



## **Grupo de Estudo de Planejamento de Sistemas Elétricos-GPL**

### **METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ATRASOS DE OBRAS DE TRANSMISSÃO NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO SOB ENFOQUE DA CONFIABILIDADE**

**LUCIANO DE SOUZA MOULIN(1); EDUARDO LEITE MOUTINHO(1); CARMEN LUCIA TANCREDO BORGES(2)**  
**CEPEL(1); COPPE/UFRJ(2)**

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma forma de quantificar e comparar os impactos resultantes de possíveis atrasos de obras de um plano de expansão da transmissão. A metodologia prevê o uso de ferramentas de fluxo de potência, fluxo de potência ótimo e confiabilidade para calcular os incrementos nos critérios de comparação e indicar a prioridade da implantação das obras de transmissão frente à possibilidade da modificação inesperada do cronograma previamente definido nos estudos de planejamento. Os incrementos calculados representam a severidade dos impactos da ausência de obras planejadas com relação ao plano de expansão definido nos estudos.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Planejamento da transmissão, Atrasos de obras, Confiabilidade

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos tem sido causa de preocupação, a ocorrência de atrasos na data de entrada em operação de reforços de transmissão definidos nos estudos de expansão do sistema de transmissão brasileiro. Esses atrasos têm ocorrido tipicamente por leilões de transmissão vazios, atrasos no processo de licenciamento ambiental, problemas financeiros de empresas transmissoras, entre outros motivos. Em certos casos, esses imprevistos levam à necessidade de atualizar o plano de expansão para adequá-lo ao novo cenário (1). A fiscalização e o acompanhamento do processo de implantação de empreendimentos outorgados têm sido intensificados, com uso de técnicas de inteligência analítica como ferramenta para identificar os casos mais críticos do ponto de vista qualitativo (2).

Os critérios de planejamento verificados no momento dos estudos de expansão podem passar a ser violados caso as obras planejadas não estejam em operação na data de necessidade. Por isso, é oportuno avaliar os impactos que tais atrasos poderiam causar com relação aos critérios técnicos, como o incremento das perdas técnicas e violações de limites operacionais. Além dos critérios tradicionais de planejamento, a abordagem do ponto de vista da confiabilidade pode oferecer informações adicionais para uma melhor comparação e classificação dos possíveis atrasos de obras de transmissão (3). Este trabalho visa a calcular e utilizar resultados obtidos a partir da análise de um número elevado de cenários de atrasos, que representam possíveis realizações de desvios do cronograma original. Essa abordagem possibilita o ranqueamento das obras previstas no plano de expansão, e seus resultados podem ser utilizados em quaisquer processos onde se deseje adotar medidas preventivas de maneira priorizada com relação aos atrasos críticos, antes que eles efetivamente aconteçam. No caso em que atrasos já tenham ocorrido efetivamente, os resultados também possibilitam priorizar o início ou a

conclusão das obras atrasadas, concentrando esforços naquelas que levem o sistema à normalidade mais rapidamente.

Dado um plano de expansão num determinado horizonte de planejamento, a análise de redes elétricas das configurações de atrasos de obras é realizada com uso dos softwares ANAREDE (4), FLUPOT (5) e NH2 (6), os quais são executados a partir de uma versão modificada do software PLANTAC, do Cepel (7), (8). Para determinada configuração de atraso em que um ou mais equipamentos de transmissão estejam ausentes, primeiro é executado o fluxo de potência no ANAREDE e armazenado o valor de perdas elétricas; em caso de não convergência do fluxo de potência ou existência de violações de critérios, como limites de tensão e carregamento, o fluxo de potência ótimo é executado no FLUPOT, tendo como função objetivo o mínimo corte de carga, para tentar encontrar um novo caso base viável por meio de modificações de controles. Se for possível encontrar um caso base viável como resultado do fluxo de potência ótimo sem corte de carga, é executada a análise de confiabilidade do NH2 e armazenados os resultados de confiabilidade. Esse procedimento é repetido para uma quantidade elevada de combinações de configurações de atrasos.

Depois de coletados os resultados das análises dos cenários de atrasos no horizonte de planejamento, as obras são classificadas utilizando critérios de dominância e comparações pareadas, com relação aos incrementos das perdas elétricas e índice de confiabilidade.

