



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GOP/03
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

**ANÁLISE DA METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DOS TESTES REAIS DE RECOMPOSIÇÃO DE USINAS DE
AUTORREESTABELECIMENTO CONFORME RO-RR.BR.01**

Jenaína Aparecida de Souza(*)
CEMIG Geração e Transmissão

Maria Helena Murta Vale
UFMG / LRC

RESUMO

Com crescente exigência de segurança e confiabilidade das instalações do SIN (Sistema Interligado Nacional), as usinas hidrelétricas têm executado Testes Reais de Recomposição, cuja metodologia adotada está contida na rotina operacional RO-RR.BR.01 (1) e a elaboração é de responsabilidade do ONS.

Os agentes, para atenderem à norma, devem adequar suas estações às condições de contorno do teste. Contribuindo para a evolução das ações neste sentido, este trabalho objetiva **avaliar a metodologia adotada para execução dos Testes Reais de Recomposição e propor especificação para sistemas e circuitos de usinas hidrelétricas** visando atender condições de contorno para realização dos testes.

PALAVRAS-CHAVE

Usinas Hidrelétricas, *Black Start*, Teste Integral, Teste Parcial, Recomposição

1.0 - INTRODUÇÃO

Os Testes de Recomposição passaram a ter mais destaque quando, nos últimos blecautes, o ONS verificou que muitas usinas não apresentavam bom desempenho durante uma perturbação real, comprometendo o processo de recomposição do SIN (2). A partir de 2009 (3), o ONS se utilizou destes testes para verificar a capacidade de autorreestabelecimento destas usinas. Os procedimentos para realização dos Testes Reais de Recomposição estão contidos na rotina operacional RO-RR.BR.01 e devem ser realizados anualmente. Devem ser submetidas aos testes aproximadamente 71 usinas do SIN de propriedade de vários agentes de geração.

Estes testes são divididos em Parcial Individual-Simultâneo e Integral Individual-Simultâneo. A classificação (teste integral ou teste parcial) da usina se dá em função de como esta participa das ilhas de restabelecimento durante uma recomposição real nas fases fluente ou coordenada. Após sua execução, os testes podem ser classificados como *aprovados*, *reprovados* ou *aprovados com ressalva* em função do desempenho das UGs (Unidades Geradoras). Verifica-se que as maiores dificuldades para realização dos Testes Reais de Recomposição residem nas condições de contorno para simulação de uma perturbação total ou parcial.

Algumas destas dificuldades são oriundas de usinas hidrelétricas projetadas sem a devida preocupação com a necessidade futura de realização de testes. Somados a esses desafios, não consta na literatura, diretriz específica para elaboração de projeto de usinas hidrelétricas que contemplem a futura necessidade de realização dos testes reais de recomposição (4)(5). Adicionalmente, uma usina que atualmente não é classificada pelo ONS para realizar

teste de recomposição, pode vir a ser reclassificada para realizar testes integrais ou parciais e vice-versa em função de estudos elétricos do ONS e desempenho das usinas hidrelétricas.

Nos últimos anos, foi possível observar um *amadurecimento* no sistema elétrico, em especial quanto aos processos de automação e procedimentos de segurança elétrica. Constituem exemplos de tal *amadurecimento* os circuitos de alívio de carga, circuitos de exercício (6) do GMG (Grupo Motor Gerador de Emergência) (6), ERACs (Esquemas Regionais de Alívio de carga), comandos automáticos de conversão e reversão. Tal amadurecimento permite identificar algumas questões, as quais constituíram as principais motivações para a realização deste trabalho:

- a. O dinamismo da classificação das usinas hidrelétricas (sem autorrestabelecimento, parcial ou integral);
- b. A deficiente orientação para projeto de usinas hidrelétricas que contemple a necessidade de simulação das condições de blecaute parcial ou total para realização de testes;
- c. As plantas existentes atualmente.

Do exposto, verifica-se a necessidade de se considerar a execução dos testes já na etapa de projeto da usina. Tendo como base a experiência prática e acadêmica dos autores, este artigo apresenta uma proposta de especificação de sistemas e circuitos para usinas hidrelétricas que favoreçam a simulação das condições de contorno dos Testes Reais de Recomposição, alcançando o propósito de estreitar a lacuna existente entre a fase de projeto e a fase de operação quanto à demanda de realização deste tipo de testes. Observa-se ainda que as técnicas apresentadas também podem ser utilizadas para adaptar as usinas já existentes (7).

