutíveis e subjetivas. **Dada a importância do estudo, antes da aprovação da proposta de alteração em parâmetros de aversão ao risco em Consulta Pública,**

deve-se aprovar a metodologia proposta para a CRef em uma Consulta Pública própria para isso.

3. Resultados de *backtests* não realizados pela CPAMP evidencia decisão prematura e necessidade de mais estudos

A simulação retrospectiva – *backtest* realizada tem por objetivo emular os processos do PMO e cálculo do PLD, sem alterações das decisões operativas realizadas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS. Esta simulação é importante principalmente para comparar o despacho térmico realizado pelo ONS com o projetado nos PMOs e com as simulações considerando as propostas da CPAMP.

Para a realização do *backtest* foi escolhido o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2021. Foram simulados os pares de a e λ apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Agrupamento de pares de CVaR simulados no backtest

Família α = 25%	Família α = 50%
25,25	50,35
25,30	50,45
25,40	50,50

O objetivo desta simulação é identificar quais combinações de parâmetros do CVaR seriam mais aderentes ao despacho e operação realizados pelo ONS. Entende-se que em muitos períodos do horizonte de estudo o Operador utilizou de Geração Termelétrica – GT superior ao sugerido pelos modelos computacionais, caracterizando a Geração Fora da Ordem de Mérito. Portanto, encontrar qual a combinação de parâmetros do CVaR representa melhor a operação realizada em todos os momentos é de extrema importância.

Com essa análise, **espera-se que os parâmetros de CVaR mais adequados sejam aqueles que resultem em despacho acima do realizado pelo ONS em todos os momentos que não existiu Geração Fora da Ordem de Mérito e próximo do realizado nos momentos em que o ONS necessitou de Geração Fora da Ordem de Mérito.**

Nesta contribuição o objetivo não é categorizar qual a razão do despacho fora da ordem de mérito.

3.1. Premissas e ajustes nos *decks*

Para realizar o estudo foram utilizados os decks oficiais de NEWAVE e DECOMP em todo o horizonte da simulação. Vale ressaltar que a análise realizada difere da abordagem da CPAMP no sentido de não considerar as respostas de armazenamento dadas pelo DECOMP nas simulações para encadeamento e sim o real armazenamento verificado ao início de cada mês, o que explicita a resposta de geração térmica frente às reais condições observadas e não à condição virtual de armazenamento.

Dentre as principais alterações em arquivos de entrada, destacam-se as seguintes:

NEWAVE

Penalid.dat – retirada das penalidades do tipo VOLMIN

Curva.dat – Inclusão dos novos níveis de volume mínimo operativo nos REEs Sudeste, Paranapanema e Paraná (20%), Iguaçu e Sul (30%), Norte (20,8%) e Nordeste (23,5%). Os valores das penalidades foram recalculados considerando o CVU da térmica mais cara no horizonte do *deck* de NEWAVE, conforme portaria nº 300, do MME.

Dger.dat – Alteração para a simulação considerando o PAR(p)-A; Critério de parada de acordo com o proposto pela CPAMP (quantidade de iterações limitada a 50, Delta Zinf de 0,1 e 6 Deltas consecutivos dentro do critério de Zinf)

DECOMP

Polinjus.dat – polinômios de jusante por partes atualizados.

Restrições Hidráulicas de Energia (RHE) – Inclusão dos novos níveis de volume mínimo operativo nos REEs Sudeste, Paranapanema e Paraná (20%), Iguaçu e Sul (30%), Norte (20,8%) e Nordeste (23,5%). Os valores das penalidades foram recalculados considerando o CVU da térmica mais cara no horizonte do *deck* de DECOMP, conforme portaria nº 300, do MME.

3.2. Resultados do *backtest*

3.2.1. Geração Térmica

A Figura 2 apresenta a comparação da geração térmica realizada, projetada pelo DECOMP da CCEE na revisão semanal e com as simulações utilizando as propostas evolutivas da CPAMP com os pares de CVaR simulados.

