



Grupo de Estudo de Proteção, Medição, Controle e Automação em Sistemas de Potência-GPC

Modelagem de Sistemas Especiais de Proteção para Simulação de Casos de Estabilidade Eletromecânica no Programa Anatem

NÍCOLAS ABREU ROCHA LEITE NETTO(1); LÍGIA ROLIM DA SILVA(1); FABRÍCIO LUCAS LÍRIO(1); JOSE MARIO MAMFRIN CAPANO JUNIOR(2); PAULO EDUARDO MARTINS QUINTÃO(2); ANTONIO FELIPE DA CUNHA DE AQUINO(3); LUCIA MARIANA DE SOUZA DE ABREU(2); GUSTAVO DE SOUZA FRANCISCO(2); NEYL HAMILTON MARTELOTTA SOARES(2); CEPEL(1); ONS(2); UFSC(3);

RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de modelagem de um Sistema Especial de Proteção para simulação no programa Anatem, desenvolvido pelo Cepel, descrevendo a inserção de dados necessária para a correta modelagem de tal sistema. São detalhados, ainda, os cuidados que um analista deverá ter durante a transcrição do documento base que define a lógica de funcionamento do Sistema Especial de Proteção, para o conjunto de instruções necessárias ao programa Anatem para que tal proteção sistêmica seja considerada da maneira devida.

PALAVRAS-CHAVE

Transitórios Eletromecânicos, Sistemas Especiais de Proteção, Anatem

1.0 - INTRODUÇÃO

No contexto de simulação de transitórios eletromecânicos, a representação detalhada dos sistemas de proteção é uma parte fundamental. Os sistemas de proteção na rede elétrica são formados basicamente por relés de proteção e Sistemas Especiais de Proteção (SEP), sendo que este último engloba os Esquemas de Controle de Emergência (ECE) e os Esquemas Regionais de Alívio de Carga (ERAC) [1].

No programa Anatem, para análise de transitórios eletromecânicos, é possível representar por meio de modelos *built-in* do programa diversos modelos de relés de proteção e para representação de ERACs. Tais modelos requerem o preenchimento de parâmetros de ajuste e de atuação, sendo dessa forma de fácil utilização por parte do usuário.

Tal recurso, contudo, não é suficiente para representar com satisfatório grau de detalhamento diversos SEPs que existem no Sistema Interligado Nacional (SIN), em especial os ECEs. Para tais situações, é recomendada a modelagem individualizada destes controles por meio da estrutura de Controladores Definidos pelo Usuário (CDU), permitindo adição de malhas mais sofisticadas (como temporizações customizadas) e laços condicionais para atuação. Esta funcionalidade proporciona uma maior flexibilidade e detalhamento na representação dos ECEs, sendo permitido controlar e supervisionar estados operativos de elementos da rede, tais como o estado operativo de circuitos ou o número de unidades de um banco de compensação reativa *shunt*.

O presente trabalho utiliza, como referência para modelagem, o ECE de corte de geração nas usinas do Complexo de Teles Pires, que corta geração nas UHE Teles Pires, UHE São Manoel, UHE Colider e UHE Sinop, e tem o objetivo de preservar a estabilidade angular no sistema, na hipótese da ocorrência de perdas duplas de linhas de 500 kV no tronco de transmissão entre as SE Paranaíba, Cláudia, Paranatinga e Ribeirãozinho.

Este trabalho continua o desenvolvimento do programa Anatem visto em [2], com a adição de novas variáveis de estado, como estado operativo do grupo de unidades geradoras (STGER), bem como implementação da alteração dos parâmetros resistência (RTRF) e reatância (XTRF) de transformadores elevadores, aumentando a abrangência do Anatem em sua capacidade de modelar o conjunto de SEPs existentes, entre outros que ainda virão.

2.0 - PROCESSO DE MODELAGEM DE SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO NO ANATEM

Nesta seção, será apresentado o *roadmap* utilizado para a modelagem do ECE de corte de geração nas usinas do Complexo de Teles Pires [3], podendo este roteiro ser utilizado como referência futura para a modelagem de outros ECEs no programa Anatem. Todos os detalhes pertinentes são apontados e se referem a versão 11.6 do programa Anatem [4], podendo, eventualmente, sofrer alterações em consonância com o contínuo desenvolvimento do programa.

2.1 ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires

O ECE de corte de geração nas usinas do Complexo de Teles Pires é um SEP [5] destinado a garantir a estabilidade angular do sistema remanescente no caso da ocorrência de perda dupla no tronco de transmissão de 500 kV entre as SE Paranaíta, Cláudia, Paranatinga e Ribeirãozinho. Para tanto, o ECE considera a necessidade de corte de unidades geradoras no Complexo, em função do fluxo de potência ativa observado no tronco de 500 kV entre as SE Paranaíta e Cláudia. A depender do fluxo monitorado, e da localização da contingência dupla, há o corte seletivo de unidades geradoras nas UHE Teles Pires, UHE São Manoel, UHE Colider e UHE Sinop. A Figura 1 ilustra o diagrama unifilar no entorno do Complexo de Teles Pires, bem como as linhas que são monitoradas pelo ECE.

