

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA FACTIBILIDADE DA RESPOSTA INICIAL DO DESSEM EM RELAÇÃO AO ATENDIMENTO DAS RESTRIÇÕES OPERATIVAS

PEDRO HENRIQUE FERES CAMPOS(1);ISRAEL FILIPE SILVA AMARAL(2);DOUGLAS ALEXANDRE GOMES VIEIRA(2);GUSTAVO RODRIGUES LACERDA SILVA(2);MATHEUS DE OLIVEIRA MENDONÇA(2);LAIS CLAUDINE SCHIAVO GOMES(1);JERSON DOS SANTOS CARVALHO(3);MATHEUS VICTOR RAMOS DOS ANJOS(1)
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS(1);ENACOM HANDCRAFTED TECHNOLOGIES(2);UFJF(3)

RESUMO

Este trabalho propõe a aplicação de uma análise investigativa com foco na contagem e na classificação das restrições mais violadas pelo modelo DESSEM. O objetivo é utilizar os dados divulgados diariamente pelo modelo DESSEM como entrada de um simulador comercial focado no planejamento de curtíssimo prazo e, dessa forma, avaliar do ponto de vista das restrições como se comporta a saída do modelo desenvolvido pelo CEPEL. A contribuição consiste no uso de dados reais e de um simulador que é utilizado comercialmente por cascatas presentes no sistema elétrico nacional, como base para a análise descritiva dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: programação diária, DESSEM, restrições, faixa operativa de unidades geradoras, simulador

1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil, existem três modelos computacionais desenvolvidos pelo CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) que auxiliam o Operador Nacional do Sistema (ONS) no planejamento da operação do Sistema Interligado Nacional (SIN). Em ordem de horizonte de planejamento tem-se primeiramente o NEWAVE que apresenta discretização mensal e um horizonte de até cinco anos. Observa-se que o principal produto deste modelo é a função de custo futuro que essencialmente representa o “valor da água” e assim, as consequências financeiras das decisões referentes ao uso dos recursos hídricos. Seguindo, reduzindo um pouco o horizonte de planejamento para um ano e uma discretização semanal/ mensal, tem-se o DECOMP. De posse das funções de custo futuro geradas no NEWAVE, é tarefa do DECOMP encontrar o despacho ótimo da geração das unidades presentes no SIN. Como já observado, a integração entre os modelos temporais é feita por funções que representam a política de operação, assim, a cada rodada do DECOMP gera-se uma função de custo futuro por usina a ser utilizada pelo próximo modelo (10).

Por último, com um horizonte de até uma semana e discretização de até meia hora, tem-se o DESSEM que tem como objetivo determinar a operação diária do SIN, que é um sistema hidrotérmico de grande porte. Observa-se que, para isso, o modelo faz uso do planejamento de longo e médio prazo através da função de custo futuro construída no DECOMP. Um aspecto importante dos modelos desenvolvidos pelo CEPEL é que conforme se reduz o horizonte de planejamento ocorre a redução das incertezas do modelo. Por outro lado, aumenta-se o nível de detalhamento elétrico (6). Dessa forma, no modelo DESSEM tem-se um problema de otimização determinístico com alto detalhamento elétrico, podendo citar algumas funcionalidades presentes no modelo (9): i) fontes intermitentes, ii) limites de fluxos nas linhas de transmissão e iii) restrições de rampa das unidades termoeletricas.

Como consequência do maior detalhamento elétrico, além das restrições já citadas, a resposta do DESSEM deve levar em conta para cada unidade do portfólio de geração uma série de restrições de modo a não causar danos na estrutura interna da unidade de geração nem ao ambiente externo à unidade. Por outro lado, como todo modelo, o DESSEM possui algumas limitações, não englobando todas as particularidades importantes de todas as usinas hidrelétricas presentes no sistema sob estudo. Assim, na primeira rodada, algumas restrições são violadas e como parte do fluxo de comunicação, tais restrições deverão ser identificadas pelos programadores responsáveis de cada usina e informadas para correção dentro de um prazo de uma hora. No entanto, tal fluxo pode ser trabalhoso e pouco otimizado num ambiente que necessita de decisões cada vez mais ágeis e de qualidade.

