



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

GOP 02
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GOP

RESTABELECIMENTO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA – ESTRATÉGIA ADOTADA PELA CEMIG NA ÁREA 500/345kV MINAS GERAIS

Guilherme Manganelli Lopes *

Maria Helena Murta Vale

CEMIG/UFMG

LRC / UFMG

RESUMO

O restabelecimento do sistema após blecaute é uma das tarefas mais complexas na operação de sistemas elétricos de potência. Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o operador neste processo.

Este artigo mostra a atual estratégia e os aplicativos disponíveis no sistema de supervisão e controle do COS-CEMIG (Centro de Operação do Sistema) para restabelecer seu sistema após grande perturbação, obedecendo à regras e critérios estabelecidos pelo ONS. Apresenta também uma proposta para melhorar tal processo atuando na preparação das estações após blecaute, aumentando assim a agilidade, resguardando também os aspectos inerentes à segurança operativa.

PALAVRAS-CHAVE

Controle Restaurativo, Restabelecimento após Blecaute, Preparação das Estações, Agilidade na Recomposição.

1.0 - INTRODUÇÃO

O restabelecimento do sistema elétrico após contingência é uma das mais importantes funções exercidas pelo operador de um centro de operação. Os consumidores, cada vez mais cientes do seu papel junto aos órgãos fiscalizadores, estão mais exigentes quanto à qualidade e tempo de interrupção de energia elétrica, e é dever do operador zelar pelo atendimento a esses quesitos.

A condição de operação dos sistemas elétricos de potência, atualmente é caracterizada por restrições ambientais e econômicas, além de restrições técnicas impostas por uma política de maior exploração dos recursos já existentes – imprescindível em ambiente competitivo. Disto resulta em uma maior complexidade no controle/operação dos sistemas, principalmente em situações de anormalidade.

Neste contexto, aumenta-se a necessidade de maior eficiência operativa. Por vezes, para se conter uma condição de operação crítica, são efetuadas manobras no sistema, a fim de se conter desligamentos de grandes proporções.

Apesar da existência de procedimentos que buscam evitar os desligamentos nos sistemas elétricos, é praticamente impossível eliminá-los por completo. Assim, o ONS e as empresas de energia elétrica devem estar sempre preparados para um rápido restabelecimento de seus sistemas, na ocorrência dessas eventualidades.

Diante de algum desligamento no sistema, ações de Controle Restaurativo devem ser executadas com segurança e agilidade, com o objetivo de se restaurá-lo. O controle restaurativo de sistemas elétricos constitui-se em uma das tarefas mais complexas executadas durante a operação dos mesmos, devido à necessidade do processamento de grande volume de informações num ambiente de grande pressão emocional sobre os operadores, tornando difícil a tomada de decisão sobre as ações a serem efetuadas. Desta forma, cresce em importância o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o operador na recomposição do sistema.

Nos centros de supervisão e controle, há várias informações e diversos aplicativos sendo executados em tempo real. Muitas vezes, as informações processadas e os programas atuam de forma não integrada a outros do mesmo sistema de supervisão.

O objetivo do trabalho é apresentar uma Estratégia de Restabelecimento de Sistemas de Energia Elétrica a ser adotada em Centros de Operação que atuam na Rede Básica. Tal estratégia visa maior segurança, precisão e agilidade do processo de restauração do sistema, após desligamentos, e se baseia na integração de funcionalidades atualmente já presentes nos centros.

2.0 - CONTROLE RESTAURATIVO E CRITÉRIOS DO ONS PARA RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA

Para um melhor entendimento da estratégia apresentada neste artigo, a seguir são contextualizadas as práticas de recomposição do sistema após blecaute no que se refere aos conceitos de Controle Restaurativo e às regras definidas pelo ONS.

2.1 Estados de Operação

A identificação dos possíveis tipos de estados no qual o sistema elétrico possa estar operando, possibilita que o operador perceba o nível de risco a que o sistema está submetido. A partir desta definição, torna-se possível tomar decisões preventivas, no sentido de amenizar os riscos inerentes ao ponto operativo em questão, ou ações restaurativas objetivando recompor o sistema a um nível normal de operação.

As restrições de carga e operativas (relativas às limitações de equipamentos) classificam os Estados de Operação em (1) e (2).

