

Grupo de Estudo de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência (GAT)

## RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Antonio Ricardo M. Tenorio - ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico  
Manfredo Correia Lima - CHESF  
Glauco N. Taranto - Coppe/UFRJ

### 1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na edição do XXIV SNPTEE (2017) o Grupo de Estudo (4) de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência - GAT - teve seu corpo de relatores composto por Antonio Ricardo M. Tenório (ONS), Manfredo Correia Lima (Chesf) e Glauco N. Taranto (UFRJ/Coppe). No GAT foram submetidos 106 resumos, os quais foram analisados cuidadosamente pelos seus três relatores, que atribuem notas aos mesmos. Após se computar as médias de cada resumo, é produzida uma lista ordenada de forma decrescente das referidas médias. Esta lista é encaminhada para o Comitê Técnico que tem a incumbência de selecionar os 36 resumos aprovados, baseada na avaliação dos relatores e outros aspectos a serem considerados.

Dos 36 resumos aprovados, 33 Informes Técnicos (ITs) foram enviados e aceitos pela Relatoria, representando um não-comparecimento de 8% dos resumos aprovados. Este índice é menor que o verificado na edição anterior (especificamente no GAT).

Um dos assuntos mais recorrentes abordados nos ITs é o da transmissão em corrente contínua (HVDC), tratado em 11 trabalhos. Em 15 ITs discute-se questões relativas a modelagem, ferramental e metodologia. Destacam-se também assuntos relativos a sincrofasores, em 3 ITs, e assuntos diversos relacionados a estabilidade transitório e dinâmica, de tensão e fontes renováveis (eólica e fotovoltaicas).

### 2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os ITs recebidos foram analisados pelos relatores do GAT, que posteriormente produziram o Relatório Especial Prévio - REP – composto por breve relato do perfil dos ITs aprovados, perguntas e comentários aos autores dos ITs e a grade de programação do GAT.

Os 33 ITs a serem apresentados na sessão do GAT do próximo SNPTEE estão distribuídos da seguinte forma entre os 5 temas Preferenciais:

- Tema Preferencial 1 (Métodos, modelos e ferramentas): 15 ITs;
- Tema Preferencial 2 (Dinâmica de sistemas de potência): 2 ITs;
- Tema Preferencial 3 (Controle aplicado a sistemas de potência): 4 ITs;
- Tema Preferencial 4 (Análise de desempenho): 9 ITs;
- Tema Preferencial 5 (Grandes perturbações no SIN): 2 ITs;
- Tema Preferencial 6 (Métodos e critérios probabilísticos): não houve ITs.

#### 2.1 195 Métodos, modelos e ferramentas para estudos de sistemas de potência.

- 259 - ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS E MONITORAÇÃO DE OSCILAÇÕES NO PACDYN PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DINÂMICA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA
- 350 - REPRESENTAÇÃO MULTIÁREA DO SIN PARA FINS DE ANÁLISE DE CONFIGURAÇÕES QUE EXIGAM INTERAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS ELÉTRICOS E ENERGÉTICOS " APLICAÇÃO AO CASO DA AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO AO DESPACHO DA UHE BELO MONTE
- 47 - MODELADO EN ATP DE UNA ESTACIÓN CONVERTORA DE FRECUENCIA HVDC BACK-TO-BACK DE 500 MW ENTRE URUGUAY Y BRASIL
- 390 - ESTUDOS FINAIS DE PLANEJAMENTO DE ELOS CCAT: APRIMORAMENTO METODOLÓGICO DERIVADO DA EXPERIÊNCIA DE ESTUDOS REALIZADOS
- 448 - O SIMULADOR DE SISTEMAS DE CORRENTE CONTÍNUA DO ONS E OS DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DO PRIMEIRO BIPOLO DE BELO MONTE AO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL
- 509 - MODELAGEM DO MASTER CONTROL E DO CONTROLE DO BIPOLO 1 DO ELO CCAT DO RIO MADEIRA NO ANATEM: PRINCIPAIS MALHAS DE CONTROLE, DESEMPENHO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE PERTURBAÇÕES REAIS
- 288 - UTILIZAÇÃO DE CONTROLADORES DEFINIDOS PELO USUÁRIO PARA MODELAGEM DE SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO NO ANATEM
- 148 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DINÂMICO DE COMPENSADORES ESTÁTICOS COM CONTROLE ADAPTATIVO E OPERANDO ELETRICAMENTE PRÓXIMOS EM SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL
- 319 - CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE CARGA POLINOMIAL USANDO REGISTROS
- 332 - VALIDAÇÃO DO MODELO DO CER CEARÁ MIRIM ENTRE O PSCAD, O ATP E O RTDS
- 336 - MODELAGEM DE COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS - REQUISITOS BÁSICOS E BOAS PRÁTICAS PARA USO EM ESTUDOS OPERACIONAIS
- 352 - USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA
- 424 - AVALIAÇÃO DE MODELOS DE AEROGERADORES QUANTO A EFICIÊNCIA, PRECISÃO E ROBUSTEZ NA SIMULAÇÃO DE ESTABILIDADE ELETROMECÂNICA
- 472 - APLICAÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA CONTINUADO E ANÁLISE ESTÁTICA DE CONTINGÊNCIAS PARA DETERMINAÇÃO DA MARGEM DE ESCOAMENTO EM REGIME PERMANENTE UTILIZANDO O PROGRAMA ANAREDE
- 484 - ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SINCRIFASORES PARA MONITORAÇÃO DE CORREDORES DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO FUNÇÃO ENERGIA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)
- 494 - MODELAGEM DINÂMICA NÃO LINEAR DE TURBINA FRANCIS A PARTIR DE DADOS DE ENSAIO DE MODELO REDUZIDO

#### 2.2 196 Dinâmica de sistemas de potência

- 426 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DINÂMICO DO SISTEMA DA REGIÃO SUDESTE CONSIDERANDO AS INTERAÇÕES ENTRE OS ELOS CCAT
- 337 - AVALIAÇÃO PÓS-OPERATIVA DE OSCILAÇÕES NATURAIS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL UTILIZANDO DADOS DE TEMPO REAL

#### 2.3 197 Controle aplicado a sistemas de potência, considerando novas técnicas

- 294 - EQUALIZAÇÃO E TESTE DE DINÂMICAS DE UNIDADES GERADORAS DE EXCITAÇÃO E PSS COM ARQUITETURAS DIFERENTES POR MINIMIZAÇÃO

DA DIFERENÇA ENTRE RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA.

- 304 - AMORTECIMENTO DE MODOS ELETROMECÂNICOS UTILIZANDO ESTABILIZADORES EM ELOS HVDC CONSIDERANDO-SE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CONTROLE
- 315 - APLICAÇÃO DE FUNÇÕES AVANÇADAS AO CONTROLE DE VELOCIDADE NA UHE JIRAU
- 328 - CONTRIBUIÇÃO PARA MODELAGEM E VALIDAÇÃO DA MALHA HIDRÁULICA DE REGULADORES DE VELOCIDADE: ESTUDO DE CASO EM IRAPÉ

#### 2.4 198 Análise do desempenho de sistemas de potência

- 256 - PROBLEMAS ASSOCIADOS À ESPECIFICAÇÃO E PROJETO INDEPENDENTES DE FILTROS AC DE ESTAÇÕES CONVERSoras HVDC OPERANDO ELETRICAMENTE PRÓXIMAS EM UM AMBIENTE MULTI-VENDOR E MULTI-OWNER
- 355 - ESQUEMA DE ALÍVIO DE CARGA POR SUBTENSÃO NA SE BOA VISTA PARA EVITAR PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO DECORRENTES DA CONTINGÊNCIA DO COMPENSADOR ESTÁTICO
- 70 - ANÁLISE MULTIINFEED DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO
- 400 - MELHORIA DO DESEMPENHO DINÂMICO DO SIN ATRAVÉS DAS FUNÇÕES DE ESTABILIDADE DO PRIMEIRO BIPOLO DO ELO DE TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA DE BELO MONTE
- 411 - CONTRIBUIÇÃO DE GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO NA ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA
- 299 - MONITORAMENTO ON-LINE DOS PRINCIPAIS MODOS INTERÁREA DO SIN UTILIZANDO SINCRÓFAZORES
- 341 - AVALIAÇÃO DE AÇÕES MITIGADORAS PARA O ADEQUADO DESEMPENHO DINÂMICO DO SIN APÓS A ENTRADA EM OPERAÇÃO DO SEGUNDO BIPOLO DE BELO MONTE
- 313 - MODELAGEM DE TURBINAS HIDRÁULICAS TIPO KAPLAN E BULBO EM REGIME PERMANENTE E TRANSITÓRIO
- 1 - ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PARA O CURTO CIRCUITO DE GERADORES SOLARES EM UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANO

#### 2.5 199 Grandes perturbações no SIN

- 360 - VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL UTILIZANDO SINCRÓFAZORES
- 470 - AJUSTE DA LÓGICA DE REDUÇÃO DE GERAÇÃO DE ITAIPU 60HZ PARA EVITAR COLAPSO DE TENSÃO NO TRONCO 765KV DE FURNAS

#### 2.6 200 Métodos e critérios probabilísticos aplicados à operação de sistemas de potência

### 3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

#### 3.1 - ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS E MONITORAÇÃO DE OSCILAÇÕES NO PACDYN PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DINÂMICA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

PARREIRAS, T.J.M.A.(1);JUNIOR, S.G.(1);AMARAL, T.S.D.(1); - CEPEL(1);

Este artigo apresenta duas novas funcionalidades implementadas no programa PacDyn: a análise de contingências e a monitoração de oscilações em tempo real (RTMO). Na análise de contingências, diversas funções do PacDyn podem ser executadas automaticamente para o caso base e uma lista de contingência. Na RTMO, modos de oscilação do sistema são calculados, monitorados e podem ser visualizados como funções do tempo, considerando pontos de operação entregues periodicamente ao PacDyn e também uma lista de contingências. São apresentados resultados de simulações e testes dessas novas funcionalidades, utilizando um sistema exemplo de pequeno porte.

Perguntas e respostas:

A) Nos casos em que há redespacho de geração, como é feita a consistência do número de máquinas? De tal forma que não haja violação das curvas de capacidade das unidades geradoras.

Nos pontos de operação utilizados nos testes apresentados neste artigo, todas as unidades geradoras das usinas estavam operando. Não houve uma maior preocupação com relação à correção do número dessas unidades, uma vez que as variações nos despachos não foram muito grandes e a ideia principal era apenas mostrar o funcionamento da nova ferramenta desenvolvida no programa PacDyn. Na prática, em sistemas reais, o número de unidades em operação deve, de fato, ser corrigido. Isso pode ser feito através de um novo código de execução que está sendo desenvolvido no ANAREDE, denominado DGEI, onde é possível fornecer dados para que o próprio ANAREDE defina o número de unidades geradoras necessárias em cada usina do sistema, considerando suas curvas de capacidade. Esse valor é fornecido ao programa PacDyn que o utiliza em suas simulações de estabilidade a pequenos sinais.

B) No caso de testes da monitoração de oscilações em tempo real (Fig.13), como explicar a melhoria do amortecimento nos casos em contingência?

O fator de amortecimento de modos de oscilação de sistema de potência dependem de diversos fatores. Então, é possível que determinadas contingências em determinados pontos de operação acabem aumentando o amortecimento de alguns modos. Com a consideração de alguma contingência no sistema, a única certeza que se pode ter é que o ponto de operação e, conseqüentemente, as condições iniciais desse sistema mudarão. Com isso, os modos de oscilação desse sistema também vão mudar, podendo ter seus fatores de amortecimento aumentados ou diminuídos. Os fatores de amortecimento desses modos vão depender principalmente do tipo do modo de oscilação, da localização da contingência, da topologia da rede e dos diversos controladores utilizados no sistema. A combinação de todos esses fatores é que define o que acontecerá com os fatores de amortecimento desses modos.

C) A monitoração de oscilações em tempo real (RTMO) já está em um estágio operacional integrado ao sistema SAGE do CEPEL?

O CEPEL vem realizando um trabalho de integração entre o programa PacDyn e o sistema SAGE através dessa nova ferramenta de monitoração de sistemas de potência, denominada RTMO. Já foram realizados alguns teste em um sistema de pequeno porte, onde foram obtidos resultados positivos. Nesses testes, o SAGE gerenciava esse sistema de pequeno porte e uma curva de carga era utilizada para gerar diversos pontos de operação para esse sistema, no intuito de simular a sua operação em tempo real. A função RTMO do PacDyn era utilizada para a monitoração de modos de oscilação de interesse desse sistema. Os pontos de operação criados eram passados para o PacDyn, que executava o algoritmo da RTMO descrito nesse artigo, para monitorar a estabilidade a pequenos sinais do sistema teste. Alguns desses resultados são mostrados no artigo "INTEGRAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE SSA AO SISTEMA EMS SAGE" que também foi submetido ao GOP do XXIV SNPTEE e também será apresentado no evento.

**Comentário:** O trabalho mostra dois novos aplicativos associados ao programa PacDyn do CEPEL, a análise de contingências e a monitoração de oscilações em tempo real. O artigo evidencia uma maior integração computacional entre os programas do CEPEL, em particular o Anarede e o PacDyn. Há um grande potencial de uma integração também com o ambiente SAGE do próprio CEPEL.

#### 3.2 - REPRESENTAÇÃO MULTIÁREA DO SIN PARA FINS DE ANÁLISE DE CONFIGURAÇÕES QUE EXIGAM INTERAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS ELÉTRICOS E ENERGÉTICOS " APLICAÇÃO AO CASO DA AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO AO DESPACHO DA UHE BELO MONTE

SILVA, R.J.R.G.D.(1);MELO, P.A.D.(1);LIMA, A.F.A.(2);DANTAS, Y.S.(2);VALENÇA, R.B.(2);FILHO, J.S.V.D.N.(2); - ELAN(1);ANDESA(2);

Já se observa uma tendência crescente e irreversível da participação de fontes de geração eólica, biomassa, termelétrica e solar. A variabilidade natural das fontes, principalmente, eólica e solar exigirá flexibilidade operacional do Sistema Interligado Nacional - SIN para possibilitar a sua integração ao sistema elétrico garantindo a otimização energética e a segurança operacional. Isso representa um grande desafio para o planejamento da expansão e para a operação do sistema de transmissão, considerando a necessidade de se caracterizar, desde o momento da concepção dos empreendimentos, restrições internas aos subsistemas, que tenham impactos importantes no despacho destas fontes geradoras, com conseqüências relevantes na respectiva comercialização. A representação do SIN, através da modelagem a subsistemas equivalentes, para fins de análise de situações que exijam uma efetiva interação entre os aspectos elétricos e energéticos, parece ter atingido seus limites. Isto é uma conseqüência da redução significativa da participação da geração hidrelétrica cuja principal característica é a concentração em bacias hidrográficas cujos limites são bem definidos, além de grandes reservatórios de regularização com a carga concentrada em grandes centros, na sua maioria urbana, atendida através de grandes troncos de transmissão bem caracterizados. Neste trabalho é apresentado um modelo computacional que entendemos ser adequado para o tratamento dos aspectos elétrico e energético de forma conjunta, permitindo a identificação de soluções com tempo de resposta reduzido, utilizando ferramentas compatíveis com os objetivos pretendidos. Assim sendo, é possível se analisar várias alternativas de geração e transmissão de forma integrada, incluindo, se necessário, os aspectos da comercialização.

Perguntas e respostas:

A) Poderiam os autores fornecer maiores detalhes sobre como são incorporadas as restrições advindas da transmissão no balanço energético realizado em cada nó?

As restrições advindas da transmissão são incorporadas no modelo a partir dos resultados de simulações elétricas em regime permanente e dinâmico. Podem ser considerados limites de intercambio, limites de recebimento das regiões e limites de carregamento nas linhas de transmissão. Tais simulações são realizadas para os três patamares de carga e os resultados obtidos convertidos para MW Médio, de forma a serem incorporados ao balanço energético, em cada nó.

B) Poderiam os autores indicar, mesmo que de forma qualitativa, como seriam incluídos os aspectos de comercialização na metodologia proposta?

Na realidade, a partir dos resultados obtidos das restrições de geração, podem ser quantificados, para cada usina e para cada caso, os valores de energia não fornecida em comparação com os valores estabelecidos nos contratos e a partir daí estimados os impactos na comercialização de energia. Obviamente, terão que ser feitos cenários de alocação de despacho entre as diversas usinas, em face das eventuais restrições impostas.

C) 3) Como seriam incorporadas restrições de natureza dinâmica, obtidas por exemplo a partir do processamento do programa ANATEM, à metodologia proposta?

As restrições incorporadas ao modelo, conforme citado na resposta à questão 1, são obtidas a partir das simulações realizadas, em regime permanente e em regime dinâmico, para os diversos patamares de carga. No caso, foram utilizados os programas ANAREDE e ANATEM.

**Comentário:** A utilização do conceito de Análise Multiáreas se propõe a ampliar a capacidade analítica das equipes técnicas ao mostrar, de forma estruturada, os fluxos energéticos entre estas áreas, destacando em especial os congestionamentos resultantes dos despachos da geração em cada uma delas. A proposta apresentada procura fornecer, mesmo para um sistema de grande porte como o que foi analisado no trabalho, subsídios para avaliação das restrições de transmissão resultantes dos requisitos de geração em cada área e seus impactos, inclusive, nos aspectos vinculados à comercialização de energia.

