



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

GOP - 27  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

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

**UNIDADE GERADORA VIRTUAL PARA TREINAMENTO DE OPERADORES E AUXÍLIO À MANUTENÇÃO**

**José Quirilos Assis Neto**

**COPEL GERAÇÃO S. A.**

**RESUMO**

O automatismo das unidades geradoras de uma usina hidrelétrica, quando implantado através de lógica digital, somado a poucos recursos extras, é facilmente transformado em uma Unidade Geradora Virtual (UGV). Neste trabalho apresentamos a UGV criada na mais moderna Usina Hidrelétrica da COPEL, Salto Caxias, de 1240 MW de potência, e descrevemos o porquê de seu sucesso junto às equipes de operação e manutenção da usina. Aliando baixo custo para sua construção e alta versatilidade de uso, a UGV tornou-se ferramenta indispensável ao treinamento contínuo de operadores e evolução da lógica de controle das unidades geradoras.

**PALAVRAS-CHAVE**

Treinamento de operadores; simulador; unidade geradora virtual; automatismo digital.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A incessante busca por índices de qualidade cada vez melhores, o crescente rigor das normas impostas pelos agentes reguladores e a necessidade de otimização da produção das instalações são hoje uma realidade no setor elétrico brasileiro. Para atender estes requisitos, é fator primordial o treinamento contínuo das equipes de operação e manutenção. Operadores bem treinados e técnicos de manutenção capacitados não só evitam erros de operação como também previnem contra falhas em equipamentos, unidades e instalações, levando-os a trabalhar mais próximo do seu ponto ótimo de operação.

Por outro lado, centros de operação remotos, cada vez mais freqüentes, dificultam o contato direto do operador com as instalações de geração e transmissão. O operador local da usina ou subestação, mesmo quando presente, não é mais o responsável pelas manobras do dia-a-dia, tornando-o também carente desta intimidade com a instalação.

Neste cenário está inserida também a Usina Hidrelétrica de Salto Caxias – UHE SCX, da Copel Geração.

Localizada no Rio Iguaçu, na divisa dos municípios de Capitão Leônidas Marques e Nova Prata do Iguaçu, no estado do Paraná, a Usina Hidrelétrica de Salto Caxias está situada a 600 km de Curitiba – ver figura 1 – e foi inaugurada em 1999. Em Curitiba está localizado o Centro de Operação da Geração (COG), que é seu principal posto de operação para todas as manobras relativas a usina.

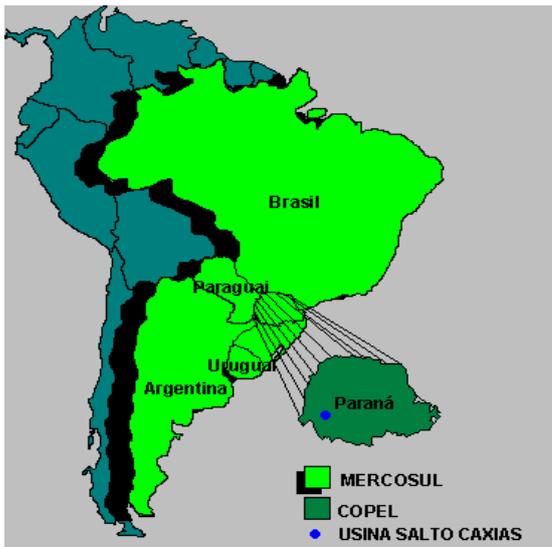


FIGURA 1 – Localização da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias

Possui 1240 MW de potência, divididos em quatro unidades geradoras de 310 MW cada. Seu Sistema Digital de Supervisão e Controle – SDSC tem aproximadamente 10000 pontos de supervisão e controle, sendo ambos, usina e SDSC os mais modernos da COPEL. As lógicas de controle e automatismo das unidades geradoras também são implementadas pelo SDSC.

A tecnologia digital aplicada ao automatismo das unidades geradoras tem diversas vantagens quando comparada com a tecnologia convencional. Dentre elas, destacamos a facilidade de se implementar modificações na lógica, sejam elas para correção, melhoria, evolução ou geração de subprodutos, como é o caso da unidade geradora virtual (UGV), apresentada neste trabalho.

