



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GDS

**AValiação de Sobretensões de Manobra na Recomposição
Fluente de Sistemas Elétricos**

Wesley Peres (*)
UFJF

Edimar José de Oliveira
UFJF

João Alberto Passos Filho
UFJF

Nelson Martins
CEPEL

Leonardo Willer de Oliveira
UFJF

RESUMO

Este Informe Técnico descreve uma metodologia para a recomposição de corredores de transmissão na fase fluente, visando diminuir as sobretensões de manobra (chaveamentos). Inicialmente utiliza-se uma ferramenta baseada em Fluxo de Potência Ótimo (FPO), que fornece o ponto de operação da rede em regime permanente, para fazer o ajuste da tensão de referência da geração e fornecendo a mínima configuração de reatores e a máxima carga a ser tomada. Partindo desse ponto de operação, modela-se a rede no programa ATP – EMTP a fim de verificar se o ponto de operação é adequado do ponto de vista transitório. Para tanto, empregam-se métodos típicos de controle de sobretensões de manobra durante a energização dos equipamentos. Um estudo de caso é feito para avaliar os resultados obtidos com a metodologia proposta.

PALAVRAS-CHAVE

Recomposição de Sistemas Elétricos, Sobretensões de Manobra, Controle de Sobretensões, ATP-EMTP, Fluxo de Potência Ótimo.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos de potência tem operado cada vez mais próximos de seus limites, seja pela falta de investimentos ou por restrições ambientais. Logo, torna-se necessário o aproveitamento de novos potenciais energéticos, muitas vezes distantes dos centros consumidores, como é o caso da Região Norte [1]. No Brasil a geração hidrelétrica é predominante e, conseqüentemente, o transporte dos grandes blocos de energia, faz uso de longos corredores de transmissão e das interligações dos sistemas, aumentando seu tamanho e a complexidade da sua operação. Isso faz com que o sistema esteja sujeito a maiores taxas de defeito em linhas de transmissão, aumentando os riscos de instabilidade transitória e dinâmica. Uma série de falhas pode conduzir à interrupção total ou parcial do fornecimento, também conhecida como blecaute. Após a ocorrência de um blecaute inicia-se o processo de recomposição do sistema, cujo objetivo é atingir no menor tempo possível, as condições normais de operação [2].

A recomposição de sistemas de potência é um processo complexo que envolve inúmeras questões, e requer estudos de regime permanente, transitórios eletromecânicos, transitórios eletromagnéticos [3] e desempenho da proteção [4]. O processo de recomposição do sistema elétrico brasileiro é estruturado em duas etapas segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS): fase fluente e fase coordenada [3].

A fase coordenada envolve também muitas questões, entre as quais, o fechamento de anéis ou paralelos entre as áreas já estabelecidas na recomposição fluente. Nessa fase, é muitas vezes necessário o redespacho de usinas para evitar o torque excessivo nos eixos destes geradores devido à variação instantânea de potência [5] – [6].

(*)- Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora Rua José Lourenço Kelmer, s/n – Campus
Universitário, 36036-900, Juiz de Fora - MG - Brasil
Tel: +55 32 2102-3442– Email: wesley.peres@engenharia.ufjf.br

A fase fluente corresponde ao início do processo de recomposição, partindo o corredor do sistema, completamente desenergizado. Os corredores de transmissão são energizados radialmente, a partir de usinas hidroelétricas com capacidade de “black-start”, ou seja, de auto-restabelecimento. Nessa fase, cabe aos operadores tomar decisões seguindo um conjunto de instruções de operação (IO's), havendo mínima comunicação entre os operadores envolvidos [7]. A tomada de carga é frequentemente realizada a partir de geração remota, o que exige inicialmente o total restabelecimento do corredor de transmissão. Nessa fase, o corredor está sujeito à sobretensões sustentadas (caracterizando o regime dinâmico) e de manobra ou chaveamento (regime transitório) [8].

As sobretensões sustentadas à frequência fundamental permanecem no sistema até que sejam eliminadas as causas que as originou. Para o controle dessas sobretensões, geralmente utilizam-se reatores, ajustes de taps dos transformadores e ajuste das tensões das unidades geradoras [8] – [9].

As sobretensões de manobra são um fenômeno eletromagnético e de alta frequência, sendo fortemente amortecidas e de curta duração. A amplitude e duração dessas sobretensões dependem dos parâmetros do sistema, da sua configuração e das condições em que ele se encontra no momento da manobra [8] – [9]. Para sua mitigação, geralmente são empregados pára-raios nas extremidades das linhas de transmissão, inserção de resistores em disjuntores e esquemas controlados de chaveamentos [9] – [10]. Geralmente, se as condições de regime permanente são adequadas, se as compensações de potência reativa são ajustadas corretamente e as tensões dos geradores são reguladas em valores adequados, as sobretensões de manobra ou chaveamento podem ser controladas sem grande dificuldade [11].