Para demonstrar a validade da metodologia apresentada, foi realizado um estudo de caso utilizando o Plano de Expansão da Transmissão (PET) do sistema brasileiro – ciclo 2018, incluindo as obras de transmissão planejadas para o horizonte 2021 a 2023. Foram incluídos nas análises, os reforços de transmissão de parte da região Nordeste, considerando três patamares de carga e dois cenários de hidrologia. As obras do plano de expansão foram testadas em cenários de atrasos e depois elas foram classificadas quanto ao impacto nos critérios técnicos calculados com uso de fluxo de potência, fluxo de potência ótimo e análise de confiabilidade.

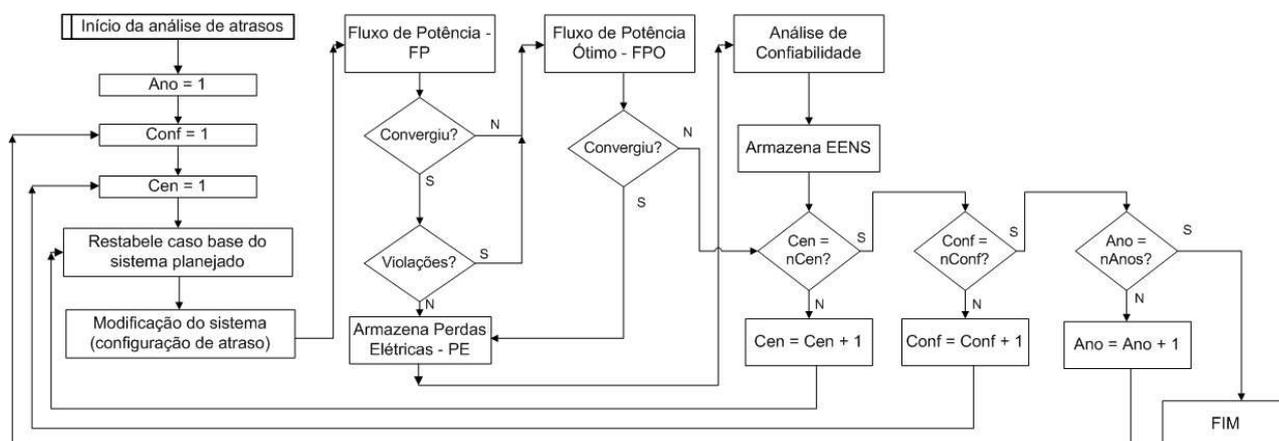


FIGURA 1 – Análise de configurações anuais com atrasos de obras

## 2.0 - METODOLOGIA

As configurações de atrasos de cada obra são simuladas individualmente e de forma combinada com as outras obras previstas em cada ano do horizonte de estudo. O desligamento dos equipamentos que fazem parte das obras são realizados no arquivo de dados elétricos em formato histórico do ANAREDE para a simular a ausência da obra num determinado ano. A Figura 1 traz detalhes do processamento da análise das configurações de atrasos: o processamento se inicia no primeiro ano e é repetido em todos os anos do horizonte ( $Ano = 1, \dots, nAnos$ ). Cada configuração de atraso ( $Conf = 1, \dots, nConf$ ) corresponde ao desligamento de uma ou mais obras previstas num determinado ano. Cada cenário operativo ( $Cen = 1, \dots, nCen$ ) corresponde à combinação de um patamar de carga e uma condição hidrológica. São considerados três patamares (cargas leve, média e pesada) e dois cenários hidrológicos (Norte seco e Norte úmido). Portanto, cada configuração anual é analisada em um número total de cenários,  $nCen = 6$ . A tarefa de “Modificação do Sistema” mostrada na Figura 1 corresponde ao

desligamento de um ou mais equipamentos do arquivo de dados elétricos para simular o atraso. Após a modificação do sistema, é executado o fluxo de potência (FP) e verificada a presença de violações de limites de tensão e de capacidade de circuitos, além de limites de gerações reativas. Se o FP resultar convergente e sem violações, são armazenados os valores de perdas elétricas (PE) correspondentes àquela configuração de atrasos (Conf), àquele cenário (Cen) e àquele ano (Ano) específicos. Em caso de presença de quaisquer violações no caso com atraso de obras, automaticamente é executado o fluxo de potência ótimo (FPO), tendo o mínimo corte de carga como função objetivo. Caso o FP da configuração de atrasos de obras não convergir, também passa-se à execução do FPO. A execução do FPO tem como objetivo encontrar um novo caso base viável para a configuração em análise. Em seguida, passa-se à análise de confiabilidade da configuração de atraso e os índices de confiabilidade são armazenados.