Como abordado no item 3, esta simulação tem um grande valor como teste de sanidade, uma vez que é esperado que a resposta de despacho termelétrico das simulações, considerando as propostas da CPAMP, apresentem despacho térmico superior ao utilizado pelo ONS, tanto em momentos de geração termelétrica adicional por motivos de Garantia Energética, quanto por Recomposição de Reserva Operativa e GFOM/GSUB.

Em raciocínio análogo, não devem ser considerados como viáveis aqueles pares de CVaR que apresentem constantemente um despacho exagerado em relação ao utilizado pelo ONS.

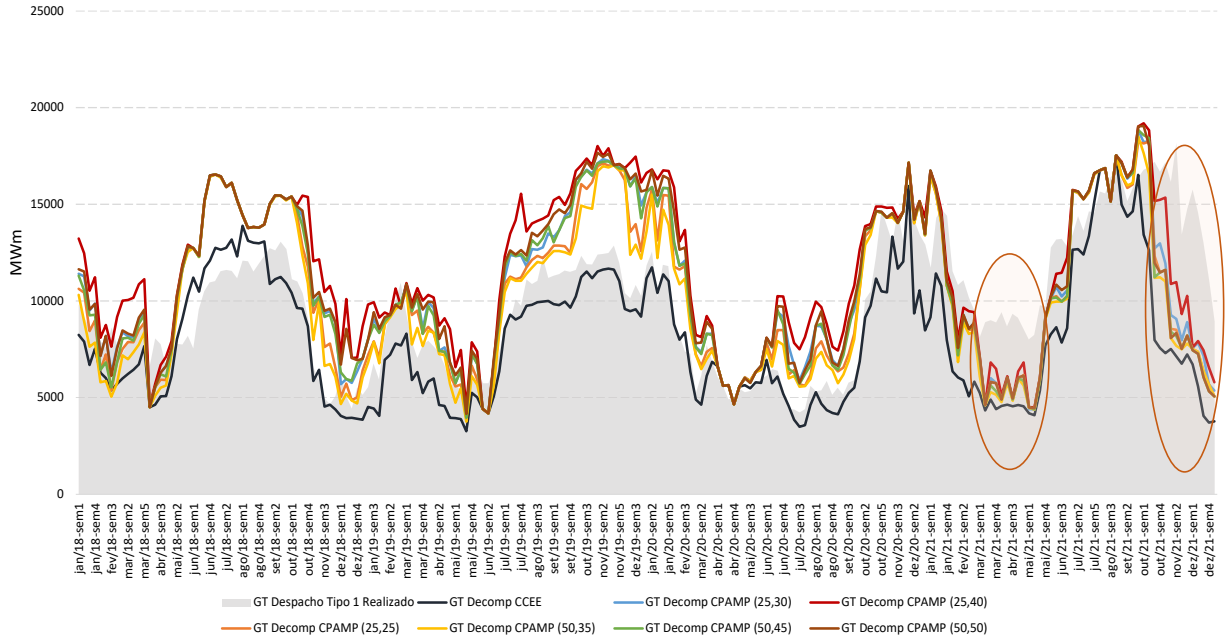


Figura 2 – Geração termelétrica de UTEs Tipo I

Nota-se que no histórico de 2018 a 2021 o Sistema Elétrico Brasileiro passou por quatro principais momentos de geração fora da ordem de mérito: Jan/19 a Jun/19; Ago/19 a Dez/19; Out/20 a Jul/21; Out/21 a Dez/21.

Percebe-se também que independentemente da escolha da família do parâmetro a, todas as simulações que consideram as propostas evolutivas feitas pela CPAMP foram capazes de tornar o despacho térmico mais aderente ao utilizado pelo ONS.