No processo de recomposição, os estudos de transitórios eletromecânicos são necessários para verificar as máximas variações de tensão e frequência durante a tomada ou rejeição de carga. Os estudos de transitórios eletromagnéticos são importantes para verificar se é possível efetuar as energizações sem causar danos aos equipamentos [3].

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma metodologia para a recomposição fluente de corredores de transmissão. Parte-se de uma sequência ótima de energização, obtida em um programa de FPO que automatiza o ajuste dos dispositivos de controle (conexão de reatores e ajuste da tensão de geração), além de fornecer o valor da máxima carga a ser atendida. Com base no ponto de operação em regime permanente obtido, modela-se o corredor no programa ATP-EMTP (*Alternative Transient Program*) [12] para estudo dos transitórios de manobra. Os resultados obtidos com o sistema teste de Água Vermelha apontam para uma ferramenta promissora de apoio à recomposição.

2.0 - OTIMIZAÇÃO DA FASE FLUENTE DA RECOMPOSIÇÃO

O problema de recomposição fluente consiste em determinar uma configuração mínima de rede que seja capaz de atender uma carga denominada prioritária. Em [13] é descrita uma metodologia baseada em FPO associada à decomposição matemática de Benders, que automatiza o processo de decisão durante a fase fluente de recomposição. A fim de se explicar sucintamente a metodologia proposta em [13], considere a Figura 1, onde se deseja efetuar a recomposição do corredor.

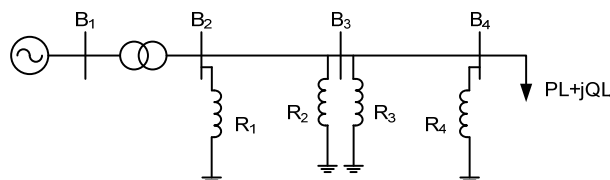


FIGURA 1: Corredor Para a Recomposição Fluente.

Na Figura 1, tem-se a opção de ajustar a tensão de geração, definir quantos e quais reatores devem ser ligados e o montante de carga prioritária a ser suprida durante a fase fluente. O número mínimo de unidades geradoras para iniciar o processo de recomposição é obtido dos estudos do ONS [13]. A energização é feita em estágios, conforme ilustra a Figura 2.

A cada estágio energizado, devem-se satisfazer as restrições impostas pelo ONS [7], a saber: limites transitórios (sobretensões sustentadas) e as restrições em regime permanente. Já os limites em regime transitório dependem da coordenação de isolamento da linha de transmissão e das especificações dos fabricantes.

A Figura 3 ilustra o esquema de solução do problema. Neste esquema, o subproblema 1 corresponde ao sistema completo, onde o objetivo é maximizar a carga atendida, minimizar o número de reatores conectados e fazer o ajuste da tensão de geração. A carga tomada nesse estágio deve obedecer a critérios de tensão mínima. O subproblema 2 corresponde aos diversos cenários de recomposição, obtidos do sistema completo, simulando-se rejeição de carga nas barras do sistema de transmissão, em regime dinâmico e permanente.

No esquema apresentado, o subproblema 1 fornece os valores ótimos Z_s^* (tensão de geração, configuração de reatores conectados e valor da carga a ser atendida). O subproblema 2 envia restrições de Benders $U(Z_s^*)$ ao subproblema 1, de forma a viabilizar a recomposição. As restrições de Benders atuam no sentido de alterar as decisões sobre reatores conectados, tensão de geração e carga tomada. O processo continua até que todos os

cenários representando os estágios evolutivos (ver Figura 2) de recomposição tornem-se viáveis, estabelecendo uma configuração mínima de rede para o processo completo de recomposição fluente.

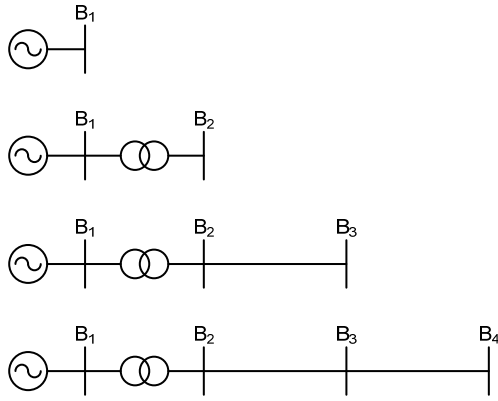


FIGURA 2: Recomposição em Estágios.

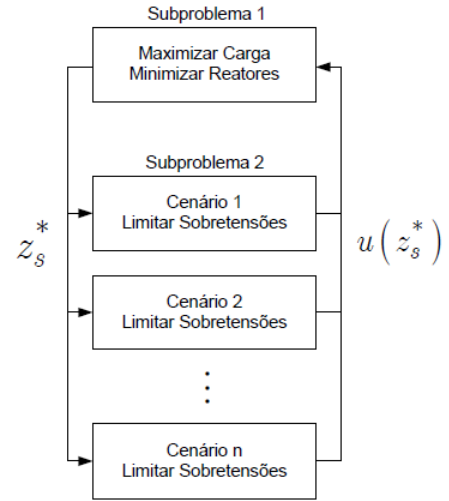


FIGURA 3: Esquema de Solução do Problema.