- Estado Normal: neste estado o sistema está intacto, toda a carga está sendo atendida e nenhum equipamento tem seus limites violados. Este estado de operação é subdividido em:
 - Normal Seguro: o sistema pode sofrer qualquer contingência simples, e ainda assim permanece normal;
 - Normal Inseguro (Alerta): mesmo estando atendendo toda a carga e sem ultrapassar os limites dos equipamentos, uma contingência simples pode levar o sistema a uma condição de violação das restrições de carga e/ou de operação;
- Estado de Emergência: apesar de toda a carga estar sendo atendida, neste estado o sistema está com um ou mais limites de operação violados (carregamentos de linhas de transmissão e transformadores ou tensões nos barramentos). Este estado pode ser provocado por desligamentos intempestivos de equipamentos do sistema ou até mesmo pela variação de carga;
- Estado Restaurativo: neste estado, toda ou parte da carga não está sendo atendida. Pode resultar de processo de desligamentos em cascata (blecaute) ou da atuação de esquemas de emergência que desligam parte da carga para preservar o restante do sistema.

Perturbações e ações de controle provocam alterações no sistema e conseqüentemente no Estado de Operação. Estas transições são tratadas em (1) e exemplificadas na figura 1.

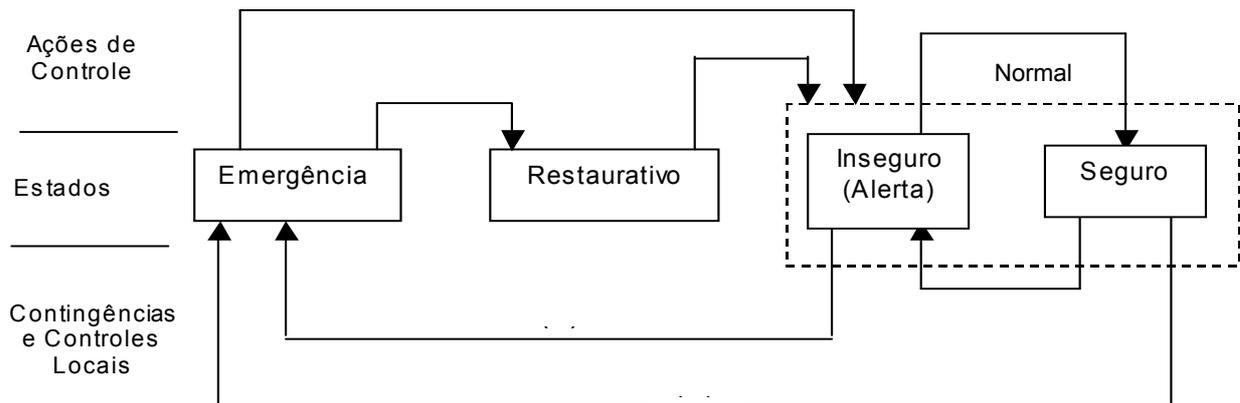


FIGURA 1 – Transições dos Estados de Operação

As Ações, os Estados e os Controles da figura 1 relacionados ao Controle Restaurativo referem-se às transições:

- Emergência \Rightarrow Restaurativo: transição provocada pela atuação de Esquemas de Controle de Emergência, eliminando a violação de limites de equipamentos através do desligamento deste ou de outros elementos do sistema. No estado Restaurativo o sistema não está intacto;
- Restaurativo \Rightarrow Normal: para recompor o sistema após atuação de esquemas automáticos ou após desligamentos generalizados, fazem-se necessárias ações de Controle Restaurativo, que irão retornar com sistema para a configuração anterior à contingência.

O Controle Restaurativo tem como objetivo restabelecer o sistema através de ações rápidas e seguras, buscando retornar com a configuração pré-contingência.

2.2 Critérios do ONS

As instruções de operação do ONS (3) definem, para os centros próprios e agentes envolvidos, como o sistema deve ser restabelecido após grandes perturbações. Essas instruções colocam, na linguagem operativa, os estudos prévios elaborados obedecendo às regras definidas na sub-módulo 23.3 dos Procedimentos de Rede.