Adicionalmente, este trabalho propõe um **circuito Black Start** que proporcionará a execução do teste de forma simplificada e mais automatizada. Para verificar estas questões, faz-se uso de três abordagens principais:

- Análise dos requisitos já contidos na RO-RR.BR.01 executados durante a realização dos Testes Reais de Recomposição.
- Verificação das principais dificuldades para simulação dos testes.
- Proposta para sistemas e circuito *Black Start* de Usinas Hidrelétricas.

Este trabalho possui caráter inovador e apresenta contribuição significativa para a eficientização dos testes reais de recomposição do SIN, representando evolução quanto aos critérios de projeto e de operação de usinas hidrelétricas já existentes, seja no *estado de emergência* ou no *estado restaurativo* (9).

2.0 - REQUISITOS PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES REAIS DE RECOMPOSIÇÃO

Neste item são apresentados os requisitos atuais, para execução testes reais de recomposição RO-RR.BR.01, bem como os principais quesitos para aprovação destes, classificados como integral e parcial. A rotina dos testes reais de recomposição RO-RR.BR.01 estava em sua décima segunda revisão, quando, em 2009, ocorreu um blecaute no qual a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e o ONS verificaram que muitas usinas no SIN não puderam participar do processo de recomposição satisfatoriamente, em função de falhas de seus dispositivos. Assim, houve maior fiscalização sobre a realização dos testes, conforme descrito abaixo.

Testes de Autorrestabelecimento Integral

Realizam testes de autorrestabelecimento integral as usinas que possuem alta confiabilidade de restabelecimento devendo ser submetidas aos testes de autorrestabelecimento integral individual-simultâneo e são classificadas pelo ONS para participar do processo de recomposição durante a fase fluente. As unidades geradoras das usinas de autorrestabelecimento integral, durante uma recomposição real, devem ter condições de serem recompostas em até 30 minutos quando suas unidades geradoras estiverem desligadas elétrica e mecanicamente, independentemente de se utilizar qualquer alimentação externa para suprir os seus serviços auxiliares. Portanto, estas usinas são capazes de, com seus próprios recursos de serviços auxiliares, interligar ao SIN o número mínimo de UGs definido na instrução de recomposição da área na qual a usina está inserida.

As usinas de autorrestabelecimento devem ser providas de recurso de autorrestabelecimento que deve ser capaz de prover energia para as cargas essenciais de pelo menos uma UG. Os recursos de autorrestabelecimento normalmente são GMGs (Grupo Motor Gerador a Diesel) ou unidades geradoras auxiliares, ou ainda de sistema de partida com alimentação em corrente contínua (através de banco de baterias) para excitação do campo do gerador. Estes recursos de autorrestabelecimento devem ser capazes de efetuar pelo menos duas tentativas de recomposição da UG, sem o auxílio de fonte de alimentação externa.

Estas usinas devem, ainda, ter índice de disponibilidade no ano anterior superior a 80%, pois de nada adianta classificar uma usina como de autorrestabelecimento integral se ela não tem bom desempenho, ou seja, se ela possui constantes falhas que levem à sua indisponibilidade.

Testes de Autorrestabelecimento Parcial

São usinas que possuem média confiabilidade de restabelecimento devendo ser submetidas aos testes de autorrestabelecimento parcial individual-simultâneo, participando do processo de recomposição durante a fase coordenada e devem ter capacidade de permanecer girando mecanicamente e excitada por pelo menos 30 minutos. Numa perturbação real, estas usinas não serão desligadas e permanecerão girando a vazio.

3.0 - DIFICULDADES PARA SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO DOS TESTES REAIS DE RECOMPOSIÇÃO

As condições de blecaute são críticas, mas constitui desafio maior a simulação destas condições para realização do teste. Observa-se que estas dificuldades não são em relação à recomposição durante uma perturbação real, mas sim de simular as condições de perturbação de acordo com a rotina RO-RR.BR.01 mantendo os demais equipamentos em operação normal e com segurança.