2.1 – Modelagem do Subproblema 1

$$(\text{Max } \alpha_i) + (\text{Min } QA^i + QA^{ij}) \quad (1)$$

sa /

Restrições de Balanço de Potência Ativa e Reativa
Restrições da Modelagem das Máquinas Síncronas
Restrições da Curva de Capabilidade
Restrição da Modelagem do Regulador de Tensão (AVR)
Limites Operacionais

onde:

QA^i : Potência Reativa alocada na barra i .

QA^{ij} : Potência Reativa alocada no circuito $i-j$.

α_i : carregamento na barra i , onde se deseja suprir a máxima carga.

2.2 – Modelagem do Subproblema 2

No subproblema 2, são mantidos fixos os ajustes feitos no subproblema 1.

$$\text{Min } \sum_{k \in \Omega_{nb}} C_{QFk} \cdot QF_k \quad (2)$$

sa /

Restrições de Balanço de Potência Ativa e Reativa
Restrições da Modelagem das Máquinas Síncronas
Restrições da Curva de Capabilidade
Limites de Tensão Dinâmica – para o regime dinâmico
Restrição da Modelagem do Regulador de Tensão (AVR) – para o regime permanente
Limites Operacionais

onde:

Ω_{nb} : conjunto de barras candidatas à alocação de potência reativa fictícia.

C_{QFk} : Custo de alocação de potência reativa fictícia.

QF_k : Potência reativa fictícia alocada na barra k .

A potência reativa fictícia alocada nas barras durante a execução do subproblema 2, indica que não é viável energizar algum estágio do corredor de transmissão (regime dinâmico e / ou permanente) com os valores de tensão de geração, configuração de reatores e carga tomada ajustados no subproblema 1. A alocação dessa potência é necessária para garantir a convergência do subproblema 2. Nesse caso o subproblema 1 é executado novamente considerando as informações fornecidas pelo subproblema 2 (restrição de Benders). Quando todos os cenários forem viáveis, a potência reativa fictícia alocada nas barras será desprezível (respeitando uma dada tolerância). Quando isso ocorrer, a metodologia terá fornecido uma sequência ótima de energização para o operador do sistema.

Uma observação deve ser feita quanto ao subproblema 2. Este subproblema avalia o estado do sistema no instante da rejeição de carga, quanto em regime permanente. As restrições do AVR não são consideradas, pois nesse momento, o regulador ainda não atuou. Em regime permanente, as restrições do AVR são consideradas, devido à atuação do regulador, assim como os limites associados à curva de capacidade dos geradores.

A formulação matemática dos subproblemas pode ser obtida detalhadamente em [13]. Os ajustes ótimos obtidos com a metodologia proposta em [13], para o regime dinâmico e o regime permanente, permitem melhorar o controle das sobretensões de manobra devido à energização das linhas de transmissão [11]. Como foi dito anteriormente, essa configuração de rede será modelada no programa ATP-EMTP para estudos das sobretensões de chaveamento.

3.0 - ASPECTOS RELATIVOS AOS ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS

Os estudos realizados com simulador de estabilidade transitória, permitem avaliar o comportamento dinâmico da frequência do sistema durante a tomada de carga. Os estudos de transitórios eletromagnéticos são executados somente após os estudos de regime permanente e de transitórios eletromecânicos [3]. Tais estudos são importantes para se tomar conhecimento das máximas solicitações à que os equipamentos estarão sujeitos.

Uma vez que o ponto de operação em regime permanente tenha sido obtido, desenvolve-se o modelo da rede para simulação no programa ATP-EMTP. Esse modelo será válido somente para o ponto de regime permanente obtido, e caso a configuração da rede mude, os modelos para estudos de transitórios deverão ser refeitos.

Nos Procedimentos de Rede do ONS [7] são definidas algumas diretrizes para esses estudos, especificando alguns critérios relativos aos pára-raios, transformadores e autotransformadores, reatores, banco de capacitores em derivação e em série, disjuntores, máquinas síncronas e linhas de transmissão.

Em [3] são descritos dois problemas que podem ocorrer durante a recomposição fluente devido às sobretensões existentes durante a energização do corredor de transmissão, ou seja, a operação indevida de pára-raios e dos dispositivos de proteção. Esses aspectos podem comprometer o processo de recomposição. Assim, para a mitigação dessas sobretensões, são empregados alguns dispositivos de controle a serem discutidos adiante.