Isso mostra que a implementação do PAR(p)-A pode ser considerada como uma adição de mais aversão ao risco na otimização dos modelos computacionais. Ou seja, apenas com a implementação do PAR(p)-A grande parte da Geração Fora da Ordem de Mérito ocorrida no passado poderia ter sido evitada.

Destacam-se também os períodos de Out/20 a Jul/21 e Out/21 a Dez/21, em que nenhuma das simulações foi capaz de representar a aversão ao risco percebida pelo Operador Nacional do Sistema e Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico. Isto ocorre principalmente pela subjetividade na mensuração da aversão ao risco, evidenciando momentos em que a expertise do operador do sistema sobrepõe-se às decisões do modelo, mesmo que este possua um alto grau de aversão ao risco. **Este fato torna tanto o despacho realizado quanto a calibração de novos parâmetros de modelos de aversão ao risco grandezas subjetivas.**

Considerando a abrangência interpretativa deste assunto, acreditamos que a melhor decisão de escolha de parâmetros de CVaR baseado num estudo retrospectivo é aquela que apresenta, ao menor custo, a maior aderência da Geração Térmica projetada com o despacho térmico utilizado pelo ONS, entendendo a limitação dos modelos computacionais, principalmente em cenários de crise, uma vez que são nesses momentos que a percepção de risco é mais subjetiva.

Na Tabela 2 são apresentados os indicadores de atendimento do despacho realizado para cada um dos parâmetros de CVaR simulados. Assim como no estudo da CPAMP, aqui foi aceita a tolerância de 5% no atendimento da Geração Térmica realizada.

Tabela 2 – Atendimento do despacho realizado

Ano	DECOMP Realizado	CVaR 50,35	CVaR 25,25	CVaR 50,45	CVaR 25,30	CVaR 50,50	CVaR 25,40
2018	38%	69%	81%	85%	88%	90%	92%
2019	6%	87%	88%	92%	92%	92%	92%
2020	42%	96%	98%	98%	98%	98%	98%
2021	9%	30%	32%	32%	32%	32%	36%
Total	24%	70%	75%	77%	78%	78%	79%

A Tabela 2 deixa claro que o maior ganho na aderência do despacho realizado foi resultado da implementação de outros mecanismos de aversão ao risco no estudo retrospectivo, tais como o **PAR(p)-A e o Volume Mínimo Operativo**. Desta forma, a alteração de parâmetros do CVaR seria necessária para balancear a sobreposição de mecanismos de aversão ao risco.

A Tabela 2 também mostra a incapacidade dos modelos computacionais representarem a aversão ao risco percebida pelo Operador em momentos de crise, onde mesmo com o aumento da aversão ao risco inserida como dado de entrada nos modelos não resultou em incremento suficiente na Geração Térmica projetada.

Tal fato corrobora com a necessidade de despachos fora da ordem de mérito sempre que a percepção de risco do ONS e CMSE não estiverem aderentes com a percepção de risco resultante dos modelos computacionais. Porém o que se espera é que esses momentos sejam pouco frequentes.

Fica evidente a grande similaridade do resultado de despacho térmico dos pares de CVaR da família de a=25% e a=50%, sendo um alerta de que a utilização de a=25% e λ=40%, como sugerido pelo CMSE, pode ser em algumas situações menos eficiente e mais custosa ao sistema. A título de exemplo, a utilização do λ=40% representou o despacho de forma mais adequada que o λ=25% em apenas 4% das simulações (9 semanas operativas).

Enaltecemos aqui a eficiência das simulações com a=25% e λ =25% que na média dos anos de 2018 a 2020 apresentou despacho significativamente superior ao utilizado pelo Operador na época, estando aderente em 89% das semanas operativas, o que nos levou a considerar também esse par nas análises de indicador de atendimento da CRef, apresentadas no capítulo 4.

3.2.2. Custo Marginal da Operação

Na Figura 3 é apresentada a comparação do Custo Marginal da Operação realizado nas semanas operativas de 2018 a 2021 com as combinações de CVaR simulados e com o PLD máximo regulatório de cada ano.