Diante do problema descrito anteriormente, o presente trabalho propõe uma metodologia para análise das restrições mais violadas na programação diária. A metodologia é baseada na coleta dos dados do DESSEM que são divulgados

diariamente e utilizá-los como entrada de um *software* comercial de simulação hidroenergética. Vale dizer que o programa leva em conta todas as restrições das unidades estudadas e indica violações quando estas ocorrem. Os resultados demonstram como se comporta a programação diária em relação ao que é proposto diariamente pelo DESSEM. Uma análise descritiva é feita visando ter de forma quantitativa e qualitativa as restrições violadas.

2.0 TRABALHOS RELACIONADOS

Na atualidade é vasta a discussão na literatura especializada a respeito do modelo computacional DESSEM. A discussão ganhou força desde o dia 1º de janeiro de 2020 quando o ONS passou a adotar o modelo no planejamento da operação do Sistema Interligado Nacional. Este foi um dos passos presentes na portaria de nº 301 do Ministério de Minas e Energia que estabeleceu um cronograma para a entrada em operação do modelo visando a formação do Preço da Liquidação das Diferenças (PLD) (11)(2). Com a implantação do DESSEM em 2020, pôde-se observar de forma mais detalhada a operação do sistema através do custo marginal de operação (3) e dessa forma tomar decisões referentes a alocação dos recursos energéticos mais eficientes. Além disso, com a implementação do PLD horário em 2021, pôde-se aproximar o mercado da operação real do sistema elétrico.

Em (8), um trabalho de 2018, já se observa que o DESSEM necessita de ajustes e mostra que um conjunto de restrições são violadas para algumas usinas, por exemplo, exibindo como resultados gerações ineficazes para determinadas unidades. Já em (7), o Operador Nacional do Sistema e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) informam que detectaram algumas discrepâncias em restrições operativas associadas às usinas hidrelétricas Pimental e Belo Monte no DESSEM e trabalham para aprimorar a modelagem. Além disso, em (1) a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) demonstra preocupação com as restrições de *unit commitment*, alertando para as individualidades de cada usina. Por outro lado, em (5) chama-se atenção para a representação de algumas unidades por modelos equivalentes no DESSEM, o que pode acarretar violações em restrições particulares de cada usina. Por fim, em (4) a CCEE encontrou um problema nas restrições de fluxo do DESSEM e tal situação foi informada ao CEPEL. Assim, através dos trabalhos expostos acima, observa-se que o modelo DESSEM deve passar por constante revisão para tornar o processo de planejamento da operação mais eficiente.

3.0 METODOLOGIA

Como o foco do trabalho são as restrições operativas, optou-se, em um primeiro momento desta seção, definir o conjunto de restrições que foram analisadas no trabalho. Vale dizer que um aproveitamento hidrelétrico é regido por diversas restrições operativas que apresentam como objetivo fornecer segurança para os dispositivos que compõem a unidade e garantir um ponto ótimo de operação. Além disso, algumas restrições visam proteger o ambiente externo, mantendo um nível aceitável do uso da água tendo em vista o menor impacto possível na natureza. Dessa forma, o trabalho em questão divide as restrições existentes em cinco categorias:

1. Restrições de nível montante
2. Restrições de taxa de variação
3. Restrições instantâneas
4. Faixa operativa
5. Outras

O primeiro tipo de restrição diz respeito à cota do reservatório. Do ponto de vista de otimização, pode-se dizer que é uma restrição de canalização, ou seja, são limites para o problema. Assim, para cada empreendimento hidrelétrico estudado, tem-se um volume máximo do reservatório e um volume mínimo. Vale dizer que o volume mínimo define o volume morto, ou seja, abaixo daquele volume não há energia potencial para ser transformada em energia elétrica.