Assim filosofia de recomposição do sistema elétrico baseia-se em um conjunto de regras e procedimentos pré-estabelecidos que segue as seguintes diretrizes:

- O sistema é restabelecido em ilhas a partir de usinas de auto-restabelecimento;
- As cargas são preparadas adequadamente à geração disponível na ilha;
- Ocorre então o fechamento do paralelo entre as ilhas, sob a coordenação de um centro de operação do ONS;
- O restante da carga vai sendo recomposto sob coordenação de um centro de operação que se balizará na geração disponível no momento.

Além dessas diretrizes, o ONS definiu dois tipos de recomposição (3) visando a agilidade do restabelecimento, conforme a seguir:

a. Recomposição Fluente (definição (3)):

“Primeira fase da recomposição do sistema interligado, em que os procedimentos operacionais, previamente estabelecidos, permitem a recomposição de áreas de auto-restabelecimento, de forma descentralizada, com o mínimo de comunicação entre as usinas e/ou subestações com os centros de operação.”

Nesta fase, são permitidas as comunicações entre estações e as mudanças no processo preferencial de restabelecimento, desde que as estações envolvidas estejam sendo operadas por telecontrole e não interfiram no restabelecimento de outra área.

b. **Recomposição Coordenada (definição (3)):**

Definição de (3): “Segunda fase da recomposição do sistema interligado, em que são efetuados o fechamento de paralelos e anéis entre áreas e regiões, a liberação de carga adicional e a intervenção na recomposição fluente, quando de impedimento no processo preferencial, através da coordenação dos centros de operação.”

3.0 - ESTRATÉGIAS ATUAIS

O COS-CEMIG, que até 22/08/2006 também operava como centro do ONS, permaneceu com algumas atribuições após a descontração por este operador. Dentre as ações que são executadas com autonomia e responsabilidade pelo COS-CEMIG está o restauração do sistema após blecaute.

Além da Recomposição Fluente, que é atribuição do agente, o COS-CEMIG executa a Recomposição Coordenada das ilhas dentro do estado de Minas Gerais com autonomia. O COSR-SE (Centro de Operação do ONS responsável pela região sudeste) coordena e controla o fechamento do paralelo entre as ilhas de restabelecimento nesse estado.

As estratégias aqui apresentadas estão todas em conformidade com as diretrizes do ONS e os procedimentos para o restabelecimento das referidas ilhas constam das instruções do módulo 10 dos Procedimentos de Rede.

A agilização do processo de restauração do sistema que está descrita a seguir está pautada na preparação das estações antes do início do restabelecimento.

3.1 O SAPRE – Sistema Automático de Preparação das Estações

O SAPRE é uma ferramenta que prepara os disjuntores de uma estação (abertos ou fechados) automaticamente possibilitando desta forma otimizar o restabelecimento do sistema após Perturbação Total ¹.

Conforme definido em (4), as funções do SAPRE são as seguintes:

- Identificação da ocorrência de Perturbação Total na estação;
- Automatização da abertura e fechamento dos disjuntores, conforme previsto nos procedimentos vigentes (instruções de operação).

As instruções de operação estabelecem os disjuntores que devem ficar abertos ou fechados na preparação após blecaute. Uma vez caracterizada a Perturbação Total na estação, o operador do centro de operação (ou a operação local, nas estações não telecontroladas) acionará o SAPRE.

O SAPRE, depois de acionado, confirma automaticamente a condição de Perturbação Total na estação. Posteriormente, verifica os disjuntores que se encontram em um estado (aberto/fechado) diferente do previsto na preparação. Então, é gerada uma lista de comandos de manobras para preparação automática da estação.

O processo de atuação nos disjuntores prioriza a abertura, antes do fechamento de qualquer disjuntor. Esta ordem evita que o fechamento ou energização de algum equipamento ocorra de forma indesejada.

Após o envio de sinal pelo COS, o sistema de supervisão e controle informa ao despachante se a ação foi concluída com sucesso (todos os disjuntores estão preparados conforme previsto) ou se existiu algum problema que impediu que a preparação fosse totalmente concluída.

¹ *A Perturbação Total de uma estação é caracterizada pela falta de tensão em seus barramentos ou a abertura dos disjuntores das linhas conectadas a esta estação. Se a estação em questão for uma usina, caso a tensão nas barras seja proveniente apenas das unidades geradoras, a Perturbação Total também estará caracterizada.*

3.2 Energização Simultânea de Circuitos

Atualmente, o restabelecimento de alguns circuitos ocorre de forma simultânea à energização de outros que estejam diretamente interligados ao primeiro.