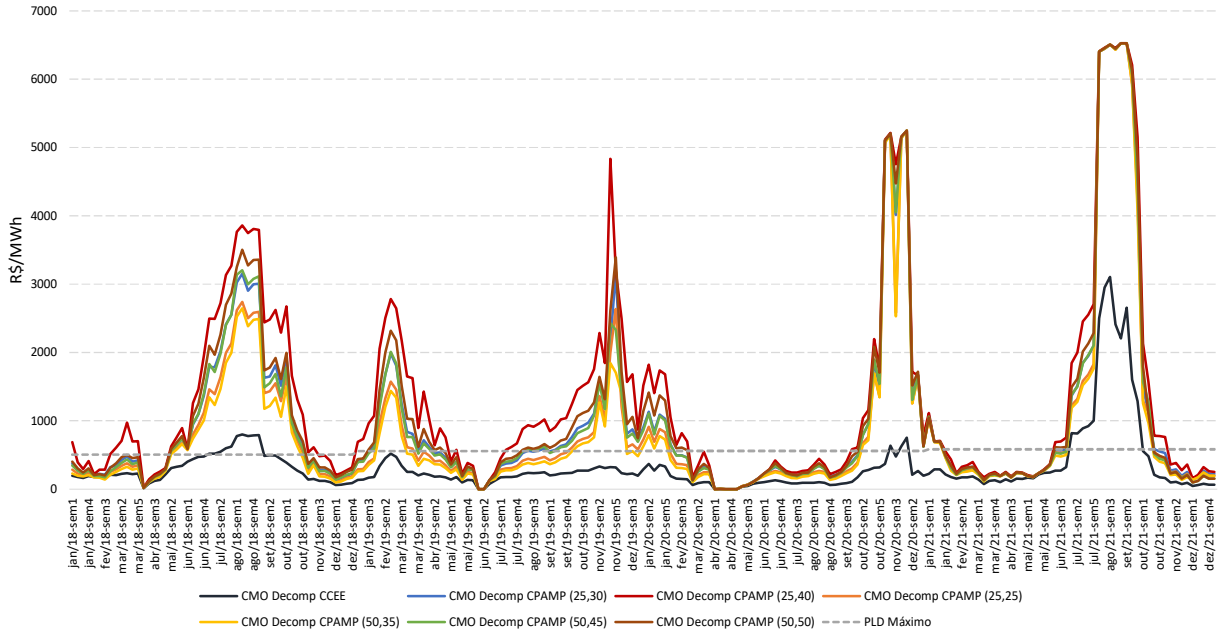


Figura 3 – Custo Marginal de Operação – SE/CO – CCEE – 2018 a 2021

Na maior parte da simulação, percebe-se que, independentemente dos pares de CVaR utilizados, o resultado do Custo Marginal da Operação – CMO é muito semelhante, novamente deixando claro o efeito dos mecanismos de aversão ao risco Par(p)-A e Volume Mínimo Operativo adicionados na simulação.

Pela Figura 3, observa-se também a persistência de Custos Marginais de Operação acima do PLD máximo estipulado para o ano de simulação. A Tabela 3 apresenta o percentual de CMO acima do PLD máximo de cada ano do horizonte simulado.

Tabela 3 – Permanência de CMO acima do PLD máximo

Ano	DECOMP Realizado	CVaR 50,35	CVaR 25,25	CVaR 50,45	CVaR 25,30	CVaR 50,50	CVaR 25,40
2018	19%	46%	48%	48%	48%	48%	65%
2019	0%	29%	38%	58%	56%	69%	83%
2020	6%	33%	33%	35%	35%	40%	44%
2021	25%	34%	34%	34%	36%	40%	45%
Total	13%	35%	38%	44%	44%	49%	59%

Essa análise mostra que, na média do horizonte analisado, o par de CVaR a=25%, λ=40% apresenta CMO acima do PLD máximo em 59% das semanas operativas analisadas, enquanto o par de CVaR a=25%, λ=25% resulta em CMO acima do PLD máximo em 38% das semanas operativas.