Seguindo, tem-se as restrições de taxa de variação. Basicamente, este conjunto de restrições faz referência a duas variáveis que estão interconectadas, vazão e geração. Assim, este conjunto de restrições define um limite para variações dentro de um intervalo no período de discretização. Por exemplo, para Tucuruí, durante o período chuvoso, a taxa de variação de defluência máxima é de 2000 m³/s no intervalo de uma hora. Caso este limite não seja atendido, há a possibilidade de inundações nas cidades a jusante da hidrelétrica. Já para a geração, pode-se citar Itutinga que tem como restrição que a rampa negativa de geração, em um intervalo de 30 minutos, não pode ultrapassar 7MW.

Também há um conjunto de restrições que se refere a limites operativos instantâneos que evitam danos ao meio ambiente em que o empreendimento está inserido. Dentro deste contexto, pode-se citar um mínimo e um máximo na vazão defluente. A restrição de defluência mínima visa manter o nível a jusante a fim de facilitar o deslocamento dos peixes em época de reprodução. Por outro lado, tem-se a restrição de vazão máxima que tem como um dos objetivos evitar inundações em locais a jusante da hidrelétrica.

Por último, tem-se as restrições de faixa operativa que tem foco no conjunto turbina e gerador. O foco deste tipo de restrição é evitar fenômenos como a cavitação, que danificam a estrutura e provocam quedas na quantidade de energia gerada.

Existem outras restrições que são muito particulares de alguns empreendimentos e portanto, vão ser agrupadas em um conjunto separado dos outros tipos, pode-se citar neste caso os limites de vazão no túnel em unidades com mais de um reservatório.

Neste trabalho, optou-se por analisar apenas as restrições operativas das usinas hidrelétricas, no entanto, o modelo computacional DESSEM é o que apresenta o maior detalhamento elétrico, o que se faz necessário no planejamento diário da operação. Dessa forma, há outros grupos de restrições modeladas no DESSEM que não são o enfoque deste trabalho, que são: restrições operativas sistêmicas e restrições operativas.

No simulador utilizado, todas as restrições citadas estão cadastradas para todas as cascatas utilizadas no trabalho, dessa forma, pode-se ter de forma clara quando o modelo DESSEM viola algo. Ainda sobre o simulador, vale salientar que caso o resultado, durante o processo de simulação, viole alguma restrição de nível ou de faixa operativa, ocorre uma parada, visto que essas restrições são críticas e inviabilizam a continuidade da simulação. No caso do presente trabalho, o resultado do modelo DESSEM faz o papel de usuário, dessa forma, o simulador verifica a factibilidade do modelo do CEPEL e retorna as restrições violadas durante o processo de simulação.

Definidas as restrições, pode-se detalhar de forma melhor os passos dados no trabalho através do esquemático presente na Figura 1.

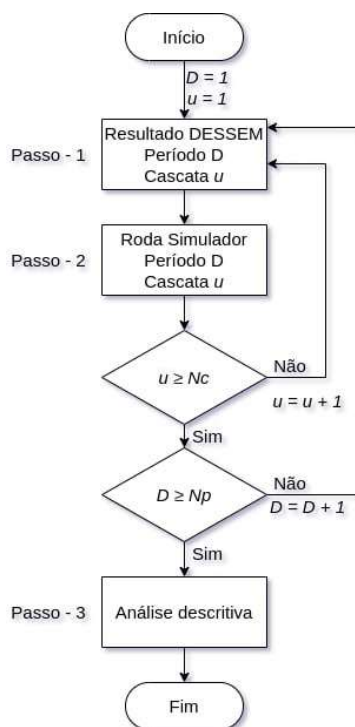


FIGURA 1 – Fluxograma que representa a metodologia.