A UGV está totalmente integrada ao sistema digital da UHE Salto Caxias. Para um melhor entendimento do funcionamento e contextualização da UGV, apresentaremos a arquitetura do SDSC e um breve descritivo dos seus equipamentos. Já sabendo onde estamos pisando, descreveremos então a UGV e apresentaremos os seus benefícios no auxílio a operação e manutenção da usina.

## 2.0 - ARQUITETURA DO SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO CAXIAS

Conceitualmente, o Sistema Digital de Supervisão e Controle – SDSC da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias – UHE SCX pode ser classificado como um Sistema Digital de Controle Distribuído, ou seja, a residência da sua base de dados de tempo real está dividida entre diversos processadores do sistema. Esses processadores disponibilizam através de uma rede de comunicação sua parte da base de dados para os demais processadores do sistema. O processamento de lógicas de controle e demais programas auxiliares das unidades geradoras rodam também em vários equipamentos do SDSC, normalmente os mais próximos do processo e detentores dos pontos da base de dados necessários para execução das lógicas.

A usina, incluindo os serviços auxiliares, tomada d'água, vertedouro e subestação associada, é totalmente controlada pelo SDSC, seja através de seus consoles de operação locais ou remotos, localizados no Centro de Operação da Geração – COG, em Curitiba.

A figura 2 abaixo mostra a arquitetura do SDSC, onde os equipamentos COC-01, COC-02, COR-01 e COL-01 são estações de operação. CEN-01 e CEN-02 são estações de engenharia, utilizadas para desenvolvimento de lógicas de controle, telas de supervisão e controle, e demais atividades de engenharia do SDSC e podem ser usadas também como estações de operação. GBD-01 e GBD-02 são os gerenciadores de base de dados histórica, relatórios periódicos, relatórios a pedido, histórico de eventos e cálculos avançados. O PSC-01 é o processador de comunicação com o Centro de Operação do Sistema – COS e de controle conjunto de Tensão e Potência Ativa da usina. PCR-01 é o controlador de comunicação remota, ou seja, entre usina e o COG. PIR-01 e PIR-02 são os painéis de conexão de fibra óptica. PSU-U1 a PSU-U4 são os processadores de supervisão e controle das unidades geradoras 1 a 4 respectivamente. PUA-AX a PUA-EX são processadores de supervisão e controle dos serviços auxiliares. PTA-12 e PTA-34 são os controladores da tomada d'água. PVT-01 e PVT-02 são controladores das 14 comportas de vertedouro. PSV-GR e PSV-LT são controladores da subestação associada à usina. QCG-01 e QCG-02 são os controladores do esquema de corte de geração e finalmente, o PRE-01 é o processador reserva e de engenharia. O PRE-01 é quem implementa a UGV, conhecida na usina como “Máquina

5". Este controlador também pode ser utilizado para substituir o PSC-01 ou PCR-01, em caso de falha que indisponibilize um destes controladores.