3.1 – Modelagem da Rede para Simulação no Programa ATP- EMTP

Para as simulações apresentadas neste artigo, considerou-se a seguinte estratégia para modelagem no programa ATP-EMTP: (i) As **Linhas de Transmissão** são consideradas transpostas e são representadas a parâmetros distribuídos sem variação dos parâmetros com a frequência; (ii) Os **Transformadores** são representados respeitando a ligação de cada enrolamento; (iii) A curva de saturação e a defasagem angular também foram consideradas; (iv) Os **Pára-Raios de Óxido de Zinco (ZnO)** são representados pelo “modelo 92” considerando suas características não lineares; (v) As **Cargas** são representadas pelo seu modelo passivo série ou paralelo, com a ligação estrela-aterrada; (vi) Os **Geradores Hidráulicos** são representados pelo modelo de máquina síncrona (modelo 59 do ATP-EMTP). O modelo com fonte de tensão (modelo 14) atrás da reatância subtransitória de eixo direto também pode ser utilizado e (v) Os **Disjuntores** são representados pelos modelos disponíveis no ATP. Foram realizadas simulações determinísticas e alguns esquemas de chaveamento são avaliados.

4.0 - CONTROLE DE SOBRETENSÕES DE MANOBRA

Após o ajuste adequado das condições em regime permanente e regime dinâmico, são realizadas as simulações em regime transitório. O correto ajuste das condições em regime permanente e dinâmico, permite que os transitórios de chaveamento sejam controlados sem grande dificuldade [11]. Para a mitigação das sobretensões oriundas dos transitórios de chaveamento, o presente trabalho avalia três alternativas: a utilização de pára-raios nas extremidades sem nenhum método de controle, a operação conjunta de pára-raios nas extremidades com chaveamento sincronizado e, por último, com disjuntores equipados com resistores de pré-inserção. A primeira alternativa de energização das linhas de transmissão que compõem o corredor tem o propósito de avaliar se é possível obter sobretensões que não violem os limites de isolamento do sistema, somente com pára-raios nas extremidades. A segunda alternativa de energização consiste em controlar o instante de fechamento de cada pólo do disjuntor no momento em que as tensões de fase são próximas de zero. Finalmente a terceira opção avalia o emprego de disjuntores com resistores de pré-inserção. Este método consiste em inserir resistores em série com a linha durante os instantes iniciais da energização e depois curto-circuitá-los. O período de tempo em que os

resistores permanecem inseridos no sistema deve ser maior que duas vezes o tempo de trânsito da linha [1], [10]. Ressalta-se que em ambas alternativas foram considerados pára-raios nas extremidades.

5.0 - ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DE SOBRETENSÕES DE MANOBRA NA RECOMPOSIÇÃO DO CORREDOR DE ÁGUA VERMELHA

Nessa seção é apresentado um estudo de caso considerando o corredor de recomposição de Água Vermelha. É apresentada a estratégia obtida através do otimizador para a recomposição. Posteriormente são apresentados os resultados das simulações com o programa ATP-EMTP para o regime transitório.

5.1 Descrição do Corredor de Recomposição

O corredor de recomposição de Água Vermelha inicia na usina de Água Vermelha e vai até a subestação de Sumaré, como ilustrado na Figura 4. Para essa área geoeletrica, o ONS utiliza três unidades sincronizadas em Água Vermelha e o suporte de potência reativa é proporcionado por um reator de linha de 180 Mvar do lado da subestação de Ribeirão Preto (barra 563) e por um reator de barra de 100 Mvar na subestação de Sumaré (barra 570). A tensão de geração de 16 kV na Usina de Água Vermelha é elevada na subestação da usina para 440 kV (nível de transmissão) e reduzida para o nível de 138 kV na subestação de Sumaré para suprimento da carga prioritária. Para o nível de tensão de transmissão considerado, são permitidas variações de 90 a 110 % em regime permanente e de 85 a 125 % em regime dinâmico durante o processo de recomposição do sistema [7].

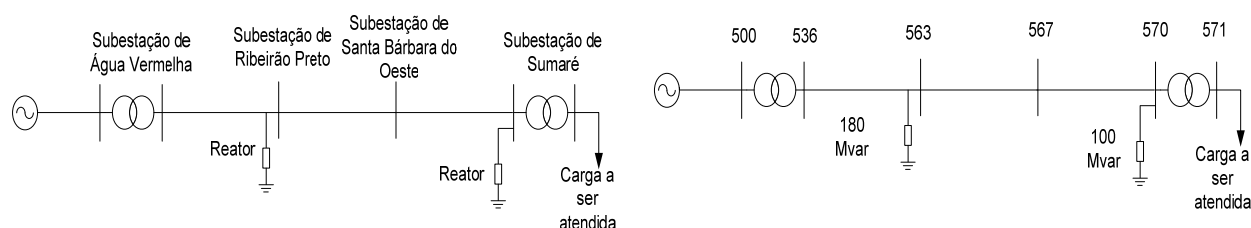


FIGURA 4– (a): Corredor de Água Vermelha e (b) Unifilar com Barras Numeradas

5.2 Estratégia de Recomposição do Corredor

Para efetuar a recomposição do corredor, o otimizador fornece o ajuste ótimo da tensão de geração, da configuração de reatores e da máxima carga suprida. Esses valores são apresentados nas Tabelas 1 a 3.