Isso mostra um sobrecusto associado a combinação a=25%, λ=40%, onde há elevação considerável na quantidade de CMOs acima do PLD máximo, porém sem impacto relevante no atendimento do despacho realizado, como mostrado no item 3.2.1.

Desta forma, a análise indica que pares muito avessos ao risco, tal como o a=25%, λ=40%, possuem uma permanência elevada acima do PLD máximo, representando um encargo de descolamento entre CMO e PLD acima do desejável. Sendo assim, um equilíbrio maior entre

atendimento e custo deve ser considerado, realçando o par a=25%, λ=25% como um candidato balanceado para a parametrização, já que com uma redução de 4% no atendimento da GT, tem-se uma redução de 21% na permanência de CMOs acima do PLD máximo.

4. Análise do Indicador de atendimento à Curva Referencial de Armazenamento da CPAMP

A metodologia de calibração do CVaR utilizada teve o objetivo de identificar qual a combinação dos parâmetros a e λ que indique geração térmica igual ou superior à geração térmica utilizada na CRef a cada estágio, ao menor custo de operação. Segundo a CPAMP, desta maneira o despacho fora da ordem de mérito seria reduzido.

Porém, este tipo de análise se propõe apenas a considerar a ótica do risco, deixando de lado a ótica do sobrecusto. Como exemplo de que a ótica do sobrecusto deveria ser analisada, fazemos o seguinte questionamento:

Em momentos que o armazenamento verificado está acima das 3 curvas referenciais do CMSE, é correto ter um despacho térmico mais de 5000 MW superior ao indicado pela CRef?

Evidentemente que se isso ocorre e é visto como correto, é porque a ótica do sobrecusto não está sendo analisada.

Nas simulações realizadas pela CPAMP, foram identificados vários estágios em que houve uma geração térmica muito excedente àquela da CRef em várias combinações de parâmetros de aversão ao risco, inclusive nos parâmetros escolhidos pela CPAMP e principalmente em meses de período seco. Este comportamento de geração térmica excedente motivou uma nova análise do Indicador de Atendimento à Curva, de forma a considerar esta geração térmica superior à indicada pela Curva Referencial de Armazenamento do CMSE.

A seguir são apresentados os pontos de discordância do estudo realizado pela CPAMP, assim como, uma nova abordagem considerando a ótica da geração térmica excedente, utilizando as mesmas informações do estudo que deu origem à Consulta Pública 121.

4.1. A Ótica do Sobrecusto

Na forma que o estudo da CPAMP foi conduzido, o objetivo foi, exclusivamente, identificar parâmetros de aversão ao risco que resultassem em despachos térmicos que superassem o indicado pela CRef. Desta forma avaliou-se a Geração Térmica Faltante em cada simulação.

Porém, ocorre que a análise de Geração Térmica Faltante apenas valora os riscos de não atendimento da CRef e desconsidera o sobrecusto do montante de geração térmica "desnecessário" no atendimento da Geração Térmica da própria CRef e as consequências nas diversas frentes do setor elétrico dessa busca superficial pelo atendimento térmico por si só.

Utilizando a metodologia proposta pela CPAMP na Consulta Pública em questão, acreditamos que **a escolha dos parâmetros de a e λ deve ser feita com o objetivo de encontrar a geração térmica que mais se aproxima da geração térmica da CRef, e não utilizar apenas a Geração Térmica Faltante como base de escolha.**

4.2. Proposta de Metodologia Considerando Geração Térmica Faltante e Excedente

Ao invés da metodologia de considerar apenas a Geração Térmica Faltante, proposta pela CPAMP e apresentada na fórmula abaixo, propomos apenas a exclusão do operador de minimização, para assim considerar também a Geração Térmica Excedente na formulação do problema:

$$1 + \frac{\sum_{i=1}^{n} \min(\text{Geração térmica simulada}_i - Geração\ térmica\ necessária_i)\ ;\ 0)}{\sum_{i=1}^{n} Geração\ Térmica\ Necessária_i}$$