Dentre os desafios que os agentes devem transpor, citam-se:

- a. Configurações dos sistemas de alimentação de cargas essenciais (serviço auxiliar)

Em usinas mais antigas observa-se que as manobras a serem realizadas nos sistemas de serviço auxiliar CA (Corrente Alternada) são unicamente manuais implicando, para realização dos testes, possibilidade de manobras indevidas e falta de suprimento para equipamentos essenciais durante a realização dos testes (6). Além disso, quando as comutações são automáticas pode ocorrer que a normalização das cargas aliviadas seja manual.

- b. Capacidade de suprimento do GMG

Alguns GMGs têm capacidade de suprir apenas as cargas essenciais de uma UG. Obviamente, quando tal sistema funciona, esta primeira unidade geradora poderá suprir todas as demais cargas, mas seria interessante um GMG com maior capacidade que pudesse suprir o maior número de unidades geradoras possível.

- c. Manutenção do suprimento de consumidores

Alguns consumidores dependem exclusivamente de usina que deve ser submetida a tais testes de recomposição. Vistos os índices de fiscalização da ANEEL (8) é cada vez mais prejudicial indisponibilizar o suprimento de energia para os clientes sendo necessário durante os testes manter fonte de energia para suprimento. A figura 1 indica exemplo de clientes supridos exclusivamente via usina.

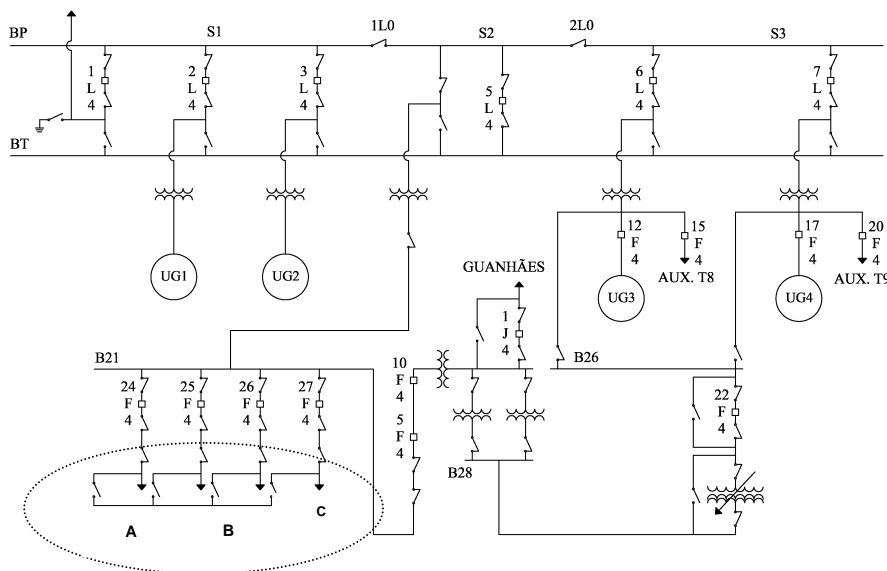


FIGURA 1 – Estação com Suprimento dos Consumidores (indicados em linha tracejada) Exclusivo pela Usina

- d. Configurações de barramentos

Com a necessidade de se ligar(em) a(s) UG(s) em barra desenergizada, durante o teste simultâneo, a configuração do barramento é relevante. Na figura 2, pode ser verificado que os ATRs (autotransformadores) T6 e T7 na saída do barramento. A ligação da unidade geradora no autotransformador a vazio não é recomendada por riscos de

danos elétricos neste. Desta forma, é interessante que, por exemplo, o ATR T6 seja isolado com a abertura da chave 1UT6.