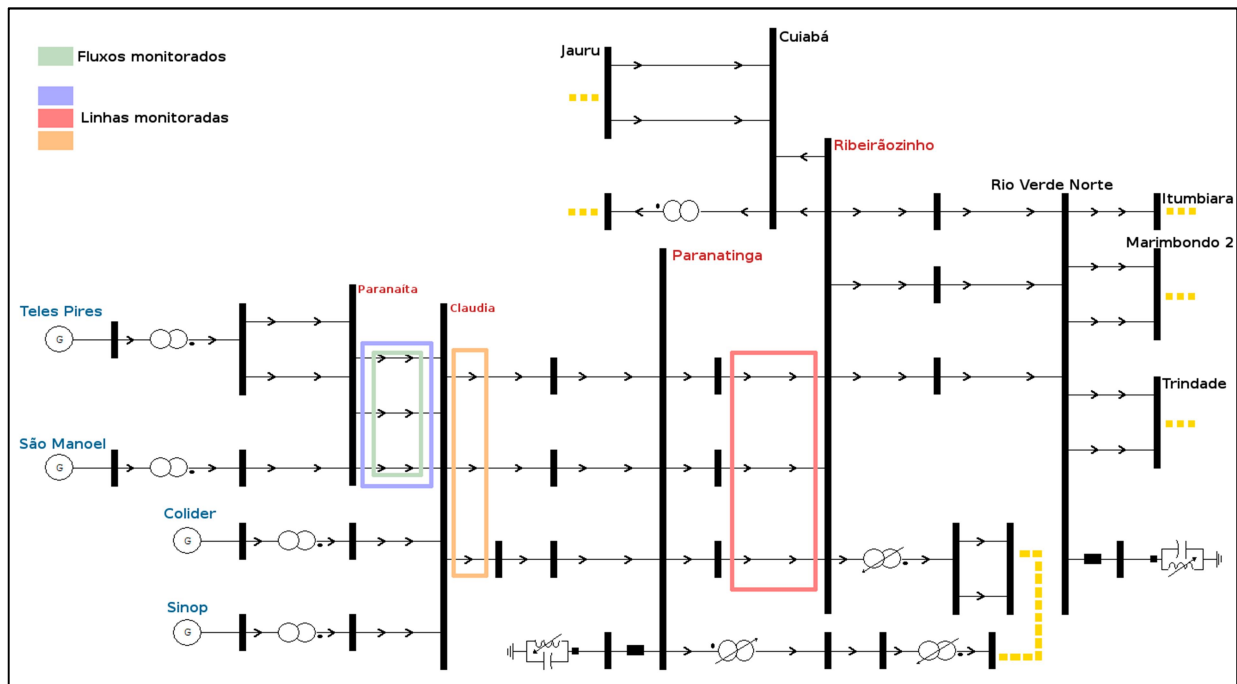


FIGURA 1 – Sistema do ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires (PAR 2023)

Conforme mencionado anteriormente, o montante de geração a ser cortado pelo ECE depende de duas variáveis: do fluxo de potência ativa total em MW monitorado no tronco entre as SE Paranaíta e Cláudia (observado a partir da SE Cláudia, em verde); e também da localização da contingência dupla, podendo a contingência dupla estar localizada nas LT 500kV Paranaíta – Cláudia (em lilás), LT 500 kV Cláudia – Paranatinga (em laranja) ou nas LT 500 kV Paranatinga – Ribeirãozinho (em vermelho). Sendo F o fluxo monitorado nas LT entre Cláudia e Paranaíta, o corte de geração nas usinas deve ser realizado em até 150 ms após a detecção da abertura da linha e conforme a Tabela 1 [5].

Tabela 1 – Detalhamento da lógica de ação do ECE em função do fluxo monitorado F e da contingência dupla

F (MW)	Contingências Duplas de Linhas de 500 kV X Unidades Geradoras a Serem Cortadas											
	Paranaíta - Cláudia				Cláudia - Paranatinga				Paranatinga - Ribeirãozinho			
	Teles Pires	São Manoel	Colider	Sinop	Teles Pires	São Manoel	Colider	Sinop	Teles Pires	São Manoel	Colider	Sinop
$F < 2.200$												
$2.200 \leq F < 2.500$					1				1			
$2.500 \leq F < 2.700$	1				1	1			1	1		

$F \geq 2.700$	1	3	3	1	2	3	1	1	1	1	1
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

A lógica apresentada na Tabela 1 é a de **associação direta**. Isto é, no caso do fluxo monitorado F apresentar valor superior a 2.700 MW, caso haja a contingência dupla na linha Cláudia – Paranatinga, deverão ser cortadas uma unidade geradora na UHE Teles Pires, duas unidades na UHE São Manoel, as três unidades da UHE Colider e uma unidade na UHE Sinop.

A Figura 2 apresenta uma Rede de Petri que modela a lógica de atuação deste ECE, onde as transições $t1$ a $t8$ representam as oito combinações com atuação entre medição do fluxo F e detecção da contingência dupla. Nesta Rede de Petri, os lugares StCirc1, StCirc2, StCirc3 começam com três fichas (representam os três circuitos ligados) e o lugar Fluxo inicia com 1 ficha. No exemplo supracitado, a transição que representa o evento mencionado seria $t3$; desta forma, a sequência de transições realizada para simular o exemplo acima seria $Ctg2 \rightarrow 2.700 \rightarrow t3$.