Com a alteração na formulação proposta pela CPAMP, as simulações deixam de ter um indicador de atendimento à CRef limitado a 100%, podendo assim excursionar em quaisquer valores percentuais de atendimento à curva. Valores acima de 100% indicam que a simulação atendeu a CRef com Geração Térmica superior à indicada e valores abaixo de 100% indicam Geração Térmica Faltante no atendimento à CRef.

Adiciona-se aqui que nos momentos em que o armazenamento de referência superou todas as curvas da CRef, a Geração Térmica necessária utilizada como referência é resultante da simulação que considera apenas a adição do PAR(p)-A, intitulada pela CPAMP como "PAR(p)-A – 5035".

Dada a razoabilidade e equilíbrio dos parâmetros a=25%, λ=25% apontado no estudo retrospectivo, adicionamos a simulação desta combinação de parâmetros no estudo prospectivo para avaliar o seu desempenho no atendimento à Curva Referencial de Armazenamento.

4.3. Resultados

Os resultados obtidos pela metodologia proposta para a calibração do CVaR para o prospectivo caso 60MLT_EARM11 são apresentados na Tabela 4. Nota-se que várias sensibilidades de aversão ao risco foram capazes de atender em 100% do tempo os requisitos da CRef, e quanto mais avesso ao risco são os parâmetros CVaR, maior é o percentual de Geração Térmica atendida e maior a Geração Térmica excedente à CRef.

Tabela 4 - Resultados do atendimento da meta e custos do prospectivo com energia inicial equivalente à de dezembro de 2011 e expectativa de ENA de 60% da MLT.

60MLT_EARM11		
CVaR	Atendimento da Geração Térmica (%)	Custo total da GTérm. (R$ bi)
Vigente	99%	14,80
(50,35)	102%	18,90
(25,20)	100%	18,45
(25,25)	106%	18,51
(25,30)	112%	23,23
(25,35)	119%	27,19
(25,40)	126%	31,17
(25,45)	132%	34,20
(25,50)	142%	39,89

No caso 60MLT_EARM11 os parâmetros de a=25% e λ=20% foram os que apresentaram a melhor aderência de atendimento à Geração Térmica da CRef. A seguir são apresentados os resultados para o prospectivo do caso 60MLT_EARM20.

Tabela 5 - Resultados do atendimento da meta e custos do prospectivo com energia inicial equivalente à de dezembro de 2020 e expectativa de ENA de 80% da MLT

60MLT_EARM20		
CVaR	Atendimento da Geração Térmica (%)	Custo total da GTérm. (R$ bi)
Vigente	87%	48,26
(50,35)	90%	50,46
(25,20)	88%	50,37
(25,25)	95%	46,74
(25,30)	95%	53,05
(25,35)	102%	53,85
(25,40)	106%	56,35
(25,45)	107%	59,26
(25,50)	109%	60,09

No caso 60MLT_EARM20 os parâmetros de α=25% e λ=35% foram os que apresentaram a melhor aderência de atendimento à Geração Térmica da CRef. A seguir são apresentados os resultados para o prospectivo do caso 80MLT_EARM20.

Tabela 6 - Resultados do atendimento da meta e custos do prospectivo com energia inicial equivalente à de dezembro de 2020 e expectativa de ENA de 80% da MLT

80MLT_EARM20		
CVaR	Atendimento da Geração Térmica (%)	Custo total da GTérm. (R$ bi)
Vigente	81%	6,25
(50,35)	82%	6,91
(25,20)	81%	6,70
(25,25)	99%	10,15
(25,30)	97%	9,25
(25,35)	105%	10,77
(25,40)	112%	12,39
(25,45)	120%	14,81
(25,50)	129%	17,18

No caso 80MLT_EARM20 os parâmetros de α=25% e λ=25% foram os que apresentaram a melhor aderência de atendimento à Geração Térmica da CRef. Por fim, a seguir são apresentados os resultados para o prospectivo do caso 120MLT_EARM11.