Depois das combinações de atrasos de obras analisadas, em todos os anos e cenários operativos, os dois atributos de comparação estarão armazenados: perdas elétricas resultante do fluxo de potência (MW.h) e EENS – Expectativa de Energia Não Suprida (MW.h), índice de confiabilidade resultante da análise de confiabilidade.

### 2.1 Criação dos cenários plurianuais de atrasos a partir das configurações anuais

Cada configuração de atraso anual corresponde a um novo caso base hipotético em um determinado ano. As configurações anuais são combinadas de todas as formas possíveis para gerar todas as combinações possíveis de cenários de atrasos plurianuais, aqui denominados  $CP_i$ ,  $i = 1, \dots, nCP$  ( $nCP$  é o número total de cenários plurianuais), ver Figura 2. Cada cenário plurianual de atraso,  $CP_i$ , pode ser entendido como um plano de expansão modificado, contendo uma ou mais obras atrasadas em algum dos anos do horizonte de estudo. Um cenário  $CP_m$  pode ser considerado distinto de outro  $CP_n$  quando a combinação de obras atrasadas é diferente em pelo menos um dos anos do horizonte de planejamento. Os cenários plurianuais representam as possíveis realizações de atrasos no horizonte de estudo e com eles procura-se quantificar os impactos resultantes da ausência de cada obra prevista no plano de expansão.

Para a formação dos cenários plurianuais algumas regras simples devem ser observadas. Por exemplo: para que uma obra seja considerada atrasada (desligada) em um determinado ano, é preciso que ela também esteja desligada em todos os anos anteriores. Portanto, nem todas as configurações de atrasos anuais podem ser combinadas indiscriminadamente para a criação dos cenários plurianuais de atrasos.

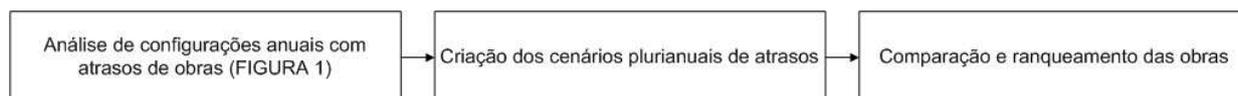


FIGURA 2 – Avaliação de atrasos de obras

### 2.2 Cálculo dos atributos para medição do impacto do atraso de obras

O cálculo do impacto dos atrasos é realizado a partir dos atributos técnicos obtidos na análise anterior das configurações anuais. Considerando  $k = 1, \dots, nAnos$  ( $nAnos$  é o número de anos do horizonte de estudo), o cenário plurianual de atrasos  $CP_i$  é caracterizado por seus atributos anuais:

$PE_{ik}$  → perdas elétricas (MW.h) do cenário plurianual  $i$  no ano  $k$

$EENS_{ik}$  → Expectativa de Energia Não Suprida (MW.h) do cenário plurianual  $i$  no ano  $k$

Os atributos acima também são calculados para o plano de expansão original, considerado como referência de comparação e contendo todas as obras planejadas em operação no ano de necessidade:  $PE_{0k}$ ,  $EENS_{0k}$ .

Com isso, o impacto do cenário de atraso  $i$ , em cada ano  $k$ , é calculado como os incrementos em relação ao plano original:

$$\begin{aligned} dPE_{ik} &= PE_{ik} - PE_{0k} \\ dEENS_{ik} &= EENS_{ik} - EENS_{0k} \end{aligned} \quad (1)$$

Cada cenário plurianual,  $CP_i$ , contém uma combinação qualquer de obras atrasadas em cada ano do horizonte. Procura-se identificar quais obras fazem parte das configurações dos cenários plurianuais para medir o impacto individualizado por obra. Portanto, em seguida, é calculado o impacto médio dos atrasos causados por uma determinada obra do plano de obras  $j$  ( $j = 1, \dots, nObras$ ), em um determinado ano  $k$ , onde  $nObras$  corresponde ao número de obras planejadas no horizonte de estudo. Para isso, todos os  $nCP$  cenários plurianuais são classificados em dois grupos:

Grupo  $C_1$ : Contém os cenários em que a obra  $j$ , planejada para estar em operação no ano  $k$ , não se encontra em operação neste ano, ou seja, está atrasada. O tamanho deste grupo é denotado por  $nC_1$ .