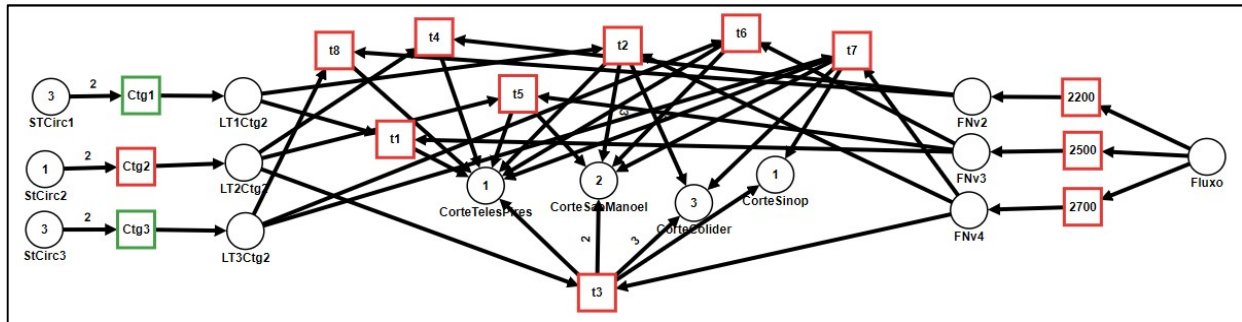


FIGURA 2 – Configuração da Rede de Petri do ECE de Teles Pires após a sequência $Ctg2 > 2.700 > t3$

Este ECE, contudo, não deve ser ativado em algumas situações. São configurações mínimas necessárias para que o ECE possa atuar no sistema: ter ao menos uma unidade geradora sincronizada na UHE Teles Pires; e o total de geradores em operação nas UHE Teles Pires e UHE São Manoel deve ser maior ou igual a três. Adicionalmente, também é necessário que, na situação de uma única unidade geradora na UHE Colider, a tensão terminal seja inferior a 1,02 pu. Esta última restrição é temporária e depende da implantação de reator na LT 500 kV Colider – Cláudia, conforme identificado pelo ONS em estudo pré-operacional, a fim de evitar o risco de autoexcitação da UHE Colider.

2.2 Modelagem por Controlador Definido pelo Usuário

Devido às particularidades inerentes a cada ECE, não existem implementados no programa Anatem modelos *built-in* para a representação destes diversos esquemas. Tradicionalmente, para a simulação destes ECEs, é necessária a observação por parte do usuário das condições sistêmicas para que, a partir da paralisação da simulação, seja incorporada manualmente a atuação dos mesmos, através da adição de eventos, utilizando o código de execução DEVT, sendo necessária sua repetição, caso sejam analisados diversos pontos de operação.

A partir da versão 11.1 do programa Anatem, diversos equipamentos puderam ser controlados por CDUs, tais como o estado operativo de linhas de transmissão, o número de unidades geradoras e o número de unidades em bancos de compensação reativa *shunt*.

Devido a estes recursos, a implementação de modelos CDUs dos principais ECEs torna-se viável, sendo inclusive possível sua inclusão na base de dados dinâmicos de transitórios eletromecânicos mantida pelo ONS, trazendo mais praticidade na execução de simulações e segurança quanto a pertinência de seus resultados. Alguns cuidados, contudo, são necessários para a confecção de um modelo CDU deste tipo; de maneira geral, o usuário deverá estar atento aos seguintes aspectos de um ECE: **sensores, atuadores, malha de restrição e malha de atuação**.

2.2.1. Sensores e atuadores

Sensores são os blocos de importação de grandezas elétricas da rede, podendo também serem referidos como **supervisores**. Estes blocos podem ou não estar associados aos blocos elementares que servirão para a malha lógica do ECE.

Os sensores serão definidos sempre por blocos IMPORT, com subtipo (indicação do equipamento da rede elétrica) apropriado e local remoto de medição definido em código DLOC. Além disto, é recomendado que os **sensores** possuam o parâmetro P2 preenchido e a opção BASE esteja ativada para o código DLOC, permitindo que o ECE possa funcionar em situações em que algum sinal importado é inexistente devido a configuração topológica do caso.

No caso do ECE de corte de geração nas usinas do Complexo de Teles Pires, o mesmo precisa detectar a ocorrência de três possíveis contingências duplas, além de monitorar o fluxo agregado de três circuitos. Blocos de

IMPORT com subtipo FLXA (fluxo de potência ativa) e STCIRC (estado operativo) foram utilizados para este fim.

Para o cálculo do **Fluxo F** de potência ativa, correspondente a Tabela 1, foram utilizados três blocos DISMAX (comparadores temporizados), com parâmetro P1 igual ao limite inferior das faixas, parâmetro P2 = 0 e o parâmetro P3 = ∞ . Desta forma, uma vez sensibilizado, as saídas FNV2, FNV3 e FNV4 permanecerão igual a um pelo restante da simulação. Como a primeira faixa da Tabela 1 não apresenta atuação, não há necessidade de ser modelada.

Para a modelagem da **sensibilização temporizada**, somou-se o estado dos três circuitos de interesse e então utilizou-se o bloco DISMIN com parâmetro P1 = 2 (circuitos), P2 = 0,150 (s) e P3 = ∞ , ou seja, quando a quantidade de circuitos ligados é menor que 2 por 150 ms, a saída se tornará 1 e permanecerá assim pelo restante da simulação.

A Figura 3 ilustra a malha de sensores, possuindo a mesma legenda de cores das Figura 1 e Tabela 1.