TABELA 1 – Ajuste das Unidades Geradoras

TENSÃO DA GERAÇÃO (PU)	POTÊNCIA GERADA	
	ATIVA (MW)	REATIVA (MVAR)
0,941	180,33	-171,64

TABELA 2 – Reatores de Linha Conectados

DE	PARA	REATOR (MVAR)	REATOR (MVAR)
536	563	0,00	180,00

TABELA 3 – Máxima Carga Tomada na Barra 571

POTÊNCIA ATIVA (MW)	POTÊNCIA REATIVA (MVAR)
177,96	58,55

Pode-se observar que o otimizador optou por não utilizar o reator de 100 Mvar conectado à barra 570, considerando as restrições de regime permanente e regime dinâmico. Após o ajuste da tensão de geração da usina de Água Vermelha em 0,941 pu (barra 500), estuda-se a seguinte sequência de energização:

- CENÁRIO 1: Energização do transformador elevador, ramo 500-536.
- CENÁRIO 2: Energização da Linha 536 – 563.
- CENÁRIO 3: Energização da Linha 563 – 567.
- CENÁRIO 4: Energização da Linha 567 – 570.
- CENÁRIO 5: Energização do transformador abaixador, ramo 570 – 571.
- CENÁRIO 6: Tomada de Carga na barra 571.

A Tabela 4 mostra que em todos os cenários, os limites de tensão em regime permanente foram satisfeitos (0,9 a 1,1 pu).

TABELA 4 – Tensões nas Barras em Regime Permanente nos Cenários de Energização do Corredor

BARRA CENÁRIO	500	536	563	567	570	571
1	0,941	0,941	-	-	-	-
2	0,941	0,951	0,936	-	-	-
3	0,941	0,965	1,046	1,072	-	-
4	0,941	0,967	1,061	1,095	1,095	-
5	0,941	0,967	1,061	1,095	1,095	1,095
6	0,941	0,956	0,977	0,977	0,974	0,941

5.3 Avaliação das Sobretensões de Manobra: Energização da Linha 536 – 563 : Água Vermelha / Ribeirão Preto

Como anteriormente mencionado, apresenta-se um estudo comparativo entre três alternativas de controle de sobretensões de chaveamento. Em todas as simulações foram utilizados pára-raios (ZnO), com tensão nominal de 420 kV e nível de proteção a impulso de manobra de 830 kV em 2 kA, conectados nas extremidades das linhas de transmissão. Nas energizações com disjuntores equipados com resistores pré-inserção, foi considerada uma resistência de 400 Ohms e um tempo de inserção de 8 ms, por serem valores típicos utilizados no sistema elétrico brasileiro [15]. Cada trecho é energizado após os transitórios de energização dos trechos à sua montante terem se extinguido. Considerando a existência de apenas pára-raios ou a ação combinada de pára-raios com disjuntor equipado com resistores pré-inserção, o instante de chaveamento foi quando a tensão na fase A era máxima, caracterizando o pior caso.

Os gráficos e tabelas relativas aos estudos de transitórios eletromagnéticos estão no final do artigo. A Tabela 5 apresenta as máximas tensões nas barras do sistema. A Figura 5 apresenta as máximas sobretensões da linha de 325 km situada entre as barras 536 – 563, correspondendo ao cenário 2 de energização. Pode-se observar que o controle de sobretensões de chaveamento com uso de resistor de pré-inserção foi mais eficaz para a energização da primeira linha de transmissão do corredor de recomposição em estudo. As Figuras 6 e 7 apresentam as formas de onda da tensão na entrada e saída da linha considerando a energização feita através de resistores pré-inserção. Ressalta-se que as sobretensões são funções de várias características do sistema.

5.4 Avaliação das Sobretensões de Manobra: Energização da Linha 563-567 : Ribeirão Preto / Santa Bárbara do Oeste

A Tabela 6 apresenta as máximas tensões nas barras do sistema. Considerando que o chaveamento sincronizado e a inserção de resistores apresentaram melhores resultados na energização do trecho anterior, é apresentada uma comparação somente entre esses dois métodos. A Figura 8 apresenta as máximas sobretensões da linha de 180 km situada entre as barras 563 – 567. Essa energização corresponde ao cenário de recomposição número 3. Observa-se novamente a eficiência da inserção de resistores pré-inserção.