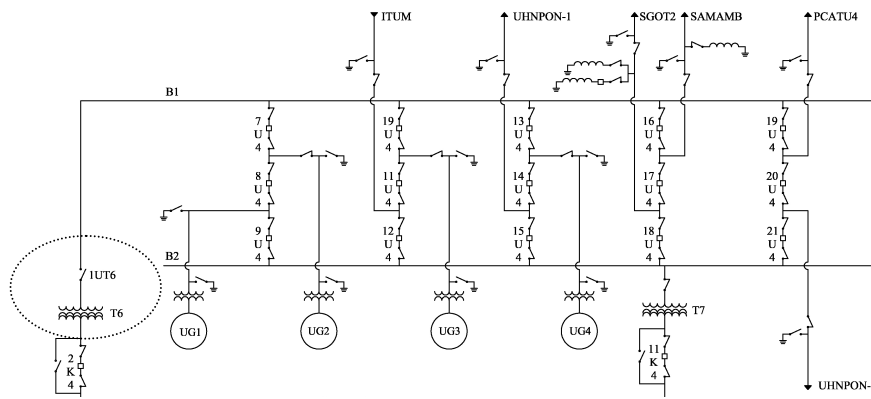


FIGURA 2 – Estação com Autotransformador Ligado Diretamente à Barra

Na figura 3 há outro exemplo de barramento que não contribui para a realização dos testes reais de recomposição. Nesta estação a configuração do barramento é barra principal e transferência cuja barra principal é seccionável. Portanto, se for necessário manter alguma UG para controle de tensão na região, é possível conseguir uma barra desenergizada para realização do teste integral através do seccionamento da barra. Entretanto, informação relevante é a localização do TP de sincronismo para ligar esta(s) UG(s) para controle de tensão. Se for necessário ligar as UGs 5 e 6 e o TP de sincronismo estiver localizado na seção S1, estando a chave indicada na figura aberta, não será possível o sincronismo destas unidades geradoras.

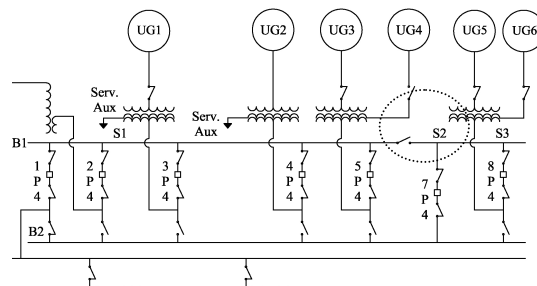


FIGURA 3 – Estação com Barra Principal Seccionável

Situação similar à anterior, mas piorada, é o barramento que não permite seccionamento, implicando necessariamente desligamento dos equipamentos ligados neste.

e. Unidades Geradoras geminadas

Unidades geradoras geminadas também são críticas para a simulação das condições de contorno para realização dos testes, pois implicam muitas paradas para realização dos testes integrais simultâneos e individuais.

f. Alta rotação de Unidades Geradoras

Para os testes integrais individuais, há a necessidade de parada (sistema de frenagem aplicado e rotação nula) das unidades geradoras. Se as unidades geradoras têm alta rotação nominal, elas precisarão de maior tempo para parar podendo comprometer o tempo de realização do teste.

g. Necessidade de manutenção da vazão do rio

A condição de parada de todas as unidades geradoras de uma usina também impacta aspectos ambientais pela necessidade de manutenção da navegabilidade do rio e vazão mínima natural do rio. Situação que exige a abertura de comportas do vertedouro ou estravasoras. Portanto, parar todas as unidades geradoras é uma ótima condição de avaliação dos equipamentos, mas as condicionantes acima devem ser observadas.

4.0 - PROPOSTAS DE ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMAS E CIRCUITOS PARA USINAS HIDRELÉTRICAS VISANDO A EXECUÇÃO DOS TESTES REAIS DE RECOMPOSIÇÃO

Este trabalho é uma realimentação para a fase de projetos de usinas hidrelétricas de forma a apontar as necessidades verificadas durante a fase de operação. Nesse contexto, conhecidos os requisitos atuais para aprovação e realização dos testes reais de recomposição e levantados alguns dos principais desafios transpostos

pelos agentes para realização destes, é possível propor melhorias às plantas de geração visando à sua execução.

Quanto aos problemas já citados, do ponto de vista de realização dos testes, não é interessante a concepção de projeto de unidades geradoras geminadas que implicam grande número de paradas para proporcionar as condições de contorno do teste. É recomendado também que seja observado o valor de rotação nominal das unidades geradoras bem como a porcentagem parametrizada para aplicação do sistema de frenagem. Unidades geradoras que demoram a aplicar o sistema de frenagem podem comprometer o tempo de realização do teste.

