



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

CB/GOP/06

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO IX**

**GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

**SINCRONIZAÇÃO AUTOMÁTICA APLICADA A FECHAMENTO DE PARALELO ENTRE ILHAS E  
FECHAMENTO DE ANEL NO SIN**

**Rafael Montes Fontoura\***  
**CEMIG GT**

**Marcos Baeta Miranda**  
**CEMIG GT**

**Agenor Pires de M. Junior**  
**CEMIG GT**

**Anderson Adriano Dias**  
**CEMIG GT**

**Moisés de Melo Duarte**  
**CEMIG GT**

**Daniel de Sousa Ramos**  
**CEMIG GT**

**Ricardo de Magalhães Araújo**  
**CEMIG GT**

**Victor Ferreira Zwetkoff**  
**CEMIG GT**

**Paulo Rubens B. de Carvalho**  
**CEMIG GT**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta um sistema de controle implementado na subestação Três Marias que possibilita realizar sincronização automática e fechamento de paralelo entre as unidades geradoras da UHE Três Marias e o SIN, fechamento de paralelo entre a Ilha Três Marias e a Ilha Emborcação (áreas da fase fluente do processo de recomposição) e fechamento de anel elétrico quando do restabelecimento de um transformador 345/300 kV nesta mesma subestação. O sistema de sincronização realiza ajustes das grandezas elétricas de geração com controle coordenado de várias unidades geradoras para atendimento das condições necessárias de fechamento do disjuntor.

**PALAVRAS-CHAVE**

Fechamento de paralelo, fechamento de anel, grandezas elétricas de geração, sincronização automática.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O fechamento de paralelo e o fechamento de anel elétrico no sistema de transmissão requer atendimento de condições específicas, conforme definido nos Procedimentos de Rede [1].

Utilizando um sincronizador digital, foi desenvolvido um sistema que controla simultaneamente várias unidades geradoras atuando nos seus respectivos reguladores de tensão e velocidade em diferentes condições de operação de forma automática.

O sistema de sincronização, que envolve dispositivo sincronizador, comandos, e lógica de controle desenvolvida, foi instalado na subestação e usina hidrelétrica Três Marias, situada na região central de Minas Gerais. A necessidade de desenvolvimento deste recurso nesta subestação surgiu em função das diversas aplicações identificadas para um mesmo ponto elétrico de fechamento, sendo: 1-Fechamento de paralelo entre máquinas e sistema; 2- Fechamento de paralelo entre a área Três Marias e a área Emborcação durante recomposição e; 3- Fechamento de anel quando do restabelecimento de um transformador 345/300 kV. Estas três condições operativas são detalhadas neste trabalho, assim como os detalhes da filosofia do projeto desenvolvido pela Cemig Geração e Transmissão, comissionamento e procedimentos (normatizados pelo ONS) associados ao sistema de sincronização.

(\*) Avenida Barbacena 1200 – 14º andar - Ala A1 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-4638 – Fax: (+55 31) 3506-4639 – Email: rafael.fontoura@cemig.com.br

## 2.0 - SUBESTAÇÃO E USINA HIDRELÉTRICA TRÊS MARIAS

A subestação (SE) e usina (UHE) Três Marias estão localizadas geograficamente na região central do estado de Minas Gerais, porém sendo sua maior influência eletroenergética para o Norte do estado.

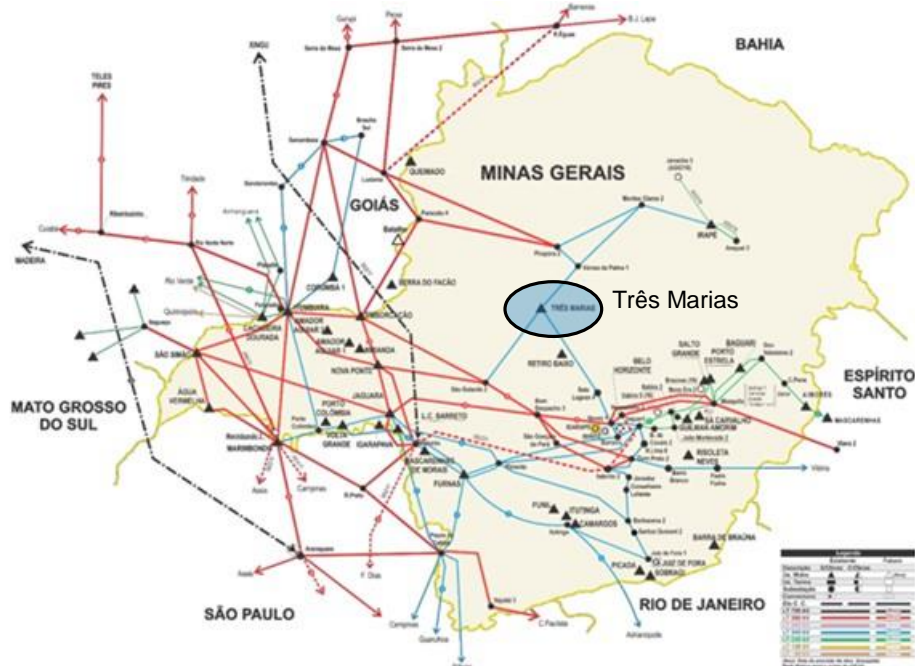


FIGURA 1 – Três Marias no mapa eletrogeográfico do estado de Minas Gerais (fonte: [2]).