### 3.3 - MODELADO EN ATP DE UNA ESTACIÓN CONVERTORA DE FRECUENCIA HVDC BACK-TO-BACK DE 500 MW ENTRE URUGUAY Y BRASIL

CALZOLARI, G.(1);SALDAÑA, C.(1); - UTE(1);

Con el objetivo de interconectar los sistemas de potencia de Uruguay y Brasil, de diferentes frecuencias nominales, una nueva estación convertora de frecuencia HVDC Back-to-Back (BtB) de 500 MW fue construida. Un modelo detallado de este BtB ha sido desarrollado por los autores para el programa ATP (Alternative Transients Program), para la realización de estudios de transitorios electromagnéticos (EMT). Este artículo presenta los siguientes aspectos relacionados con el modelado llevado a cabo: los principales datos técnicos de la estación convertora, las Características Estáticas en condiciones de operación normal y en falta, curvas enlace de flujo versus corriente y cálculo de los flujos residuales de los transformadores convertidores, loops de control DC, puentes convertidores y esquema de disparo de los tiristores, control de las sobre/sub tensiones temporarias, inicialización del modelo del BtB. Con el objetivo de validar el modelo desarrollado en ATP, fueron simuladas faltas trifásicas balanceadas en los lados rectificador e inversor y los resultados obtenidos fueron comparados con los suministrados por el fabricante, que modeló la estación convertora con el programa PSCAD (Power System Computer Aided Design).

Perguntas e respostas:

A) Os autores reportaram dificuldades na obtenção de alguns detalhes do funcionamento de alguns blocos de controles, somente sendo fornecidos diagramas de blocos simplificados. A UTE colocou explicitamente no contrato de compra do equipamento que o fabricante teria que fornecer todos os dados para a modelagem em ATP? Foi solicitado o desenvolvimento ao fabricante da conversora de um modelo para o programa ATP?

En el ítem 4.0 del trabajo los autores escribieron que los algoritmos de medida del ángulo de disparo ? y ángulo de extinción ? y filtrado de magnitudes AC, etc. fueron esquemáticamente mostrados en figuras. Todos los datos de los bloques de los lazos de control fueron suministrados por el fabricante. En el contrato la empresa solicitó al fabricante un modelo de la conversora en ATP. El modelo suministrado no cumplió con los requerimientos de la empresa y por eso se decidió desarrollar un modelo propio.

B) O trabalho mostra uma boa concordância para faltas trifásicas no lado retificador da conversora BtB de Melo. Os autores poderiam comentar sobre as comparações para faltas desequilibradas, como por exemplo um curto monofásico no retificador e também no inversor?

La conversora no fue diseñada para faltas desequilibradas en las líneas de transmisión que la vinculan al sistema de potencia. Durante la etapa de proyecto los estudios de faltas en las líneas consistieron en la aplicación de faltas trifásicas y monofásicas seguidas de aperturas trifásicas de las líneas con recierres trifásicos exitosos. Desde que la conversora entró en servicio, frente a la ocurrencia de faltas desequilibradas (por ejemplo falta monofásica) en la línea San Carlos - Melo, se abre en ambos extremos la fase en falta y la conversora se desenergiza en forma trifásica durante el período de recierre. Si el recierre es exitoso, 300 ms después se energiza la conversora. Si el recierre es no exitoso se produce la apertura trifásica definitiva de la línea y no se energiza la conversora. Como el desarrollo del modelo en ATP fue muy posterior a los estudios de proyecto, las simulaciones realizadas de falta monofásica en el inversor y rectificador lado Uruguay siguieron las secuencias de maniobras implementadas actualmente en los sistemas de protección. No obstante, una comparación de los resultados actuales con los de la etapa de proyecto muestra patrones similares de comportamiento tanto de las magnitudes DC como AC.

C) Desde a entrada em operação da Conversora BtB de Melo, a UTE já utilizou o modelo desenvolvido para uma análise de perturbação ocorrida nesta conversora?

Desde la entrada en operación de la conversora se ha transferido en muy pocas oportunidades y no han ocurrido perturbaciones en las líneas que directamente vinculan la conversora a los sistemas eléctricos de Brasil y Uruguay.

**Comentário:** A modelagem de sistemas HVDC em programas digitais constitui-se em uma ferramenta muito poderosa para as análises de perturbações e condições operativas, além de estudos de planejamento. Como estes sistemas envolvem sistemas de controle complexos, a única forma de torna-los críveis é através de validação com outras ferramentas, que já foram validadas contra ensaios em campo ou simulações em tempo real com os cubículos da réplica do sistema de controle (Hardware in the Loop ? HSIL)

### 3.4 - ESTUDOS FINAIS DE PLANEJAMENTO DE ELOS CCAT: APRIMORAMENTO METODOLÓGICO DERIVADO DA EXPERIÊNCIA DE ESTUDOS REALIZADOS

JUNIOR, D.D.S.C.(1);ALMEIDA, J.H.M.(1);RIZZOTTO, T.C.(1); - EPE(1);

O artigo apresenta uma metodologia para estudos finais de planejamento de elos CCAT, desenvolvida com base em experiências. São indicados os tipos de estudos realizados e relatada sua evolução desde os do sistema do Madeira até os de Belo Monte. A partir do Madeira foi desenvolvido um modelo genérico de bipolo CCAT em 800 kV. Em seguida é apresentada a metodologia, que considera uma representação básica de rede, com ajustes específicos para estudos de transitorios eletromagnéticos, de dinâmica e de multi infeed, indicando limitações, mas concluindo pela viabilidade de aplicação em novos empreendimentos CCAT no país.

Perguntas e respostas:

A) No tocante aos estudos transitórios eletromagnéticos de manobra são citados os seguintes estudos: curtos-circuitos na rede CA, bloqueio do Bipolo, curtos-circuitos na linha DC. Não obstante, não são feitos estudos de energização dos transformadores conversores que é de suma importância para a definição das características ferromagnéticas desses transformadores, tais como, curva de saturação em termos de reatância de núcleo de ar (Xac) e tensão de Joelho. Os transformadores conversores são de potência muito elevada, geralmente de 2000 MVA e mesmo acima desse valor, e a geração que deve ser escoada pelo HVDC tem muitas vezes potências de curto-circuito baixas. Esses estudos são fundamentais para a futura operação do elo de HVDC. Qual a razão da EPE não realizar estudos de energização de transformadores conversores?

Os estudos finais de planejamento investigam, para os fenômenos considerados, o impacto das futuras instalações na rede existente, complementando os estudos precedentes na indicação de uma solução técnica e economicamente viável. Nessa fase poderão ser identificadas situações que venham a exigir a revisão da concepção inicial, inclusive com equipamentos adicionais. O detalhamento do projeto efetivamente implantado será realizado nas etapas subsequentes que se inicia com o Projeto Básico. Os transformadores conversores são integrantes das instalações dos elos CCAT e a concepção desses equipamentos deve permitir sua operação em acordo com as especificações dos editais, que consideram, além do previsto no planejamento, os requisitos do Operador Nacional. Existem diferentes medidas mitigatórias para tornar a energização de transformadores uma operação aceitável, dentre essas, a própria concepção dos transformadores. Por outro lado, nas especificações dos editais no Brasil, tem sido permitido diferentes topologias para o arranjo das conversoras, levando a possibilidades diversas quanto à potência e o número de transformadores por conversora. Dessa forma, não se sabe ao certo, na fase de planejamento, qual a situação a ser simulada. Por fim, é importante ressaltar que o escopo dos estudos poderá sempre ser alterado quando assim se justificar.

B) A modelagem de parte da rede externa por equivalentes estáticos (impedâncias próprias e de transferência de Thevenin) vem sendo questionada em alguns fóruns por especialistas em HVDC. A EPE tem alguma linha de pesquisa para desenvolvimento de equivalentes dinâmicos incluindo modelos de máquinas síncronas?

Conforme indicado no artigo, a estratégia de representação da rede considera as análises de fenômenos transitórios eletromagnéticos e eletromecânicos. Para a primeira análise a representação da rede externa por equivalentes estáticos é prática consagrada. Nas análises de transitorios eletromecânicos temos representadas as principais máquinas do sistema através de modelos dinâmicos. Nos estudos realizados para os grandes elos CCAT as máquinas contidas nos equivalentes têm efeito desprezível no desempenho dinâmico do SIN, com base em avaliação realizada com programa de simulação de desempenho eletromecânico. Nos estudos de redes extensas, quando os equivalentes externos são igualmente extensos, não temos conhecimento de equivalentes dinâmicos efetivos para representação em programas EMT.

C) Nos estudos de multi-infeed não basta somente analisar o ano de entrada do empreendimento. Os fatores de interação de multi-infeed (MIIF) são função da expansão da rede CA e, portanto, no processo de planejamento ordinário deve-se sempre verificar se a expansão do sistema CA não está aproximado os inversores de HVDC através da incorporação de linhas de transmissão reforçando esses troncos CA. A EPE monitora no seu planejamento decenal a evolução a evolução dos MIIF entre os seus inversores?

O objetivo do artigo é apresentar tão somente uma metodologia para estudos finais de planejamento de elos CCAT, desenvolvida com base em experiências recentes

de implantação dessas instalações no Sistema Interligado Nacional (SIN). Não abrange aspectos relacionados com a evolução do sistema. De todo modo vale comentar que a evolução da rede e as consequências nas instalações existentes são avaliadas pelo Planejador e pelo Operador, que nesse aspecto, interagem permanentemente.

**Comentário:** A metodologia de planejamento no estado final dos links HVDC vem sendo aperfeiçoadas pela EPE desde o projeto do Madeira até o projeto de Belo Monte. São estudos, na fase final do empreendimento, que são muito importantes para operação e especificação das características desses elos/bipolos para o Edital da Aneel.

### 3.5 - O SIMULADOR DE SISTEMAS DE CORRENTE CONTÍNUA DO ONS E OS DESAFIOS PARA A INTEGRAÇÃO DO PRIMEIRO BIPOLO DE BELO MONTE AO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

BARROS, H.M.D.(1);TAKAHATA, A.Y.(1);CASTRO, A.D.(1);OLIVEIRA, J.J.R.D.(1);BARBOSA, A.D.A.(1);FILHO, R.N.F.(1); - ONS(1);

Desde a sua implantação em março de 2013, o Simulador de Sistemas de Corrente Contínua (SSCC) do ONS tem se mostrado uma ferramenta essencial no processo de tomada de decisão pelo Operador e agentes transmissores, tendo sido largamente utilizado em análises de Projeto Básico, Estudos Pré-Operacionais e na cadeia de planejamento e programação da operação, no âmbito do Projeto Madeira. Com a entrada em operação do primeiro bipolo associado à Usina de Belo Monte, prevista para 2018, o ONS vem se preparando para os desafios técnicos provenientes da integração dos novos equipamentos de Controle e Proteção (C&P) ao Simulador SSCC.

Perguntas e respostas:

A) O trabalho cita o desenvolvimento de metodologia aplicável à síntese de equivalentes dinâmicos em programa de transitórios eletromecânicos. Este campo do conhecimento em engenharia elétrica ainda é muito incipiente. Os autores poderiam comentar o que já foi feito até agora e se houve algum tipo de validação da modelagem?

O suporte de ferramentas computacionais para automatismo do cálculo e representação de equivalentes de rede elétrica, que seja adequada aos estudos no SSCC, é uma necessidade real devido à limitação na quantidade de hardware disponível. No último ano, o ONS tem realizado a avaliação dos resultados obtidos com a ferramenta de cálculo de equivalentes dinâmicos integrada ao programa de transitórios eletromecânicos Organon. Essas avaliações contemplam, além da comparação de resultados entre as simulações dinâmicas com o sistema completo e sistema reduzido, o aprimoramento da interface visual com o usuário e a constituição de um guia prático de utilização desse recurso.

B) A integração de cubículos de diferentes fabricantes e suas interfaces com o simulador RTDS já existente é sempre um campo que superará a superação de alguns problemas. Como tem sido a experiência de manutenção até o momento de simulação de cubículos de dois diferentes fabricantes em sistema de comodato?

No caso das réplicas de fabricação ABB, o ONS mantém um contrato de manutenção corretiva de base anual com o fabricante e mantém um conjunto mínimo de componentes para pronta reposição de hardware defeituoso. Estuda-se internamente uma proposta para o aprimoramento dessa ação, a qual passaria a ser coberta no contrato de manutenção que o agente proprietário das instalações de campo (e das réplicas) mantém com o fabricante dos equipamentos. Considerando-se que o número total de componentes dos cubículos de campo é bastante superior ao da réplica haveria melhores condições de negociação da referida manutenção do agente junto ao fabricante em relação ao que é tratado com o ONS. No caso das réplicas de fabricação GE-Alstom ainda não foi concluída a etapa do comissionamento, permanecendo as mesmas em período de garantia.

C) Existe alguma limitação atual no laboratório de simulação de corrente contínua, usando o RTDS, que será superado com a expansão do sistema e aquisição de novos racks de RTDS?

As limitações impostas à modelagem de sistemas elétricos de grande porte, contemplando a representação múltiplos elos de CC, na versão de hardware RTDS baseada em cartões de processamento PB5 ou GPC (a atual do SSCC) correspondem a: a) número máximo de nós (barras) por subsistema; b) número de ramos e/ou componentes de controle por subsistema; c) número máximo de soluções de rede por rack. A primeira obriga a introdução de linha com tempo de tráfego igual ao passo de integração para aumento da subdivisão e a segunda no aumento do passo de integração mínimo. O ONS está expandindo a capacidade do SSCC com a nova versão de hardware (NovaCor) o que elimina a necessidade dessa duas medidas para . Também, está sendo integrado um simulador de fabricação Opal-RT para fins de simulação em modo cooperativo com o RTDS

**Comentário:** As simulações em tempo real operando com as réplicas dos controles reais (HSIL- hardware in the loop) são as mais precisas que conhecemos para estudos de desempenho de sistemas HVDC. Todas as filosofias de controle, bem como suas adequações são testadas antes em ambiente de tempo real para depois serem implementadas no campo.

### 3.6 - MODELAGEM DO MASTER CONTROL E DO CONTROLE DO BIPOLO 1 DO ELO CCAT DO RIO MADEIRA NO ANATEM: PRINCIPAIS MALHAS DE CONTROLE, DESEMPENHO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE PERTURBAÇÕES REAIS

LOPES, F.R.(1);SOBRINHO, F.A.(2); - ELETRONORTE(1);ABB(2);

O Anexo Técnico do Lote C do Edital de Leilão nº007/2008-ANEEL, que contempla os conversores do Bipolo 1 e o Controle Mestre do elo CCAT do Rio Madeira, responsabiliza a transmissora ? a Eletrobras Eletronorte - pela modelagem computacional dos elementos que compõem este sistema e a sua e a disponibilização aos órgãos competentes para estudos de fluxo de carga, estudos de transitórios eletromecânicos e estudos de transitórios eletromagnéticos. Este trabalho se concentrará na modelagem do Controle Mestre do elo CCAT do Rio Madeira, bem como do controle do Bipolo 1 no Anatem, para estudos de transitórios eletromecânicos. O modelo original do Bipolo 1 no Anatem enviado ao ONS e ANEEL quando da entrada em operação do elo CCAT do Rio Madeira é baseado em modelo built-in MD03 predefinido de controle de conversor CA/CC. Malhas adjacentes de controle e o Controle Mestre se complementam ao modelo através de controlador definido pelo usuário (CDU). Este trabalho apresentará, portanto, as principais malhas de controle que compõem o Bipolo 1 e o Master Control, inclusive aquelas que foram concebidas após a entrada em operação para otimizar o desempenho do elo CCAT do Rio Madeira. Posteriormente, serão apresentados os resultados de testes de desempenho e sua validação através da comparação com os resultados destes mesmos testes realizados no PSCAD e/ou em RTDS, garantindo que as respostas de todos os modelos digitais disponíveis ao Operador Nacional do Sistema sejam muito próximos entre si e entre os controles reais presentes na planta. Finalmente, serão apresentados os resultados de uma análise de uma perturbação real, utilizando como ferramenta de análise o modelo desenvolvido para o Bipolo 1 e o Master Control, confrontando seus resultados com oscilografia retirada do campo, atestando novamente ? na prática ? a eficiência do modelo.

Perguntas e respostas:

A) A experiência mostra que os fabricantes sempre são refratários a abrir seus controles para modelagem por terceiros, mesmo quando este requisito consta no Edital do leilão do empreendimento. Já que o fabricante também é autor do IT, como foi a experiência de passagem de informações e validação do modelo junto ao fabricante?

A implementação dos controles do Bipolo 1 e Master Control não foi uma transcrição literal de seus controles, não apenas em virtude desta cultura por parte dos fabricantes de serem resguardados em demasia à liberação de seus códigos - o que de fato se verificou - mas também pela dificuldade inerente à representação de um sistema tão complexo e, em alguns casos, por limitações impostas pelo próprio Anatem. Algumas poucas malhas de controles mais simples foram transcritas conforme sua implantação em campo, quando estas estavam disponíveis via software de design de programação do controle (HiDraw Studio), disponível à Eletronorte, proprietária do equipamento. Entretanto, tanto para aqueles controles fechados via bloco built-in do próprio software (?caixas-pretas?) quanto para as funções de alto grau de sofisticação e níveis de programação, a implementação no Anatem é uma simplificação de sua filosofia de controle, com a devida supervisão do fabricante.

B) Fruto do trabalho de validação foi necessário alterar algum aspecto da modelagem desenvolvida no Anatem?

Sim, em todos os níveis de hierarquia de controle do modelo. No nível de controle de polo, o que no Anatem significa o ajustes dos parâmetros no modelo built-in de conversor através do código de execução DMCV MD03, foi necessário, principalmente, corrigir o comportamento da recuperação da tensão DC pós-falta. Em nível de Controle Mestre, lógicas inteiras precisaram ser revistas em virtude de mal-funcionamento e corrigidas no Anatem, através dos resultados obtidos no processo de validação. Em menor grau, correções como constantes de tempos e ajustes de ganho também foram necessários após realização de processo comparativo com resultados correspondentes ao modelo real.