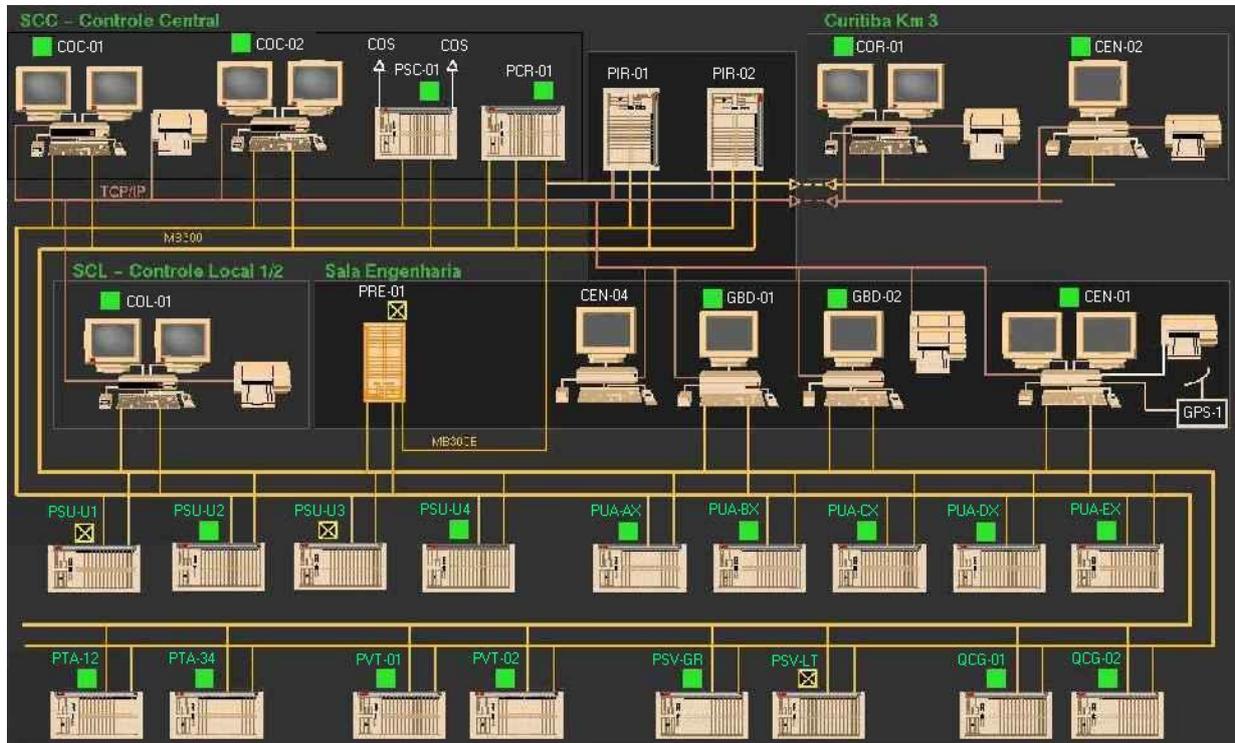


FIGURA 2: Arquitetura do SDSC

### 3.0 - O QUE É A UGV?

A Unidade Geradora Virtual da Usina Hidrelétrica de Salto Caixas é composta de um Controlador Lógico Programável – CLP, do mesmo tipo utilizado na implementação da lógica de controle das unidades geradoras da usina, porém sem a grande quantidade de cartões de entrada e saída. O CLP, montado em um painel dedicado para este fim, utiliza cartões do lote de peças reserva.

O software aplicativo é composto pelos mesmos programas de controle da unidade geradora, substituindo-se os pontos de entrada e saída por pontos calculados e acrescentando um módulo, que faz a inicialização dos estados das variáveis e a simulação do processo. Os esforços necessários para esta implementação foram mínimos, comparados com os benefícios que tem proporcionado.

Além do desenvolvimento realizado no CLP, descrito acima e detalhado mais adiante, foram criados os seguintes itens no SDSC:

- Um perfil especial de operador, nas estações de operação do sistema digital da usina e do Centro de Operação da Geração (COG), onde são permitidos comandos somente para os pontos da unidade geradora virtual;
- Réplicas das telas de supervisão e controle das unidades geradoras;
- Uma seção especial de eventos e alarmes, onde são apresentadas somente informações da UGV.

Assim, em resumo, a UGV é um equipamento (CLP) com um software dedicado, em grande parte derivado dos programas de automatismo da unidade geradora, compartilhando recursos (consoles de operação, rede de comunicação e outros) disponíveis no SDSC da usina.

Portanto, a UGV não é um simples simulador de unidade geradora. O simulador está sim presente na UGV, mas como um pequeno módulo de software entre vários que rodam no CLP. Ressaltamos também que o simulador de unidade geradora utilizado, apesar de ter comportamento semelhante à unidade geradora real, tem o objetivo único de exercitar o automatismo da unidade geradora, transformando os comandos emitidos pelo operador ou pelo próprio automatismo em alterações correspondentes no processo simulado. Como consequência da simplicidade do simulador de processo, a UGV não pode ser utilizada para ajustes de parâmetros ou levantamento de modelo matemático da unidade geradora. Seu objetivo principal, além da geração de mega-Watts virtuais, é o treinamento de operadores e auxílio a manutenção, como já frisado acima.