Na Figura 1, D representa o dia e u a cascata estudada. Seguindo, tem-se que Np representa o número de períodos escolhidos para o estudo e Nc o número de cascatas. O Passo -1 consiste na coleta dos dados divulgados pelo ONS para o modelo DESSEM e os resultados são armazenados. Vale dizer que esta coleta é feita para o dia seguinte com uma discretização de meia hora. No Passo - 2, utilizando os dados coletados do DESSEM como entrada, utiliza-se o *software* de simulação hidroenergética *Hydropower Optimizer* para simular e verificar violações nas restrições. Este processo é feito até o número máximo de cascatas e o número total de dias escolhidos. Por fim, no Passo - 3, realiza-se a análise descritiva das restrições violadas avaliando de forma quantitativa e qualitativa.

4.0 DESENVOLVIMENTO

O procedimento apresentado no fluxograma da Figura 1 foi realizado durante os meses de setembro de 2020 e agosto de 2021, resultando em sete e cinco dias de resultados simulados, na respectiva ordem. Em cada dia analisado, os dados divulgados pelo ONS para o modelo DESSEM são utilizados para montar a requisição de

simulação, que fornece o resultado do D e do D+1 para o dia em questão. Para cada dia simulado, dois tipos de simulação são executados. O primeiro tipo reproduz uma operação realística com base nos dados de entrada e, caso alguma restrição não-violável não seja respeitada, a simulação é interrompida, retornando o motivo e o instante de tempo de parada.

O segundo tipo de simulação faz uso das ferramentas de otimização do simulador, que em casos que ocasionaram paradas na operação, uma nova entrada é calculada, de forma que as restrições sejam obedecidas e assim, o simulador retorna tanto os resultados quanto a nova entrada, que passa a ser uma sugestão de operação baseada em otimização, que leva em conta os detalhes dos modelos particulares de cada cascata e suas usinas.

A saída do simulador é composta por diversas informações do processo de simulação, destacando-se a lista de restrições impostas à simulação e se foram ou não violadas, a causa de parada de simulação, caso tenha ocorrido, além da sugestão de operação diária em casos que a simulação pararia, mas a correção via otimização é permitida. Os resultados apresentados na Seção 5.0 são baseados nessas informações coletadas da saída do simulador.

5.0 RESULTADOS

Os resultados foram separados por dia e por cascata, de forma que possa ser feita a análise individual e conjunta dos mesmos.

5.1 Restrições violadas por instante de tempo

TABELA 1 – Instantes de tempo simulados com restrições violadas.

	Quantidade de períodos com restrições violadas												Total Violado	Total Simulado	Porcentagem de Violação
	14 set. 2020	15 set. 2020	22 set. 2020	23 set. 2020	24 set. 2020	25 set. 2020	28 set. 2020	13 ago. 2021	16 ago. 2021	17 ago. 2021	18 ago. 2021	19 ago. 2021			
Araguari	8	188	192	192	192	192	192	48	48	48	48	48	1396	1584	88,13%
Doce	0	105	203	182	336	336	336	92	139	129	127	144	2129	3072	69,30%
Grande CS	93	105	144	144	144	144	0	12	12	12	35	24	869	1248	69,63%
Grande TR	90	141	0	141	141	141	141	41	40	44	42	39	1001	1248	80,21%
Itabapoana	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	4	576	0,69%
Jequitinhonha	0	0	46	47	47	47	47	48	48	48	14	48	440	576	76,39%
Paranaíba	26	0	0	33	48	48	48	48	48	48	48	48	443	576	76,91%
São Francisco	0	60	144	144	144	144	144	47	48	47	47	48	1017	1248	81,49%

A Tabela 1 apresenta a quantidade de instantes de tempo em que ao menos uma restrição foi violada. Observando, por exemplo, Grande TR, em cerca de 80,21% do período simulado há violação de restrições operativas. Há casos apresentados na Tabela 1 relativos às simulações em que violação de restrições críticas ocasionam paradas. Assim sendo, os instantes de tempo após essa parada de simulação são considerados como violações.