C) Tendo em vista o relativo número de alterações ?revision orders? que o Bipolo 1 do Madeira tem sofrido e consequentemente as necessidades de alterações no modelo de Anatem, como tem sido a política de revalidação de modelagem para estas alterações implementadas?

Os primeiros anos de operação do Bipolo 1 foram realmente marcadas pelo alto número de correções do código do controle, fruto de uma série de melhorias para a operação do sistema como um todo, algumas delas inclusive não tendo sido previstas no projeto original. As 'revision orders' previstas no curto prazo serão frutos do trabalho que tem sido realizado no Simulador de Corrente Contínua, disponível no ONS-RJ, onde os agentes ligados ao elo HVDC do Madeira estão estudando a operação conjunta/paralelismo entre os dois Bipolos. Consequência imediata da sua aplicação em campo e operação estável será a avaliação da necessidade de atualização dos controles do Bipolo 1 e Controle Mestre no Anatem, para efeito de análise de estudos elétricos.

**Comentário:** As ferramentas poderosas como a análise de estabilidade eletromecânica necessita sempre estar atualizada com as modificações no campo. A colaboração do fabricante em aspectos de modelagem reveste-se de uma cooperação muito importante no melhoramento dos modelos.

### 3.7 - UTILIZAÇÃO DE CONTROLADORES DEFINIDOS PELO USUÁRIO PARA MODELAGEM DE SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO NO ANATEM

NETTO, N.A.R.L.(1);SILVA, M.P.D.(1);LIRIO, F.L.(1);SILVA, L.R.D.(1); - CEPEL(1);

Neste artigo é apresentado um recurso que permite que sinais provenientes de CDU alterem o estado de elementos da rede (relé por CDU). O uso da topologia de CDU é descrito, recurso este que possibilita que uma mesma configuração de planta seja compartilhada por mais de um controlador. Com o uso da topologia de CDU, apresenta-se um relé diferencial genérico. É apresentada ainda a simulação dinâmica incluindo a representação de um Sistema Especial de Proteção (SEP), por meio do relé por CDU. As funcionalidades apresentadas neste trabalho contribuem para o aprimoramento da representação dos sistemas de proteção nas simulações dinâmicas.

Perguntas e respostas:

A) Na avaliação dos autores seria possível, utilizando a nova implementação realizada no programa ANATEM, a modelagem de todos dos SEP hoje existentes no SIN, conforme especificado no site do ONS? [http://www.ons.org.br/operacao/sistemas\\_especiais\\_protecao.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/sistemas_especiais_protecao.aspx)

As implementações de representação de sensores e atuadores (subtipos de blocos IMPORT/EXPORT) e de blocos de CDU específicos (DISMIN/DISMAX) devem ser suficientes para se representar qualquer sistema supervisor de proteção. Novos sensores e atuadores poderão, contudo, ser implementados caso surja a necessidade; contudo não parece ser este o caso.

B) Na visão dos autores, qual o impacto percentual esperado no tempo de simulação do programa ANATEM para um evento no SIN, caso todos os SEP sejam devidamente modelados na base de dados dinâmica, hoje disponibilizada pelo ONS?

Considerando o caso de referência de Fevereiro de 2016, a diferença de tempo estimada pela presença das proteções nas proporções esperadas foi de 1.31+4.23 segundos mais lenta (para uma simulação de 25 segundos). Percentualmente, essa diferença corresponde a menos de 1%. Para todos os efeitos, o impacto no tempo de simulação é negligenciável. Embora a quantidade de blocos inseridos na simulação tenha sido elevado (aumento de 40%), o impacto que esses blocos causam na simulação é limitado, uma vez que as proteções normalmente não atuam (e portanto não prejudicam o processo de convergência). No caso das proteções atuarem, não é possível de estimar uma diferença de desempenho, dado que as duas respostas (com e sem a proteção atuando) seriam significativamente diferentes.

C) Considerando a aplicação do programa ANATEM na análise de região de segurança dinâmica em tempo real, os autores consideram que o programa está apto a conduzir essas análises, com as funcionalidades hoje implantadas, ou seria necessária alguma implementação adicional?

O Anatem está preparado para a simulação de casos do tempo real, conforme está ilustrado no artigo "Simulação Dinâmica de Casos Oriundos do Tempo Real no Programa Anatem" do XIV EDAO, 2016. Na versão atual do programa (11.02.00), o único elemento do banco de dados dinâmicos que não pode satisfatoriamente ainda ser representado em uma simulação oriunda do tempo real é a usina eólica quando modelada por carga dinâmica; contudo esta representação para usina eólica corresponde a uma minoria das usinas eólicas, sendo o seu impacto reduzido. A implementação necessária no Anatem para contemplar esta possibilidade de modelagem estará disponível na próxima versão do programa.

**Comentário:** A adição desta funcionalidade "CDU para representar relés e SEPs" ao Anatem torna este software muito mais preciso para a modelagem destes componentes de sistemas elétricos. Trata-se, portanto, de um grande avanço no desenvolvimento do Anatem.

### 3.8 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DINÂMICO DE COMPENSADORES ESTÁTICOS COM CONTROLE ADAPTATIVO E OPERANDO ELETRICAMENTE PRÓXIMOS EM SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL

LIMA, M.C.(1);FEINGOLD, P.(2);SCHWARTZENBERG, J.(3); - CHESF(1);Stellar(2);GE(3);

O presente informe técnico (IT) apresenta os estudos realizados em simulador digital em tempo real (RTDS) para avaliação do desempenho do CER Ceará Mirim, que integram os testes de aceitação em fábrica do referido equipamento. Devido à presença em ambos os compensadores de esquemas de cálculo automático de ganho, a operação coordenada entre os CER Ceará Mirim e Extremoz, este já em serviço há cerca de três anos e instalado eletricamente próximo ao CER Ceará Mirim, requereu a implantação de um esquema especial para assegurar a operação coordenada de tais equipamentos, apresentado neste IT. Os resultados mais relevantes dos referidos testes em RTDS são analisados.

Perguntas e respostas:

A) O autor informa que o modelo "réplica" do CER Extremoz (-75 a 150 Mvar) foi representado através de informações do concessionário deste CER. Como os CER são de fabricantes distintos, essa passagem de informação deve ter sido muito vaga e a experiência internacional tem demonstrado que normalmente o fabricante desenvolvedor do estudo em RTDS normalmente espelha seus controles e funcionalidades no CER vizinho (de um concorrente). Você poderia comentar sobre esses aspectos e as dificuldades na modelagem e validação de um CER de fabricante concorrente? Como isso impacta os resultados dos estudos desenvolvidos?

SVC Extremoz representado nos testes com base em informações da sua proprietária Chesf. Utilizado como base o modelo em ANATEM fornecido pelo seu fabricante. SVC Extremoz: Controlador integral com ganho fixo e estatismo de 5%. Neste contexto, em todas as simulações efetuadas não foram verificadas interações adversas entre os SVCs Ceará Mirim e Extremoz. Escopo SVC Ceará Mirim esquema de operação coordenada já implantado no site. SVC Ceará Mirim opera com ganho mínimo enquanto o escopo SVC Extremoz da operação coordenada não foi implantado.

B) O autor poderia detalhar mais os princípios de funcionamento do supervisor de ganho ("controlador de estabilidade")? Baseado em que grandezas, frequência, amplitude ele atua? Uma vez em atuação sua estratégia é a redução em degraus ou continuamente? Como esse controlador cessa sua operação?

GS comanda a lógica que controla as funções GO e GS. É responsável pelo ajuste final do ganho da malha principal do SVC com base nas saídas das malhas GO e GS. Atua com base no sinal de saída da malha de controle principal do SVC, frequência e magnitude das oscilações definidas nos testes HIL. Atuação do GS tem sempre precedência, por ser uma função protetiva. Redução do ganho se dá através de degraus e uma vez iniciada a sua atuação, GO é inibido. Uma vez detectada instabilidade na saída do SVC, GS reduzirá o ganho até que ela seja amortecida ou que o valor mínimo do ganho seja atingido, o que ocorrer primeiro. Ao ser atingido um regime estável, GS reagenda um novo teste de ganho pelo GO com base na medição do SCL. A partir daí, o SVC retorna à sua operação normal.

C) O ganho ótimo do sistema para um CER é função da potência de curto-circuito e do estatismo ajustado no equipamento. Não ficou claro se o CER Ceará Mirim também leva em consideração na determinação do ganho ótimo o estatismo ajustado. O autor poderia esclarecer?

Valor calculado do ganho otimizado (Saída do GO): determinado com base no nível de curto circuito no PCC. Este ganho foi determinado com o objetivo de satisfazer os requisitos de performance do sistema também em condições de mínimo Estatismo (0%). Durante os testes, houve violação de Ts em casos com Estatismo 0% (SVC Extremoz Off). Foi adotado o Estatismo de 2%. Não houve violações nesta condição.

**Comentário:** A utilização de simulação em tempo real junto aos próprios cubículos de controle e proteção (Hardware in the loop) é atualmente ferramenta mais poderosa para análise de desempenho de equipamentos FACTS e HVDC.

### 3.9 - CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE CARGA POLINOMIAL USANDO REGISTROS

RÍOS, M.L.S.(1);SZOSTAK, A.J.M.(1); - ITAIPU(1);

Neste trabalho descreve-se uma metodologia para auxiliar o processo de modelagem de cargas, que consiste numa rotina de interação entre o Matlab e o ANAREDE, com o objetivo de estimar os parâmetros do modelo de carga polinomial (associados às potências ativa e reativa), nos níveis de 23kV e 66kV do Sistema Interligado Nacional do Paraguai (SIN PY), a partir de registros obtidos na Subestação Margem Direita (SE MD) da Itaipu Binacional. A interação entre esses dois programas permite executar vários casos de fluxo de potência de maneira automática, utilizando-se diferentes valores de parâmetros do modelo de carga polinomial, buscando recriar pequenas variações de tensão na SE-MD em 220kV resultantes de alterações de taps nos autotransformadores/reguladores. Os resultados são validados por simulações dinâmicas, que permitem verificar semelhanças entre variações de tensão simuladas e obtidas em registros.

Perguntas e respostas:

A) Poderiam os autores comentar as diferenças observadas nas Figuras 3 e 4 entre os modelos simulados e o registro real?

As diferenças entre os modelos simulados e o registro real se devem principalmente a: 1. Não foram simuladas as tentativas de religamento do elo CC, porque o objetivo do trabalho foi estimar a dinâmica da tensão logo após o bloqueio de um bipolo; 2. Não foi possível obter um registro cronológico sequencial dos eventos acontecidos no elo CC e no SIN-PY. Esses últimos eventos incluem desligamentos de geradores em outras usinas e chaveamentos para controle de tensão no SIN-PY. Por tanto, os tempos desses eventos foram estimados para realizar as simulações dinâmicas.

B) Qual a principal motivação para a realização do trabalho apresentado?

A principal motivação do trabalho foi estabelecer uma metodologia que permitisse calcular os parâmetros do modelo de carga ZIP do SIN-PY, com o objetivo de melhorar sua representação, que atualmente utiliza valores típicos nos estudos elétricos.

C) 3. Dentre as linhas de investigação para trabalhos futuros sugeridas, qual ou quais delas os autores consideram mais relevantes?

As linhas de investigação, consideradas mais relevantes pelos autores, constituem a inclusão de variações da frequência para o cálculo dos parâmetros da carga, assim como a utilização de modelos de cargas dinâmicas.

**Comentário:** Foi apresentada uma metodologia de cálculo dos fatores A, B, C e D do modelo de carga ZIP, para pequenas variações de tensão em regime permanente. Para tal foi formulado um problema de otimização, para o qual foi implementado no Matlab o algoritmo de enxame de partículas ou PSO (Particle Swarm Optimization).

Embora a metodologia apresentada represente um avanço com respeito a metodologias anteriores, os resultados mostram que ainda há investigações a serem realizadas.

### 3.10 - VALIDAÇÃO DO MODELO DO CER CEARÁ MIRIM ENTRE O PSCAD, O ATP E O RTDS

OLIVEIRA, V.R.D.(1);FILHO, S.J.D.S.(1); - JORDÃO ENGENHARIA(1);

A ALSTOM/GE GRID USA é o fabricante do Compensador Estático de Reativo (CER) de Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte, Brasil. Esse equipamento tem capacidade de -75/150 Mvar, sendo composto de dois reatores controlados de 102,14 Mvar, dois filtros capacitivos de 27,15 Mvar (para o 5° e 7° harmônicos) e dois capacitores chaveados de 122,85 Mvar. O modelo do PSCAD do CER de Ceará Mirim foi disponibilizado pelo Fabricante e utilizado como referência para o desenvolvimento do modelo do ATP com dois níveis de curto circuito, mínimo (1966.7 MVA) e máximo (4902.2 MVA). No contexto do ATP foram apresentados os detalhes a modelagem dos equipamentos (filtros, tiristores controlados, linha, etc.) e descrição das lógicas de controle e medição. O modelo do ATP desenvolvido atende a todos os critérios estabelecidos pelo ONS, como por exemplo, Inicialização em 300 ms, passo de integração de 10µs e a portabilidade do modelo. A validação entre os modelos foi dividida em três partes: A primeira a validação entre o PSCAD e o ATP. A segunda entre o PSCAD e o RTDS e a terceira entre o ATP e o ATP. A validação do modelo do ATP com o PSCAD foi realizada em duas etapas. Sendo a primeira off-line, onde foi realizada uma validação bloco a bloco, onde os mesmos valores de entrada dos blocos do PSCAD foram utilizados como entrada no modelo ATP e a saída do ATP comparada com a do PSCAD, em todos os blocos de controle validados as respostas foram idênticas. Após a validação de cada bloco de controle, foi realizada a validação do modelo com a rede elétrica. Onde foram aplicados eventos na rede elétrica, como por exemplo, degraus e curtos circuitos e comparadas as grandezas elétricas e de controle entre o PSCAD e o ATP. Também apresentaram o mesmo desempenho. Estando validado o modelo do ATP com o PSCAD iniciou-se o processo de validação com o RTDS no qual foram realizados os mesmos eventos e grandezas para a comparação e da mesma que a validação com o PSCAD o desempenho foi muito similar. Portanto, este artigo tem por objetivo apresentar a metodologia utilizada e os resultados da validação entre todos os programas.

Perguntas e respostas:

A) A atual configuração do Sistema Interligado Nacional (SIN) indica a existência de dois ou mais CER operando eletricamente próximos em alguns nós do sistema. São necessários, na opinião dos autores, cuidados especiais para representar dois ou mais CER em um caso de ATP nas versões atualmente disponíveis? Em caso positivo, quais seriam estes cuidados?

Sim. Para representar este CER no ATP foi necessário aumentar o limite de variáveis utilizadas pelo ATP. Portanto, para a representação de dois ou mais CERs no mesmo caso, deve-se tomar cuidado com a quantidade de variáveis utilizadas.

B) Foi contemplado no modelo para ATP do CER Ceará Mirim a malha de controle denominada Gain Stabilizer ?

Sim. Esta malha de controle foi implementada e validada de acordo com as simulações realizadas no PSCAD e no RTDS. Ressalta-se que todas as malhas de controle foram validadas de duas formas. A primeira foi a validação em malha aberta, neste caso cada malha de controle foi validada individualmente, utilizando os dados de entrada de cada bloco do PSCAD no ATP e comparada as saídas dos controles de ambos. A segunda validação foi a de malha fechada aonde todos os blocos foram incluídos no modelo e realizadas simulações para comparar as suas performances, por exemplo, curtos-circuitos, degrau na referência do controle e etc.

C) Foi requerida alguma estratégia especial para garantir a inicialização do modelo para ATP nos tempos requeridos pelo ONS?

Foram utilizadas estratégias de inicialização para o modelo inicializar em menos de 300ms, de acordo com os requisitos do ONS. Para isto, foram definidos os valores iniciais de alguns integradores e funções, como por exemplo, o filtro de média móvel que foi necessário criar um histórico de medição para o mesmo. Para a parte elétrica não foi necessário nenhum dispositivo adicional.

**Comentário:** A partir das comparações entre simulações feitas no ATP, PSCAD e RTDS é possível confirmar a validade do modelo desenvolvido para o ATP, uma vez que suas respostas são essencialmente as mesmas das plataformas PSCAD e do RTDS, comprovando que a metodologia de validação aplicada no desenvolvimento do modelo do ATP é de fato adequada para este tipo de validação.

### 3.11 - MODELAGEM DE COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS PARA ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS - REQUISITOS BÁSICOS E BOAS PRÁTICAS PARA USO EM ESTUDOS OPERACIONAIS

TEN?RIO, A.R.M.(1);VINHAES, A.C.(1);HERSZTERG, K.S.(1);AQUINO, A.F.D.C.D.(1);MUNIZ, M.P.(1); - ONS(1);

A modelagem de equipamentos FACTS (Flexible AC Transmission System), isto é, equipamentos que usam eletrônica de potência para tornar os sistemas em corrente alternada mais flexíveis, é uma tarefa complexa que demanda expertise no equipamento modelado, em transitórios eletromagnéticos e sistemas de potência, sistema de controle, e também no programa de transitórios eletromagnéticos, no caso deste artigo o programa ATP (Alternative Transients Program). Do ponto de vista de desenvolvimento da modelagem é desejável que o próprio fabricante do equipamento desenvolva o modelo de Compensador Estático de Reativos para o programa ATP, com o intuito de tornar a tarefa de passagem de informações e validação do modelo mais fácil, além de tornar o modelo mais preciso e garantir as suas características de projeto. O principal objetivo deste artigo é definir os condicionantes ou requisitos básicos necessários para a modelagem de Compensadores Estáticos de Reativos, também conhecidos pelos acrônimos CER, CE ou SVC (Static Var Compensator), no programa de transitórios eletromagnéticos ATP. Esta modelagem se destina a estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra na fase de estudos pré-operacionais e também para estudos operacionais futuros devido à evolução da rede ou análise de perturbações. O modelo do SVC é um requisito especificado no anexo técnico do leilão de transmissão e ainda reforçado pelos Procedimentos de Rede do ONS (1).