5.5 Avaliação das Sobretensões de Manobra: Energização da Linha 567- 570 : Santa Bárbara do Oeste / Sumaré

A Tabela 7 apresenta as máximas tensões nas barras durante a energização da linha aqui suposta de 150 km, correspondendo ao cenário número 4. A Figura 9 apresenta as máximas tensões ao longo da linha 567 – 570. Pode-se observar que para esse caso, tanto o chaveamento sincronizado quanto a inserção de resistores apresentaram resultados semelhantes.

Além dos transitórios devidos à energização das linhas de transmissão, deve-se também analisar os transitórios oriundos da energização de transformadores. Sabe-se que quando se energiza os transformadores, são injetados no sistema, sinais de tensão com alto conteúdo harmônico devido à saturação do núcleo. Uma análise criteriosa deve ser feita para observar se alguma componente harmônica não está amplificando algum ponto de ressonância do sistema, gerando mais sobretensões. Estudos da resposta em frequência do sistema são empregados para esse fim. Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração são os modelos empregados para representar as cargas do sistema nas simulações de transitórios eletromagnéticos. Diferentes modelos de cargas podem gerar valores discrepantes de tensão nas barras do sistema.

6.0 - CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma metodologia para auxílio nos estudos de recomposição fluente. Foi apresentado um estudo de recomposição de um corredor de transmissão do sistema brasileiro na sua fase fluente.

Na primeira parte da proposta, correspondente ao regime permanente, foi apresentada uma ferramenta de otimização que automatiza a tomada de decisão na fase fluente da recomposição. Essa ferramenta faz o ajuste ótimo da tensão do gerador, define a configuração mínima de reatores e o máximo montante de carga prioritária a ser suprida [13].

Na segunda, foram comparados métodos para mitigação das sobretensões de chaveamento oriundas da energização de linhas de transmissão: pára raios nas extremidades, chaveamento sincronizado e inserção de resistores. Os resultados obtidos mostraram que para a configuração considerada para o sistema em estudo, a inserção de resistores apresentou melhores resultados para o controle de sobretensões. Entretanto, existe uma tendência de se utilizar chaveamento sincronizado para a mitigação de sobretensões, o que motiva a investigação de novos esquemas controlados de chaveamentos.

7.0 - DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para o prosseguimento deste trabalho, sugere-se a inclusão de restrições de regime transitório no otimizador, para definir uma configuração de reatores que garanta sobretensões de chaveamento menos severas no sistema.

8.0 - TABELAS E FIGURAS

Legenda: **PR**: Pára-Raios **CS**: Chaveamento Sincronizado **PI**: Disjuntor com Resistor Pré-Inserção

TABELA 5 – Máximas Tensões nas Barras considerando a Energização da Linha 536 – 563

BARRA MÉTODO	500	536	563
PR	1,17	1,47	1,87
PR + CS	1,02	1,09	1,70
PR + PI	1,02	1,05	1,17

TABELA 6 – Máximas Tensões nas Barras considerando a Energização da Linha 563 – 567

BARRA MÉTODO	500	536	563	567
PR + CS	1,09	1,18	1,58	1,62
PR + PI	1,11	1,18	1,26	1,55

TABELA 7 – Máximas Tensões nas Barras considerando a Energização da Linha 567 – 570

BARRA MÉTODO	500	536	563	567	570
PR + CS	1,01	1,38	1,23	1,25	1,31
PR + PI	1,00	1,07	1,16	1,26	1,26

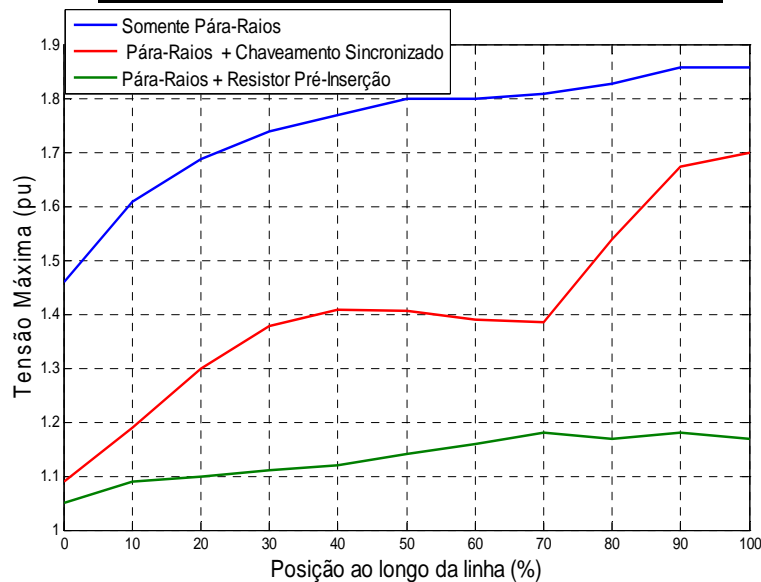


FIGURA 5: Comparação entre alternativas para energização da Linha 536 – 563.