Para evitar conseqüências indesejáveis, isso ocorre de forma controlada. Todas as estações de uma determinada ilha, ou das estações adjacentes às que serão energizadas na Fase Coordenada, estarão preparadas, antes da energização dos circuitos, conforme instruções de operação. Isso garante que todas as energizações simples ou simultâneas ocorram conforme estudo prévio que gerou os procedimentos de restabelecimento após blecaute.

A energização simultânea agiliza o restabelecimento dos sistema na medida em que possibilita que a tensão de geração chegue mais rápido ao centro de carga. Isso é particularmente importante e relevante em Minas Gerais pois o centro de geração está no Triângulo Mineiro e grande parte da carga está na região Central e Leste do Estado.

Ressalta-se a importância do SAPRE nesse processo que, além de agilizar a preparação das estações para o início do restabelecimento, garante que os disjuntores estarão de acordo com o previsto pelas instruções de operação. Quando isso não for possível, o operador será avisado pelo próprio aplicativo.

4.0 - PROPOSTA PARA AGILIZAÇÃO DO PROCESSO

As ferramentas e informações que são utilizadas na operação em tempo real, aliadas à filosofia que atualmente está implantada no processo de restauração do sistema elétrico após blecaute, podem ser processadas e integradas de forma a agilizar o restabelecimento de uma forma segura e eficiente.

A proposta aqui apresentada se aplica nas ações que são executadas na etapa pós-blecaute, a saber:

- A identificação das proteções impeditivas que podem dificultar ou até inviabilizar um corredor de restabelecimento;
- A escolha do caminho mais adequado para o restabelecimento sob o ponto de vista da agilidade e segurança;
- A preparação dos disjuntores (abertos ou fechados) das subestações de uma forma seqüencial e segura, visando agilizar o processo de restabelecimento conforme o caminho escolhido.

Os subitens seguintes se dedicam a cada processo envolvido, de forma a permitir um melhor entendimento da proposta.

4.1 Identificação das Proteções Impeditivas

Durante um desligamento generalizado como acontece em um blecaute, a identificação da causa é de grande valia para o entendimento completo da contingência. Para tanto, o operador do centro de operação busca as informações nos aplicativos disponíveis, como o STA (5) que organiza e condensa tais informações de forma a proporcionar um rápido entendimento de como ficou o sistema pós-contingência.

Para iniciar o processo de recomposição, o operador, além de entender a ocorrência, necessita identificar quais partes do sistema estão impedidas de serem religadas por estarem previamente desligadas para intervenção, por serem a causa ou parte da contingência, ou ainda, por terem sido afetadas pelo desligamento de tal forma que seu religamento imediato esteja impedido.

Para o primeiro caso, o estudo prévio para viabilizar a intervenção estará considerando a forma como operar o sistema em condições normais e em contingências. Porém, para as indisponibilidades que ocorrerem durante a contingência, o operador, além de identificá-las, deverá buscar a melhor alternativa para recompor o sistema sem os equipamentos impedidos.

Essa decisão é importante e, associada a ela, está a necessidade de avaliar e gerenciar os riscos inerentes a mesma tais como o alto grau de tensão a que o operador é submetido neste momento e a possibilidade de um restabelecimento mal feito, que poderá comprometer não só o processo de restabelecimento em si, mas também causar danos em equipamentos e acidentes com pessoas.

Dentro desta perspectiva, a proposta aqui presente utilizará as informações das proteções impeditivas atuadas durante a contingência. Essas informações serão disponibilizadas para o aplicativo que irá gerenciar o melhor modo de se preparar a estação considerando as indisponibilidades e as alternativas possíveis (cadastradas no aplicativo em forma de regras já estabelecidas por estudos prévios).

4.2 Preparação Automática e Seqüencial das Estações

Utilizando o aplicativo SAPRE (4), pode-se trabalhar no sentido de agilizar o restabelecimento, estabelecendo critérios para uma preparação automática e seqüencial de todas as estações que estiverem em blecaute em uma determinada ilha.