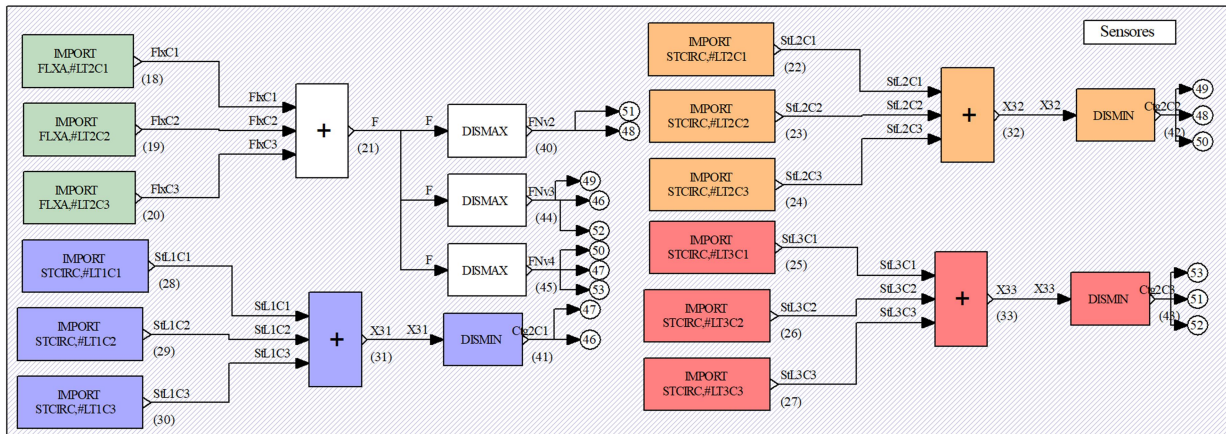


FIGURA 3 – Sensores utilizados no ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires

Os **atuadores**, por outro lado, são aqueles blocos que efetuam os comandos determinados pelo controle; deverão agir sobre equipamentos do sistema, alterando parâmetros e unidades, por exemplo. São blocos EXPORT, definidos com regras equivalentes aos sensores.

Existem duas formas para se modelar de maneira apropriada um atuador, a depender do interesse ou não do controle atuar em conjunto com eventos definidos pelo usuário no código DEVT. Nas duas configurações, o bloco EXPORT é precedido por um bloco SOMA que adiciona a um sinal de referência o sinal de comando do controle. Caso seja de interesse em permitir que eventos controlem também grandezas controladas por algum SEP, o analista deverá utilizar também um bloco IMPORT como referência, e o comando de alteração do estado deverá ser de natureza de transição (apenas em um instante de tempo deverá ter valor diferente de 0), podendo utilizar blocos auxiliares como os blocos de detecção e borda (SUBIDA e DESCID). Caso o interesse seja de bloquear comandos do usuário por DEVT, o ideal é modelar a referência como ENTRAD e o sinal de comando como estado (deverá permanecer no valor desejado durante todo o tempo de interesse). No caso do ECE do Complexo de Teles Pires, em geral se deseja manter o controle sobre o número de unidades por eventos, assim a primeira abordagem será adotada.

O usuário também deverá estar atento que o controle de unidades geradoras deve implicar também na modificação ou não das grandezas resistência e reatância do transformador elevador equivalente associado a esta geração. Para evitar inconsistências entre os dados do caso do fluxo de potência, recomenda-se utilizar como referência bloco ENTRAD que deverá ser dividido pelo número de unidades (STGER) da geração associada. Para evitar o problema de divisão por zero no caso de usina desligada, recomenda-se a adição de uma simples lógica com bloco MAX (máximo) e uma das entradas igual a 1 para garantir que o divisor sempre seja um número natural.

Por fim, é recomendado que um bloco DELAY seja adicionado entre a malha da lógica de atuação e a malha dos atuadores. Este bloco DELAY terá como função evitar que o controle atue indevidamente em situações de rotinas de pós-impacto do Anatem. A Figura 4 ilustra parte dos atuadores do ECE do Complexo de Teles Pires, com as três considerações apontadas; é possível observar que os atuadores são topologicamente idênticos.

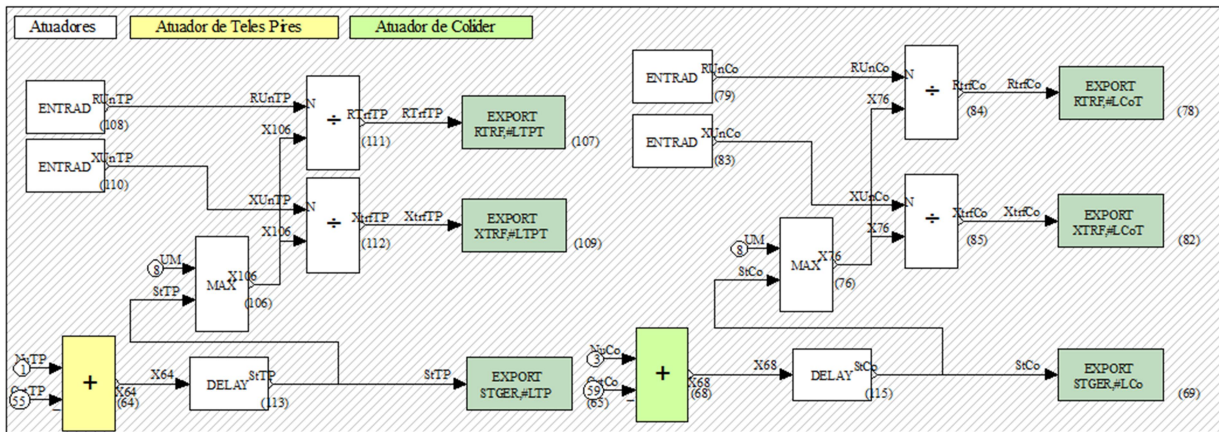


FIGURA 4 – Parte dos atuadores do ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires

2.2.2. Malhas de restrição e de atuação

A **malha de restrição** ou **malha inibidora** de um ECE pode ser compreendida como a malha que, por meio de blocos lógicos apropriados, verifica que o controle não deve atuar sobre o sistema, desabilitando-o, a despeito da sua lógica de atuação. Nesta malha devem estar modeladas todas as restrições operativas para a qual o ECE deve atuar sobre o sistema.