De forma similar ao que ocorre com circuitos consagrados como *partida e parada de UGs*, *conversão e reversão*, *exercício do GMG*, *alívio de cargas*, este trabalho propõe a elaboração de um circuito denominado **Black Start** que permita a realização automática dos testes reais de recomposição necessitando que o operador apenas parametrize algumas condições iniciais.

Este circuito pode ser projetado de forma a simular outras condições de teste, mais severas ou menos críticas. Através de lógica computacional é possível inserir a vazão do vertedouro (em caso de necessidade), o tipo de teste, as unidades geradoras participantes destes, dentre outros, consolidando o dinamismo da classificação de uma usina por parte do ONS.

Para que tal circuito possa ser implementado é necessário que as usinas estejam adaptadas às condicionantes dos testes. Para melhor visualização do circuito e os requisitos necessários, foi elaborado o diagrama de blocos apresentado na figura 4 sendo cada bloco discretizado a seguir.

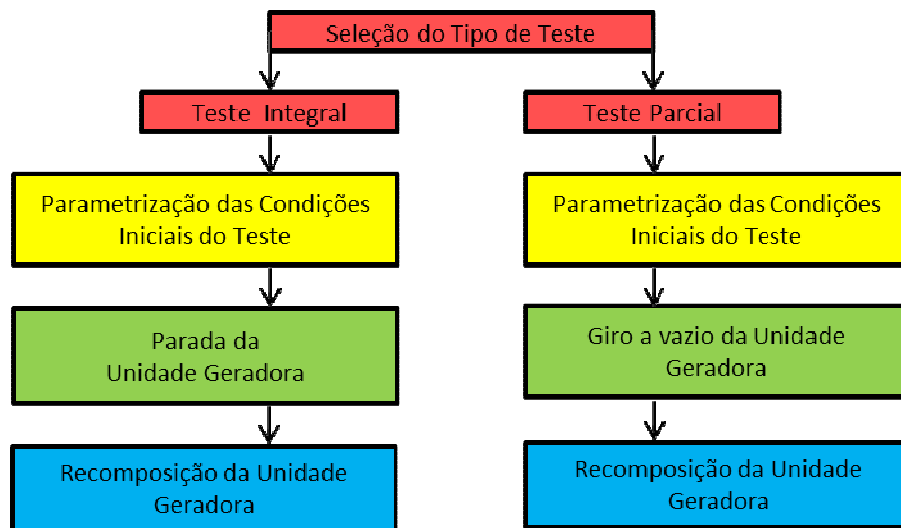


FIGURA 4 – Circuito *Black Start*

Bloco Seleção do Tipo de Teste

A classificação de uma usina quanto ao tipo de restabelecimento (integral ou parcial) é dinâmica. Esta classificação pode variar em função de sua localização geográfica, entrada em operação de novos equipamentos ou reprovação de usinas durante a realização dos testes. Dado este dinamismo, não basta projetar uma usina para executar apenas um tipo de teste, é interessante que os novos projetos contemplem a possibilidade de realização tanto dos testes parciais quanto dos testes integrais. Neste bloco o usuário seleciona o tipo de teste que será executado.

Bloco Parametrização das Condições Iniciais do Teste (Integral)

Os testes podem ser simultâneos ou individuais. É possível selecionar as unidades geradoras participantes. Se for um teste individual, participará apenas uma UG; se for um teste simultâneo, deverão ser selecionadas duas ou mais unidades geradoras conforme recomendação da rotina de recomposição. Além desse parâmetro, é necessário que as unidades geradoras estejam inicialmente interligadas ao SIN. Desta forma, caso a UG selecionada esteja desinterligada, o circuito proporcionará a interligação da UG ao SIN automaticamente.

Outro parâmetro a ser sinalizado é a vazão do vertedouro que, em usinas, cujo automatismo já existe, podem ser *setadas* para aberturas automáticas.

Bloco Parametrização das Condições Iniciais do Teste (Parcial)

De forma similar à linha do teste integral, neste bloco deve ser informado o tipo de teste (individual e simultâneo).