5.2 Violação de restrições críticas

A Figura 2 apresenta uma relação de porcentagem de simulações: que foram realizadas por completo, que apresentaram paradas de simulação por restrição de faixa operativa ou paradas por restrições de nível montante, casos considerados críticos, ou seja, que inviabilizam a continuidade da simulação.

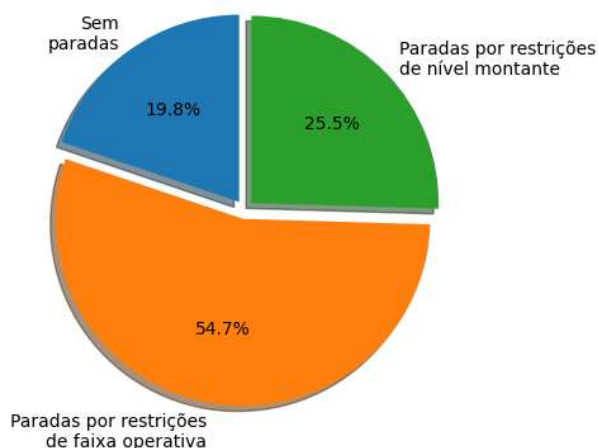


FIGURA 2 – Tipos de violações de restrições que inviabilizam uma simulação completa.

Observando a Tabela 1 e a Figura 2, fica evidente que os dados divulgados pelo ONS para o modelo DESSEM ocasionam em violação de restrições em grande parte dos instantes de tempo, de forma que as violações de restrições críticas resultam em paradas de simulação em mais da metade dos dias simulados.

5.3 Correções via timização do *software Hydropower Optimizer (HPO)*

Analisando a usina de Camargos, presente na cascata Grande CS, é feita uma análise de uma simulação realizada com a demanda do DESSEM e com correções efetuadas pelo HPO. Os gráficos apresentados na Figura 3 representam uma simulação onde haveria parada de simulação no instante de tempo 37 seguindo a demanda sugerida pelo DESSEM. A demanda não pode ser atendida por limitações de faixa operativa, e então, o HPO consegue modificar a demanda para uma alternativa factível, possibilitando a finalização da simulação e já oferecendo uma proposta de demanda que não irá violar restrições do sistema.

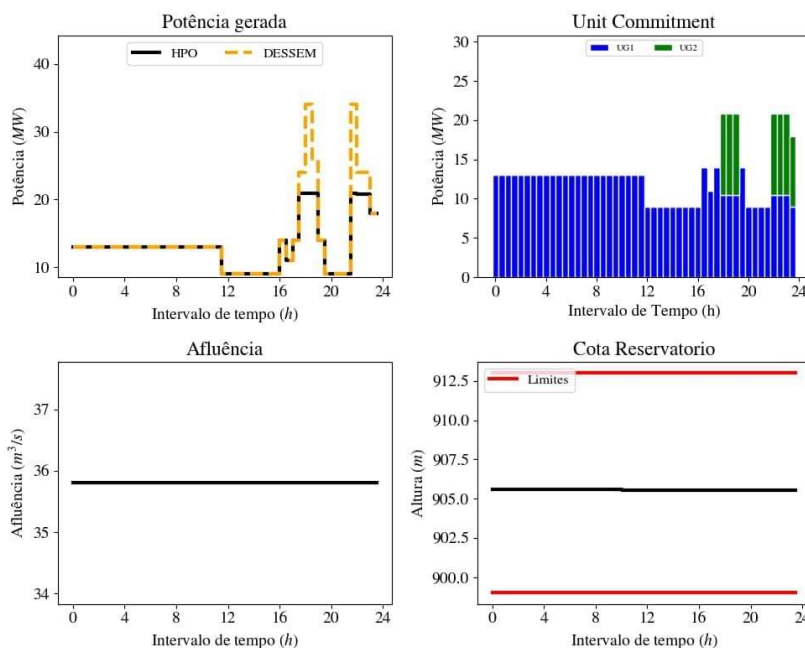


FIGURA 3 – Exemplo de correções via otimização quando uma restrição crítica seria violada na simulação.