As malhas de restrição apresentam condições **específicas** para a inibição do controle. Essas condições costumam representar exceções na atuação do sistema e servem como **inibidores** para o controle; podendo ser encaradas também como lógicas habilitadoras para o restante do controle, com a diferença semântica que são considerações independentes da combinação de variáveis monitoradas pelo sistema supervisor, além de não serem o foco da lógica do ECE em si.

É recomendável que toda a malha de restrição seja acumulada em um único sinal por meio de lógica OR ou AND, a depender da abordagem utilizada pelo modelador. No caso de **malha habilitadora**, os sinais deverão ser concatenados por bloco AND, ou seja, são **condições necessárias** para que o restante da lógica do ECE seja considerado (todas as considerações precisam estar válidas simultaneamente). No caso de modelagem por **malha inibidora**, a concatenação é realizada por bloco OR, formulando **condições suficientes** para a inibição da atuação do ECE (basta que uma das condições não seja atendida).

Para o ECE de Teles Pires, foi abordada a vertente de **malha habilitadora** para a modelagem das restrições operativas. A Figura 5 apresenta o diagrama desta malha que pode ser dividida em quatro componentes. A primeira componente trata da verificação da atuação prévia do ECE, garantindo que o ECE atue uma única vez no sistema. A segunda componente verifica se o número de unidades da UHE Teles Pires com a UHE São Manoel é superior a três. A terceira componente avalia, no caso da UHE Colider apresentar uma única unidade geradora conectada, se a tensão da barra terminal é inferior a 1,02 pu. A quarta componente verifica se há pelo menos um gerador em operação na UHE Teles Pires.

Tradicionalmente, no Anatem, é permitido associar controles CDUs a um caso de estabilidade sem que este controle esteja diretamente conectado a qualquer equipamento. Para isto, o usuário pode utilizar a estrutura de Controladores Não-Específicos (código DCNE), como é o caso do *Master Control* dos bipolos de Itaipu, dos bipolos do Madeira e do bipolos de Belo Monte.

Para este trabalho, o ECE proposto foi modelado por meio de CDUEdit. Desta forma, é preciso definir de forma externa ao arquivo o código DLOC. A associação do controle ao caso pode ser realizada por meio do código DARQ em conjunto com DCNE. A Figura 7 ilustra esta associação.

DARQ	(Lc)	(Tipo)	(El)	(Pa)	Nc	(Ex)	Gr	(Bl)
(----- Nome do Arquivo -----)	0994	CIRCAC	4462	4465				
CDE .\BDados\Dados complementares\SEP_TP.cde	0995	CIRCAC	4478	4479				
999999	0996	CIRCAC	4489	4491				
(	0997	CIRCAC	4492	4493				
DCNE	(
(Nc) (Mc)u(	0980	CIRCAC	4495	4494	1	4495		
500 999997u	0981	CIRCAC	4495	4494	2	4495		
999999	0982	CIRCAC	4495	4494	3	4495		
((
DLOC BASE	0983	CIRCAC	4495	4563	1	4495		
(Lc) (Tipo)(El)(Pa)Nc(Ex)Gr(Bl)	0984	CIRCAC	4495	4496	1	4495		
0990 MAQ 4492 10	0985	CIRCAC	4495	4720	1	4495		
0991 MAQ 4489 10	(
0992 MAQ 4462 10	0986	CIRCAC	4578	4517	1	4517		
0993 MAQ 4478 10	0987	CIRCAC	4579	4517	1	4517		
(	0988	CIRCAC	4574	4517	1	4517		
0989 BARRAC 4462	(
(	999999							

FIGURA 7 – Malha da lógica de atuação do ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires

Conforme mencionado anteriormente, recomenda-se a habilitação da opção BASE junto ao código DLOC, com o fim de ignorar erros de simulação devido à inexistência (no caso de fluxo de potência) de determinado local remoto de medição definido. Uma atuação mais abrangente da opção BASE é alcançada ao habilitá-la no código DOPC. Neste contexto, tal opção atua no sentido de ignorar erros de associação de modelos à equipamentos inexistentes no caso de regime permanente, permitindo a utilização de uma base de dados dinâmicos unificada e completa para a simulação de múltiplos cenários.

3.0 - SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO

Para validação do ECE de Corte de Geração nas Usinas do Complexo de Teles Pires, foi utilizado a configuração de referência do PAR 2023, distribuída em conjunto com a Base de Dados de Transitórios Eletromecânicos de dezembro de 2018 pelo ONS [6]. Foram utilizados também o programa Anarede na versão 11.2.1 [7] para a manipulação do caso de fluxo de potência, o programa Anatem na versão 11.6.0 [4] para a avaliação da estabilidade eletromecânica do caso e o programa Plot 6.1 para produção dos gráficos, todos desenvolvidos pelo Cepel.

O objetivo das simulações está em observar a influência do ECE na ocorrência de eventos previstos pela proteção, comparando o resultado com um caso em que o ECE não está habilitado. São testados, portanto, três cenários de simulação. O caso de fluxo de potência utilizado é o mesmo para os três cenários, sendo que o fluxo monitorado pelo ECE é superior a 2.700 MW e com a seguinte distribuição no número de unidades em cada usina: UHE Teles Pires com cinco unidades; UHE São Manoel com quatro unidades; e ambas UHE Colider e UHE Sinop com três unidades.