Adicionalmente as unidades geradoras que participarão dos testes serão selecionadas e interligadas ao SIN, caso já não estejam. Dado o dinamismo quanto ao tempo necessário de giro a vazio, deverá ser informado o tempo de giro a vazio.

Bloco Parada da Unidade Geradora (Integral)

Este passo contém todo o processo de parada de unidades geradoras que já é comum nas usinas hidrelétricas. Inicialmente ocorre a redução de geração da UG (para evitar que ocorra rejeição de carga) e que o operador tenha de executá-la de forma manual. Posteriormente o disjuntor de interligação é aberto desligando a UG do SIN. Nesse ponto tem início a contagem do tempo para conclusão do teste. A partir daí, ocorre a abertura do disjuntor de campo desligando a excitação do campo do gerador e, finalmente, a parada do regulador de velocidade e aplicação do sistema de frenagem. Tem sido crítico o tempo de frenagem das unidades geradoras que podem comprometer o tempo de realização do teste. Quanto mais alta a velocidade síncrona de uma UG, maior será seu tempo de frenagem. Além disso, as folgas nas palhetas do distribuidor, em função da continuidade de passagem da água, podem provocar maior dificuldade de frenagem. Concluindo o processo de parada, os auxiliares elétricos, tais como bombas de refrigeração e exaustores, são desligados.

Bloco Giro a Vazio da Unidade Geradora (Parcial)

Nesta linha do circuito, é comandada a redução da geração da UG e sua desinterligação (abertura do disjuntor) que é a condição inicial para o teste e contagem de tempo.

Bloco Recomposição da Unidade Geradora (Teste Integral)

Para recomposição da unidade geradora com vistas à realização dos testes é necessário que o disjuntor de excitação inicial do GMG esteja desligado para comprovar que a magnetização de seu campo foi proveniente do seu próprio banco de baterias. Atualmente, esses disjuntores são desligados manualmente e é requerido que sejam novamente religados após a conclusão do teste. É interessante que tais disjuntores sejam desligados e ligados automaticamente.

Outra questão é que todas as cargas essenciais para a partida da UG devem ser supridas pelo GMG. Comumente, por questões de otimização financeira, o GMG entra em operação suprimindo a carga de apenas uma UG. Verifica-se que pode ser necessário manter unidades geradoras em operação durante a realização do teste seja para a manutenção da vazão do rio ou para controle de tensão. O fato de o GMG ser capaz de suprir cargas apenas de uma UG requer que o operador execute manobras no serviço auxiliar de forma a suprir as cargas essenciais destas unidades geradoras em operação.

Uma solução adotada atualmente nas usinas hidrelétricas para a questão da capacidade de suprimento do GMG é desligar manualmente as cargas não essenciais da usina ou através do circuito de alívio de carga que comanda o desligamento destas cargas automaticamente. O restabelecimento destas (rearme dos disjuntores) na maioria das vezes é manual.

Como solução destas dificuldades, este trabalho propõe a criação de uma barra denominada **Black Start SA**. Na qual as cargas das unidades geradoras selecionadas para teste seriam supridas através desta barra pelo GMG. Adicionalmente é interessante que os circuito de alívio e normalização de cargas não essenciais seja restabelecido automaticamente.

Tendo as cargas sido supridas pelo GMG, os auxiliares elétricos podem entrar em operação e o processo de recomposição da UG prossegue com a desaplicação do sistema de frenagem, partida do regulador de tensão e excitação da UG. Nesse ponto o GMG já pode ser parado, porque ao estar excitada, a UG é capaz de suprir suas cargas essenciais.

O próximo passo é a ligação da UG numa barra desenergizada (barra morta). Esta é outra dificuldade a ser transposta, pois há diversas configurações adotadas. Observa-se que as configurações *barra principal e de transferência* com ou sem seccionamento não são as ideais (figuras 1 e 3). A configuração *disjuntor e meio* é interessante para realização dos testes de recomposição (como a mostrada na figura 2), entretanto é relevante que não haja outros equipamentos que possam comprometer a realização dos testes, tal como o ATR ligado diretamente à barra. Como solução, este trabalho propõe a barra denominada **Black Start**. Esta configuração é interessante porque proporciona uma barra exclusiva desenergizada para realização do teste evitando manobras indevidas, desligamento de cliente, dentre outras. Após a interligação há uma contagem de tempo de 60 segundos e finalmente a UG pode ser ligada à barra de operação normal.