A SE Três Marias possui interligações através da Rede Básica com as subestações Várzea da Palma 1, São Gotardo 2 e Sete Lagoas 4, em 345 kV. A SE também possui uma transformação 300/138 kV (T11, T12 e T13) e interligações através de Linhas de Transmissão de 138 kV.

A UHE Três Marias, (inaugurada em 1962), possui 6 unidades geradoras com 66 MW de potência cada, e está conectada ao barramento de 300 kV da SE. A conexão principal da UHE Três Marias com o SIN se dá através dos transformadores T10 e T15 345/300 kV da SE Três Marias, conforme ilustrado na Figura 2.

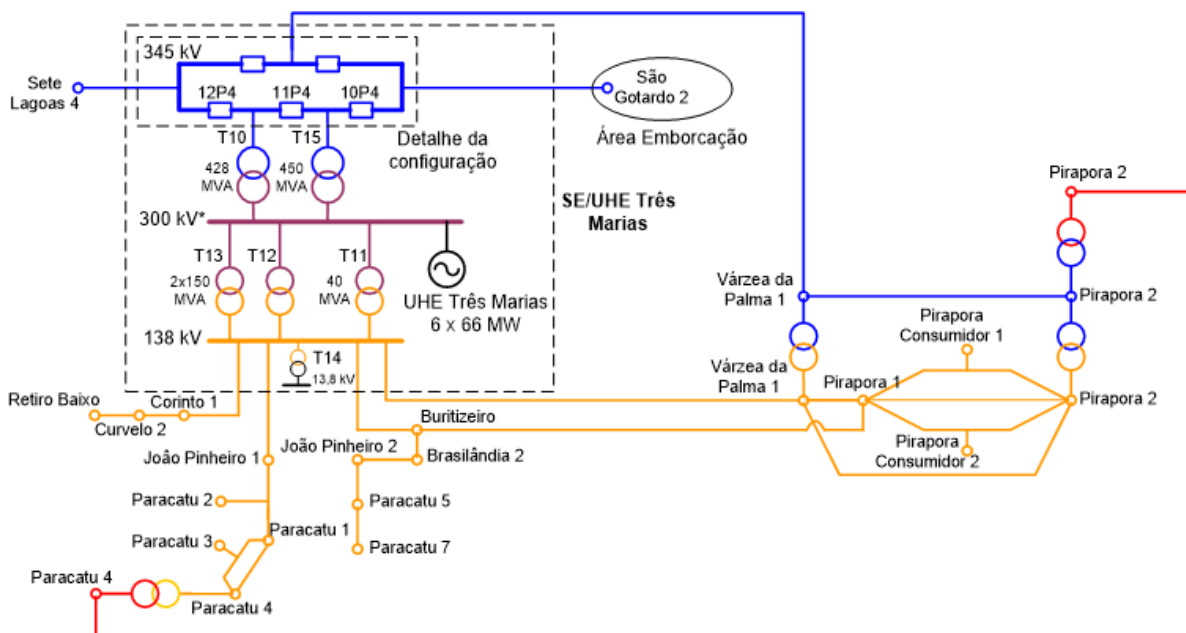


FIGURA 2 – Características de configuração e interligações da SE/UHE Três Marias.

\* Tensão da barra considerada como sendo 300 kV para fins de simplificação (tensão nominal real = 289 kV).

### 3.0 - CONDIÇÕES OPERATIVAS DE SINCRONIZAÇÃO AUTOMÁTICA

Foram identificadas 3 condições de operação de fechamento em um mesmo ponto elétrico da subestação, que levou ao desenvolvimento e instalação do sistema de sincronização. Estas condições são descritas a seguir.

#### 3.1 Fechamento de paralelo entre máquinas e sistema na SE Três Marias

Da Figura 2 pode-se notar que, em uma perturbação momentânea, a perda da barra de 300 kV da SE Três Marias acarreta a desinterligação das unidades geradoras da UHE Três Marias, assim como a desinterligação do setor de 138 kV ao setor de 345 kV da SE. Nesta condição, pode ser desejado interligar as unidades geradoras ao barramento de 300 kV e em seguida restabelecer um dos transformadores T10 ou T15 estabelecendo sincronismo com o sistema através de um dos disjuntores 10P4, 11P4 ou 12P4, sendo para isto necessário a utilização de um sistema que realize a sincronização conjunta das unidades geradoras (os transformadores 300/138 kV são restabelecidos posteriormente neste caso).