Grupo  $C_2$ : Contém os cenários em que a obra  $j$ , planejada para estar em operação no ano  $k$ , encontra-se em operação neste ano, ou seja, não está atrasada. O tamanho deste grupo é denotado por  $nC_2$ .

Pela formação dos grupos  $C_1$  e  $C_2$  tem-se  $nC_1 + nC_2 = nCP$ .

Em seguida são calculados os atributos que medem o impacto dos possíveis atrasos da obra  $j$  no ano  $k$ :

$$dPE_{jk} = \frac{1}{nC_1} \sum_{CP_i \in C_1} dPE_{ik} \quad (2)$$

$$dEENS_{jk} = \frac{1}{nC_1} \sum_{CP_i \in C_1} dEENS_{ik}$$

A maneira como os atributos são calculados em (2) incorporam a chance e a consequência de ocorrer a ausência da obra  $j$  no ano  $k$ .

O impacto médio do atraso da obra  $j$  ao longo do horizonte de estudo é calculado abaixo:

$$dPE_j = \frac{1}{nAnos} \sum_{k=1}^{nAnos} dPE_{jk} \quad (3)$$

$$dEENS_j = \frac{1}{nAnos} \sum_{k=1}^{nAnos} dEENS_{jk}$$

### 2.3 Comparação e classificação das obras

Depois de calculados os atributos acima para cada obra  $j$  existente no plano de obras, eles são utilizados para classificar as obras por meio de comparações pareadas e análises de dominância, de modo que se obtenha uma ordenação das obras do plano de expansão, classificando-as das mais críticas para as menos críticas com relação à ocorrência de atrasos, ver Figura 2.

Uma obra  $m$  é dominada por outra obra  $n$  se todos os atributos da obra  $m$  forem piores do que os da obra  $n$ :

$$\begin{aligned} dPE_m &> dPE_n \\ dEENS_m &> dEENS_n \end{aligned} \quad (4)$$

Este caso corresponde à dominância estrita. Em caso de dominância não estrita (indefinição com relação à comparação dos atributos), os atributos são levados em conta na seguinte ordem decrescente de importância, para o desempate:  $dEENS_j$ ,  $dPE_j$ . Esses conceitos serão demonstrados no estudo de caso das seções a seguir.



considerados no estudo.

Os despachos de gerações das diversas usinas foram mantidos fixos nos valores encontrados nos arquivos de dados elétricos de fluxo de potência, não sendo permitidos redespachos em caso de atrasos de obras ou nos estados de falhas simulados nos cálculos de confiabilidade.

O método para os cálculos de confiabilidade é a Simulação Monte-Carlo Não-Sequencial implementado no software NH2. Foram utilizados dados históricos de falhas de transmissão e transformadores, disponíveis para o sistema brasileiro [10].

#### 4.0 - ESTUDO DE CASO – RESULTADOS E ANÁLISES

O procedimento explicado na Seção 2.0 e na Figura 1 foi realizado com uso do software implementado numa versão para cluster de processamento paralelo. As simulações foram executadas em 36 processadores, num período total de 15 horas e 50 minutos de execução.

As obras programadas no plano de expansão original foram testadas quanto a atrasos, isoladamente e de forma combinada no período de 2021 a 2023. No primeiro ano, foram analisadas 31 configurações com combinações de obras desligadas, além da configuração do plano de expansão original. No segundo e terceiro anos, foram analisadas 27 e 120 configurações com obras desligadas, respectivamente. Com isso, foram geradas 2652 cenários plurianuais de atrasos, que representam um vasto espaço de possibilidades quanto ao cronograma de conclusão das 7 obras consideradas no estudo. Estes cenários estão ilustrados na Figura 4, onde cada ponto representa um cenário plurianual de atrasos no horizonte de 3 anos (2021 a 2023). Os valores mostrados no eixo X representam a média dos 3 anos dos incrementos das perdas elétricas, com relação à configuração originalmente planejada. No eixo Y estão as médias dos incrementos do índice de confiabilidade EENS.