Perguntas e respostas:

A) Com a possibilidade da utilização de compensadores estáticos do tipo VSC (Voltage Source Converter) no Sistema Interligado Nacional, algumas questões vem sendo levantadas relativas ao grau de detalhe utilizado na modelagem em ATP e aspectos de confidencialidade associados à tecnologia empregada. Como os autores veem esta questão?

A confidencialidade é sempre um ponto de discussão com os fabricantes de equipamentos elétricos de tecnologia FACTS. Os modelos que estão no banco de dados do ONS não são públicos, isto é, não estão à disposição no site do ONS e só são disponibilizados em estudos onde haja a concordância do agente transmissor em franquear os modelos. Além do mais, em programa como o ATPDraw (PSCAD e também EMTP-RV) os modelos das partes sensíveis podem ser protegidos com password (ou compilados com o módulo executável) de tal forma que pode-se proteger o código fonte. Desta forma, embora a experiência com equipamentos do tipo VSC ainda seja muito incipiente, espera-se não haver problemas adicionais e ter-se a mesma boa experiência que temos com os SVCs.

B) Qual a opinião dos autores sobre o nível de detalhe a ser utilizado na modelagem em ATP das válvulas de tiristores dos SVC que empregam a tecnologia tradicional de tiristores comutados pela linha?

A modelagem da válvula é um ponto crítico nos modelos de SVCs e, como tal, deve ser realizada com extremo cuidado através de uma representação correta do circuito ?snubber? e também com um passo de integração apropriado de forma a se evitar oscilações numéricas. Também é muito importante se ter uma representação aproximada do fenômeno do "recovery charge" nas válvulas de tiristores. Além do mais a modelagem do disparo protetivo da válvula deve ser representada para que o modelo seja fidedigno ao equipamento real. Salienta-se que como a modelagem da válvula não envolve informações sensíveis, normalmente a experiência tem sido boa.

C) Algumas dificuldades tem sido reportadas por agentes transmissores quanto à representação de múltiplos SVC em simulações utilizando o programa ATP. Com a expansão do sistema elétrico brasileiro e a existência de vários casos onde se tem SVC operando eletricamente próximos, os autores poderiam comentar sobre tais dificuldades?

A representação de múltiplos SVCs é de fato um obstáculo para o programa ATP. Outros programas têm uma estrutura melhor, do ponto de vista computacional, para a modelagem de sistemas de controle e de eletrônica de potência, tais como os programas PSCAD e EMTP-RV. No entanto, até dois SVCs no mesmo caso a experiência tem sido boa. Obviamente, os SVCs têm que ser desenvolvidos e testados de tal sorte que não tenham variáveis como mesmo nome, por exemplo. A modelagem com três ou mais SVCs tem que ser simplificada muitas vezes atendendo a critérios de engenharia. Torna-se, portanto, uma solução de compromisso.

**Comentário:** O presente trabalho apresenta as necessidades sistêmicas do ONS no tocante à modelagem de equipamentos FACTS em geral e, em particular, a modelagem de SVC para estudos de transitórios eletromagnéticos de caráter sistêmico. O artigo aborda de forma detalhada as boas práticas de engenharia e requisitos básicos para modelagem dos diversos sistemas que compõem a modelagem do SVC. A principal motivação para o desenvolvimento destes modelos é garantir um desempenho adequado ao longo do tempo de vida do equipamento e mudanças de configuração do SIN, além da análise de sua integração à rede básica através dos estudos pré-operacionais.

### 3.12 - USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

ANDRADE, P.R.A.(1);VALE, M.H.M.(1);SILVA, F.D.S.(1);VISACRO, S.V.(1);ANDRADE, M.M.S.(1);BARBOSA, R.D.(1); - UFMG(1);

O artigo apresenta um ambiente computacional para avaliação da Estabilidade de Tensão de Sistemas Elétricos desenvolvido pela UFMG. Este é composto por dois aplicativos computacionais, denominados SimC - Simulador de Cenários Operativos e Monitor - Simulador para Avaliação de Risco de Estabilidade de Tensão. Tais ferramentas correspondem ao estágio mais atual dos desenvolvimentos realizados pela equipe, em especial nos aspectos relacionados ao monitoramento em tempo real da segurança do sistema com relação à instabilidade de tensão. Incorporam implementações anteriores, com destaque para as metodologias para cálculo de equivalentes de redes em tempo real, com base em medições fásorias coletadas de barramentos da rede elétrica.

## Perguntas e respostas:

A) Quais os desafios a serem superados para viabilizar a aplicação da metodologia proposta a sistemas elétricos de grande porte tais como os que integram o Sistema Interligado Nacional (SIN)?

A equipe do LRC/UFMG já possui experiência prática na avaliação do risco de perda de estabilidade de tensão em barramentos do Sistema Interligado Nacional (SIN). Conforme citado no artigo, numa parceria com as empresas Cemig e Concert, a equipe desenvolveu e implementou o Sistema de Medição Fasorial Sincronizado (SISMEF). Neste sistema está implantado o módulo PIT - Previsor de Instabilidade de Tensão - responsável pela monitoração da condição operativa do sistema em tempo real. Este módulo calcula um índice previsor a intervalos de 10 amostragens por segundo. Sendo assim, os desafios para viabilizar a aplicação das metodologias em barramentos no SIN, em tempo real, já foram vencidos. A implantação em diferentes redes elétricas dependeria apenas das particularidades dos sistemas de supervisão e controle de cada empresa. A experiência na aplicação prática em tempo real foi justamente o fator que motivou a equipe a desenvolver a plataforma computacional proposta no artigo - SimC e Monitor. Esta plataforma amplia o alcance das metodologias, mesmo aquelas já implementadas em redes reais, uma vez que possibilita a análise de condições operativas não observadas rotineiramente nos barramentos do sistema elétrico.

B) Os autores entender ser possível utilizar a base de dados do SIN atualmente disponibilizada pelo ONS através do programa ANAREDE para aplicação da metodologia apresentada?

Sim. O Relatório de Circuitos - RLIN, preparado pelo ANAREDE, disponibiliza todos os dados de entrada necessários para a aplicação das metodologias.

C) Quais as perspectivas da aplicação da metodologia proposta de forma comercial em uma rede real?

A metodologia original já se encontra implementada e em funcionamento na operação em tempo real no SISMEF, sistema fasorial da Cemig, conforme mencionado no artigo e na pergunta 01 do R.E.P. Atualmente, com a disponibilidade da plataforma SimC - Monitor, os autores têm atuado na evolução das metodologias e na aplicação das mesmas em diferentes barramentos reais, em especial do SIN. Esta aplicação tem sido feita por meio da coleta de dados provenientes de medições nos mesmos, principalmente para analisar situações críticas de interesse do setor. Em termos comerciais, a implantação das metodologias em sistemas e centros de supervisão de empresas depende do contato com as mesmas.

**Comentário:** Foi apresentado um ambiente computacional para avaliação da estabilidade de tensão de sistemas elétricos composto por dois aplicativos computacionais desenvolvidos pelos autores. Um exemplo de aplicação foi realizado através da utilização do sistema IEEE 14 barras. A viabilidade da aplicação da metodologia proposta para sistemas reais deverá ser avaliada.

### 3.13 - AVALIAÇÃO DE MODELOS DE AEROGERADORES QUANTO A EFICIÊNCIA, PRECISÃO E ROBUSTEZ NA SIMULAÇÃO DE ESTABILIDADE ELETROMECÂNICA

LIRIO, F.L.(1);JUNIOR, S.G.(1);ALMEIDA, L.P.D.(1);SILVA, L.R.D.(1);NETTO, N.A.R.L.(1); - CEPEL(1);

O crescimento da participação de energia eólica na matriz energética brasileira nos últimos anos é um fato real. As simulações de estabilidade eletromecânica são parte importante dos estudos elétricos envolvidos no processo de solicitação de acesso de uma Central de Geração Eólica (CGE). Portanto, torna-se muito importante a representação adequada dos aerogeradores em programas de simulação de transitórios eletromecânicos. Simulações recentes de transitórios eletromecânicos indicam que a dinâmica dos aerogeradores tem influência no amortecimento das oscilações observadas no Sistema Interligado Nacional (SIN). Este artigo apresentará uma análise dos modelos disponíveis para geração eólica em programas de estabilidade. Inicialmente será feita uma análise dos modelos buscando verificar a possibilidade de diminuir sua complexidade, através da eliminação de malhas de controle de dinâmica rápida, por exemplo. Uma vez que para análise de eventos no SIN na presença de aerogeradores, o vento pode ser considerado constante, outra possibilidade para redução da complexidade dos modelos é a retirada do modelo da turbina, adotando-se a premissa de potência mecânica ou torque constante.

## Perguntas e respostas:

A) Quais são os principais problemas que estão ocorrendo com a atual base de dados? Inicialização de modelos, divergência nos instantes de grandes descontinuidades, ou algum outro problema?

A inclusão dos dados de eólica no arquivo base de simulações dinâmicas funciona como uma recomendação do uso dos modelos em todas as simulações transitórias do SIN. Esta inclusão contribui para o aumento da complexidade da base de dados e o primeiro problema percebido foi o aumento do esforço computacional conforme ilustrado no artigo. Muitos modelos de aerogeradores da base de dados ainda não são auto inicializáveis e necessitam de programas auxiliares para permitir os cálculos das variáveis do controlador para cada ponto de operação. Considerando a inicialização inadequada dos modelos a probabilidade de ocorrência de problemas de convergência em alguns eventos também é muito maior.

B) Os autores fazem uma comparação de um caso com e sem a representação da turbina eólica. Os resultados são praticamente coincidentes. Entretanto, fica em aberto o quanto se ganha computacionalmente com esta simplificação, e se a inclusão da turbina é uma forte razão de problemas numéricos. Favor esclarecer.

Considerando que o modelo da turbina possui uma grande quantidade de blocos, a exclusão desta representação produz um ganho computacional significativo, que não foi apresentado no artigo. Quando a inicialização do modelo é feita corretamente, a inclusão da turbina não é uma fonte significativa de problemas numéricos, visto que este modelo participa pouco do processo iterativo de solução.

C) Ficando dentro da janela dos fenômenos eletromecânicos, qual seria, na opinião dos autores, um roteiro de melhores práticas a ser usado de forma a termos qualidade de resultados e robustez numérica?

No artigo é ressaltado que modelos mais simplificados podem ser utilizados dependendo do tipo e região do estudo em questão. Fica aparente que em estudos que não provocam grandes variações na tensão dos aerogeradores modelos mais simples podem ser utilizados. Recursos como o modelo ZIP de geração podem considerados sem perda de qualidade de resultados. Em estudos em regiões próximas aos parques eólicos os modelos detalhados são necessários, no entanto mesmo nesta situação os modelos detalhados podem ser simplificados pela exclusão de constantes de tempo muito rápidas, malhas de controle não utilizadas e modelos de turbina por exemplo.

**Comentário:** O artigo levanta um ponto importante relacionado ao grau de detalhamento de um modelo versus a qualidade alcançada nos resultados. Os autores afirmam que a representação de algumas plantas eólicas no ANATEM tem sido exageradamente detalhada, com representação de dinâmicas fora da faixa de interesse ou malhas não ativas em estudos de sistemas, comprometendo significativamente o desempenho computacional do programa. Com base nos resultados apresentados, os autores tem uma certa razão nesta afirmação.

### 3.14 - APLICAÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA CONTINUADO E ANÁLISE ESTÁTICA DE CONTINGÊNCIAS PARA DETERMINAÇÃO DA MARGEM DE ESCOAMENTO EM REGIME PERMANENTE UTILIZANDO O PROGRAMA ANAREDE

MUNIZ, V.S.(1);JUNIOR, S.G.(2);ALVES, F.R.D.M.(3);FERREIRA, V.H.(4);GATTA, P.O.L.(5);NETTO, N.A.R.L.(6); - CEPEL(1);CEPEL(2);CEPEL(3);UFF(4);UFJF(5);CEPEL(6);

Um dos importantes estudos, realizado durante os Leilões de Energia, é a margem de escoamento que visa calcular a máxima geração de potência que possa ser conectada em um novo empreendimento levando em consideração pré-requisitos de segurança operacional. O objetivo é permitir identificar possíveis gargalos do sistema e determinar o máximo montante de geração viável. Este trabalho propõe uma ferramenta baseada nos métodos de Fluxo de Potência Continuado e Análise Estática de Contingências para determinação dessa margem de escoamento. A ferramenta proposta foi implementada no ANAREDE e são apresentados resultados que exemplificam a sua aplicação prática.

## Perguntas e respostas:

A) Não ficou muito claro se a análise de contingências na determinação da margem de escoamento é uma exigência do LER ou é uma proposta dos autores? Os autores são da mesma opinião deste relator, que esse fato poderia restringir demasiadamente o investimento na capacidade de geração?

Para a determinação da margem de escoamento é estabelecido pelo 2º LER/2016 que deverão ser atendidos todos os requisitos e critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede, o que inclui o critério N-1. Em determinadas situações a análise de contingência pode interferir demasiadamente na capacidade de escoamento, contudo este critério visa manter a segurança do sistema sem a interrupção do fornecimento de energia a nenhum, atendendo o que é previsto nos Procedimentos de Rede da mesma forma como qualquer outra instalação do SIN.

B) O método do Fluxo de Potência Continuado é uma técnica formal bem documentada na literatura técnica. Os autores acham que uma alternativa, talvez menos elegante, de se utilizar uma sequência de fluxo de potência convencional, daria resultados similares? Quais as vantagens de se utilizar um FPC?

Os métodos de continuação utilizados no fluxo de potência são empregados quando o sistema já não pode ser solucionado pelo método tradicional de Newton-Raphson devido à característica singular da matriz Jacobiana ao se aproximar do ponto de máximo carregamento. Um dos métodos de continuação mais conhecido é o fluxo de potência parametrizado, porém existem outros métodos de continuação que podem ser empregados de forma satisfatória, como por exemplo, a otimização de passo, o qual é utilizado neste trabalho. A principal vantagem do método de continuação através do fluxo de potência parametrizado é permitir a solução do fluxo de potência na região de operação instável, ou seja, na parte inferior da curva P<sub>xV</sub>, contudo, no contexto em que se aplicou o FPC neste trabalho, isto se torna irrelevante, e por isso optou-se pela utilização de sucessivos incrementos de carga utilizando a solução convencional aliada a otimização de passo.

C) Uma das análises realizadas na nota técnica do ONS 121/2016, referenciada no artigo, é a análise de curto-circuito. Seria possível no futuro a inclusão deste tipo de

análise na metodologia proposta?

Sim, através da integração com o programa computacional ANAFAS, também desenvolvido pelo CEPTEL.

**Comentário:** A ferramenta proposta que combina fluxo de potência continuado e análise estática de contingências se mostrou eficiente para o cálculo da margem de escoamento, calculando de forma automática a máxima injeção que pode ser aplicada ao barramento candidato do ponto de vista de análise de regime permanente. A ferramenta proposta foi avaliada a partir do estudo do cálculo de máxima injeção de potência ativa no barramento candidato Taua II por meio dos casos de referências do 2º Leilão de Energia de Reserva de 2016. Os resultados obtidos foram semelhantes aos relatados em nota técnica do ONS.

### 3.15 - ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SINCROFASORES PARA MONITORAÇÃO DE CORREDORES DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO FUNÇÃO ENERGIA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

FERNANDES, R.D.O.(1);DOTTA, D.(2);MASSAUD, A.(1); - ONS(1);UNICAMP(2);

O presente trabalho tem como principal contribuição a aplicação do conceito de estimação da função energia em corredores de transmissão do sistema elétrico brasileiro. Por meio de dados reais coletados e armazenados no openPDC do ONS, de PMUs estrategicamente instaladas nas barras do Sistema Interligado Nacional (SIN), dados de perturbações são utilizados para a estimação da função energia, e os resultados são comparados com simulação dinâmica detalhada no domínio do tempo. Um índice de correlação entre as medições obtidas pelas PMUs e Estimador de Estados será apresentado assim como a estimação da reatância e inércia equivalente entre as duas áreas de interesse. Como contribuição, busca-se avaliar o potencial de aplicação desse método para a monitoração de estabilidade de corredores de transmissão.

Perguntas e respostas:

A) Na Fig.5 quando o FNS é de 4000 MW a abertura angular é de 20 graus. Entretanto na Fig.12 quando o FNS é de 4000 MW a abertura angular é de 40 graus. A que se deve esta diferença?