Bloco Recomposição da Unidade Geradora (Teste Parcial)

Ao final da contagem de tempo, a UG é interligada à barra de operação normal e, conseqüentemente, ao SIN.

5.0 - CONCLUSÃO

Num país de dimensões continentais, envolvendo inúmeros agentes e diversas filosofias de projeto de unidades geradoras, não é possível determinar uma regra geral e inflexível para projetos que contemple a realização de testes de recomposição em usinas hidrelétricas. Cabe aos agentes verificar suas particularidades adaptando-se aos conceitos gerais e necessidades, para validação da plena disponibilidade das unidades geradoras durante uma perturbação, de forma a minimizar os transtornos advindos de alterações na rotina de recomposição e simulações das condições de contorno para realização dos testes. É extremamente importante que estas simulações ocorram, para que haja validação da disponibilidade das usinas.

Mais do que serem aprovadas nestes testes, estas usinas devem ter condições de simular uma perturbação conforme rotina operacional vigente. Na opinião dos autores, tais condições devem ser planejadas ainda na fase de projeto. Os ganhos podem ser mensurados por meio de diversos parâmetros, tais com o aumento da confiabilidade na execução do teste, a otimização de tempo de manobras e de pessoal, a redução de erros de manobras, a minimização de estudos para montagem de estratégias para execução, dentre outros.

Destaca-se o caráter inovador do trabalho que evidencia a necessidade da inclusão, já na etapa de projeto das usinas, de análises relativas às questões envolvidas nos testes reais de recomposição. Baseada em experiência prática na realização deste tipo de teste, na operação em tempo real, as diretrizes propostas trazem significativa contribuição para que o processo de restabelecimento do sistema elétrico se dê de forma mais eficiente, trazendo benefícios para todo o setor, incluindo agentes e consumidores.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ONS RO-RR.BR.01 – Rotina Operacional para Testes Reais de Recomposição nas Usinas de Autorrestabelecimento, revisão 18.
- (2) ONS Relatório de Análise de Perturbação, ONS-RE-3-252/2009 de dezembro, 2009.
- (3) VERBONEN, I., Martins, A. M., Nogueira, F. L. A., Schwarc, T. F., "Gestão dos Testes de Black-Start Realizados no SIN", EDAO – Encontro para Debate para Assuntos de Operação, Brasília, Brasil, 26 a 29 de Novembro, 2012.
- (4) ANEEL, Condições gerais para estudo de viabilidade de usinas segundo a ANEEL:
http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1547
- (5) ELETROBRAS, Condições gerais para estudo de viabilidade de usinas segundo a Eletrobras:
<http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>
- (6) ROCHA, G. C., "Estudo sobre Serviços Auxiliares Elétricos de Usinas Hidrelétricas", Monografia do Curso de Especialização em Sistema Elétrico de Potência, Orientadora: Vale, M., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- (7) SOUZA, J.A., "Testes Reais de Recomposição em Usinas Hidrelétricas", Monografia do Curso de Especialização em Sistema Elétrico de Potência, Orientadora: Vale, M., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- (8) PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, 2010
- (9) VALE, Maria Helena Murta, 1986 – Dissertação de Mestrado Centros Modernos de Supervisão e Controle de Sistemas de Energia Elétrica.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Jenaína Aparecida de Souza é graduada em Engenharia Elétrica pela Faculdade Politécnica de Uberlândia, Especialista em Sistemas Elétricos de Potência pela UFMG e Mestranda em Engenharia Elétrica pela UFMG. Atuou na operação das UHEs Emborcação e Capim Branco I e atualmente atua no setor de programação de intervenções do Centro de Operação do Sistema da CEMIG GT. Possui artigos publicados nos seminários XV ERIAC, 6º SENOP, XII SEPOPE.

Maria Helena Vale Murta é professora Associada do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) atua no LRC (*Lightning Research Center*) na área de Sistemas Elétricos de Potência. Seu campo de atuação abrange as áreas de Expansão e Operação de Sistemas Elétricos, incluindo trabalhos de natureza acadêmica e aplicada junto a empresas de energia elétrica.