Tabela 7 - Resultados do atendimento da meta e custos do prospectivo com energia inicial equivalente à de dezembro de 2011 e expectativa de ENA de 120% da MLT.

120MLT_EARM11		
CVaR	Atendimento da Geração Térmica (%)	Custo total da GTérm. (R$ bi)
Vigente	100%	5,62
(50,35)	100%	5,62
(25,20)	100%	5,62
(25,25)	100%	5,62
(25,30)	100%	5,62
(25,35)	100%	5,62
(25,40)	100%	5,62
(25,45)	100%	5,62
(25,50)	100%	5,62

No caso 120MLT_EARM11, dado o otimismo do cenário de vazão, todos os pares de parâmetros de aversão ao risco seriam capazes de atender a Geração Térmica ao custo mínimo.

4.4. Seleção do par de parâmetros para o CVaR

A Figura 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos pela metodologia proposta de calibração do CVaR para o *backtest* e prospectivos aos mesmos moldes feitos pela CPAMP nesta Consulta Pública. O eixo x indica o menor valor de atendimento da meta obtido entre os resultados do *backtest* e sensibilidades prospectivas. O eixo y indica a média do custo médio anual do *backtest* com o custo médio anual das sensibilidades prospectivas.

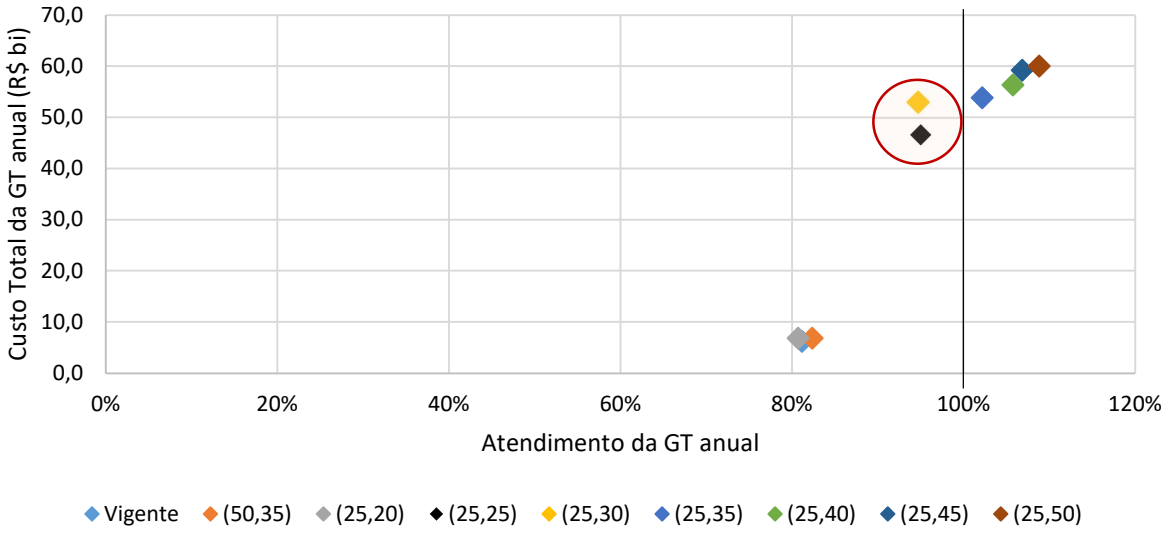


Figura 4 - Resumo dos resultados obtidos pela metodologia para calibração do CVaR

Pelo gráfico, nota-se um que a combinação de parâmetros que apresentou a maior aderência ao atendimento da GT anual da CRef, ao menor custo, é o a=25% e λ=25%.