3.1 Contingência Dupla da LT 500 kV Paranaíta – Cláudia

Para este cenário, simula-se um curto-circuito monofásico na barra de 500 kV da SE Cláudia (barra 4495 no caso de referência), com posterior remoção do curto em 100 ms e abertura dos dois primeiros circuitos que conectam as SE Paranaíta e Cláudia. O resultado da simulação destes eventos pode ser verificado na Figura 8.

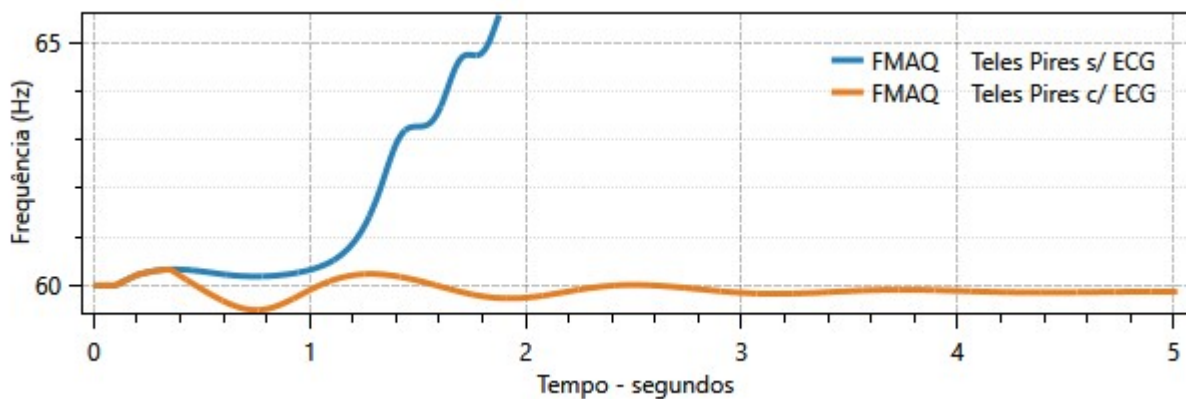


FIGURA 8 – Resultado da simulação da contingência dupla da LT 500 kV Paranaíta – Cláudia

O resultado desta simulação é um exemplo clássico de instabilidade do primeiro *swing*, em que a diferença da potência elétrica transmitida pelo sistema após a eliminação do defeito e a potência mecânica dos geradores é tão discrepante, que a perda de sincronismo é inevitável, exigindo uma mudança severa nas condições operativas pós-falta. Assim, o ECE atua para remover o excesso de geração, garantindo a estabilidade do sistema pós-distúrbio.

3.2 Contingência Dupla da LT 500 kV Cláudia – Paranatinga

Da mesma forma que no cenário anterior, simula-se um curto monofásico na barra de 500 kV da SE Cláudia com posterior remoção do curto em 100 ms e abertura dos dois primeiros circuitos que conectam as SE Cláudia e Paranatinga. O resultado da simulação destes eventos pode ser verificado na Figura 9.

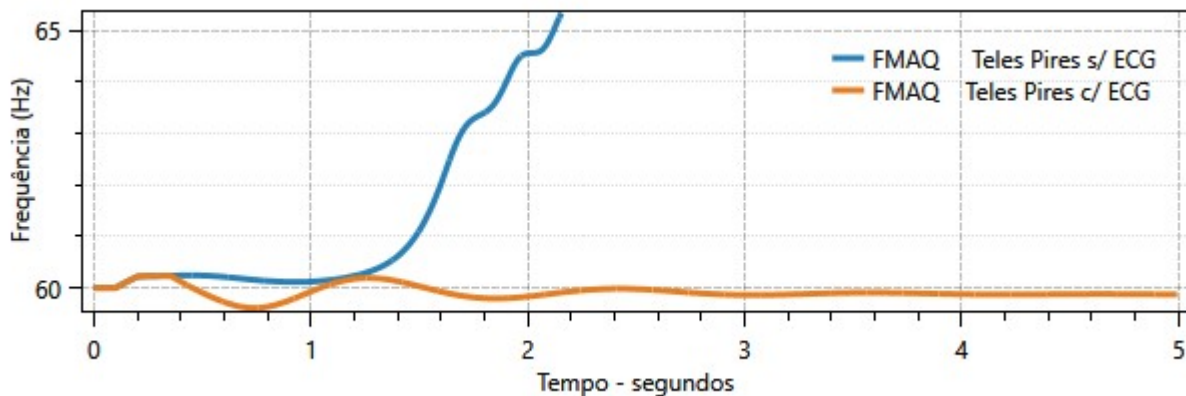


FIGURA 9 – Resultado da simulação da contingência dupla da LT 500 kV Cláudia – Paranatinga

O resultado para esta simulação em pouco difere do observado no caso anterior, embora a perda de estabilidade se dê ligeiramente adiante no tempo. As conclusões e observações do caso anterior permanecem as mesmas.

3.3 Contingência Dupla da LT 500 kV Paranatinga – Ribeirãozinho

Por fim, simula-se um curto monofásico na barra de 500 kV da SE Ribeirãozinho (barra 4517 no caso de referência), com posterior remoção do curto em 100 ms e abertura dos dois primeiros circuitos que conectam as SE Paranatinga e Ribeirãozinho. O resultado da simulação destes eventos pode ser verificado na Figura 10.