A Figura 4 apresenta os gráficos referentes à usina de Igarapava, presente na cascata de Grande TR. Também são ilustrados os gráficos de potência sugerida pelo DESSEM, assim como as correções realizadas pelo HPO: de *Unit Commitment* das unidades geradoras, da afluência natural e da cota do reservatório. Analisando os resultados, é observado que o *software* realiza o *Unit Commitment* exatamente de acordo com o DESSEM exceto quando sua demanda viola alguma restrição, o que ocorreria no instante de tempo 7 devido à violação de nível mínimo. Ao realizar

as correções, o simulador é capaz de cumprir uma parte da demanda e permanecer dentro dos limites de altura do reservatório.

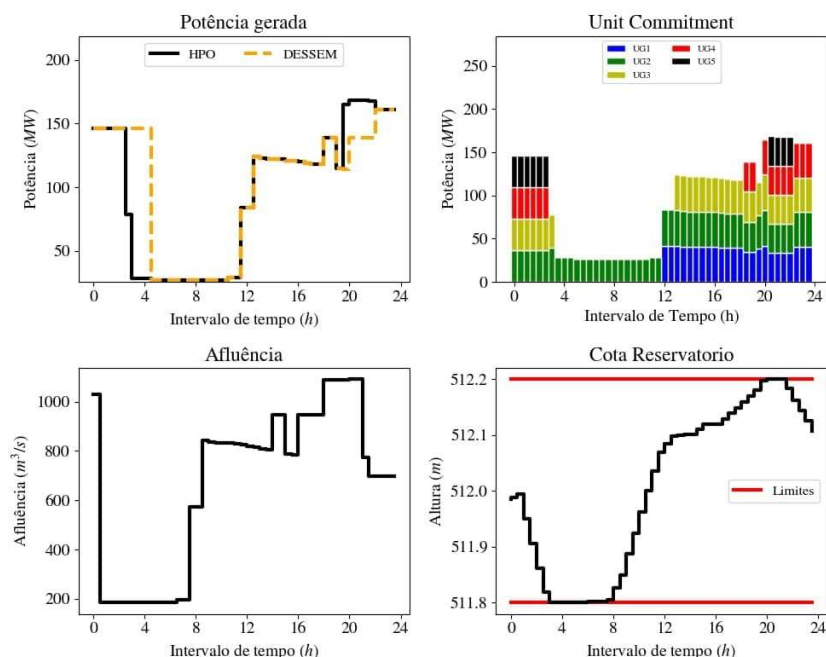


FIGURA 4 - Exemplo de correções via otimização quando uma restrição de nível mínimo e máximo seria violada na simulação sem paradas.

5.4 Tipos de Violações de Restrições por Cascata de Usinas Hidrelétricas

As cascatas de usinas hidrelétricas estão presentes em distintas bacias e possuem características diversas. Uma das análises realizadas relaciona dentre todas as restrições violadas que foram contabilizadas para certa cascata, a porcentagem que exprime os tipos de restrição. As informações resultantes estão apresentadas na Figura 5 para quatro cascatas. Pode-se observar que não há um padrão que identifique um tipo específico de restrição, mas que cada caso pode apresentar uma causa específica.