Destaca-se que, utilizando os mesmos dados apresentados pela CPAMP na definição dos parâmetros de aversão ao risco, a combinação sugerida pela Comissão pode resultar em

Geração Térmica 26% superior à indicada pela CRef (60MLT_EARM11) e um custo adicional de R$ 13 bilhões, quando comparado à proposta do CVaR resultante ao se considerar a GT excedente na metodologia.

Desta forma, a análise do indicador de atendimento à Curva Referencial de Armazenamento que leva em consideração a Geração Térmica Excedente aponta que o par de CVaR que apresenta a maior eficiência ao menor custo é α=25% e λ=25%.

5. Crítica quanto ao PAR(p)-A e a definição da média móvel de 12 meses

Na classe de modelos periódicos, o modelo vigente PAR(p) ajusta para cada período da série um modelo AR(p) para a determinação das séries hidrológicas futuras.

Na definição de modelos autorregressivos, o modelo proposto pela CPAMP deve ser classificado como um PARMA(p,q), onde, de forma similar ao atual PAR(p), o p é a ordem do modelo auto regressivo e q é a ordem da média móvel. Portanto o modelo Par(p)-A proposto, estatisticamente, é um modelo PARMA(p) com média móvel anual.

De acordo com RASMUSSEN (1996)[1], a extrapolação dos modelos PAR(p) para os modelos PARMA (p,q) não é uma tarefa trivial e pode não ser justificável dado o bom desempenho apenas do PAR(p).

Séries hidrológicas têm comportamento periódico das suas propriedades probabilísticas, como por exemplo, média, variância e estrutura de autocorrelação. A periodicidade das propriedades da hidrologia resulta em uma grande complexidade da calibração da ordem da média móvel.

TESFAYE (2005)[2] faz um estudo da modelagem PARMA aplicada para séries hidrológicas e é demonstrado que modelos PARMA exigem uma estimativa de muitos parâmetros que podem violar princípios estatísticos, principalmente a parcimônia. Desta forma, através de séries de Fourrier discretas o autor buscou determinar possíveis parâmetros de média móvel.

No trabalho é destacado que em séries sazonais é impossível que um valor fixado de média móvel atenda os princípios estatísticos para a definição de um modelo periódico autorregressivo.

Neste sentido, uma calibração "ótima" da escolha da média móvel diferenciaria períodos de verão e inverno, período úmido e seco, assim como possíveis atrasos de estações chuvosas. A generalização da calibração pode, em períodos extremos, ficar extremamente contaminado na sua geração de séries.

Em um estudo de autocorrelação, das janelas de 12 meses, percebe-se que a janela de julho/2020 a junho/2021 possui uma a menor autocorrelação do histórico de ENAs do Sudeste, sendo ela próxima de 0,38. A implementação do PAR(p)-A em um momento tão atípico como o atual é extremamente danoso para a criação de séries do modelo.

Adicionalmente, sugerimos que a implementação dos modelos estatísticos deva ser acompanhada da divulgação dos testes estatísticos e da justificativa de escolha em relação aos outros modelos testados. **Da forma que está sendo sugerido, não é possível atestar se a qualidade da média móvel de 12 meses é superior a outra janela de média móvel, por exemplo bianual, quinquenal ou até mesmo decenal. Essa implementação pode ao invés de apresentar um sinal mais autêntico, gerar um ruido na geração de séries.**

---

[1] RASMUSSEN, R. F.; SALAS, J.D; FAGHERAZZI, L.; RASSAM, J. C.; BOBEE, R. Estimation and validation of contemporaneous PARMA models for streaflow simulation. Water Resour. Res. 32(10), 3151-60,1996.

[2] TESFAYE, Y. G. Seasonal Time Series Models and Their Applicationto the Modeling of River Flows. University of Nevada, Reno, USA. 2005