A Figura 5 se refere aos dados utilizados pelo Estimador de Estados, que estima os ângulos nas barras de Colinas e Serra da Mesa. No caso da Potência Ativa (abcissa), o valor se refere ao fluxo total da interligação Norte-Sul. No caso da Figura 12, primeiro foi realizada a estimação da reatância equivalente, obtida pelas PMUs instaladas, após os capacitores série, no Circuito C2, das linhas de transmissão de Colinas para Miracema e de Serra da Mesa para Gurupi. Após isso, plotou-se a curva P-delta, considerando-se as tensões obtidas pelas duas PMUs e a reatância equivalente obtida pelo método apontado no artigo. Após isso, variou-se o ângulo (delta teta) de 0 à 180 graus para a plotagem da referida curva. No entanto, a principal diferença entre as duas curvas é que a curva da Figura 12 representa somente o fluxo de potência ativa que é recebido do Norte (RNE), pois não possuímos PMU para o monitoramento do "infeed" de Lajeado e também do "infeed" de Peixe 2, vide Figura 2 do artigo. No entanto, é possível estimarmos o FNS, baseado na diferença angular destas duas PMUs. Como forma de esclarecimento, eu colocarei na apresentação, em power point, a Figura 12 referenciada ao FNS e ao RNE.

B) A energia potencial mostrada na Fig.15 dá a impressão de ser muito baixa. A que se deve esse valor, aparentemente, baixo?

De fato ela é baixa quando comparada à Energia Cinética durante o evento. Como ocorre a perturbação, no caso do artigo, a abertura do circuito duplo de Xingú para Tucuruí (C1 e C2), há uma perda de, aproximadamente, 2000 MW. Neste primeiro instante (t0+) as máquinas, naturalmente, aceleram, tendo-se então o registro da energia cinética, vide Figura 14 (obtida pelas PMUs). Após este primeiro instante, parte desta energia cinética é dissipada pela rede e parte é convertida em energia potencial novamente. Ordens de grandeza de energia potencial e cinética, obtidas pela literatura, através de simulação, vide artigo [1] da referência bibliográfica, foram similares às ordens de grandeza obtidas pelo uso de PMU - como mostradas neste artigo.

C) Não ficou claro o que os autores estão inferindo no parágrafo: ?Observa-se na Fig.16 que a energia de balanço registrada através da nova abordagem da função energia foi em torno de 1361 [MW.s]. Como base de comparação pelo valor obtido pela função energia clássica, verifica-se da Tabela 2 que a energia acelerante calculada foi de 1283.70 [MW.s]. Pela Tabela 1, o valor calculado de energia cinética, considerando as máquinas em análise foi aproximadamente 70544,44 [MW.s]?. Os autores poderiam aprofundar mais no esclarecimento deste parágrafo?

Na Figura 16 tem-se o somatório das energias cinética e de potencial, obtidas no t0+ do evento, através das leituras obtidas pelas duas PMUs. Na tabela 2, a energia acelerante, também considerando o instante de tempo t0+, é obtida pela média ponderada dada pela energia cinética individual (obtida pelo MW sincronizado multiplicada pela referida inércia, de cada máquina) e o MW sincronizado total. Desta forma, ao se considerar as principais máquinas em operação do Norte e do Sul/Sudeste, tem-se uma estimativa da energia acelerante total deste corredor. A idéia principal foi verificar, considerando o evento de abertura dos dois circuitos de Xingú para Tucuruí, qual foi o total de energia cinética (acelerante) "utilizada" do corredor norte-sul durante o instante t0+. Novas simulações foram realizadas após a entrega deste artigo, agora utilizando o software Organon, e eu apresentarei, de modo sucinto, os resultados comparando-os com as simulações envolvendo a função energia através deste software, como forma de comprovação do método adotado neste artigo.

**Comentário:** O trabalho apresentou técnicas de estimação de parâmetros e cálculo da função energia para corredores de transmissão. Através da medição sincronizada, determinou-se a reatância e inércia equivalente do corredor Norte-Sul em três formas diferentes. Os resultados foram satisfatórios, aonde foi possível encontrar a energia cinética durante a ocorrência do evento e compará-la com a energia cinética do corredor norte-sul, com o cenário de geração apresentado. A metodologia apresenta potencial de ser aplicada em tempo real. Verificou-se que a identificação dos parâmetros tem forte influência sobre o cálculo da função energia.

### 3.16 - MODELAGEM DINÂMICA NÃO LINEAR DE TURBINA FRANCIS A PARTIR DE DADOS DE ENSAIO DE MODELO REDUZIDO

CERQUEIRA, G.D.D.(1);MENDES, P.P.D.C.(2);MACEDO, N.J.P.D.(1); - FURNAS(1);UNIFEI(2);

Este trabalho apresenta alguns resultados da dissertação de mestrado, onde foi desenvolvido um modelo matemático não linear, baseado em seis famílias de curvas características de uma turbina hidráulica, do tipo Francis, e seu regulador de velocidade, para uma determinada usina de concessão de FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, a partir de dados obtidos em ensaios de modelo reduzido em laboratório de hidráulica, validados por oscilografias de testes de comissionamento da modernização da usina.

Perguntas e respostas:

A) Os autores fazem um pequeno comentário sobre a inicialização do modelo a seis coeficientes variáveis no ANATEM. A inicialização do modelo foi problemática ou trivial? Mudanças no ponto de operação da turbina causaram dificuldades na inicialização do modelo?

A inicialização do modelo não é trivial. São necessárias as utilizações de algumas curvas inversas para calcular a abertura inicial  $Y(0)$  e a vazão inicial  $q(0)$  em função do ponto de operação. Com a aplicação de tais curvas os problemas da inicialização dos modelos do RV e da Turbina foram resolvidos, e as mudanças no ponto de operação não causaram mais dificuldades.

B) É de conhecimento que as plantas hidráulicas apresentam a característica de um sistema dinâmico de fase não-mínima, onde variações iniciais se opõem às ações de controle. Nos testes de degrau na referência de abertura do distribuidor apresentados (Fig.11) essa característica parece não estar presente. Os autores poderiam comentar esta observação?

As características de fase não mínima estão presentes na resposta da simulação, porém ficam menos visíveis devido à escala utilizada. Costuma-se ocorrer a diminuição da observabilidade dessa característica dos sistemas de fase não mínima devido ao passo de integração e principalmente ao passo de plotagem utilizado no programa ANATEM, necessariamente maior para simulações da ordem de centenas de segundos, a fim de evitar-se o esgotamento de memória para plotagem no programa PLOT CEPTEL. Tanto nos equipamentos reais de campo, como nos modelos de simulação que devem validar tais equipamentos, são utilizados filtros passa baixa nos transdutores de potência ativa, a fim de retirar os ruídos de alta frequência. Tais filtros com constantes de tempo da ordem de 0,9 segundos também costumam atenuar as observações dessas características.

C) É de conhecimento dos autores, se há uma documentação adequada de todas as usinas hidrelétricas do Brasil no que diz respeito aos ?diagramas de colina?? E se as empresas os utilizam na atualização de modelos matemáticos?

Os ?Diagramas de Colina? fazem parte dos relatórios entregues como produto dos ensaios de modelo em escala reduzida da turbina, realizados em laboratórios contratados para os projetos de novas usinas hidrelétricas. Tais relatórios costumam ser de posse das equipes de engenharia mecânica ou hidráulica e não costumam ser divulgadas para outros setores da empresa com facilidade. Os autores acreditam que tais informações e diagramas deveriam ser de mais fácil acesso e difusão para facilitar o trabalho de modelagem matemática, assim como para ser consultada pela operação da usina, por exemplo, podendo ser inclusive digitalizada e apresentada em sistema supervisão (SCADA). Dependendo da década de construção da usina nem sempre são encontradas todas as informações necessárias e por vezes os diagramas são apresentados em formatações menos adequadas, com combinações de dados ensaiados de forma bastante diversa da que foi apresentada no artigo pelas figuras 3, 4 e 5. Alguns relatórios costumam apresentar vários ?Diagramas de Colinas?, com alguns preliminares executados em etapas particulares do ensaio em laboratório. Deve-se ter cautela para se encontrar qual é o considerado como diagrama final, ou o mais representativo da dinâmica da turbina que será entregue ao cliente, segundo as condições hidráulicas do projeto, e de preferência já na escala do protótipo. Na ausência de Diagrama de Colina oriundo de teste de laboratório de modelo reduzido, costuma-se buscar diagramas parecidos, porém com dados levantados pelas medições realizadas ao longo da operação da usina. Com exceção da empresa Itaipu Binacional, que recentemente tem atualizado seu modelo de turbina no programa ANATEM por informações obtidas do Diagrama de Colina, os autores desconhecem se outras empresas realizam tal tipo de modelagem. Também foi realizada modelagem semelhante a essa da UHE Furnas alguns anos atrás para a UHE Manso, porém com dados operativos reais levantados.

**Comentário:** O trabalho resgata a importância do ?diagrama de colina? na modelagem matemática das turbinas hidráulicas, em particular das turbinas Francis. O trabalho resgata também um modelo de turbina de seis coeficientes variáveis (Fig.7) proposto há 30 anos. O modelo é adaptado para a UHE Furnas e confrontado com

um modelo típico de turbina hidráulica e com oscilografias de testes de campo. O desempenho do modelo a seis coeficientes variáveis foi bem mais aderente aos testes de campo do que o modelo típico. O artigo levanta a importância de se digitalizar os diagramas de colina?, só encontrados em papel, de usinas antigas.

### 3.17 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DINÂMICO DO SISTEMA DA REGIÃO SUDESTE CONSIDERANDO AS INTERAÇÕES ENTRE OS ELOS CCAT

SILVA, A.D.M.(1);NUNES, A.R.(1);SILVEIRA, M.A.N.(1);FARIA, R.V.D.(1);NUNES, S.B.D.O.(1);NOHARA, A.A.(1);VINHAES, A.C.(1); - ONS(1);

Com o início dos testes de comissionamento do elo CCAT de Xingu-Estreito previsto para fevereiro de 2018, espera-se uma injeção de potência na região Sudeste de 5.850 MW já em março de 2018 através das estações inversoras localizadas nas subestações Araraquara 2, Estreito e Ibiúna, resultando em múltiplas alimentações via corrente contínua em subestações eletricamente próximas (Multi-Infed). A interação entre os controles desses elos CCAT podem provocar alterações no desempenho dinâmico do sistema de transmissão frente às contingências no sistema de transmissão da região Sudeste. Assim sendo, é importante caracterizar cenários energéticos que resultem em uma maior interação entre essas estações inversoras. O intuito desse trabalho é determinar o número mínimo de máquinas sincronizadas na região Sudeste que possibilitem o atendimento ao critério N-1 no sistema de transmissão da região Sudeste em um despacho energético específico, no patamar de carga leve de um dia útil do mês fevereiro de 2018 e obter os tempos de falha de comutação provocados por curtos-circuitos trifásicos e monofásicos nas estações conversoras através de simulações no PSCAD.

Perguntas e respostas:

A) A tabela 4 não apresentou o índice MIESCR (multi-infeed effective short circuit ratio) onde a compensação shunt/filtragem é deduzida da potência de curto-circuito do terminal inversor. Qual o motivo desta omissão? Isto faria com que os índices fossem ainda menores do que os apresentados, podendo indicar que estudos mais detalhados no domínio do tempo deveriam ser realizados.

A decisão foi pautada pela imprecisão dos valores propostos para os filtros. A princípio, há uma redução de valores MIESCR, mas as referências para tais valores também reduziram

B) A validação de equivalentes para estudos de transitórios eletromagnéticos é sempre necessária. Os autores validaram através de análise a frequência fundamental as potências de curto-circuito trifásica e monofásica. Qual foi o critério para o ponto de corte dos equivalentes? Houve alguma modelagem em frequência? Algum modelo de máquina foi representado?

O critério de corte foi pautado na influência da impedância nos níveis de curto circuito. A validação é feita através de análise a frequência fundamental

C) Os modelos de Bipolos de CCAT usados nas simulações foram utilizados nos estudos R2 da EPE. A análise de falha de comutação depende da tecnologia do disparo do fabricante e, obviamente, da sua modelagem. Por que não usar os modelos dos Bipolos fornecidos pelos fabricantes ao ONS?

Não haviam sido enviados os modelos definitivos na época de elaboração dos estudos

**Comentário:** Estudos baseados em índices de interação entre inversores de HVDC LCC podem dar alguma informação sobre a severidade do problema de multi-infeed, mas somente as simulações no domínio do tempo mostram estes problemas de forma clara e crível.

### 3.18 - AVALIAÇÃO PÓS-OPERATIVA DE OSCILAÇÕES NATURAIS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL UTILIZANDO DADOS DE TEMPO REAL

JUNIOR, S.G.(1);PARREIRAS, T.J.M.A.(2);COSTA, M.R.D.(3);QUINTO, P.E.M.(4);VOLSIS, H.A.R.(4);SOARES, N.H.M.(4);NETTO, N.A.R.L.(5); - CEPEL(1);CEPEL(2);CEPEL(3);ONS(4);CEPEL(5);

Neste trabalho é proposta a análise pós-operativa utilizando a nova função de monitoração de oscilações em tempo real do PacDyn com pontos de operação passados obtidos do SAGE. O objetivo é identificar problemas de mal amortecimento de oscilações ao longo da operação real do sistema para a melhoria do planejamento da operação. Outro benefício é a validação dos resultados de simulação com registros de campo para melhoria da base de dados dinâmicos dos estudos. São apresentados dois exemplos utilizando dados reais do Sistema Interligado Nacional onde fica evidente a importância da análise proposta e a validade dos resultados de simulação.

Perguntas e respostas:

A) Na opinião dos autores, quais os principais desafios a serem superados para que a metodologia proposta no artigo seja aplicada de forma sistemática aos estudos elétricos de operação realizados no SIN?

Não há qualquer impedimento de ordem técnica para utilização da ferramenta proposta nos estudos sistemáticos do SIN. Então, os principais desafios vislumbrados são: conscientização da importância da ferramenta entre as empresas envolvidas na operação e planejamento do sistema, capacitação dos engenheiros envolvidos nos estudos do SIN na utilização da metodologia de análise modal aplicada a análise de oscilações naturais do sistema e a experiência que precisa ser adquirida na utilização da ferramenta de forma cotidiana nos casos reais de operação.

B) Poderiam os autores exemplificar que tipo de melhorias poderiam ser introduzidas na rede analisada com base nos resultados das simulações?

A ferramenta proposta identifica potenciais problemas de segurança dinâmica, baseado na análise de cenários de operação já ocorridos no SIN, associados às oscilações naturais do sistema. Então, as melhorias dizem respeito ao aumento do amortecimento das oscilações naturais. Para essas melhorias, podem ser avaliadas medidas corretivas no âmbito da operação, como o redespacho do sistema e alterações de intercâmbios para condições mais favoráveis para as oscilações naturais, e o ajuste de controladores, principalmente os estabilizadores de sistemas de potência. Podem ainda ser adotadas medidas de planejamento, considerando reforços no sistema. A metodologia de análise modal permite a obtenção das diversas soluções para os problemas identificados na análise pós-operativa.

C) Os autores veem alguma forma de utilização das ferramentas apresentadas no planejamento da expansão do sistema elétrico de potência?

Sim. Imagina-se que nas situações onde os cenários de operação em tempo real do SIN passem a apresentar problemas recorrentes de oscilações naturais, podem ser adotadas restrições operativas para evitar ou reduzir o impacto do problema, provisoriamente, para que estudos possam ser realizados visando a obtenção de reforços no sistema a serem realizados no âmbito do planejamento, com o objetivo de eliminar-se as restrições adotadas em cenários futuros.

**Comentário:** O artigo apresenta uma revisão da modelagem matemática utilizada para a determinação de oscilações naturais em sistemas elétricos de potência, através do cálculo de modos de oscilação; é apresentada uma proposta de realização de análise pós-operativa de oscilações no PacDyn, utilizando os dados de tempo real provenientes do sistema SAGE. A avaliação dos resultados obtidos nas simulações realizadas sugere que a análise pós-operativa proposta pode ser bastante útil para estudos de oscilações em sistemas elétricos, contribuindo para uma melhor operação de tais sistemas.

### 3.19 - EQUALIZAÇÃO E TESTE DE DINÂMICAS DE UNIDADES GERADORAS DE EXCITAÇÃO E PSS COM ARQUITETURAS DIFERENTES POR MINIMIZAÇÃO DA DIFERENÇA ENTRE RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA.

PESENTE, J.R.(1);RIOS, M.L.S.(1); - ITAIPU(1);

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da modelagem e sintonia da malha de excitação de geradores síncronos, incluindo o estabilizador de sistemas de potência. Nele, foi desenvolvido um método para reduzir diferenças de sistemas dinâmicos em malha fechada com diferentes arquiteturas, a partir da parametrização dos controladores. A demanda do desenvolvimento do método foi a ocorrência de uma perturbação que evidenciou características dinâmicas indesejáveis em um gerador de fabricação recente. Posterior ao ajuste produzido pelo estudo foram realizados ensaios de campo para avaliar a qualidade da modelagem realizada e da sintonia resultante, se verificando bom desempenho da proposta.

Perguntas e respostas:

A) Na malha de amortecimento (Nível II), os autores fizeram ao mesmo tempo a equalização das respostas dinâmicas e o ajuste do PSS de forma a garantir um amortecimento mínimo de 15% nos modos eletromecânicos. Esse duplo objetivo não pode dificultar a obtenção de uma melhor solução do problema?

Pode. Se comparado aos métodos típicos, como compensação de fase ou alocação de pólos, este método não apresenta passos que associam os critérios de desempenho, por exemplo, amortecimento, aos cálculos realizados de forma de sistemática. Por outro lado, os critérios requeridos podem ser incluídos no problema como restrições do algoritmo de busca, garantindo que os critérios sejam atendidos, e, portanto, na prática, apresentando resultados equivalentes aos obtidos por métodos tradicionais. É relevante enfatizar, além disso, que é comum na bibliografia realizar sintonia separadamente para o regulador de tensão e para o estabilizador de sistemas de potência, um processo análogo ao realizado.