Determina-se a seqüência e o automatismo na preparação das estações, obedecendo a critérios que garantirão a segurança dessa ação. As regras e os critérios relacionados a seguir são gerais e podem ser utilizados em qualquer ilha elétrica, bastando apenas que sejam adequadas as particularidades de cada sistema. São eles:

- O sistema gerenciador do automatismo deve verificar todas as estações que estão em Perturbação Total e enxergar as ilhas de restabelecimento.
- A preparação das estações, assim como no restabelecimento, deve ser por ilha.
- A preparação de cada ilha deve ser independente, podendo acontecer, em alguns casos onde existam duas ilhas totalmente desligadas, o fato de duas estações de ilhas distintas serem preparadas simultaneamente.
- Quando uma ilha não estiver totalmente em blecaute (alguma estação permanece conectada ao sistema) a preparação será iniciada pela estação que, no processo de restabelecimento, é a última a ser energizada, antes da estação já restabelecida.
- Cada ilha deve seguir uma seqüência de preparação que será inversa à seqüência de restabelecimento, ou seja, a última estação a ser restabelecida será a primeira a ser preparada e a primeira a ser restabelecida será a última a ser preparada. Desta forma, a preparação obedecerá a uma regra geral que será da carga para a fonte, evitando, assim, que algum circuito seja energizado indevidamente na preparação.
- Uma estação não muito importante para a preparação de uma ilha (embora seja importante em outro momento do restabelecimento), que tenha opção de ser preparada em mais de um lugar na ordem estabelecida pelos critérios aqui descritos, deve ocupar a última alternativa possível dentre esses critérios. O objetivo desta regra é evitar que uma falha em uma estação deste tipo, interrompa ou atrase o processo de preparação das outras estações, precocemente.
- Apesar dos disjuntores de interligação com outras subestações fora da ilha em questão serem normalmente preparados abertos (esta é uma premissa que garante o isolamento das ilhas), existem algumas exceções. Este é o caso da SE São Gonçalo do Pará em relação à ilha Emborcação mostrado na figura 2, que devem ser tratadas na sua particularidade. Na maioria das vezes, não é necessário preocupar com as estações adjacentes às ilhas que estejam energizadas.

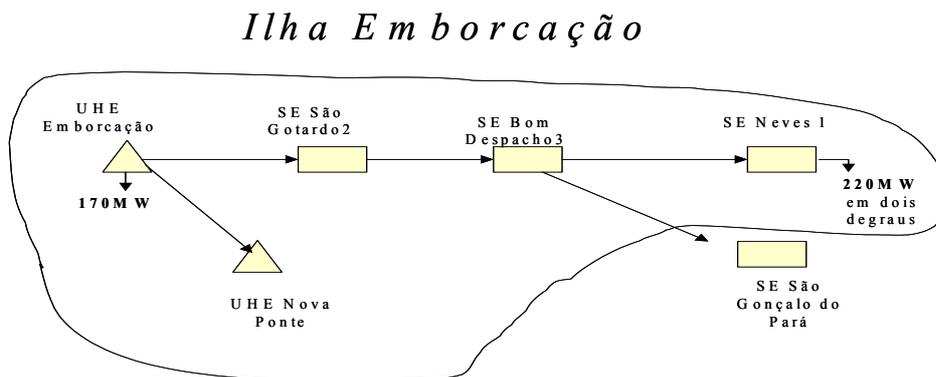


FIGURA 2 – Ilha Emborcação

- Como regra geral, a preparação da estação seguinte somente se iniciará após a completa preparação da anterior. Há casos particulares em que não há necessidade da estação inteira estar preparada; para algumas situações, estar um ou outro disjuntor aberto garante a segurança do restante do processo. Os disjuntores não preparados serão importantes em outro momento do restabelecimento, quando devem ser preparados previamente.

- As estações que são restabelecidas na Fase Coordenada devem ser preparadas obedecendo ao mesmo critério da fonte para a carga. Porém, o momento da sua preparação poderá ocorrer depois da preparação das estações das ilhas atingidas pela contingência e antes do fim do restabelecimento dessas ilhas. Desta forma, agiliza-se a recomposição das ilhas em um primeiro momento e, tão logo se possa iniciar o restabelecimento na Fase Coordenada, as estações dessa fase estarão preparadas.
- A escolha de como será executada a preparação deve ser precedida de uma verificação das proteções atuadas, ou indisponibilidades já existentes antes do blecaute, para definir qual a estratégia mais segura e confiável para a preparação e restabelecimento do sistema.
- Em cada estação, os disjuntores que são preparados abertos devem receber comando para tal estado, antes dos disjuntores que são preparados fechados. Esta regra evita energizações indevidas de linhas e equipamentos.
- Caso a seqüência de preparação automática falhe em alguma estação de uma ilha ou na Fase Coordenada, o processo será interrompido devendo o operador retomar a preparação de forma manual obedecendo aos preceitos das instruções operativas vigentes.