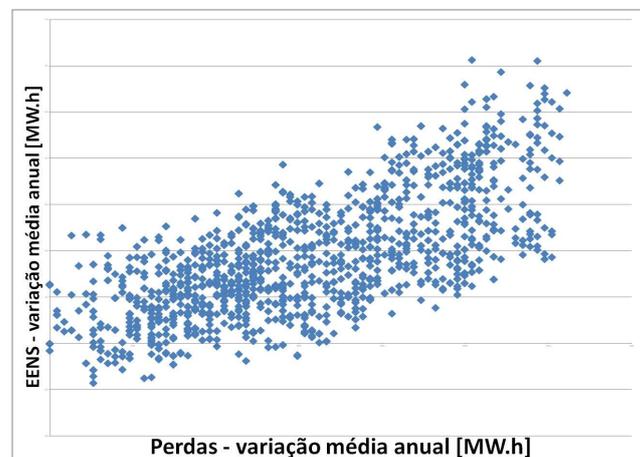


FIGURA 4 – Cenários plurianuais de atrasos

Ao aplicar os cálculos explicados na sub-seção 2.2, cada cenário plurianual de atraso da Figura 4 é analisado ano a ano, com relação ao atraso de cada obra  $j$  do plano de expansão e são obtidos os valores de incrementos anuais dos atributos, como mostrado nas Tabelas 2 e 3. Na Tabela 2 estão detalhados os seguintes valores:

- $dPE_{jk}$  – média do incremento das perdas elétricas do ano  $k$ , dos cenários em que falta a obra  $j$  no ano  $k$ ;
- $dPE_j$  – média dos valores  $dPE_{jk}$  nos anos  $k = 2021$  a  $2023$  (última coluna da Tabela 2).

Na Tabela 3 estão detalhados os seguintes valores:

- $dEENS_{jk}$  – média dos incrementos do índice EENS do ano  $k$ , dos cenários em que falta a obra  $j$  no ano  $k$ ;

- $dEENS_j$  – média dos valores  $dEENS_{jk}$  nos anos  $k = 2021$  a  $2023$  (última coluna da Tabela 3).

Como mostrado na equação (1), os incrementos são calculados como diferenças entre as configurações em que falta a obra do plano de expansão e a configuração do plano de expansão original.

Tabela 2 – Impacto médio do atraso das obras nas perdas elétricas por ano e média anual (em MW.h)

$dPE_{jk}$	2021	2022	2023	$dPE_j$
OBR1 – circuito simples 500 kV	47643,1	34425,7	15336,2	32468,3
OBR2 – circuito simples 500 kV	44547,5	31028,4	10501,7	28692,5
OBR3 – circuito simples 500 kV	48692,2	39958,5	14644,7	34431,8
OBR4 – circuito simples 500 kV	53975,5	44361,9	19946,7	39428,1
OBR5 – circuito duplo 500 kV	53975,5	44361,9	19946,7	39428,1
OBR6 – circuito simples 230 kV	--	--	14082,7	14082,7
OBR7 - circuito simples 230 kV	--	--	12892,1	12892,1

Tabela 3 – Impacto médio do atraso das obras na confiabilidade por ano e média anual (EENS, em MW.h)

$dEENS_{jk}$	2021	2022	2023	$dEENS_j$
OBR1 – circuito simples 500 kV	320,9	335,1	535,1	397,0
OBR2 – circuito simples 500 kV	110,4	203,4	510,8	274,8
OBR3 – circuito simples 500 kV	207,9	266,6	533,4	336,0
OBR4 – circuito simples 500 kV	216,8	283,3	546,2	348,8
OBR5 – circuito duplo 500 kV	216,8	283,3	546,2	348,8
OBR6 – circuito simples 230 kV	--	--	495,8	495,8
OBR7 - circuito simples 230 kV	--	--	575,3	575,3

Observa-se pelas Tabelas 2 e 3 que os impactos dos atrasos das obras OBR4 e OBR5 são iguais, pois elas correspondem a dois circuitos de 500 kV em paralelo, cujos resultados são idênticos, quando desligados em qualquer ano do estudo. As obras OBR6 e OBR7 tem valores calculados somente para o ano 2023, pois este é o ano inicial previsto para essas obras no plano original, conforme Tabela 1.