B) Na literatura existe uma grande quantidade de metaheurísticas que poderiam ter sido utilizadas no problema de otimização postulado no artigo. O que levou os autores a utilizarem o método nem tanto conhecido de Nelder-Mead?

O motivo principal é a clareza e simplicidade das regras de implementação. Considere-se que: primeiro, como outras metaheurísticas, não é necessária informação de derivadas da função objetivo com relação aos parâmetros de busca, de forma que não é necessário equacionar explicitamente a função objetivo em termos dos parâmetros. Segundo, em seis passos é possível interpretar o método completo, logo é simples de implementar e de interpretar os resultados em cada etapa do método. Por fim, o método requer uma ou duas avaliações da função objetivo por iteração, o que implica em baixo custo de processamento e rapidez na convergência. Particularmente, os autores recomendam o método, que tem sido também utilizado em outros processos, como calibração de modelos de geradores por simulações híbridas.

C) A solução encontrada foi implantada em campo? A ocorrência que motivou o trabalho voltou a ocorrer? O problema foi sanado?

A solução foi testada em duas oportunidades, permanecendo a unidade em operação com nova sintonia durante baterias de testes também durante períodos mais prolongados. Está prevista implantação definitiva em 08/10, anteriormente à realização do XXIV SNPTEE. O evento que motivou o evento não voltou a ocorrer, no entanto, a nova sintonia corrige o problema verificado, que trata de acoplamento inadequado entre malhas de potência ativa e tensão terminal.

**Comentário:** O artigo apresentou um procedimento para equalizar dinâmicas de geradores que possuem reguladores e estabilizadores com diferentes estruturas de controle. O procedimento é inovador em termos da formulação do problema de otimização e da aplicação do método direto na solução do problema de otimização. A aplicação do método efetivamente compatibilizou as dinâmicas dos geradores ao mesmo tempo em que permitiu atendimento aos critérios de desempenho dinâmico do ONS, como atestado em ensaios de campo.

### 3.20 - AMORTECIMENTO DE MODOS ELETROMECÂNICOS UTILIZANDO ESTABILIZADORES EM ELOS HVDC CONSIDERANDO-SE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

DANIEL, L.D.O.(1);JUNIOR, S.G.(1); - CEPEL(1);

A análise linear ajuda na identificação de modos instáveis de um sistema contendo um elo CCAT, incluindo a identificação separada de modos eletromecânicos e possíveis modos instáveis de controle do elo CC. Neste artigo é apresentado um estudo de aplicação de estabilizadores no lado do sistema inversor de um elo CCAT com as usuais estratégias de controle. Foi utilizado um sistema de 12 barras como exemplo de apresentação tutorial contendo uma interligação CA em paralelo ao elo de corrente contínua. Foram também apresentados resultados da aplicação de estabilizadores em um dos bipolos de Belo Monte no Sistema Interligado Nacional.

Perguntas e respostas:

A) Os autores são de opinião de que se deva levar em consideração, no Brasil, a utilização de estabilizadores de sistemas de potência em elos CCAT? Não seria mais conveniente fazer um ajuste de PSS de algumas unidades geradoras do SIN?

Evidentemente a forma principal e amplamente utilizada para o amortecimento de oscilações em sistemas de potência de grande porte como o brasileiro, é o ajuste dos PSS de determinadas unidades geradoras com parâmetros que pode ser determinado pela Análise Modal. Contudo, neste trabalho, mostra-se que é possível utilizar-se estabilizadores em Elos CCAT. Os autores vislumbram que, com a inserção crescente de Elos CCAT no SIN, no futuro, o controle associado a algum destes Elos poderia ser de fato utilizado com tal função adicional de estabilização em uma situação especial ou particular.

B) Ora os autores consideram a implantação de um estabilizador no lado do inversor, e ora no lado do conversor. Há algum motivo significativo para a escolha de qual lado do elo CCAT se deva instalar um estabilizador?

Neste trabalho foi demonstrado que é possível incluir o estabilizador em ambos os terminais. A importância deste fato baseia-se nas questões de flexibilidade e eficácia, uma vez que numa determinada situação sistêmica pode ser mais interessante incluir o estabilizador no terminal onde a ação estabilizadora seja mais efetiva (ou seja, onde consiga-se amortecer o modo problemático com um menor esforço de controle, minimizando-se também eventuais efeitos colaterais). E este terminal preferencial pode ser determinado através da análise linear (simulações no Programa PacDyn).

C) Os estabilizadores do elo CCAT utilizam sinais remotos de velocidade de algumas máquinas. Qual a opinião dos autores quanto à confiabilidade de se utilizar sinais remotos para a estabilização de modos eletromecânicos? Os autores levaram em consideração a latência de sinais remotos?

De um modo geral, é sempre desejável e preferencial o uso de medição de sinais de velocidade locais. A latência dos sinais remotos pode ser considerada na modelagem através de atrasos de transporte. Com relação à confiabilidade, nos dias atuais já estão disponíveis tecnologias avançadas nas telecomunicações, de modo que os autores não percebem grandes perdas de confiabilidade pelo fato do sinal ser remoto, principalmente se forem considerados sistemas redundantes.

**Comentário:** A análise linear é uma técnica complementar à análise não linear via simulação no domínio do tempo. Ela ajuda na identificação de modos de um sistema contendo um elo CCAT, incluindo a identificação separada de modos eletromecânicos e possíveis modos instáveis de controle do elo CC. O artigo evidencia que a utilização de estabilizadores de sistemas de potência em elos CCAT tanto no lado do retificador, quanto no lado do inversor, pode amortecer modos eletromecânicos interáreas em sistemas onde o elo CCAT tem em paralelo uma interligação CA.

### 3.21 - APLICAÇÃO DE FUNÇÕES AVANÇADAS AO CONTROLE DE VELOCIDADE NA UHE JIRAU

PAIVA, R.B.D.(1);SILVA, L.M.D.(1);MENARIN, H.A.(1);SCHMITT, K.(1); - REIVAX(1);

Este informe técnico apresenta um conjunto de funções agregadas aos reguladores de velocidade da margem esquerda da UHE Jirau, com o objetivo de aumentar a robustez dos sistemas de controle frente às condições operativas da usina. Este trabalho foi necessário devido a particularidades de dinâmica do processo controlado e às perturbações a que as unidades estão sujeitas. O efeito de tais características sobre a estabilidade do sistema de controle também é discutido neste informe. Resultados de campo são apresentados, discutindo as melhorias obtidas com a implantação das funções avançadas aos sistemas de controle. A fim de permitir avaliar o impacto das funções na estabilidade do Sistema Interligado Nacional, o novo sistema de controle foi modelado com o software ANATEM. Uma série de casos de simulação também é apresentada.

Perguntas e respostas:

A) O controle adaptativo proposto pelos autores varia os parâmetros do PID do regulador de velocidade e seu respectivo limitador. Essas variações são contínuas ou discretas?

São contínuas.

B) Na Fig.4 aparece um bloco chamado "Regras de adaptação?". Os autores poderiam ser mais específicos e darem um pequeno exemplo de como seriam essas regras?

O bloco "regras de adaptação" refere-se ao método matemático para cálculo dos parâmetros do PID em função dos parâmetros característicos do processo que são as variáveis Tw do conduto forçado e 2H do conjunto gerador turbina. A literatura especifica relações dos ganhos do PID de acordo com as características dinâmicas do processo controlado.

C) O erro de conjugação das duas malhas de controle parecem dar um efeito de fase não-mínima na planta. Esse efeito somado ao efeito da fase não-mínima existente nas plantas hidroelétricas agravaria o problema de estabilização? O estatismo transitório das turbinas bulbo de Jirau tende a ser maior ou menor do que o estatismo transitório de turbinas de plantas hidroelétricas convencionais?

Os autores não identificam o referido efeito de fase não-mínima na planta. Nas figuras 13 e 14, por exemplo, observa-se que o efeito de fase não-mínima identificado na planta é menor que o aconteceria se distribuidor e pás estivessem conjugados. O estatismo transitório de Jirau é mais alto que turbinas tradicionais devido à relação Tw/2H, que é maior que o convencional. Isso torna as unidades de Jirau mais difíceis de serem controladas, e exige uma sintonia mais conservadora do RV.

**Comentário:** A variação percentual da constante de tempo da coluna d'água da aplicação mostrada no artigo deve ser única para esse porte de usina. Isso faz com que pouca ou nenhuma experiência prévia deva existir documentada. Portanto, os resultados apresentados neste artigo tem um caráter inovador muito significativo. Faltou apenas os autores darem maiores detalhes sobre as regras de adaptação utilizadas na implementação real.

### 3.22 - CONTRIBUIÇÃO PARA MODELAGEM E VALIDAÇÃO DA MALHA HIDRÁULICA DE REGULADORES DE VELOCIDADE: ESTUDO DE CASO EM IRAPÉ

PENA, A.M.(1);OLIVEIRA, G.H.C.(2);DONAIKY, E.(2);LEANDRO, G.V.(2);SOUZA, J.A.D.(3); - CEMIG GT(1);UFPR(2);CEMIG(3);

Os mecanismos de acionamento de regulação de velocidade das turbinas hidráulicas possuem dinâmicas que afetam a performance do Sistema Elétrico de Potência (SEP), durante e após distúrbios. A modelagem precisa da malha hidráulica, turbina e conduto, levam a resultados, nas simulações, mais próximos da realidade. Afim de obter uma modelagem detalhada da malha hidráulica e do conduto/turbina da Usina Irapé, são abordados neste artigo, os ensaios elétricos realizados para identificação e estimação dos modelos, por meio de um programa computacional especialmente desenvolvido, cujos resultados foram validados.

Perguntas e respostas:

A) Os parâmetros da Tabela 1 não foram definidos no artigo e não aparecem nos diagramas de blocos apresentados. Os autores poderiam explicar estes parâmetros?

Os Parâmetros da Tabela 1 não foram demonstrados ou detalhados no artigo, pois eles são mostrados apenas como exemplo de saída dos ganhos identificados pelo programa de identificação, ou seja, os parâmetros identificados: ganho da VP (válvula proporcional), da VD1 (ganho 1 da válvula distribuidora), da VD2 (ganho 2 da válvula distribuidora) são resultados da identificação ou saída do programa de identificação IdentUHE, desenvolvido especificamente para este fim. O objetivo do artigo é apenas mostrar que os parâmetros identificados pelo programa IdentUHE foi validado em relação às medições feitas em campo.

B) Nas conclusões do artigo os autores dizem ter apresentado um método de estimação. Entretanto, o artigo não dá nenhum detalhe sobre o método utilizado. Os autores tem agora uma oportunidade de pelo menos dizer qual método foi utilizado, suas vantagens e limitações.

Neste artigo foi apresentado o resultado da estimação de parâmetros, a modelagem precisa da malha hidráulica, parte do sistema de controle de velocidade de usinas hidroelétricas e a validação da estimação em relação aos ensaios de campo, mas não foi claramente apresentado o método para estimação de parâmetros, conforme

está descrito na conclusão do artigo. O método de estimação de parâmetros utilizado está baseado na minimização de uma função objetivo, onde é calculado o erro entre o modelo estimado e os dados medidos, dentro do conceito do critério dos mínimos quadrados. A solução do problema passa pela utilização de um método de otimização não-linear. A estrutura do modelo estimado é do tipo caixa cinza. Como vantagem, pode-se citar determinação de modelos precisos da malha hidráulica, com estrutura clássica, através de testes em campo. Entretanto, há necessidade de dados confiáveis de medição em campo para a utilização do método. Maiores detalhes do procedimento de estimação estão descritos no artigo: Emerson Donaisky, Gustavo H.C. Oliveira, Eduardo A.P. Santos, Gideon V. Leandro, Adinã M. Pena, João A. Souza. "Semi-physical piecewise affine representation for governors in hydropower system generation" Electric Power Systems Research, 136 (2016) 181-188

C) Um outro ponto obscuro do artigo é em relação aos modelos PWA. Os autores poderiam dar maiores detalhes sobre PWA, por exemplo exemplificando com algumas equações afins.

Os modelos PWA foram apresentados à comunidade do Cigre no SNPTEE/2015, através do artigo Emerson Donaisky, Gustavo H.C. Oliveira, Eduardo A.P. Santos, Gideon V. Leandro, Adinã M. Pena, João A. Souza. Nova Representação da Malha Hidráulica de Reguladores de Velocidade em UHE através de Modelos Afins por Partes. SNPTEE, 2015 neste artigo, podem ser encontradas a definição, exemplo, e a nossa aplicação no contexto de sistemas de potência. Sistemas dinâmicos contínuos lineares são normalmente representados por funções de transferência. Quando não-lineares, esta propriedade é representada pela adição de características como saturação, zona morta, etc. Alguns sistemas possuem dinâmica definida por eventos e não pelo tempo, são os chamados sistemas a eventos discretos. Quando se tem uma relação entre sistemas dinâmicos contínuos e sistemas a eventos discretos, temos os chamados sistemas híbridos. Uma classe dos sistemas híbridos são aqueles onde existe um chaveamento definido por eventos entre modelos dinâmicos contínuos distintos. Dentre os sistemas híbridos chaveados, existe uma classe que são os Sistemas Afins por Partes (PWA). Nestes sistemas, regiões são definidas por pontos de operação e a cada região, associa-se um sistema linear (ou afim). Seja  $F$  PWA um sistema dinâmico não-linear que assume uma representação PWA dada pela equação 1:  $y(k) = F W A(u(k), ?i)$ , onde  $u$  é o sinal de entrada,  $y$  é o sinal de saída e  $?i$  são os parâmetros do sistema. O modelo PWA para  $F$  é definido dividindo o espaço de estados do sistema em regiões poliédricas e associando a cada uma destas regiões uma equação de estados afim diferente. Esta representação é dada pela Equação 2.  $x(k+1) = A_i x(k) + B_i u(k) + f_i y(k) = C_i x(k) + D_i u(k) + g_i$  para  $x(k) \in R^n$ ,  $u(k) \in R^m$  e  $y(k) \in R^p$ .  $A_i, B_i, C_i, D_i, f_i, g_i$  são as matrizes de estados e  $?i$  são as regiões poliédricas do espaço de estados definido pelas inequações do sistema  $\{H_i[x(k) \ u(k)]^T \leq 0\}$ . As matrizes  $A_i, B_i, C_i, D_i, f_i, g_i, H_i$  são reais, constantes e com dimensões apropriadas e  $k \in Z$  é o tempo discreto.

**Comentário:** O artigo preconiza a importância de utilização de modelos mais fidedignos no que concerne a malha de regulação de velocidade de usinas hidráulicas. É apresentada uma boa revisão bibliográfica do assunto, e são mostrados resultados de comparação entre modelos de simulação com dados de ensaios em campo. As comparações indicam que os modelos utilizados têm ótima aderência aos resultados de campo apresentados. Porém o artigo peca em não dar detalhes de qual método de identificação de parâmetros foi utilizado, mostrando suas vantagens e limitações.

### 3.23 - PROBLEMAS ASSOCIADOS À ESPECIFICAÇÃO E PROJETO INDEPENDENTES DE FILTROS AC DE ESTAÇÕES CONVERSoras HVDC OPERANDO ELETRICAMENTE PRÓXIMAS EM UM AMBIENTE MULTI-VENDOR E MULTI-OWNER

JUSAN, F.C.(1); - FURNAS(1);

Este trabalho discute aspectos técnicos e gerenciais relacionados à especificação e projeto de filtros AC para estações conversoras HVDC operando eletricamente próximas, particularmente em um ambiente com múltiplos agentes e fornecedores. Potenciais problemas decorrentes da realização de projetos independentes destes filtros (i.e. sem avaliar as possíveis interações harmônicas) são ilustrados por meio de exemplos numéricos simples. Em todos os casos, os filtros propostos atendem aos requisitos de desempenho de forma individual, mas apresentam problemas na operação conjunta.

Perguntas e respostas:

A) Considerando que o emprego de setores circulares para determinação dos envelopes das impedâncias harmônicas pode dar origem a áreas mortas, levando ao sobredimensionamento dos filtros, o uso de polígonos irregulares cobrindo todos os pontos definidos pelo critério de contingências selecionado poderia evitar este inconveniente? O autor vê alguma desvantagem quanto ao uso destes polígonos ao invés dos setores?

A utilização de setores ou outras figuras geométricas padrão para representar a impedância harmônica da rede pode em alguns casos levar a regiões no plano R-X que não contém nenhum ponto de impedância e que podem ser críticas do ponto de vista do projeto dos filtros. A consequência são filtros possivelmente superdimensionados, mais caros, que podem ocupar maior espaço físico e que podem ter regimes de chaveamento mais complexos. Sob o argumento de ser um procedimento conservativo, pode-se estar projetando filtros para situações que podem nunca ocorrer na prática. O autor entende que o grau necessário de conservadorismo pode ser adotado a partir de premissas conservadoras consistentes. Por exemplo, no caso da impedância da rede, podem ser consideradas contingências mais severas (e.g. contingências duplas), desde que se mostrem estatisticamente relevantes. Pode-se ainda trabalhar com cenários de fluxo de potência variados, englobando diferentes condições energéticas e níveis de carga, com horizontes de curto e médio prazos.

B) Que entidade deveria, na opinião do autor, conduzir os estudos mencionados no último parágrafo das conclusões?