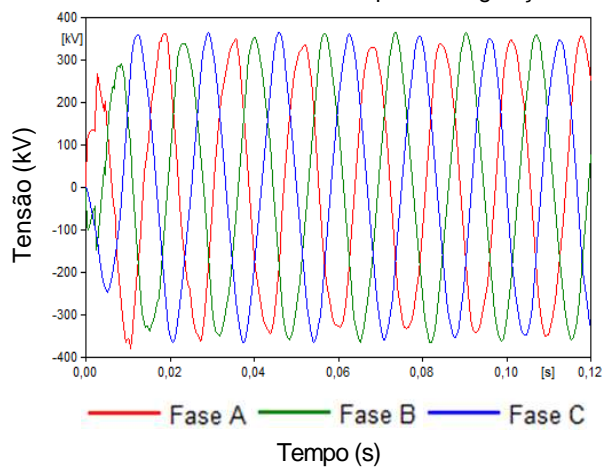


FIGURA 6: Tensão na Entrada da Linha (Barra 536) considerando Resistores de Pré-Inserção

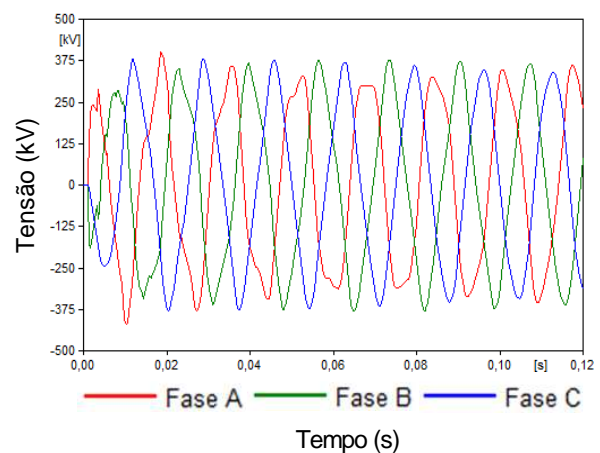


FIGURA 7: Tensão na Saída da Linha (Barra 563) considerando Resistores de Pré-Inserção

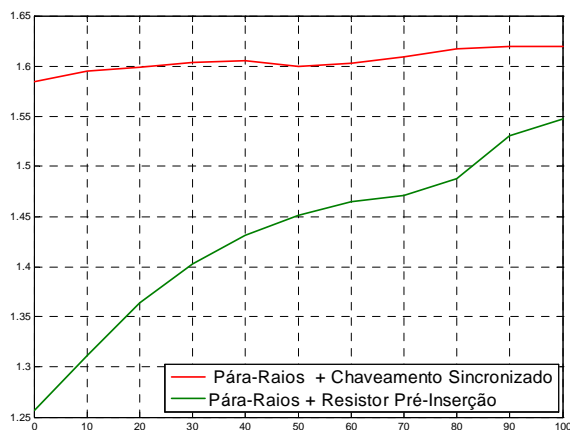


FIGURA 8: Comparação entre alternativas para energização da Linha 563 – 567.

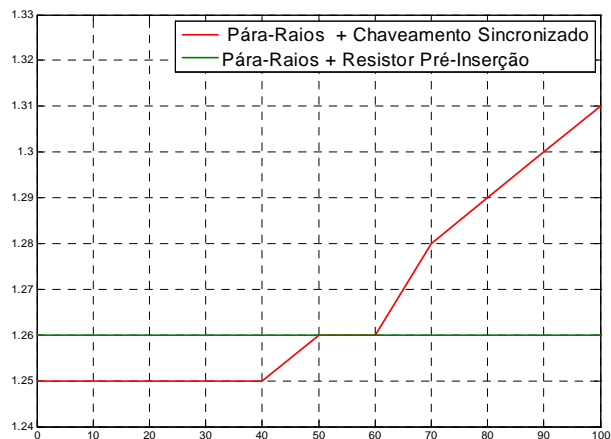


FIGURA 9: Comparação entre alternativas para energização da Linha 567 - 570.

9.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio recebido da CAPES, do CNPQ, da FAPEMIG e do CEPEL.