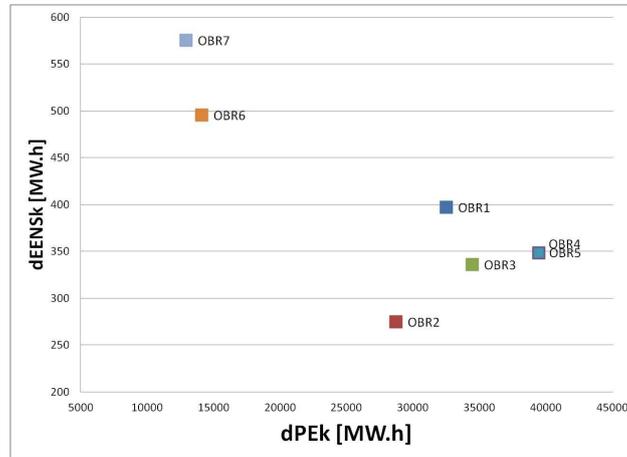


FIGURA 5 – Impactos médios dos atrasos das obras

Na Figura 5 estão representados os valores médios dos incrementos dos atributos resultantes dos atrasos das obras consideradas, correspondentes à última coluna das Tabelas 2 e 3. Pelo gráfico  $dPE_k$  versus  $dEENS_k$ ,  $k = 1, \dots, 7$ , pode-se observar a posição relativa de cada obra e a relação de dominância entre elas. No caso de empate, tem-se como premissa que o critério de confiabilidade ( $dEENS_k$ ) tem mais peso do que o de Perdas elétricas ( $dPE_k$ ) na análise de dominância.

Pelos dados das Tabelas 2 e 3 e pela Figura 5, pode-se observar o seguinte:

- As obras OBR4 e OBR5 tem posição idêntica no gráfico, pois são dois circuitos de 500 kV paralelos;
- A obra OBR2 é dominada pelas obras OBR1, OBR3, OBR4 e OBR5;
- A obra OBR3 é dominada pelas obras OBR4 e OBR5. Considerando o atributo  $dEENS_k$  como decisivo para o desempate, a obra OBR3 também é dominada pela OBR1;
- Considerando também o critério de desempate, as obras OBR4 e OBR5 são dominadas pela OBR1;
- Considerando o critério de desempate, as cinco obras OBR1 a OBR5 são dominadas pelas obras OBR6 e OBR7, porém os valores dessas duas últimas correspondem somente ao ano 2023, que é o seu ano de entrada em operação.

A seguir foram representados na Figura 6, os dados anuais dos incrementos dos atributos, correspondentes aos valores anuais das Tabelas 2 e 3.

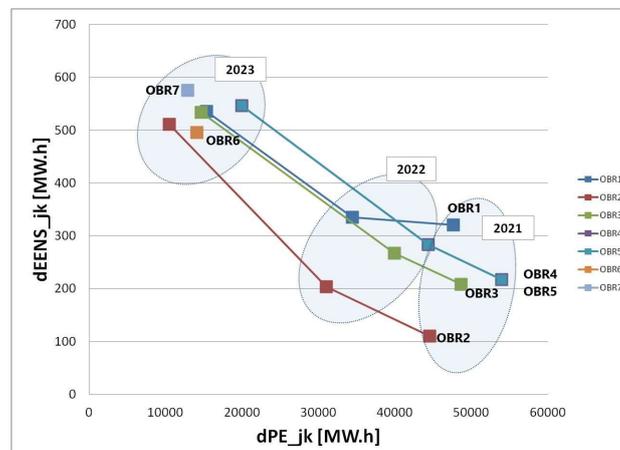


FIGURA 6 – Impactos médios anuais dos atrasos das obras

Pelos dados das Tabelas 2 e 3 e pela Figura 6, considerando os valores dos atributos em cada ano do horizonte de estudo, pode-se observar o seguinte:

- Os impactos nas perdas elétricas diminuem, enquanto os impactos na confiabilidade aumentam, ao longo dos anos do horizonte de estudo;
- Nos anos 2021 e 2022, as relações de dominância seguem as mesmas que as observadas nos parágrafos anteriores;
- No ano 2023, inverte-se a relação de dominância entre as obras OBR1 e OBR4/OBR5, com relação aos parágrafos anteriores.
- No ano 2023, inverte-se a relação de dominância da obra OBR6, que passa a ser dominada por todas as outras.