As condições elétricas para fechamento de paralelo geralmente são bastante restritivas, a fim de limitar esforços elétricos e mecânicos no gerador. Os procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema (ONS) indicam como referência o valor máximo de defasagem angular ( $\Delta\phi_{MAX}$ ) de 10 graus, máxima diferença de frequência ( $\Delta f_{MAX}$ ) igual a 0,2Hz, e máxima diferença de tensão ( $\Delta V_{MAX}$ ) igual a 10% da tensão nominal de operação. No caso específico da UHE Três Marias, a máxima diferença de tensão recomendada pela área de Engenharia Eletromecânica da Cemig foi de 5% da tensão nominal, observando critérios de suportabilidade dos geradores desta usina. Os limites adotados para fechamento de paralelo neste caso são:

$$\Delta\phi_{MAX} = 10^\circ, \Delta f_{MAX} = 0,2\text{Hz e } \Delta V_{MAX} = 5\% \quad (i)$$

O sistema de sincronização instalado atua nas unidades geradoras por meio dos reguladores de velocidade e tensão. Essa atuação é realizada enviando pulsos de largura modulada (PWM) de aumentar/diminuir tensão e frequência para os reguladores.

O modo de operação assíncrono do sincronizador utilizado (Siemens® 7VE632) opera caso a diferença entre frequências das máquinas e do sistema seja superior a 0,04 Hz. Neste modo ele calcula o momento em que a diferença de tensões é nula, a partir da curva envoltória indicada na Figura 3 e emite o comando de fechamento do disjuntor, considerando o seu tempo de fechamento para que este ocorra efetivamente no momento de diferença de tensão nula. Caso a diferença seja inferior a 0,04 Hz, o sincronizador opera no chamado modo síncrono, onde ele verifica os limites de ângulo e diferença de tensão para emitir o comando de fechamento do disjuntor. Quando uma diferença pequena ou nula de frequência é verificada o sincronizador emite pequenos pulsos ao regulador de velocidade a fim de alterar o ângulo entre as tensões para o valor admitido.

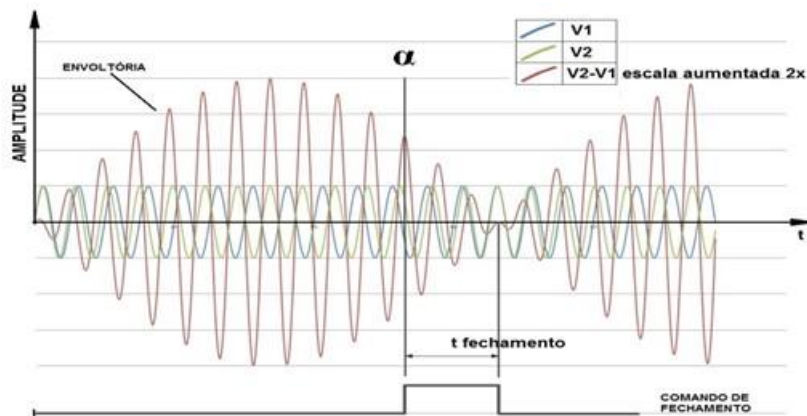


FIGURA 3 – Envoltória formada pela diferença entre as tensões com frequências distintas e fechamento do disjuntor no modo assíncrono.

O atendimento das condições de sincronismo de forma manual nesta condição operativa exigia grande precisão do operador da estação, de forma que somente operadores mais experientes conseguiram executar a manobra. A implementação do sistema de sincronização automática agregou flexibilidade e confiabilidade à operação.

#### 3.2 Fechamento de paralelo entre a área Três Marias e a área Emborcação na SE Três Marias

Além de sua importância histórica para operação do sistema, a UHE Três Marias é destacada pela participação na recomposição do SIN após um evento de perturbação total, sendo responsável por recompor grande parte da Região

Norte de Minas (área Três Marias) na fase fluente do processo de recomposição. A figura abaixo apresenta a ilha Três Marias no processo de recomposição.

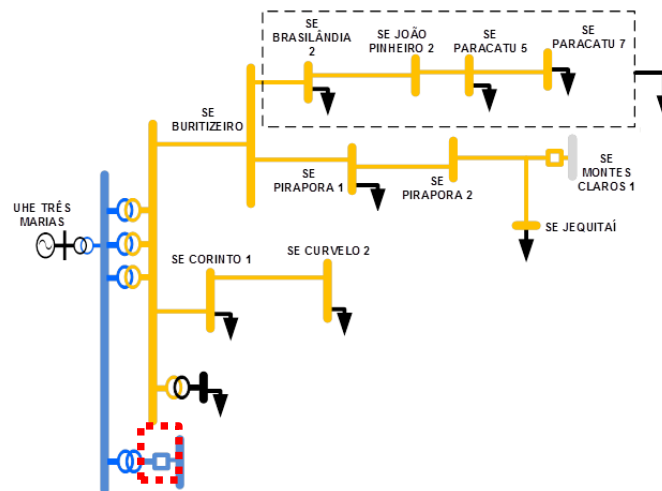


FIGURA 4 – Área Três Marias na fase fluente de recomposição (fonte: [3]).

Na Figura 4 o disjuntor em destaque representa o ponto de fechamento da área Três Marias com a área Emborcação, sendo necessário o atendimento das condições de sincronismo para o seu fechamento. Na Figura 2, este ponto de fechamento é precisamente os disjuntores 10P4 ou 11P4 da SE Três Marias.

Dois aspectos importantes podem ser destacados, que favoreceram a aplicação do sistema de sincronização automática a esta condição operativa:

- O fechamento do paralelo com a área Emborcação é realizado na SE Três Marias, que foi dotada de um canal de controle direto com a UHE;
- A ilha Três Marias tem como fonte de geração apenas a usina Três Marias, que realiza o controle da tensão e frequência de toda a área.