O objetivo principal dessas regras é proporcionar que a agilidade proposta garanta também a segurança de pessoas, meio ambiente e equipamentos, bem como seja efetiva e confiável de forma a evitar fechamentos de anéis e paralelos indevidos, energização de equipamentos indisponíveis, defeituosos ou de forma inadequada, além de preparar a carga de acordo com a geração disponível, conforme definido em estudos prévios.

4.3 Gerenciamento da Preparação

Para consolidar esta proposta encontra-se em fase de desenvolvimento um aplicativo que gerencie todas as informações necessárias, bem como garantir que todas as regras de segurança sejam obedecidas.

O aplicativo proposto é especificado de forma a filtrar as proteções impeditivas disponibilizadas pelo SOE (Seqüência de Eventos) e disponibilizá-las para a utilização nas decisões de qual será a melhor alternativa para preparação das estações, considerando as possíveis indisponibilidades de equipamentos durante a contingência.

As regras do sub-item 4.2 também serão tratadas por este gerenciador, garantindo assim, um restabelecimento rápido e seguro dos equipamentos e das cargas.

5.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a estratégia adotada na preparação das estações após blecaute utilizada pela CEMIG na área sob sua responsabilidade que visa, basicamente, a agilidade no processo de restabelecimento do sistema.

Mostrou-se também o aprimoramento, em andamento, desse processo através de:

- Utilização da melhor alternativa possível, quando da indisponibilidade de equipamentos;
- Preparação automática e seqüencial das estações, obedecendo regras bem definidas para que o processo ocorra de forma rápida, com confiabilidade e segurança.

Por já estarem em funcionamento o SAPRE e o SOE no COS-CEMIG, a interação entre estas ferramentas, através do Gerenciador de Preparação e as adaptações necessárias, terá um custo relativamente baixo se comparado ao valor do desenvolvimento de um aplicativo específico para o Controle Restaurativo com as mesmas funções. Mesmo para os centros que atualmente não estão providos de um sistema de preparação, o custo ainda é viável visto os benefícios que ele apresenta. Portanto, este trabalho se justifica também sob o ponto de vista econômico.

Também pode ser citado como benefício, a diminuição da pressão emocional inerente ao processo de recomposição, podendo desta forma aliviar a equipe de operação, propiciando o direcionamento de sua atenção/concentração para as demais tarefas relacionadas à restauração do sistema.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Vale, M. H. M. Centros Modernos de Supervisão e Controle de Sistemas de Energia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1986. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.
- (2) Vale, M. H. M. Notas de aula da disciplina “Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos de Potência”. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. Curso de Especialização em Sistemas Elétricos de Potência.
- (3) Procedimentos de Rede do ONS aprovado em 23/07/2001.
- (4) Manual do SSCD (Sistema de Supervisão e Controle Distribuído) Documento da Gerência de Supervisão e Controle da Operação do Sistema da CEMIG, Outubro de 2004.
- (5) Faria V. R. Especificação Técnica de um Sistema para Tratamento de Alarmes em Centros de Controle de Sistemas Elétricos de Potência Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Guilherme Manganelli Lopes

Nascido em Juiz de Fora, MG, em 29 de junho de 1971.

Graduado (2001) em Engenharia Elétrica: UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora.

Pós-graduado em Sistemas Elétricos de Potência (2005): UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

Mestrando em Sistemas de Energia Elétrica: UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

Empresa: CEMIG Companhia Energética de Minas Gerais, desde 1989.

Engenheiro do Centro de Operação, setor de Normatização.

Maria Helena Murta Vale

Nascida em Belo Horizonte, MG, em 28 de agosto de 1956.

Mestrado (1986) : COPPE/UFRJ e Graduação (1979) em Engenharia Elétrica: UFMG

Empresas: LEME Engenharia (1979 - 1987)

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, desde 1987 – Professora associada – DEE/LRC.