#### 4.0 - CONSTRUINDO A UGV

Neste capítulo descreveremos os passos utilizados para a criação da UGV, com o pretensioso formato de uma “receita de bolo”. Seguindo este roteiro o leitor será capaz de criar uma UGV para uma outra usina, com as mesmas funcionalidades básicas da UGV de UHE Salto Caxias.

Ingredientes:

- Automatismo da unidade geradora
- Réplica das telas de supervisão e controle da unidade geradora
- Tabela de tempos de reação do processo a comandos do automatismo
- Um processador de automatismo da unidade geradora (CLP) sem os cartões de entrada e saída (I/O)

Modo de Preparar:

Pegue o programa que implementa o automatismo da unidade geradora e transforme os seus pontos de comando e supervisão em pontos calculados, ou seja, os pontos de entrada e saída para o processo transformam-se em pontos existentes somente na memória do processador de automatismo. Nas telas de supervisão e controle da unidade geradora associe os pontos calculados criados e identifique as telas como sendo da unidade geradora virtual. A identificação deve ser ao ponto. Muito identificada perde a similaridade com a tela real e mal passada, digo, mal identificada corre-se o risco de se confundir as telas da UGV com as telas de uma unidade geradora real.

Crie o programa simulador de processo com duas seções. Uma de iniciação dos pontos calculados, que faz com que o automatismo da unidade geradora e o operador em treinamento enxerguem a UGV em um estado determinado, como por exemplo, unidade parada. Se você programar mais de um estado inicial, deve ser criada uma tela ou janela auxiliar para que o operador ou instrutor escolha o estado desejado para o início do treinamento. A outra seção transforma os comandos do operador ou do próprio automatismo em mudanças de estado no processo. Esta seção deve tornar dinâmicos todos os pontos visíveis nas telas de supervisão e controle da UGV. Um tempero interessante é também associar as temperaturas da UGV ao seu estado, ou seja, se a UGV estiver parada, as temperaturas esfriam ao longo de alguns minutos, até um ponto de estabilização. Se estiver carregada, as temperaturas sobem, também com temporização. Estes e os demais valores analógicos podem receber uma pequena componente aleatória ou senoidal para passar a sensação de valores reais adquiridos do processo, os quais geralmente sofrem pequenas alterações como esta.

Carregue o automatismo modificado e o simulador no CLP e as telas de supervisão e controle nas estações de operação. Coloque-os para rodar. Está pronta a sua UGV. Sirva em qualquer turno de operação.

Na verdade, o maior tempo para o preparo da UGV é gasto na produção do simulador de processo, que é o único componente novo em todo o processo de criação. A figura 3 abaixo mostra um exemplo típico de simulação usado na UGV de UHE Salto Caxias, programado em linguagem de diagrama de blocos.