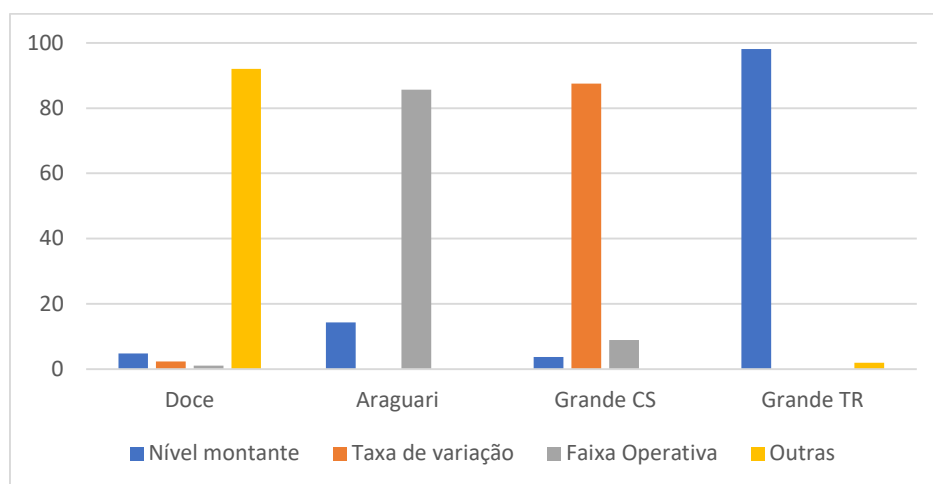


Figura 5 – Indicação de tipos de restrições por cascata de usinas de hidrelétricas.

6.0 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise descritiva das restrições violadas utilizando a demanda de geração do modelo DESSEM como base, demonstrando a falta de aderência do mesmo com a operação real, principalmente no quesito de considerar faixas operativas de unidades geradoras hidráulicas e limites de reservatório. A análise consistiu no

uso dos dados divulgados diariamente pelo modelo como entrada de um simulador especialista na programação da geração hidrelétrica de curtíssimo prazo, o *Hydropower Optimizer*. Para facilitar o entendimento e otimizar o esforço computacional, escolheu-se cascatas mais representativas e, também, limitou-se o número de dias analisados.

Os resultados deste estudo mostraram que a maioria das restrições violadas são de faixa operativa, mostrando um caminho para melhorias no modelo. Além disso, utilizando o simulador HPO também se propôs alterações na demanda de geração de forma a considerar algumas particularidades e, de forma contrária ao que ocorreu no DESSEM, não provocam parada por violações nas restrições.

Outras restrições, sejam elas ambientais (limites de vazão ou taxas de variação) ou de nível foram avaliadas e, para algumas cascatas, são a principal causa de violações. Sendo assim, ter uma ferramenta que auxilie no planejamento diário da geração, considerando uma representação da operação das usinas aderente à realidade e coerente para análise das diversas restrições se mostra relevante e necessário.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANEEL. (2019). Nota Técnica nº 059/2019-SRG/ANEEL.

(2) Azambuja, Rodrigo, et al. (2019). Geração de Energia Eólica no Nordeste Brasileiro e o Cenário Meteorológico Adjacente: Parte I - Climatologia e efeitos meteorológicos de curto e longo prazo; Parte II - Estudos de casos e impacto no Preço de Liquidação das Diferenças Horário. "XXV SNPTTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 10 a 13 de novembro de 2019 Belo Horizonte-MG."

(3) Bessa da Silveira Santos, Rosane.(2021). Estudo da Representação da Resposta da Demanda na Programação Diária da Operação e seus Impactos na Otimização do Despacho e Custos de Operação. Universidade Federal Fluminense.

(4) CCEE. (2021). CO – Ajuste na modelagem do fator de intercâmbio das Restrições Elétricas no Modelo DESSEM. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>, Acesso: 2021.

(5) CPAMP. (2021). Respostas Às Contribuições Recebidas No Questionário “Propostas De Atividades Do GT Metodologia Para O Ciclo 2020/2021”.

(6) Kong, Jiehong, Hans Ivar Skjelbred, and Olav Bjarte Fosso.(2020). An overview on formulations and optimization methods for the unit-based short-term hydro scheduling problem. *Electric Power Systems Research* 178: 106027.

(7) ONS. (2021). ONS E CCEE BUSCAM APRIMORAMENTO NA MODELAGEM DAS USINAS HIDRELÉTRICAS DO COMPLEXO BELO MONTE NO MODELO DESSEM. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>, Acesso: 2021.