10.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TAVARES, M. C., BORGES, R. T. Estudo do Comportamento Transitório da Linha de um Pouco Mais de Meio Comprimento de Onda Submetida a Manobras Usuais, XVIII Congresso Brasileiro de Automática (CBA), Bonito, Mato Grosso do Sul, setembro de 2010.
- [2] ADIBI, M. M. Power System Restoration - Methodologies and Implementation, IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.
- [3] GOMES, P., DE LIMA, A. C. S., GUARINI, A. P. Guidelines for Power System Restoration in the Brazilian System, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 17, issue 2, pp 1159 – 1127, May 2004.
- [4] SIDHU, T. S., TZIOVARAS, D. A., APOSTOLOV, A. P., e outros. Protection Issues During System Restoration, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, issue 1, pp 47 – 56, January 2005.
- [5] MARTINS, N., DE OLIVEIRA, E. J., MOREIRA, W. C., PEREIRA, J. L. R., FONTOURA, R. M. Redispatch to Reduce Rotor Shaft Impacts Upon Transmission Loop Closure, IEEE Transactions on Power System, vol. 23, issue 2, pp 592-600, May 2008.
- [6] OLIVEIRA, E. J., MARTINS, N., PEREIRA, J. L. R., SILVA, E. D., FERREIRA, L. C. A., Análise de Fechamento de Anel Via Fluxo de Potência Ótimo e Estabilidade Dinâmica, IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning – IX SEPOPE, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, May 2004.
- [7] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, Procedimentos de Rede, Submódulo 23.3 – Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos, Julho de 2009.
- [8] KETABI, A., RANJBAR, A. M., FEUILLET, R. Analysis and Control of Temporary Overvoltages for Automated Restoration Planning, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, issue 4, pp 1121-1127, October 2002.
- [9] D'AJUZ, A., FONSECA, C. S., CARVALHO, F. M. S., FILHO, J. A., DIAS, L. E. N., PEREIRA, M. P., ESMERALDO, P. C. V., VAISMAN, R., FRONTIN, S. O. Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas de Potência de Alta Tensão, EDUFF, Rio de Janeiro – RJ, 1987.
- [10] MESTA, P., TAVARES, M. C. Comparative Analysis of Techniques for Control of Switching Overvoltages During Transmission Lines Energization. Electric Power Systems Researchs, vol. 80, pp 115-120, 2010.
- [11] ADIBI, M., ALEXANDER, R. W., AVRAMOVIC, B. Overvoltage Control During Restoration, IEEE Transactions on Power System, vol. 7, issue 4, pp 1464-1470, November 1992.
- [12] ATP – Alternative Transient Program, Leuven EMTP Center, Herverlee, Belgium, 1987.
- [13] VIANA, E. M., OLIVEIRA, E. J., MARTINS, N., OLIVEIRA, L. W., PEREIRA, J. L. R. Ferramenta para Auxílio à Recomposição Fluente de Sistemas Elétricos, XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica (SEPOPE), Belém, PA, Brasil, 2009.
- [14] ADIBI, M. M., KAFKA, R. J. Power System Restoration Issues, IEEE Computer Applications in Power, vol. 4, issue 2, pp. 19 – 24, April 1991.
- [15] DANTAS, K. M. C., NEVES, W. L. A., FERNANDES JR, D. Aplicação de Chaveamento Controlado para Manobras de Religamento de Linhas de Transmissão: Estudos de Caso, XIII Encontro Regional Iberoamericano do Cigré (ERCIAC), Porto Iguazu, Argentina, 2009.

11.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Wesley Peres: nasceu em 1987 na cidade de Juiz de Fora (Minas Gerais – Brasil) e em 2010 obteve o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Atualmente está trabalhando em sua dissertação de mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFJF. Possui interesse nos seguintes temas: Análise, Otimização e Controle de Sistemas de Potência, Transitórios Eletromagnéticos e métodos numéricos aplicados à Engenharia Elétrica.

Edimar José de Oliveira: nasceu em 1958 na cidade de Juiz de Fora-MG, possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFJF (1984), mestrado pela Universidade Federal de Uberlândia (1993) e doutorado pela Universidade Federal de Itajubá (1998), Minas Gerais, Brasil. Desde 1989 trabalha no Departamento de Energia Elétrica da UFJF. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: análise de estabilidade, mercado de energia, otimização e controle de sistemas elétricos de potência.

João Alberto Passos Filho: nasceu em 1972 na cidade de Juiz de Fora - MG, possui graduação e mestrado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF (1995 e 2000) e doutorado em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE (2006). Foi *trainee* do Grupo WEG durante o ano de 1996 e trabalhou por dez anos no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) do sistema ELETROBRAS, atuando principalmente no desenvolvimento dos programas ANAREDE (Análise de Redes em Regime Permanente) e FLUPOT (Fluxo de Potência Ótimo). Atualmente é professor Adjunto da Faculdade de Engenharia no Departamento de Energia da UFJF. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em desenvolvimento de modelos computacionais, atuando principalmente nos seguintes temas: análise de redes em regime permanente, segurança de tensão e otimização de sistemas potência.

Nelson Martins: possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Brasília (1972), mestrado (1974) e doutorado (1978) pela University of Manchester Institute of Science and Technology. Atualmente trabalha no CEPEL no desenvolvimento de métodos e ferramentas computacionais para análise de sistemas de potência, com ênfase em dinâmica e controle.

Leonardo Willer de Oliveira: possui graduação (2003) e mestrado (2005) pela UFJF e doutorado (2009) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE). Atualmente está trabalhando no Departamento de Energia Elétrica da UFJF. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: desenvolvimento de ferramentas computacionais para análise, planejamento e operação de sistemas de potência e energia e análise de estabilidade.