Ao final da fase fluente de recomposição, a potência ativa gerada pela UHE Três Marias é de cerca de 117 MW (requisito da área + perdas), e a tensão na barra de geração é de 13,5 kV (97,8%). Ajustes de tensão e frequência da área Três Marias podem ser necessários para atendimento das condições de fechamento do paralelo com a área Emborcação.

Para análise do comportamento da UHE Três Marias operando nesta condição ilhada foram realizadas simulações com o programa Anatem. A Figura 5 mostra a variação de potência ativa gerada em resposta à elevação em degrau da frequência de referência da UHE (e consequentemente da área) Três Marias em 1 Hz (1,67%).

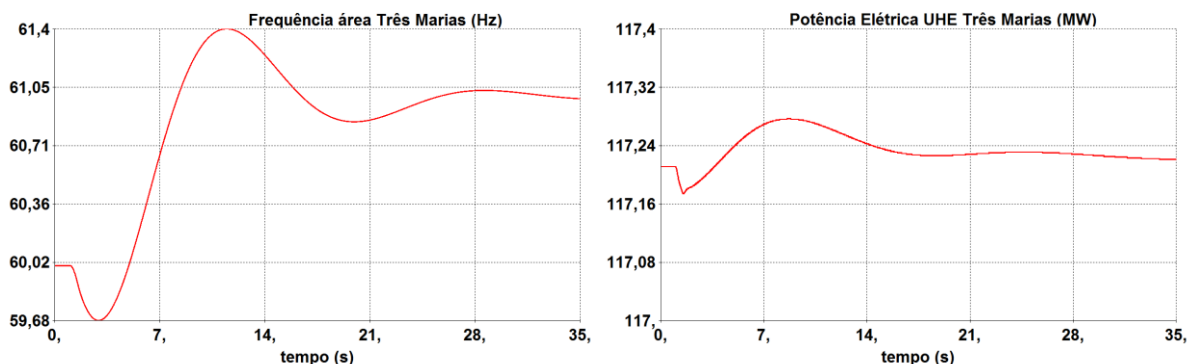


FIGURA 5 – Potência ativa gerada em resposta à elevação em degrau de 1Hz na frequência.

A Figura 6 mostra a variação de potência reativa gerada em resposta à elevação em degrau da tensão de referência da UHE (e consequentemente da área) Três Marias em 5%. A tensão apresentada refere-se ao lado de 345 kV do transformador T15 (ou T10), que é o ponto de fechamento do paralelo.

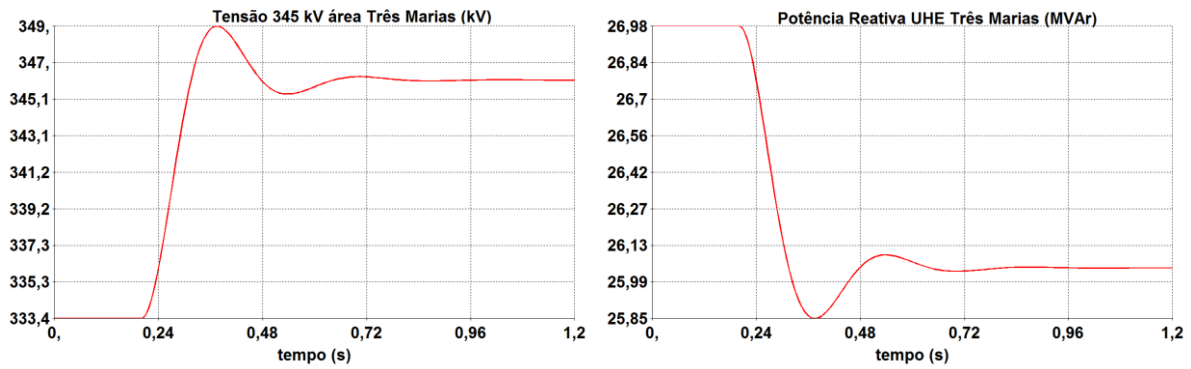


FIGURA 6 – Potência reativa gerada em resposta à elevação em degrau de 5% na tensão.

As Figuras 5 e 6 permitem afirmar que ajustes  $\Delta f$  e  $\Delta V$  no ponto de fechamento podem ser realizados sem utilização de capacidade adicional significativa das unidades geradoras nesta condição ilhada. A variação de potência neste caso ocorre somente para atendimento a variações da carga com a frequência e perdas. Isto possibilita que o sistema de sincronização realize os ajustes necessários aproximando as grandezas elétricas entre as duas áreas atendendo as condições de fechamento (i) de maneira aproximada à condição descrita no item 3.1.

Realizar o atendimento das condições de sincronismo de forma manual através de contato do operador da subestação com o operador da usina hidrelétrica poderia demandar um tempo precioso na recomposição.

### 3.3 Fechamento de anel elétrico no restabelecimento de um transformador 345/300 kV da SE Três Marias

Da Figura 2, em caso de desarme dos transformadores T10 e T15 345/300 kV, ou em caso de perda da barra de 300 kV onde estes transformadores sejam os últimos elementos a serem restabelecidos, o restabelecimento do primeiro transformador 345/300 kV configura um fechamento em anel, onde a UHE Três Marias se encontra conectada ao sistema através do setor de 138 kV da subestação.