Depende de qual estudo. Antes do processo licitatório, é importante que alguns estudos preliminares sejam feitos pelo planejamento para identificar a necessidade de incluir dados e requisitos específicos no Edital de licitação. Caso a interação entre estações conversoras seja relevante, é importante que a entidade responsável pela preparação do Edital (ou um consultor contratado por esta entidade) realize também alguns estudos, como o levantamento das impedâncias harmônicas de transferência entre estações conversoras, medições de harmônicos pré-existentes, estudos para definição dos limites permissíveis de distorção, etc. Os estudos detalhados de interação e o efeito destas interações no projeto dos filtros devem ser feitos pelo fabricante responsável pelo projeto dos filtros.

C) Considerando as questões abordadas no artigo, seria viável na opinião do autor, aumentar o grau de detalhes dos requisitos dos Editais de Leilão, dando a eles o caráter real de uma Especificação?

Na opinião do autor, isso é fundamental. O tempo entre o lançamento do Edital e o leilão é muito curto, não sendo possível realizar os estudos necessários para uma avaliação precisa dos fenômenos envolvidos. Além disso, muitas das informações necessárias são de caráter sistêmico, sendo mais apropriado que sejam determinadas pelo poder concedente e instituições associadas, que tem o controle sobre a rede elétrica e estabelecem os requisitos operativos e de qualidade deste sistema. Ao deixar este levantamento e definição das premissas e aspectos metodológicos para a transmissora e seu fabricante, o risco é transferido para os mesmos. Mas trata-se de um risco cego, podendo levar a longas discussões (e atrasos) ou mesmo projetos insuficientes ou incompatíveis com outros projetos existentes.

**Comentário:** O artigo discute os principais aspectos técnicos e gerenciais associados à elaboração de projetos de filtros em sistemas de HVDC operando eletricamente próximos e sugere medidas a serem tomadas durante as etapas de especificação e projeto para mitigar eventuais problemas associados à operação de tais sistemas.

### 3.24 - ESQUEMA DE ALÍVIO DE CARGA POR SUBTENSÃO NA SE BOA VISTA PARA EVITAR PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DE TENSÃO DECORRENTES DA CONTINGÊNCIA DO COMPENSADOR ESTATICO

LIMA, J.P.F.(1); - ELETROBRAS ELETRONORTE(1);

A recente entrada em operação do Compensador Estático da SE Boa Vista proporcionou diversos benefícios para a operação do sistema elétrico de Roraima, destacando-se a possibilidade de se elevar o intercâmbio máximo com o sistema elétrico da Venezuela. Entretanto, nos cenários com elevada importação, a perda deste equipamento posiciona o sistema em uma região de instabilidade de tensão, resultando em níveis de tensão inaceitáveis. Tendo em vista que o colapso de tensão decorrente dessa contingência é um fenômeno rápido, um esquema de alívio de carga por subtensão é requerido. A efetividade desse esquema é demonstrada por meio de simulações dinâmicas.

Perguntas e respostas:

A) Poderia o autor informar se é frequente a indisponibilidade do CE Boa Vista e quais as principais causas desta indisponibilidade?

No início de sua operação comercial, havia uma frequência elevada de desligamentos automáticos do CE. A maior parte desses desligamentos foram atribuídos a um funcionamento inadequado de sua unidade UPS, que realiza o suprimento emergencial ao seu serviço auxiliar quando ocorre subtensão na rede CA. Entretanto, tais problemas foram solucionados e, atualmente, o CE da SE Boa Vista possui índices de disponibilidade similares a outros compensadores.

B) Poderia o autor fornecer maiores detalhes a respeito da modelagem da carga utilizada, em especial no que diz respeito à parcela referente aos motores de indução?

A modelagem considerada foi a seguinte: ? 55%: Z constante; ? 45%: motores (P cte). Para os motores de indução, foram considerados os seguintes parâmetros no programa Anarede: ?  $R_e = 4,8\%$ ; ?  $X_e = 15\%$ ; ?  $X_m = 240\%$ ; ?  $R_r = 3,5\%$ ; ?  $X_r = 7,6\%$ . No programa Anatem, para a curva de torque mecânico (carga), utilizou-se um modelo composto por uma parcela de torque constante e outra parcela de torque quadrático.

C) Qual o impacto positivo da presença do CE Boa Vista nas contingências apresentadas no artigo, no que diz respeito à redução de corte de carga ou até mesmo à eliminação deste inconveniente?

O CE Boa Vista proporcionou impacto positivo para diversas contingências do sistema Roraima: ? Perda de geração: a presença do CE garante a estabilidade de tensão para uma perda de geração em torno de até 30 MW quando a importação é igual a 130 MW. Sem a presença do CE, esta contingência acarreta colapso de tensão com consequente corte de carga; ? Abertura de LD 69 kV com consequente rejeição parcial de carga: a presença do CE garante a manutenção do perfil adequado de tensão em todos os barramentos do sistema. Sem a presença do CE, ocorre sobretensão, havendo necessidade de desligamento automático de capacitores e energização automática do reator manobrável; ? Recomposição de sistema: a presença do CE garante a estabilidade de tensão durante a recomposição das cargas após blecaute. Sem a presença do CE, existe risco de colapso de tensão se houver coordenação inadequada entre manobra de bancos de capacitores e sincronização de unidades geradoras durante a tomada de carga; ? Curto-circuito no sistema de distribuição: sem a presença do CE, faltas com tempos de eliminação



estudada no presente trabalho?

O controle de frequência adotado nos bipolos do sistema de transmissão do complexo Madeira não utilizam PMU, mas sim canais de frequência dentro do próprio sistema de controle do bipolo. Tal sinal foi adequado e parametrizado no sentido de amortecer oscilações de baixa frequência associadas a regulação de velocidade do complexo de usinas (que operam de forma assíncrona). Em função desta mesma adequação também constatou-se redução dos desvios na frequência elétrica decorrentes de contingências e ganho de amortecimento no modo interárea quando o complexo do Madeira operava de forma síncrona (através de um transformador 500/230 kV).

C) Embora seja reportada no trabalho a necessidade de conversa com o fabricante do bipolo de Xingu-Estreito, houve algum contato até o presente momento com o fabricante e qual a sua reação?

A proposta baseada em PMU foi apresentada ao empreendedor/fabricante. A questão ainda se encontra sob avaliação. Com relação ao controle de frequência e sinal estabilizador. O ONS, no âmbito dos estudos pré-operacionais, apresentou ao empreendedor o relatório com propostas de ajustes e adequações para tais controladores. Tais recomendações já foram atendidas e as implementações já foram testadas através de simulação pelo fabricante.

**Comentário:** O uso de elos de HVDC para modulação de potência com objetivo de melhorar o amortecimento de modos eletromecânicos do sistema de potência é sempre uma característica que pode e deve ser explorada como complementar nas aplicações desta tecnologia.

### 3.27 - CONTRIBUIÇÃO DE GERADORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO NA ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

BARATA, H.A.(1);VIEIRA, J.P.A.(1);SOUZA, V.C.D.(1);OLIVEIRA, W.D.D.(1); - UFPA(1);

Neste trabalho é apresentada a contribuição para a estabilidade de tensão em redes de transmissão oriunda da massiva inserção de geradores fotovoltaicos (GFVs) nas redes de distribuição. A proteção do GFV e os modelos dinâmicos do limitador de sobrecorrente de excitação (OEL) de geradores síncronos e do transformador com comutação de tap sob carga (OLTC) são considerados nos estudos. Simulações no domínio do tempo foram realizadas para diferentes perfis de injeção de potência ativa da GFV. Além disso, é realizada uma comparação entre o modo de operação do inversor com controle de fator de potência e com controle Volt-Var.

Perguntas e respostas:

A) O artigo apresentou os aspectos positivos dos geradores fotovoltaicos conectados em rede de distribuição no tocante à estabilidade de tensão, não obstante as cargas de distribuição terem sido modeladas como corrente constante para parte ativa e impedância constante para potência reativa. Poderia se considerar este modelo conservador na análise da estabilidade de tensão? Os resultados poderiam ser muito diferentes em um modelo ZIP com diferentes percentuais de modelagem?

O modelo da carga utilizado pode ser considerado conservador, contudo, segundo (Kundur, 1994), este é o modelo estático de carga mais comumente aceito para estudos de estabilidade de sistemas de potência, onde a parcela de potência ativa representada como corrente constante e a parcela de potência reativa representada como impedância constante. Um modelo mais conservador seria modelar as parcelas de potência ativa e potência reativa como impedância constante. No âmbito geral não haveria grandes mudanças quanto a contribuição dos geradores fotovoltaicos a estabilidade de tensão, entretanto, poderiam ocorrer alterações nos instantes de atuação do OEL, OLTC, e da proteção de sub tensão do gerador fotovoltaico, bem como no instante do colapso de tensão.

B) Os inversores de geradores fotovoltaicos são geralmente conversores do tipo VSC (Voltage Source Converters) e podem funcionar em tensões muito inferiores a 0,8 pu. Neste sentido, não teria sido muito conservador considerar a atuação de proteção de sub tensão em 0,8 pu?

Sim, contudo o intuito era analisar os efeitos da desconexão do gerador fotovoltaico frente a um nível crítico de tensão (abaixo de 0,8 p.u.). Além disso, o setpoint da proteção de sub tensão de 0,8 p.u. está de acordo com as Normas Técnicas para a Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição de várias Distribuidoras brasileiras, tais normas recomendam este nível de tensão para o ajuste da proteção de sub tensão da geração distribuída com potência entre 300 kW e 1MW, por exemplo. Destaca-se também, que no presente trabalho, os geradores fotovoltaicos representam um equivalente de um ?agregado? de geradores fotovoltaicos, fazendo com que a potência individual de cada gerador seja enquadrada no intervalo de potência referido anteriormente.

C) A grau de penetração considerado foi de 5,95% de GFV neste trabalho. Os autores esperariam que tipo de efeito com o aumento da penetração de GFV no tocante à estabilidade de tensão?

Foram realizadas também, simulações com nível de penetração de 11,9% (não inclusas neste trabalho), e os resultados obtidos no tocante à estabilidade de tensão foram: melhoria do perfil de tensão ao longo dos alimentadores nos sistemas de distribuição, postergação do instante de atuação do OEL e do OLTC, e aumento da margem de estabilidade de tensão comparado ao caso de nível de penetração de 5,95%.

**Comentário:** O uso de GFV pode ser utilizado na distribuição para melhorar a estabilidade de tensão desses sistemas.

### 3.28 - MONITORAMENTO ON-LINE DOS PRINCIPAIS MODOS INTERÁREA DO SIN UTILIZANDO SINCRÓFASORES

LEANDRO, R.B.(1);DECKER, I.C.(1);SILVA, A.S.E.(1);AGOSTINI, M.N.(1); - LabPlan - UFSC(1);

Neste trabalho descreve-se o monitoramento on-line de alguns dos principais modos interárea do Sistema Interligado Nacional (SIN) a partir da aplicação de uma estratégia híbrida de identificação de modos de oscilação aplicada a sincrofases. A estratégia híbrida de identificação é composta pelo método de Welch e uma das variantes do método de subespaço de estados. Os resultados do trabalho estão organizados em três casos, permitindo a avaliação do desempenho da metodologia sob diferentes aspectos como: horizonte de tempo e simultaneidade de identificação de modos. Em um dos casos os resultados são validados por meio de comparações com os resultados da aplicação do método de Prony.

Perguntas e respostas:

A) Poderiam os autores apresentar de forma sucinta as principais vantagens e desvantagens observadas através da aplicação da metodologia em cada um dos três casos apresentados?

Os resultados apresentados mostram que a estratégia de utilizar uma combinação de dois tipos de métodos (paramétricos e não paramétricos) foi efetiva para a identificação e caracterização dos diversos modos de oscilações eletromecânicas interareas existentes no SIN, sobretudo nas condições operacionais em que tais modos encontram-se mais excitados.

B) Como são alocados e suportados os custos do projeto MedFasee BT? Além das universidades, existem outras entidades participantes?

O projeto MedFasee BT teve origem em uma parceria estabelecida em 2003, entre a UFSC e a Reason Tecnologia, com o suporte financeiro da FINEP e da Reason, tendo como objetivos o desenvolvimento, a difusão e a aplicação da tecnologia de sincrofases para o monitoramento e o estudo do desempenho dinâmico do Sistema Interligado Nacional (SIN). A partir do sucesso desta primeira fase, representado pela instalação de um protótipo de sistema de medição sincronizada de fasores em baixa tensão, em universidades localizadas nas capitais dos 3 estados do sul do país, e da incorporação da funcionalidade PMU em registradores digitais de perturbações, RPV, comercializados pela empresa Reason, outras parcerias para atividades de P & D nesta área foram estabelecidas. Destacam-se as parceiras com 25 universidades, para a instalação de pontos de medição nas 5 regiões geográficas do país, formando o Sistema Nacional de Medição Sincronizada de Fasores em BT; os projetos de P & D realizados com as empresas Eletrosul e CTEEP, para a implementação de protótipos de medição sincrofases em sistema de transmissão de 440 e 525 kV e a realização de desenvolvimentos metodológicos e de aplicativos de visualização e análise; e a parceria estabelecida com o ONS para estudos, pelos profissionais do ONS, da aplicação de dados de sincrofases na análise do desempenho SIN.

C) Com base no modelo atual do Setor Elétrico Brasileiro, qual seria o principal usuário dos resultados apresentados neste trabalho?

Ao longo dos mais de 10 anos de existência, no âmbito do projeto MedFasee foram gerados conhecimentos e realizados desenvolvimentos em todas as dimensões da tecnologia de sincrofases; realizadas a formação de profissionais graduados, mestres e doutores nesta área; estabelecidas parcerias entre universidades e fabricantes e agentes do setor elétrico e implementadas instalações para a constituição de um Sistema Nacional Independente para o monitoramento do comportamento dinâmico do SIN. Portanto, os benefícios produzidos pelo projeto MedFasee envolvem diversas dimensões com efetivo impacto para que tem resultado na qualificação dos diagnósticos e otimização dos processos de análise de perturbações e operação do SIN, contribuindo desta forma para a melhoria da confiabilidade e segurança do suprimento de energia elétrica aos consumidores finais

**Comentário:** O trabalho apresenta três casos de monitoramento on-line de alguns dos principais modos interárea do SIN. O monitoramento foi realizado com a aplicação de uma metodologia híbrida de identificação implementada no aplicativo MedPlot RT do Projeto MedFasee. No Caso I, pôde-se constatar o bom desempenho da metodologia na identificação simultânea de modos de oscilação. O Caso II foi utilizado para verificar a robustez da metodologia em longos intervalos de tempo. No Caso III, a metodologia empregada teve seus resultados comparados com os resultados do método de Prony. Os resultados mostraram coerência entre ambos os métodos, ainda que a aplicação do método de subespaço de estados não seja adequada a períodos com grandes perturbações.

### 3.29 - AVALIAÇÃO DE AÇÕES MITIGADORAS PARA O ADEQUADO DESEMPENHO DINÂMICO DO SIN APÓS A ENTRADA EM OPERAÇÃO DO SEGUNDO BIPOLO DE BELO MONTE

SESSA, B.D.C.(1);SILVA, F.M.(1);BIANCO, A.(1);MUNDSTOCK, T.F.G.(1);CALVELLI, F.V.(1);CHAVES, S.B.(1);MONTEATH, L.(1);SANTANNA, E.G.S.D.(1); - ONS(1);

Até o final de 2019, estão previstos para entrar em operação os dois bipolos de corrente contínua concebidos para transmitir a energia gerada na UHE Belo Monte. Além dos elos CCAT, há outras linhas de transmissão em CA planejadas para possibilitar esse escoamento, cujos processos de implantação atualmente contam com elevado grau de incerteza. Este trabalho apresenta os principais problemas associados com a operação dos bipolos de Belo Monte em uma rede diferente da que havia

sido planejada, bem como relaciona ações mitigadoras para possibilitar o adequado desempenho do Sistema Interligado Nacional nessa condição particular.

Perguntas e respostas:

A) Na Tabela 3 são apresentados os resultados da contingência do Bipolo 2 considerando a presença dos três compensadores síncronos na SE Araraquara 2 500 kV, no patamar de carga média. Caso esta contingência ocorra na condição de carga máxima, qual seria o impacto no desempenho do SIN?

Os valores de demanda prevista para o patamar de carga média do SIN têm sido superiores aos valores referentes ao patamar de carga pesada, razão pela qual considerou-se nas simulações a condição de carga média, de forma a impor um caráter conservador à análise. A título de exemplo, neste estudo realizado, a demanda global do SIN prevista para a carga média é 103.248 MW, ao passo que para a carga pesada é 97.326 MW.

B) O emprego de compensação reativa controlada ao invés de bancos de capacitores fixos na SE Estreito traria benefícios para o desempenho do SIN nas contingências analisadas?

Há basicamente dois tipos de equipamentos de compensação reativa controlada: os compensadores estáticos e os compensadores síncronos. O problema encontrado na contingência de um dos bipolos de Belo Monte é colapso de tensão (vide Figura 2). Para este tipo de fenômeno, a resposta de um compensador estático poderia não ser efetiva, pois abaixo de um determinado valor de tensão sua ação é bloqueada. Já um compensador síncrono apresentaria um desempenho mais adequado frente a contingências no sistema, além de prover o sistema de maior inércia e potência de curto-circuito, contribuindo assim para a redução da probabilidade de interação entre os elos CCAT, conforme mencionado no artigo. Entretanto, cabe ressaltar que o foco do trabalho foi analisar o desempenho do sistema em situações de contingência de um dos bipolos de Belo Monte utilizando inicialmente apenas os recursos disponíveis no sistema, motivo pelo qual foi avaliado o chaveamento de capacitores na SE Estreito como uma possível medida mitigadora.