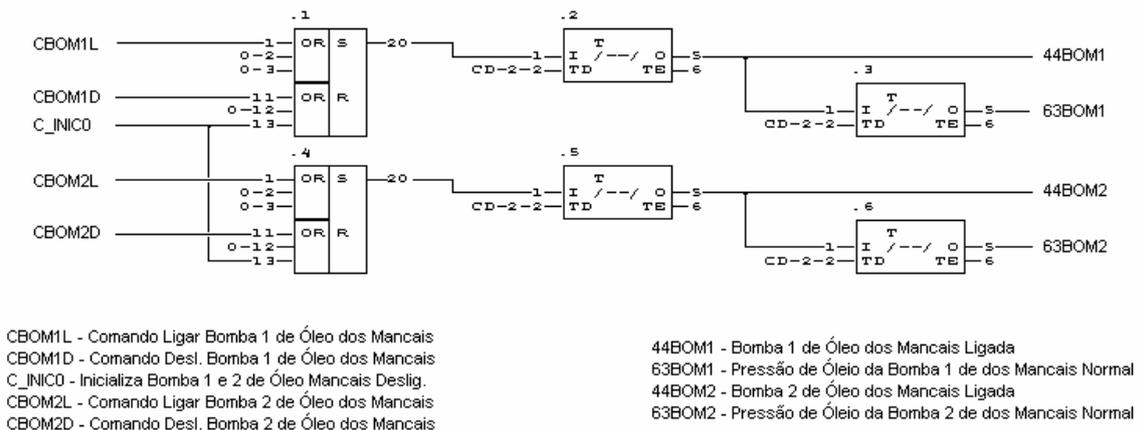


FIGURA 3 – Trecho típico do simulador de processos

No trecho de programa acima, os comandos de ligar e desligar as bombas são provenientes do automatismo da UGV. O comando de inicialização das bombas vem do próprio programa simulador, emitido automaticamente na iniciação do programa ou por comando do operador. Os blocos 1 e 4 são flip-flops do tipo R-S (set / reset), onde um sinal ativo (nível lógico “1”) em qualquer dos pinos de 1 a 3 ativa a saída do bloco (pino 20) e um sinal ativo em um dos pinos de 11 a 13 desativa esta saída. Os blocos 2, 3, 5 e 6 são temporizadores onde um sinal ativo no

pino 1 ativa a saída (pino 5) do bloco após decorridos 2 segundos (definidos pelo pino 2). Os sinais de saída dos temporizadores simulam os estados das bombas e os seus pressostatos, os quais realimentam o automatismo.

Salientamos que em sistemas digitais com base de dados concentrada, conhecidos como SCADA, deve ser acrescentado na base de dados do centro de controle o conjunto de pontos da UGV, para que seja possível utilizar os mesmos consoles de operação da planta também para a UGV.

Um dos pontos de fundamental importância para a qualidade da UGV é a sintonia dos temporizadores existentes no simulador de processo com os tempos de atuação dos equipamentos reais. Este ajuste é o principal responsável pela semelhança dinâmica entre a UGV e as unidades geradoras reais.

Podem ser definidos também mais de um estado inicial para a UGV, a escolha do operador. Além do estado "Unidade Parada" pretendemos programar os seguintes estados:

- UGV rodando a vazio excitada;
- UGV a plena carga;

Estes estados iniciais permitirão uma maior eficiência no treinamento, pois a UGV poderá ser colocada instantaneamente no estado mais adequado à manobra a ser executada.

## 5.0 - UTILIZANDO A UGV

Depois da gratificante tarefa de construção da UGV, é hora de utilizá-la.

Para uso como ferramenta de treinamento de operadores, estão disponíveis na UGV os recursos para geração de falhas de equipamento, falhas de comando e simulação de valores de processo com comportamento semelhante ao processo real. Qualquer operação, como partida, parada, passagem para modo compensador síncrono ou reversão para gerador é executada sem diferenças perceptíveis para o operador em relação à operação real. Também são possíveis os comandos de controle de tensão e potência ativa da unidade geradora virtual, que também reage com comportamento semelhante ao real. Operações de rotina executadas na unidade geradora virtual são úteis para treinamento de novos operadores. Com o uso da UGV não se corre o risco de interferência na produção da usina por manobras erradas ou inconvenientes durante o treinamento.

Outro uso desta ferramenta é na análise de situações de risco ou com baixa frequência de ocorrência, onde o operador deve ter uma atuação rápida, como por exemplo, em caso de falha de bombas de circulação de óleo ou água de refrigeração, atuação de proteções elétricas e mecânicas, manobras do tipo passo-a-passo, partida sem C.A. (*black start*) e outras. Todas as manobras permitidas pelo automatismo da unidade geradora podem ser repetidas, quantas vezes forem necessárias, em horário conveniente, até que estas operações não gerem dúvidas ao operador. Sua utilização para validação de modificações na lógica de controle da unidade geradora também tem sido eficiente, principalmente para o teste das modificações antes da sua utilização na unidade geradora real. Este procedimento, além de depurar a nova lógica a ser implantada, reduzindo a possibilidade de erro de programação, tem a vantagem de manter atualizada a lógica da UGV e suas telas de controle.