Mudanças abruptas na potência elétrica de geradores próximos (eletricamente) do fechamento induz torques transitórios que, se excessivos, podem causar falha de unidades geradoras ou perda de vida útil devido ao efeito cumulativo de esforços no rotor [4].

O ONS, através das diretrizes e critérios para fechamento de anel [1], estabelece que para se fechar um anel na rede de transmissão, deve ser verificado se a variação instantânea da potência elétrica das máquinas ( $\Delta p$ ) é inferior a 50% da potência elétrica nominal ( $P_n$ ). A expressão a seguir mostra esta relação:

$$\Delta p = |P_{e^{t0^-}} - P_{e^{t0^+}}| \leq 0,5 P_n \quad (\text{ii})$$

No restabelecimento do primeiro transformador 345/300 kV da SE Três Marias, a variação da potência elétrica das unidades geradoras da UHE Três Marias pode violar o critério (ii), dependendo da diferença angular nos pólos do disjuntor que efetuará o fechamento (10P4, 11P4 ou 12P4).

A partir de um caso de referência para estudos elétricos de fluxo de potência do ONS contendo a topologia do sistema foram realizadas simulações de regime permanente criando-se cenários com diferentes patamares de geração ( $t_0$ ) da UHE Três Marias na configuração mencionada. Para cada cenário de geração, simulações de transitórios eletromecânicos foram realizadas obtendo-se as grandezas em  $t_0+$ , conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Grandezas elétricas nos instantes  $t_0-$  e  $t_0+$  do fechamento em anel do primeiro transformador.

$P_{e^{t_0^-}}$ (MW)	Nº UGs	Diferença Angular (graus)	$P_{e^{t_0^+}}$ (MW)	$\Delta p$ (MW)	$\Delta p$ (%)
60	1	4,2	77,7	17,7	26,0
80	2	6,1	122,6	42,6	31,3
100	2	8,1	155,3	55,3	40,7
120	2	10,0	186,9	66,9	49,2
140	3	11,8	249	109	53,4
160	3	13,8	285	125	61,3
220	4	19,7	435	215	79,0
340	6	31,1	766	426	104,4

Pode-se observar da Tabela 1 que a variação de potência elétrica das unidades geradoras da UHE Três Marias ( $\Delta p$ ) viola o limite (ii) a partir de uma defasagem angular superior a  $10^\circ$  nos pólos do disjuntor. Adotou-se, portanto, como limites para fechamento do primeiro transformador 345/300 kV em anel, as mesmas condições descritas em (i), ou seja,  $\Delta\phi_{MAX} = 10^\circ$ ,  $\Delta f_{MAX} = 0,2\text{Hz}$  e  $\Delta V_{MAX} = 5\%$ .



Nesta configuração, caso a diferença angular medida seja superior ao limite especificado, o ajuste da diferença angular pelo sistema de sincronização implicará necessariamente em alteração da potência ativa gerada pela UHE Três Marias. É importante mencionar que a geração de 120 MW não garante uma diferença angular de 10° para todos os pontos de operação, retratando apenas um ponto de operação específico.

Como o sistema de sincronização poderá realizar alterações no despacho de geração da UHE, é importante para os centros de operação conhecer previamente qual será o novo despacho após o acionamento do sistema de sincronização. Foi definido um método de cálculo desta estimativa, apresentado a seguir.

Embora não haja um valor de referência da geração para atendimento ao limite de diferença angular, a relação entre estas grandezas possui característica linear, ou seja, o fator de influência pode ser considerado constante, sendo aproximadamente igual a 10 MW/1°. De fato, este fator está intimamente ligado a topologia do sistema e não ao ponto de operação. A Figura 7 ilustra esta característica linear, construída a partir dos dados da Tabela 1.

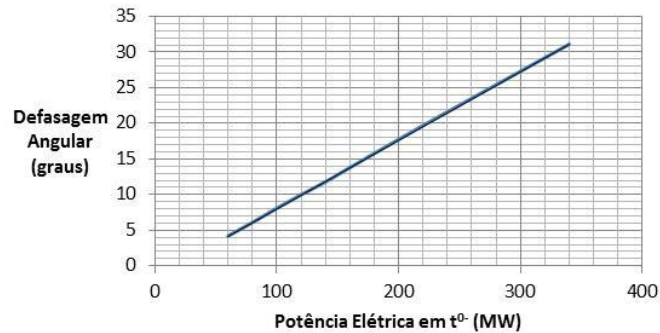


FIGURA 7 – Diferença angular x potência elétrica gerada pela UHE Três Marias.