C) O intervalo de tempo necessário para a implantação dos compensadores síncronos na SE Araraquara II é compatível com o ano de necessidade dos mesmos?

A decisão tomada pelo Poder Concedente foi de licitar os compensadores síncronos propostos para a SE Araraquara II, os quais foram arrematados no Leilão de Transmissão 05/2016 com previsão de entrada em operação comercial em agosto de 2021. Como o segundo bipolo de Belo Monte está previsto para dezembro de 2019, o ONS realizará análises mais detalhadas e poderá ser feita uma gestão junto ao agente proprietário e aos órgãos competentes no sentido de antecipar a entrada em operação dos referidos equipamentos, caso necessário.

**Comentário:** O presente trabalho procura analisar o desempenho do SIN após a entrada em operação do segundo bipolo de Belo Monte, sobretudo em situações de perda de um dos bipolos. Esta contingência é uma das mais críticas para o sistema no cenário em que a Região Norte estiver exportando energia para a Região Sudeste. Uma forma de minimizar o impacto desta contingência é a implantação de reforços na rede, como os três compensadores síncronos previstos para a SE Araraquara 2. A antecipação desta obra permite que o SIN suporte a perda do Bipolo 2, sem que seja necessário o chaveamento de capacitores na SE Estreito. Outro benefício da entrada em operação de tais reforços foi observado ao se determinar os índices de interação entre os elos CCAT. Foi constatada uma redução em grande parte dos fatores multi-feed quando os compensadores síncronos estão presentes, indicando assim uma menor probabilidade de os elos interagirem de forma adversa entre si.

### 3.30 - MODELAGEM DE TURBINAS HIDRÁULICAS TIPO KAPLAN E BULBO EM REGIME PERMANENTE E TRANSITÓRIO

PAIVA, R.B.D.(1);SILVA, L.M.D.(1);GOSMANN, R.P.(1);MENARIN, H.A.(1);LEONCINI, L.(2);TOLEDO, J.M.D.(2); - REIVAX(1);DUKE ENERGY(2);

O presente artigo apresenta algumas abordagens para a modelagem de uma turbina do tipo Kaplan/Bulbo. Esses modelos foram implementados nos softwares MATLAB e ANATEM. Os modelos foram desenvolvidos e validados com base em dados de campo. Os dados foram coletados de quatro unidades Kaplan com diferentes capacidades. O modelo desenvolvido permite representar a vazão ao longo da turbina e a eficiência de acordo com as posições do distribuidor e das pás do rotor, dinâmica e estaticamente. Existem poucos trabalhos disponíveis que apresentem um modelo completo de tais turbinas e realizem a validação com dados de campo, bem como modelos de referência disponíveis para serem utilizados em estudos de simulação. O objetivo deste trabalho é suprir essa necessidade.

Perguntas e respostas:

A) Apesar de no título do artigo os autores mencionarem a modelagem das turbinas Kaplan e Bulbo, o artigo mostrou simulações e resultados de campo somente para turbinas Kaplan. Há alguma especificidade a ser considerada na turbina Bulbo que a distinguiria da turbina Kaplan?

Não, a modelagem da turbina Bulbo pode empregar exatamente a mesma estrutura de modelo. É provável que os polinômios de vazão e de eficiência em turbinas Bulbo tenham um formato um pouco diferente que para turbinas Kaplan. Ainda assim, a metodologia empregada continua válida.

B) O artigo dá uma certa ênfase ao "index test", mas não apresenta uma referência e não explica o que é o "index test". Os autores tem agora a oportunidade de esclarecer.

"Index test" é um teste especificado na IEC 60041 para medição da eficiência em turbinas hidráulicas. Este teste é geralmente realizado em turbinas Kaplan e Bulbo para determinação da curva de conjugação das pás do rotor, que é a combinação que maximiza a eficiência.

C) Como explicar fisicamente o efeito contrário observado na resposta da turbina quando a máquina opera com carga baixa e com carga alta? (vide Fig.7)

A potência ativa cai com a abertura das pás do rotor porque a eficiência é reduzida. Isso ocorre devido ao erro de conjugação, pois a pá não está na posição de máxima eficiência.

**Comentário:** Evidencia-se a necessidade de modelos padronizados para representação dinâmica e estática de turbinas Kaplan/Bulbo. A falta desses modelos gera dificuldades para estudos de planejamento da operação, para o desenvolvimento de sistemas de controle e para a análise de estabilidade. Tendo em vista a importância crescente de tais unidades no cenário elétrico nacional, é desejável que se tenha modelos dinâmicos precisos destas turbinas, objetivando estudos mais precisos. Foram apresentados casos de estudo que demonstram a importância da modelagem da característica dinâmica das pás para estudos da estabilidade de regulação primária.

### 3.31 - ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PARA O CURTO CIRCUITO DE GERADORES SOLARES EM UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO URBANO

MATOS, S.P.D.S.(1);ENCARNAÇÃO, L.F.(1); - UFES(1);

Os sistemas de distribuição e transmissão de energia atuais foram projetados com uma característica de fluxo de potência fluindo da fonte para as cargas em todos os momentos. A partir da disseminação e utilização em maior escala de geradores distribuídos, surgem questionamentos quanto à operação dos sistemas de proteção atuais. Este artigo tem como objetivo analisar a contribuição para o curto circuito de um gerador solar conectado à uma rede elétrica urbana, para subsidiar uma análise da atuação das proteções atualmente instaladas, que não consideram a instalação de novos geradores próximos aos consumidores.

Perguntas e respostas:

A) Considerando o modelo atual do Setor Elétrico Brasileiro, qual agente, na opinião dos autores, deverá ser responsável por efetuar as análises apresentadas no artigo, no caso da implantação de um plantas solares em sistemas de distribuição? Quem deve ser responsável pelos custos adicionais associados, tais como a troca dos sistemas de proteção?

A própria concessionária e ONS nas proteções de sua abrangência, e o próprio "dono" da geração solar nos equipamentos até o ponto de conexão com o SIN.

B) Que agente deve ser responsável pela realização de futuros estudos sugeridos pelos autores no item "Conclusões"? Como seria estimada neste caso a expansão da rede de plantas solares em um dado sistema?

Estes estudos poderiam ser feitos pelas Universidades, sendo solicitados pelo ONS ou concessionária.

C) Poderiam os autores comentar sobre a influencia do modelo da planta solar adotado no artigo com base na referencia [7]? Até que ponto o uso de outros modelos influenciaria os resultados obtidos?

A informação que importa no modelo é a corrente de curto circuito I<sub>sc</sub> informada pelos fabricantes dos painéis solares. Qualquer modelo utilizado deve levar em conta esta informação.

**Comentário:** O aumento significativo da conexão de geradores distribuídos na rede elétrica pode provocar problemas na atuação de proteções contra curto-circuitos. A substituição de proteções existentes, bem como instalação de proteções adicionais em outros pontos da rede podem ser necessários. Estudos específicos devem ser realizados para esta finalidade.

### 3.32 - VALIDAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL UTILIZANDO SINCRÓFAZORES

SILVA, P.A.S.D.(1);JARDIM, J.L.(2);SILVA, A.S.E.(1);DECKER, I.C.(1); - Labplan-UFSC(1);HPPA(2);

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia para abordar o problema da validação de modelos de simulação de maneira sistemática, quantificando, através de indicadores numéricos, discrepâncias entre resultados de simulação e registros de sincrofzores. O problema é abordado de maneira hierarquizada por meio

de quatro níveis de análise: de sistema, de subsistema, local e de componente, formalizando uma estratégia para a identificação e localização de modelos imprecisos em grandes sistemas. Resultados da validação de modelos de simulação do SIN são apresentados, onde foram reproduzidas perturbações naturais recentemente registradas.

Perguntas e respostas:

A) Como a definição dos índices de discrepância é baseada nas diferenças de sinais no tempo, a janela de cálculo dos índices passa a ser fundamental. Como se deve estipular a janela de tempo a ser contabilizada nos índices? Os autores fizeram algum tipo de análise de sensibilidade para definição desse limite?

A observação é pertinente. Considerando que durante o processo de simulação, erros de modelagem se manifestam em diferentes instantes de tempo, a janela utilizada para o cálculo dos indicadores tem influência direta na detecção de modelos imprecisos. Essa influência ocorre devido as diferentes constantes de tempo envolvidas na simulação dinâmica, com valores que variam de alguns milissegundos a dezenas de segundos. Por exemplo, para erros associados a modelos de reguladores de velocidade, discrepâncias serão detectadas com janela de aproximadamente 10 segundos. Por outro lado, discrepâncias associadas a constante de inércia de máquinas síncronas, podem ser detectadas com janelas de aproximadamente 5 segundos. Assim, a janela utilizada para o cálculo do indicador deve ser suficientemente grande para que erros atribuídos a componentes com dinâmica lenta sejam detectados. Em testes de sensibilidade realizados utilizando um sistema de pequeno porte, janelas de 15 segundos foram suficientes para identificar parâmetros imprecisos em modelos de reguladores de velocidade, reguladores de tensão, estabilizadores de sistema de potência e máquinas síncronas.

B) Os autores destacam a necessidade de verificação dos modelos dos reguladores de velocidade e das cargas. Os autores consideram que os modelos de regulação de tensão também devem ter igual atenção?

A principal maneira de avaliar a qualidade dos modelos de simulação é por meio da comparação da resposta de simuladores e registro de equipamentos instalados em campo. Neste sentido, os sistemas de medição fasorial sincronizada são uma ferramenta valiosa na análise da qualidade de modelos. No Brasil, destaca-se o pioneirismo do projeto MedFasee ? BT, que registra medidas de sincrofases da rede de baixa tensão de universidades brasileiras. Destaca-se a relevância deste projeto na análises do desempenho do SIN, sobretudo na observação do comportamento dinâmico utilizando medidas de frequência e diferenças angulares. Na validação de modelos de simulação, uma importante contribuição deste projeto é a identificação de discrepâncias entre registro e simulação, observados na recuperação da frequência durante grandes perturbações. Estudos de sensibilidade reproduziram as discrepâncias observadas quando as características dos modelos de reguladores de velocidade e/ou modelos de carga foram alterados, evidenciando a influência destes dois componentes nas discrepâncias anteriormente observadas. Em relação aos modelos de reguladores de tensão, os estudos desenvolvidos até o momento não identificaram erros de modelagem, este fato pode estar atrelado a utilização de medidas da baixa tensão, limitando-se a análises das medidas de frequência e diferenças angulares. Diagnósticos mais precisos podem ser realizados utilizando medidas de potência ativa e tensão de PMUs instaladas na alta tensão.

C) A validação no nível de componente não foi foco do trabalho apresentado. Entretanto, se os modelos dos componentes estiverem comprometidos, espera-se que os outros três níveis fiquem também degradados. Os autores são de mesma opinião? Os autores consideram que a validação dos componentes é essencial?

A questão abordada no questionamento é correta no sentido que erros em componentes degradarão os indicadores nos outros três níveis. No entendimento dos autores, a validação de componentes é a etapa de ajuste dos parâmetros daqueles modelos identificados como imprecisos, sendo essencial para garantir a qualidade da resposta de simulação. Destaca-se que essa etapa é realizada através de metodologias específicas para cada tipo de componente, sendo um assunto abrangente e consolidado em diversos trabalhos encontrados na literatura. Porém a identificação de modelos imprecisos em sistemas de grande porte, como por exemplo o SIN, exige a análise de centenas de componentes simultaneamente, sendo essa uma tarefa complexa que exige tanto a aplicação de metodologias de análises de sinais, quanto a experiência de especialista deste tema. Nesse sentido, a proposta do Informe Técnico é justamente apresentar uma estratégia onde, a partir de cada um dos níveis considerados, identifica-se os modelos imprecisos, tendo como objetivo final a validação dos parâmetros de cada componente.

**Comentário:** O artigo propõe uma série de indicadores hierarquizados utilizados na identificação de modelos e/ou ajustes de proteção discrepantes de medições de PMUs. Por ser um problema de difícil solução, o trabalho inteligentemente hierarquiza os indicadores nos níveis de componente, local, subsistema e sistema. Apesar dos resultados mostrados serem encorajadores, eles dão a dimensão e a dificuldade do problema.

### 3.33 - AJUSTE DA LÓGICA DE REDUÇÃO DE GERAÇÃO DE ITAIPU 60HZ PARA EVITAR COLAPSO DE TENSÃO NO TRONCO 765KV DE FURNAS

BARTOSKI, A.(1);OLIVEIRA, R.A.D.(2);SILVA, R.J.G.C.D.(2); - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste(1);ITAIPU(2);

Em um cenário no qual os sistemas de transmissão aproximam-se de seus limites de estabilidade, a busca de estratégias que evitem problemas de instabilidade e colapso de tensão mostra-se de fundamental importância. Em sistemas radiais, como o tronco 765 kV de Furnas, em momentos de carga elevada, a ocorrência de curtos-circuitos com desligamento de linhas de transmissão, assim como o corte de externos de geração, podem causar elevação na corrente de excitação das unidades geradoras de Itaipu 60 Hz. A elevação da corrente de excitação pode muitas vezes ultrapassar o limite térmico permitido ao sistema de excitação. Para esses casos, existem limitadores de sobre-excitação responsáveis por reduzir a corrente de excitação a valores não destrutivos, porém, sem levar em conta o efeito sistêmico que tal redução pode causar. Assim, em ocorrências desta natureza, a redução de corrente leva a uma queda de tensão no terminal gerador em função da diminuição de potência reativa gerada. Esse fenômeno pode evoluir para uma condição de instabilidade de tensão que, caso não seja resolvida, pode resultar em um cenário de colapso, como já ocorrido várias vezes no tronco de transmissão associado à Itaipu 60 Hz. Assim sendo, para evitar uma situação instabilidade ou colapso, criou-se a lógica de redução do ponto base, que faz a redução de geração em Itaipu 60 Hz de forma a reduzir o fluxo de potência ativa nas linhas do tronco 765 kV, reduzindo o consumo de reativos e, assim, a corrente de excitação, antes da atuação dos limitadores de sobre-excitação. Desta forma, este trabalho apresenta a lógica de redução de ponto base bem como seu respectivo ajuste para eventos de elevado impacto no tronco 765 kV, como faltas com desligamento duplo de linhas, corte de geração no sistema interligado nacional brasileiro e combinações envolvendo os dois eventos, de forma a observar a eficácia da redução em eventos com queda de frequência.

Perguntas e respostas:

A) A lógica de redução do ponto base (LRPB) proposta no artigo faz diminuir a geração de potência ativa das UG de Itaipu para contornar um eventual problema de instabilidade de tensão no tronco de 765 kV. Esta estratégia pressupõe que a redução de geração de Itaipu é suprida, sem problemas, por outras fontes geradoras do SIN. Como saber que de fato a redução de Itaipu não afetaria o SIN no que diz respeito ao balanço geração/demanda?

Para compreender o efeito da redução da potência de Itaipu no SIN pode-se observar duas variáveis elétricas obtidas nas simulações. Uma corresponde ao valor de potência ativa reduzida, que ficou abaixo de 500MW no caso de maior redução. Já a segunda variável é a própria frequência elétrica do sistema, que no caso mais severo chegou a 59,8Hz em regime pós evento, valor esse bem acima dos 58,5Hz que causa uma eventual atuação do primeiro estágio do ERAC.

B) Quais foram os critérios de se utilizar um tempo de 10 minutos na definição do erro de tempo?

O valor de 10 minutos foi escolhido devido ser este o tempo de atuação dos limitadores de corrente de excitação das unidades geradoras de Itaipu. Atualmente, caso a corrente de excitação ultrapasse 2.1p.u. (3600A), e permaneça nessa condição por mais de 10 minutos, ocorre a atuação do limitador de tempo definido, reduzindo a corrente para 2p.u. (3428A).

C) Os autores apresentam, primeiramente, simulações em um sistema equivalente para redução do tempo computacional. O resultado é posteriormente validado no sistema completo. Os autores acham que esta etapa intermediária de utilização de um equivalente dinâmico seja estritamente necessária? Se sim, houve mudanças significativas nos parâmetros quando da etapa de validação no sistema completo?

A utilização do equivalente dinâmico foi de fundamental importância para determinar a faixa de variação dos parâmetros e a resolução dos incrementos a serem utilizados nas simulações, além é claro da conclusão de que para cada valor de tempo ?T? era possível encontrar um valor de ganho ?K?. Com isso foi possível reduzir o número de simulações no sistema completo e, consequentemente, o tempo total de simulação. A título de comparação, uma única simulação no equivalente dinâmico levava cerca de 2 min. Já no sistema completo cerca de 2 horas. De acordo com a resolução utilizada para os parâmetros, verificou-se a necessidade de 1680 simulações, o que tornou a simulações diretamente no sistema completo algo impraticável.

**Comentário:** O artigo apresenta uma lógica de redução da geração das unidades geradoras de Itaipu, quando contingências no tronco de 765 kV levam o sistema a uma condição vulnerável à instabilidade de tensão. A queda de tensão do tronco é acompanhada pelo aumento da corrente de campo das UG, podendo haver violação do limite de sobre-excitação. A redução da geração de potência ativa alivia a queda de tensão do tronco, consequentemente havendo uma redução da excitação das máquinas. O artigo apresenta um estudo de sensibilidade do ajuste de uma constante de tempo e de um ganho do controlador que faz a alteração da referência de potência ativa da usina.

### 4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

A experiência e perspectivas do uso do HVDC no sistema de transmissão brasileiro.

Uso de Sincrofases no SIN.

Penetração de Usinas Eólicas e Fotovoltaicas no SIN.

Melhoria do amortecimento de oscilações eletromecânicas no SIN por uso de sinal adicional ou elos de HVDC.