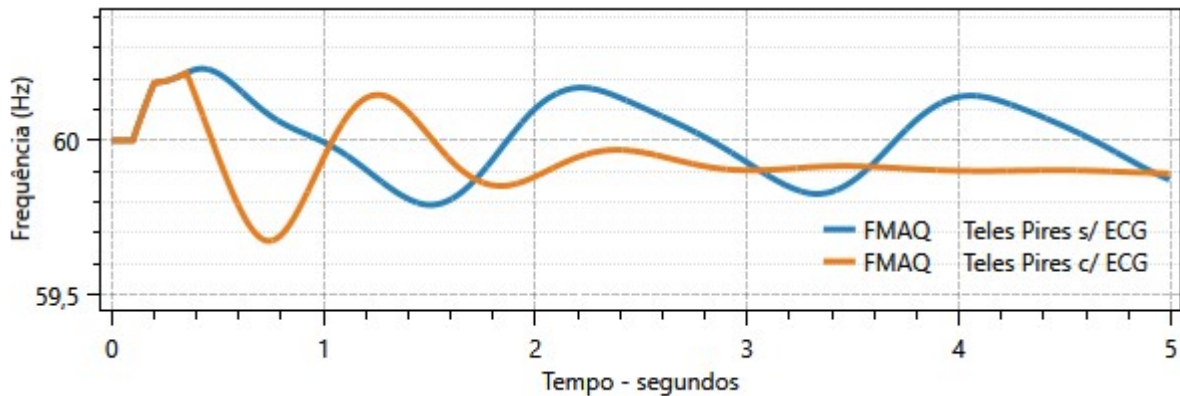


FIGURA 10 – Resultado (frequência) da simulação da contingência dupla da LT 500 kV Paranatinga-Ribeirãozinho

Diferentemente dos dois casos anteriores, neste cenário não há problemas de estabilidade de primeiro *swing*, uma vez que a localização do curto e da contingência dupla se encontram em um ponto mais malhado do sistema. As máquinas remanescentes, contudo, não são capazes de atingirem um novo ponto de operação estável no tempo considerado; com atuação do ECE, há amortecimento satisfatório da unidade geradora da UHE Teles Pires, conforme pode ser observado na Figura 11.

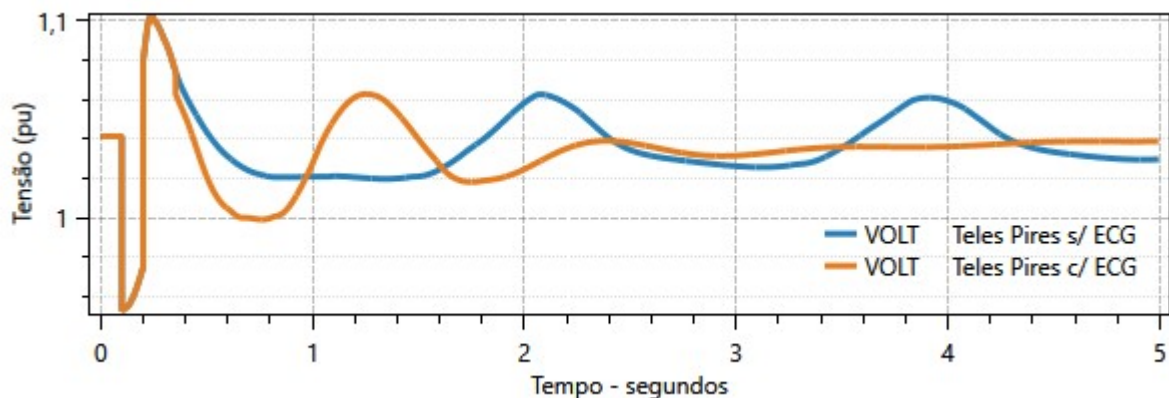


FIGURA 11 – Resultado (tensão) da simulação da contingência dupla da LT 500 kV Paranatinga – Ribeirãozinho

4.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado o processo de modelagem de Esquemas de Controle de Emergência no programa Anatem, evidenciando as etapas necessárias e os cuidados que o engenheiro deve ter ao produzir um CDU com este fim, utilizando como exemplo o ECE de corte de geração nas usinas do Complexo de Teles Pires.

A partir da simulação de eventos característicos a este ECE, foi possível observar não apenas a sua importância para a estabilidade angular das máquinas daquela região, mas também, em aspecto mais geral, a importância de se terem modelados no banco de dados de transitórios eletromecânicos do ONS os diversos ECEs existentes no SIN.

Em face do maior automatismo que agregam os recursos descritos neste IT e com a modelagem e incorporação de mais ECEs à base de dados, espera-se obter mais agilidade na realização e qualidade nos estudos de estabilidade eletromecânica, conferindo aos analistas mais segurança em suas conclusões. Da mesma forma, é retirado do usuário comum a necessidade de conhecer previamente a existência de ECEs, bem como os detalhes de sua implementação e atuação, conferindo maior usabilidade à infraestrutura de dados e robustez para execução de análises de transitórios eletromecânicos do SIN.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, Procedimentos de Rede do ONS, visitado em maio de 2019, <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>
- [2] NETTO, N. A. R. L.; SILVA, M. P.; LIRIO, F. L.; SILVA, L. R. "Utilização de Controladores Definidos pelo Usuário para Modelagem de Sistemas Especiais de Proteção no Anatem". In: XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE, 2017, Curitiba. Anais do XXIV SNPTEE, 2017.
- [3] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO "SEP - Sistemas Especiais de Proteção", visitado em: março de 2019, Disponível em: <http://www.ons.org.br/>.
- [4] LIRIO, F. L., NETTO, N. A. R. L. e DA SILVA, L. R. "Manual do Usuário do Programa Anatem", Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Abril de 2019. Versão 11.6.
- [5] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - Relatório DPL-REL-0059-2019 - "Estudos Pré-Operacionais para Integração da UHE Sinop ao Sistema Interligado Nacional".
- [6] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO "Casos de Referência – Estabilidade – Transitórios Eletromecânicos", visitado em: abril de 2019, Disponível em: <http://www.ons.org.br/>.
- [7] ALVES, F. R. M.; LA GATTA, P. O.; FERNANDES, R. P. "Manual do Usuário da Versão 11.2.1 do Programa Anarede". Abril de 2019. Versão 11.2.1.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