Com as análises dos resultados apresentados e pelas relações de dominância, pode-se classificar as obras OBR1, OBR4, OBR5 e OBR7 como prioritárias quanto às ações para mitigar atrasos no cronograma de implantação, dado seus maiores impactos no sistema dentro do horizonte analisado. A seguir a obra OBR3 aparece na classificação de prioridade. E por último, aparecem as obras OBR2 e OBR6, por causarem impactos menores que as outras obras com relação aos atributos considerados.

## 5.0 - CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma metodologia para avaliação quantitativa e classificação dos atrasos de obras planejadas para a expansão do sistema de transmissão, incluindo a avaliação de confiabilidade probabilística do sistema de transmissão. A comparação entre as obras foi realizada com uso do conceito de dominância. A metodologia permite a avaliação de um grande número de cenários de atrasos, através do uso sistemático de ferramentas de análise de redes elétricas para sistemas de grande porte.

A metodologia apresenta como flexibilidade, a possibilidade do uso do critério N -1, ou a aderência do sistema ao critério N – 1, em substituição ao critério de confiabilidade probabilístico utilizado no trabalho. Esses cálculos podem ser facilmente realizados com uso dos softwares utilizados. Do ponto de vista computacional, o cálculo da análise de confiabilidade probabilística pode demandar um alto custo, dependendo do tamanho da região estudada e da quantidade de obras a serem analisadas. Este custo foi contornado com o uso do processamento em máquinas paralelas, que se mostrou satisfatório quanto à escalabilidade para problemas maiores.

As obras de transmissão utilizadas no estudo foram escolhidas de maneira exemplificada e elucidativa, porém pôde-se demonstrar a utilização de critérios objetivos para a comparação e a identificação das obras que causam os maiores impactos com relação à ocorrência de atrasos. Estudos mais abrangentes e aprofundados devem considerar a escolha detalhada dos critérios e parâmetros utilizados nos cálculos de confiabilidade e do fluxo de potência ótimo, bem como a definição criteriosa das regiões de estudo e das obras que possuem influência entre si, entre outros.

Para tornar mais eficiente a busca pelos cenários de atrasos mais severos, serão desenvolvidos trabalhos futuros com uso de técnicas de busca heurística, em conjunto com o uso do processamento paralelo, devido ao grande número de combinações de atrasos de obras que podem ocorrer, dependendo da região de estudo e do número de obras de expansão em análise.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) COLAÇO, E. T. M., e outros. Reforços conjunturais propostos ao CMSE para aliviar o atraso de obras da transmissão; XXIV SNPTEE - Curitiba, 2017.

- (2) ANEEL. Acompanhamento Diferenciado da Expansão da Transmissão – Relatório Trimestral. SFE – Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade, 2018.
- (3) MOUTINHO, E. L., BORGES, C. L. T., MOULIN, L. S.; Reliability Assessment of Transmission Reinforcements Delay in the Brazilian Expansion Planning. PMAPS – Boise, EUA, 2018.
- (4) CEPEL. Manual do Usuário - Programa de Análise de Redes - ANAREDE – v11.00.01; Janeiro, 2019.
- (5) CEPEL. Manual do Usuário – Programa de Fluxo de Potência Ótimo – FLUPOT – v07.06.02; Dezembro, 2018.
- (6) CEPEL. Manual do Usuário – Sistema Computacional para Análise Probabilística e Avaliação de Confiabilidade de Sistemas Elétricos – NH2.
- (7) MOULIN, L. S., ROSS, R. P. D., ALMEIDA, C. M. P., SILVA, H. T., FERREIRA, M. A. G.; Metodologia para elaboração e avaliação de alternativas de expansão do sistema de subtransmissão incluindo critério de confiabilidade. XXIII SNPTEE - Foz do Iguaçu, 2015.
- (8) CEPEL. Manual do Usuário – Planejamento da transmissão AC usando o valor econômico da confiabilidade – PLANTAC.
- (9) <http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-transmissao/dados-para-simulacoes-eletricas-do-sin>, consultado em Abril de 2019.
- (10) REI, A. M., SCHILLING, M. T.; Reliability assessment of the Brazilian power system using enumeration and monte carlo. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 23, 2008.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luciano de Souza Moulin. Nasceu em Nanuque, Minas Gerais em 1972. Possui graduação (1995), mestrado (1998) e doutorado (2002) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, com ênfase em sistemas elétricos de potência. Trabalha como pesquisador no CEPEL desde 2002.