Um cuidado sempre observado na utilização da UGV é o cadastro (login) da estação de operação em modo treinamento. Esta ação bloqueia o envio de comandos indevidos para a "usina real", por acidente, durante o processo de treinamento ou manutenção da lógica de controle da unidade geradora. Esta prática foi adotada depois de uma reversão acidental para gerador durante uma seção de treinamento. Aprenda com o nosso erro.

A UGV foi disponibilizada às equipes de operação e manutenção da usina logo após o comissionamento da primeira unidade geradora, quando foram ajustados os temporizadores e demais variáveis do simulador de processo. Sua utilidade como ferramenta de treinamento foi muita intensa no início de operação da usina, quando os operadores estavam ainda aprendendo o comportamento das máquinas. O uso contínuo da UGV, aliado a um plano de treinamento adequado, foram itens importantes para que a UHE SCX atingisse os menores índices de falha, no menor tempo inicial de operação entre todas as usinas da Copel, conforme demonstrado no gráfico da figura 4 abaixo.

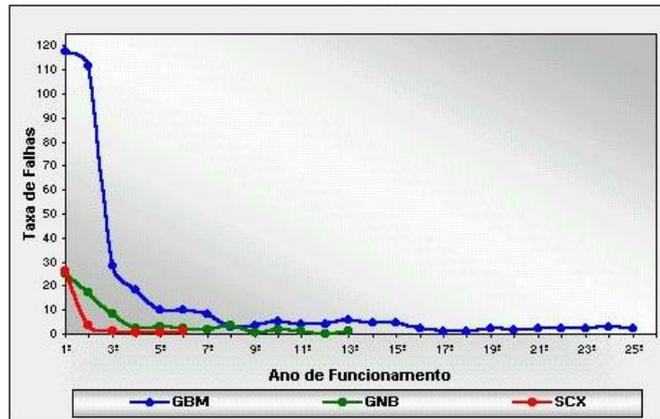


FIGURA 4 – Comparativo entre Taxa de Falhas das maiores usinas da Copel Foz do Areia – GBM, Segredo – GNB e Salto Caxias – SCX

A entrada em operação do COG da Copel, ocorrida em 2001, também foi beneficiada pela UGV. A maioria dos operadores deste centro, formado por colaboradores das grandes usinas referenciadas na figura 4 acima, não são oriundos da UHE Salto Caxias. Assim, o treinamento desta equipe foi também facilitado com o uso da UGV e complementado com um pequeno estágio na usina, para assegurar a estes operadores que as manobras simuladas são idênticas às reais. O estágio em cada uma das usinas operadas e o uso a UGV pela equipe de operadores do COG faz parte de um programa de treinamento reciclado periodicamente.

Durante o ano de 2004, portanto cinco anos após a entrada em operação da UHE Salto Caxias, o desenvolvimento de uma atividade de engenharia levou o autor deste trabalho a solicitar o empréstimo da UGV, pelo período de algumas semanas, em Curitiba. Sua utilização foi como ferramenta de teste e plataforma de desenvolvimento de um novo software relativo à usina. Devido a um atraso nesta tarefa, foi com grata satisfação que recebemos veementes solicitações das equipes de operação e manutenção da usina, para devolução imediata da UGV. Esta pressão dos usuários deu-nos mais uma prova da grande utilidade da UGV ainda hoje, no dia-a-dia destas equipes.

As figuras 5 e 6 a seguir mostram exemplos de telas de controle da UGV, as quais são idênticas às suas equivalentes às unidades geradoras reais. Ambas mostram a UGV carregada, gerando potência ativa e reativa, infelizmente ainda não negociáveis no mercado de energia.