NÍCOLAS ABREU ROCHA LEITE NETTO é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2014) e M.Sc. em Engenharia Elétrica (2016) pela mesma instituição. Desde 2014, trabalha como pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), onde tem atuado na área de métodos computacionais para dinâmica de sistemas de potência e análise de segurança de sistemas de potência. Pertence também à equipe de desenvolvimento do software Anatem.

LÍGIA ROLIM DA SILVA é formada graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (2015). Atualmente cursa mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Desde 2015, trabalha como pesquisadora no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), onde integra a equipe de desenvolvimento e treinamento do programa Anatem, atuando na modelagem computacional de equipamentos de sistemas elétricos de potência para simulação de transitórios eletromecânicos.

FABRICIO LUCAS LIRIO possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), respectivamente em 1998 e 2000. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 2007. Desde 2000 trabalha no Cepel, onde atua no Departamento de Redes Elétricas (DRE). Trabalha no desenvolvimento do Programa Anatem desde 2013, atual responsável pelo projeto Anatem, participou dos estudos da alternativa CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira e Belo Monte e auxiliou no desenvolvimento do Programa PacDyn. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos, Eletromecânicos e Harmônicos. É membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.

JOSÉ MARIO MAMFRIN CAPANO JUNIOR – Nascido em Porto Alegre/RS em 09/07/1965. Possui Graduação (1987) em Engenharia Elétrica pela UFSC, Pós-Graduação em Controle e Estabilidade de Sistemas Elétricos de Potência (1993) pela UFSC e MBA em Administração de Negócios (CAISE) pela PUC-RJ (2006). Trabalha como Engenheiro Eletricista na área de Sistemas de Potência desde 1987, na Promon Engenharia, Eletrosul Centrais Elétricas e a partir de 2000 no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, onde atuou como Gerente das áreas de Programação Electroenergética, Hidrologia, Programação de Intervenções, Planejamento da Operação, Proteção e Estudos Especiais do Núcleo Sul, em Florianópolis, sendo que desde 2013 atua como Especialista na Gerência de Engenharia do ONS, em Florianópolis. Atualmente participa da manutenção da Base de Dados de Transitórios Eletromecânicos do SIN, de atividades de modelagem matemática, ajuste e validação de sistemas de controle para estudos de transitórios eletromecânicos e de análises pré-operacionais de novos empreendimentos que serão integrados ao SIN.

PAULO EDUARDO MARTINS QUINTÃO é engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 1993, pós-graduado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Trabalhou no CEPEL no período de março de 1994 a junho de 2008. Trabalha no ONS desde julho de 2008 na Gerência de Estudos Especiais – EGE, como Engenheiro Especialista. Participa em projetos de estabilização de sistemas através de reajustes nos controladores de unidades geradoras, validações de modelos matemáticos de controladores sistêmicos, além de estudos pré-operacionais de novos empreendimentos que integrarão o SIN. Atualmente sua principal atividade é a participação na equipe que realiza os estudos pré-operacionais do Sistema HVDC da UHE Belo Monte.

ANTONIO FELIPE DA CUNHA DE AQUINO é engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ em 1999, com mestrado (2000) e doutorado (2012) em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ. Possui pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ (2003) e MBA em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ (2009). Trabalhou por 20 anos no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS com análise de sistemas de potência. Em 2019 ingressou na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), como professor adjunto do Departamento de Energia Elétrica e Eletrônica desta instituição.

LUCIA MARIANA DE SOUZA DE ABREU - Nascida no Rio de Janeiro/RJ em 14/04/1982. Possui graduação (2005) em engenharia elétrica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. Desde 2005 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, onde atua na Gerência de Estudos Especiais, no Rio de Janeiro.

GUSTAVO DE SOUZA FRANCISCO é engenheiro eletricista formado em 1981 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro com Especialização em Sistemas de Energia Elétrica pela UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá em 1998. Possui o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica - Área de Sistemas Elétricos de Potência, pela UNIFEI (2005) e MBA em Gestão de Energia Elétrica pela PUC/RJ (2012). Em 1982 ingressou na IESA - Internacional de Engenharia S.A., onde trabalhou na Área de Estudos Elétricos. Em 1985 ingressou na Eletrobrás onde participou das atividades do GCOI. Desde 2000 faz parte do ONS onde atua na Gerência de Estudos Especiais.

NEYL HAMILTON MARTELOTTA SOARES graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1987). Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, MG (2002). Em 1987, ingressou na ELETROBRAS como engenheiro na área de Estudos de Planejamento da Operação, permanecendo até o ano de 1999. Ingressou no ONS no ano 2000, atuando, atualmente, na área de Estudos Especiais na Diretoria de Planejamento da Operação.