Sabendo-se que o fluxo de potência ativa em uma linha de transmissão ou transformador pode ser expresso por:

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j}{X_{ij}} \text{sen } \delta_{ij}$$

Considerou-se a seguinte aproximação:

$$P_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{X_{ij}}$$

A diferença angular é calculada adotando-se um caminho fechado no sistema até o ponto de fechamento do anel (referência Figura 2). Utilizando os valores das reatâncias em pu temos a seguinte expressão em função de  $P$ .

$$\delta_{p\acute{o}lo}(\text{rad}) = 0,0291 P(LT\_345\_TM\_VZP) + 0,047 P(TR5\_VZP) + 0,2351 P(LT\_138\_VZP\_TM) + 0,077 P(TR13\_TM)$$

Considerando potência ativa em MW, sendo a base 100 MVA e diferença angular em graus temos:

$$\delta_{p\acute{o}lo}(\text{°}) = \frac{1,8}{\pi} [0,0291 P(LT\_345\_TM\_VZP) + 0,047 P(TR5\_VZP) + 0,2351 P(LT\_138\_VZP\_TM) + 0,077 P(TR13\_TM)]$$

Onde:

$\delta_{p\acute{o}lo}$ : Diferença angular nos pólos do disjuntor que efetuará o fechamento em anel, em graus.

$P(LT\_345\_TM\_VZP)$ : Fluxo de potência ativa na LT 345 kV Três Marias – Várzea da Palma 1 em MW.

$P(TR5\_VZP)$ : Fluxo de potência ativa no transformador T5 345/138 kV da SE Várzea da Palma 1 em MW.

$P(LT\_138\_VZP\_TM)$ : Fluxo de potência ativa na LT 138 kV Várzea da Palma 1 – Três Marias em MW.

$P(TR13\_TM)$ : Fluxo de potência ativa no transformador T13 138/300 kV da SE Três Marias em MW.

Se a defasagem angular calculada for maior que 10°, ou seja, se  $|\delta_{p\acute{o}lo}| > 10^\circ$  é previsto que ocorra ajuste de geração associado ao acionamento do sincronizador. A variação de geração estimada (em módulo) será a diferença angular excedente multiplicada pelo fator de influência (10 MW/1°).

$$\Delta PG \text{ estimado (MW)} = 10 [|\delta_{p\acute{o}lo}| - 10]$$

Para  $\delta_{p\acute{o}lo}$  com sinal positivo, é esperado que ocorra aumento de geração da UHE Três Marias em valor aproximado  $\Delta PG$ .

Para  $\delta_{p\acute{o}lo}$  com sinal negativo, é esperado que ocorra redução de geração da UHE Três Marias em valor aproximado  $\Delta PG$ .

Vale observar que nesta condição operativa de utilização do sistema de sincronização para fechamento em anel, não há diferença de frequência entre as grandezas comparadas, e portanto o sincronizador opera no modo síncrono. Os procedimentos associados ao uso do sistema de sincronização incluindo o método de estimação da potência elétrica gerada foram normatizados junto ao ONS [6].

#### 4.0 - O SISTEMA DE SINCRONIZAÇÃO AUTOMÁTICO

O sistema de sincronização atua nas unidades geradoras enviando pulsos de aumentar/diminuir sinal de referência para os reguladores de tensão e velocidade. A largura dos pulsos depende da diferença entre as grandezas comparadas e das unidades geradoras, ou seja, quanto maior for a diferença maior será a largura do pulso e modulando o mesmo quando a diferença diminuir. O sincronizador calcula essa diferença e envia o pulso de acordo com a taxa que os reguladores respondem. Em determinado instante, por exemplo, a frequência pode variar a uma taxa de 0,3 Hz/seg e a tensão a uma taxa de 200 V/seg. O intervalo entre os pulsos depende da resposta dinâmica do conjunto gerador/turbina. Para o controle da frequência/potência a resposta dinâmica da turbina é mais lenta, por isso foi ajustado um intervalo maior entre os pulsos, de 10 segundos. Para o controle de tensão a resposta dinâmica do gerador é mais rápida, por isso foi ajustado um intervalo menor entre os pulsos, de 2 segundos.

##### 4.1 Testes em Laboratório

Os testes realizados no relé 7VE632 da Siemens foram realizados em um simulador digital em tempo real conhecido como RTDS (Real Time Digital Simulator), no qual foram simuladas diversas condições com diferença de frequência, ângulo e tensão. Assim, os testes levaram em consideração também as condições das unidades geradoras com seus respectivos fasores adiantados ou atrasados em relação à barra de referência. Tais testes permitiram que fosse implementada lógica de controle específica para que o relé identificasse todas as condições necessárias ao sincronismo.

##### 4.2 Testes em Campo

Os ensaios de campo foram realizados em duas condições, a primeira com as unidades geradoras interligadas à barra de 300 kV isoladas da malha de 138 kV, ou seja, paralelo com o SIN através dos disjuntores de 345 kV (modo assíncrono). A segunda condição com as unidades geradoras interligadas à barra de 300 kV e por sua vez alimentando a malha de 138 kV interligada ao SIN por outras conexões, ou seja, sincronismo síncrono com o sistema (anel).

Nos testes, as unidades geradoras receberam comandos simultâneos do sistema de sincronização para os respectivos reguladores de tensão e velocidade. As condições tanto de tensão quanto de potência pré-testes foram variadas a fim de verificar a atuação do sistema de sincronização em diversos pontos de operação. A Tabela 2 apresenta de forma sucinta os principais testes executados e a resposta satisfatória do sistema de sincronização automática efetuando o fechamento do disjuntor de 345 kV conforme condições especificadas.