(8) Rigoni, Murilo. (2018). ANÁLISE DE RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DESSEM NA OPERAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL. Universidade Federal de Santa Catarina.

(9) Santos, T. N., et al. (2020). Hourly pricing and day-ahead dispatch setting in Brazil: The dessem model. *Electric Power Systems Research* 189 (2020): 106709.

(10) Souza, Reinaldo Castro, et al. (2014). Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos no Brasil. Rio de Janeiro: PUC-Rio.

(11) Zucatelli, P. J., et al. (2021). An investigation on deep learning and wavelet transform to nowcast wind power and wind power ramp: A case study in Brazil and Uruguay. *Energy* 230: 120842.

DADOS BIOGRÁFICOS



Formado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com conhecimentos mais aprofundados na vertente de programação e otimização. Atualmente pesquisador associado da ENACOM e analista na Optimal Energy, realizando mestrado no PPGEE / UFMG na linha de otimização, além dela, possui interesse pela área de machine learning.

(2) ISRAEL FILIPE SILVA AMARAL

Israel Amaral, graduando em Engenharia Elétrica pela UFMG. Foi participante do Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica, participando da criação e ministrando em minicursos de Python, LaTeX, Matlab e Oficinas de Robô Seguidor de Linha. Obteve o 3º lugar na ROSI Challenge, desafio de programação de robôs autônomos para inspeção industrial ocorrido no 14º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Participou em pesquisas sobre o desenvolvimento e implementação de técnicas de planejamento de caminhos e navegação autônoma de um dispositivo robótico como objetivo a exploração de ambientes confinados. Atualmente é desenvolvedor na Optimal Energy na célula de otimização.

(3) DOUGLAS ALEXANDRE GOMES VIEIRA

Pós-doutorado em computação pelo Imperial College London. Pós-doutorado, doutorado e graduação em engenharia elétrica pela UFMG. Doutorado Sanduíche na University of Oxford. Diversos projetos coordenados para empresas. Honraria de produtividade em pesquisa pelo CNPq.

(4) GUSTAVO RODRIGUES LACERDA SILVA

Possui graduação em Sistemas de Informação pela PUC Minas, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela UFMG. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Modelos de Simulação. Atualmente é diretor de tecnologia da ENACOM.

(5) MATHEUS DE OLIVEIRA MENDONÇA

Matheus Mendonça é engenheiro eletricitista com mestrado em engenharia elétrica pela UFMG na área de otimização e, atualmente, é gerente de otimização na ENACOM e professor de Inteligência Artificial em cursos de pós-graduação. É comprometido com a pesquisa científica que gera resultados e com a inovação.

(6) LAIS CLAUDINE SCHIAVO GOMES

Engenheira Eletricista pelo CEFETMG e mestranda em Engenharia Elétrica na UFMG. Atua como analista e pesquisadora associada nas empresas do Grupo Enacom.

(7) JERSON DOS SANTOS CARVALHO

Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2017) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2020). Possui conhecimento em otimização robusta e planejamento energético, tendo trabalhado como bolsista de iniciação científica no Laboratório de Sistemas de Potência (Labspot) da Faculdade de Engenharia da UFJF entre os anos de 2016 e 2017. Tem interesse nas áreas de planejamento e operação de sistemas elétricos de potência, técnicas de otimização, geração distribuída e redes inteligentes.

(8) MATHEUS VICTOR RAMOS DOS ANJOS

Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), na linha de pesquisa: Modelagem, Análise e Controle de Sistemas Não Lineares. Engenheiro de Controle e Automação pela UFMG. Técnico em Eletrônica pelo Centro de Educação Federal e Tecnológica de Minas Gerais. Eletricista de instalações pelo Senai ARG. Possui experiência nas áreas de automação e instrumentação industrial, desenvolvimento de software, hardware e firmware.