Tabela 2 – Testes em campo.

Teste	Tipo	Comando	Condições pré-testes dos Geradores			Resposta do Sincronizador	
			Tensão	Frequência (Condição paralelo)	Potência (Condição anel)	Condição paralelo	Condição anel
1	Falso Sincronismo	Local	Abaixo da referência	-	-	+ Tensão	+ Tensão
2			Acima da referência	-	-	- Tensão	- Tensão
3			-	Abaixo da referência	Reduzida	+ Frequência	+ Potência
4			-	Acima da referência	Elevada	- Frequência	- Potência
5			Abaixo da referência	Abaixo da referência	Reduzida	+ Tensão	+ Tensão
6			Acima da referência	Acima da referência	Elevada	- Tensão	- Tensão
7			Acima da referência	Abaixo da referência	Reduzida	- Tensão	- Tensão
8	Real	IHM da SE	Abaixo da referência	Acima da referência	Elevada	+ Tensão	+ Tensão
9		IHM Usina					
10		COS					

A Figura 8 abaixo apresenta detalhes do teste 4 na condição anel, realizado em maio/2016. A geração da UHE Três Marias foi elevada previamente de forma proposital para um valor da ordem de 200 MW. O sistema de sincronização foi acionado às 09h41min e promoveu de forma automática alteração da geração da UHE Três Marias para atendimento das condições de sincronismo. Quando a geração atingiu cerca de 112 MW o sistema comandou o fechamento do disjuntor, que pode ser evidenciado na figura através do fluxo de potência no transformador T10 345/300 kV.

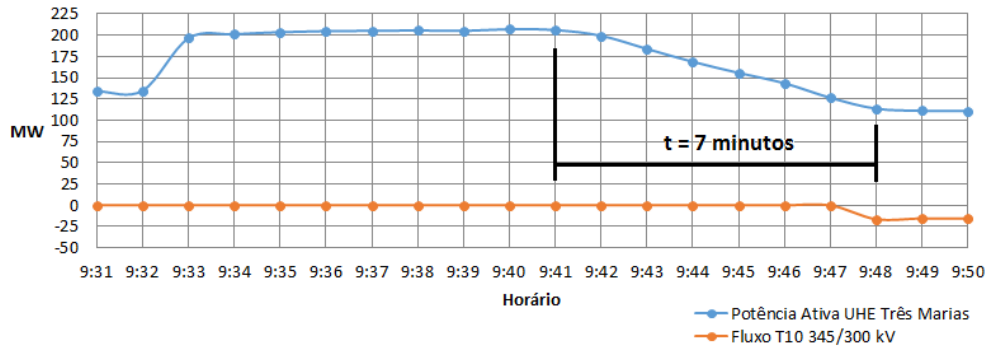


FIGURA 8 – Curva de potência elétrica de geração ajustada pelo sistema de sincronização automática.

No teste apresentado na Figura 8, o tempo gasto pela atuação do sistema de sincronização foi de aproximadamente 7 minutos, sendo que em todos os testes os tempos verificados foram inferiores a 10 minutos.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou as características e condições operativas definidas para utilização do sistema de sincronização automática da SE Três Marias. Este sistema encontra-se atualmente em serviço e à disposição dos centros de operação.

O sistema de sincronização agregou flexibilidade e confiabilidade à operação, permitindo que as manobras de fechamento de paralelo/anel apresentadas, com condições elétricas de fechamento mais restritivas, possam ser executadas de forma automática na SE Três Marias.

Embora seja comum o uso de relés para realização de sincronismo automático entre uma unidade geradora e sistema, os autores deste trabalho não identificaram na literatura sistema que realizasse fechamento de paralelo entre várias unidades geradoras (simultâneo) e o SIN, sendo este considerado um fator de ineditismo do trabalho.

No fechamento de paralelo entre as áreas de restabelecimento Três Marias e Emborcação o sistema de sincronização evita a necessidade de contato do operador da subestação com o operador da usina hidrelétrica para atendimento às condições de sincronismo, o que demandaria um tempo precioso na recomposição.

A utilização de um sistema de sincronização automática para fechamento de paralelo entre áreas no processo de recomposição e fechamento de anel elétrico também não foi identificado na literatura, reforçando o caráter inovador deste trabalho. O sistema desenvolvido atua nestas condições operativas, ajustando as grandezas de geração da UHE Três Marias para atendimento às condições de sincronismo.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, Submódulo 23.3 - Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos.
- [2] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, Plano da Operação Elétrica 2017/2018 - PEL 2016 – Volume III.
- [3] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, Módulo 10 - Instrução de Operação ONS – Recomposição da área Três Marias, IO-RR.SE.TRM - revisão 20.
- [4] MARTINS, Nelson; OLIVEIRA, Edimar José de; MOREIRA, Weberson Carvalho; PEREIRA, José Luiz Rezende; FONTOURA, Rafael Montes. Redispatch to Reduce Rotor Shaft Impacts Upon Transmission Loop Closure. IEEE Transactions on Power Systems , v. 23, p. 592-600, 2008.
- [5] FONTOURA, Rafael Montes; OLIVEIRA, Edimar José de; MARTINS, Nelson; PEREIRA, José Luiz Rezende. Fluxo de Potência Ótimo com Restrições de Impactos Durante o Fechamento de Anel. In: X Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, 2006, Florianópolis - SC. X SEPOPE, 2006. v. 1. p. 1-8.
- [6] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, Módulo 10 – Mensagem Operativa 099-S-2017 “Sincronizador Automático da UHE Três Marias”, altera IO-PM.SE.5MG, IO-RR.SE.EMB e IO-RR.SE.



## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Montes Fontoura É Natural De Muriaé - Mg, Nascido Em 1979, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Universidade Federal De Juiz De Fora Em 2003 Tendo Concluído O Mestrado Em Engenharia Elétrica Pela Mesma Instituição Em 2006. Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão Sa Desde 2006, Atuando Na Área De Planejamento Elétrico. Atuou Ou Tem Experiência Nas Áreas De Geração E Planejamento Elétrico Da Transmissão.

Marcos Baeta Miranda, Natural De Juiz De Fora - Mg, Nascido Em 1962, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Universidade Federal De Juiz De Fora Em 1987 Com Pós-Graduação Em Sep Pela Ufmg. Com Experiência Profissional No Setor De Transporte Ferroviário, Automobilístico E Naval, Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão Sa Desde 2002, Atuando Na Área De Planejamento Elétrico Em Estudos De Sistemas De Proteção. Atua Também Como Professor Da Área De Engenharia Elétrica Nas Matérias Sep1 E Sep2.

Agenor Pires De Moraes Júnior, Natural De Conceição Das Alagoas - Mg, Nascido Em 1970, Graduado Em Engenharia Civil Pela Universidade De Uberaba De Minas Gerais Em 2007 Tendo Concluído A Especialização Em Sistemas Elétricos De Potência Pela Universidade Federal De Minas Gerais Em 2012. Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão Sa Desde 1988, Atuando Na Área De Projetos Elétricos De Proteção E Controle.

Anderson Adriano Dias É Natural De Belo Horizonte, Mg. Nascido Em Abril De 1976, Concluiu O Curso De Graduação Em Engenharia Elétrica Pelo Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais - Cefet-Mg Em 2004. Trabalhou Na Empresa Cooper Bussman Do Brasil Ltda Atuando Como Engenheiro De Vendas Até Junho De 2006. Trabalha Na Empresa Cemig Geração E Transmissão – Cemig Gt Há 11 Anos Tendo Atuado Na Área De Planejamento Da Transmissão Do Sistema Interligado Nacional - Sin E Atualmente Trabalha Na Área De Engenharia De Proteção. E-Mail: Anderson.Dias@Cemig.Com.Br.

Moisés De Melo Duarte, Natural De Belo Horizonte - Mg, Nascido Em 1979, Graduado Em Engenharia Industrial Elétrica Pelo Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais Em 2005. Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão S.A. Desde 2006, Atuando Na Área De Projetos Elétricos De Proteção E Controle.

Ricardo De Magalhães Araújo, Natural De Nova Lima - Mg, Nascido Em 1985, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais Em 2010 Tendo Concluído A Especialização Em Sistemas Elétricos De Potência Pela Universidade Federal De Minas Gerais Em 2016. Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão Sa Desde 2013, Atuando Na Área De Projetos Elétricos De Geração.

Victor Ferreira Zwetkoff, Natural De Belo Horizonte - Mg, Nascido Em 1985, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Universidade Federal De Minas Gerais Em 2010, Pós-Graduado Em Sistemas Elétricos De Potência Pela Universidade Federal De Itajubá Em 2013. Trabalhou Como Engenheiro De Planejamento Na Área De Expansão Da Geração Em Furnas Centrais Elétricas De 2010 A 2013. Trabalha Desde Então Na Cemig Geração E Transmissão, Atuando Na Área De Planejamento Elétrico Da Operação.

Paulo Rubens Benedetto De Carvalho, Natural De Belo Horizonte - Mg, Nascido Em 1985, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais Em 2011 Tendo Concluído A Especialização Em Sistemas Elétricos De Potência Pela Universidade Federal De Minas Gerais Em 2016. Trabalha Na Cemig Geração E Transmissão Sa Desde 2013, Atuando Na Área De Projetos Elétricos De Proteção E Controle.

Daniel De Sousa Ramos, Natural De Bicas – Mg, Nascido Em 1980, Graduado Em Engenharia Elétrica Pela Faculdade Pitágoras; Eletrotécnico Pelo Ctu Da Ufjf; Analista De Sistemas Pela Unipac; Especialista Em Sistemas Elétricos De Potência Pela Ufmg; Trabalhou Por 4 Anos Na Antiga Companhia Força E Luz Cataguazes-Leopoldina, Hoje Energisa Minas Gerais, Como Técnico Do Centro De Operação Da Distribuição. Trabalha Há 15 Anos Na Cemig Geração E Transmissão, Sendo 5 Anos Como Técnico De Operação De Subestações, 9 Anos Como Técnico De Operação De Sistemas E Atualmente Como Engenheiro Do Centro De Operação Do Sistema, Tem Experiências Nas Áreas De Normatização, Tempo Real E Pós-Operação.