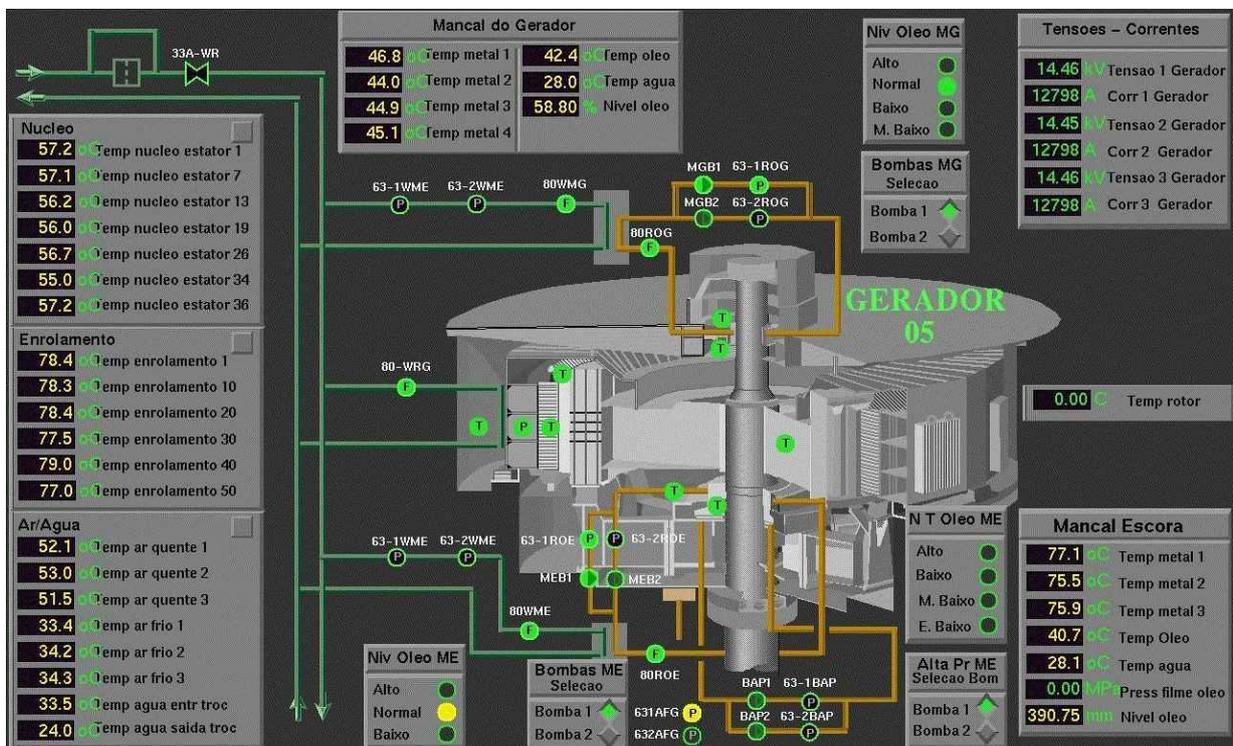


FIGURA 5 - Tela de Supervisão e Controle do Gerador

A tela do gerador é uma tela basicamente de supervisão do gerador. São supervisionadas as temperaturas, pressões, níveis de óleo, grandezas elétricas e demais variáveis relativas ao gerador da UGV. Nesta tela são possíveis apenas os comandos de seleção de bomba principal e de retaguarda para os circuitos que possuem redundância de bombas.

É possível ainda observar nesta tela, no lado direito, que a temperatura do rotor não foi tratada pelo simulador de processos, permanecendo nula. Uma outra óptica para esta falha é de que ela não é uma falha e sim a simulação de um transdutor ou entrada analógica do CLP em falha. Como não há manobra do operador ou lógica de intertravamento que use este ponto, esta falha não causa maiores problemas ao operador, servindo como exemplo de falha que pode ocorrer em campo e não compromete a operação comercial da unidade.

Já na figura 6, abaixo, existe um conjunto maior de comandos possíveis, como:

- abertura e fechamento de disjuntores,
- abertura e fechamento de seccionadoras do vão da unidade geradora,
- mudança do modo de controle de tensão e potência ativa,
- entrada de Setpoint de tensão, potência ativa e limitador de abertura,
- comando de tensão e potência ativa por pulsos de aumentar / diminuir, entre outros.

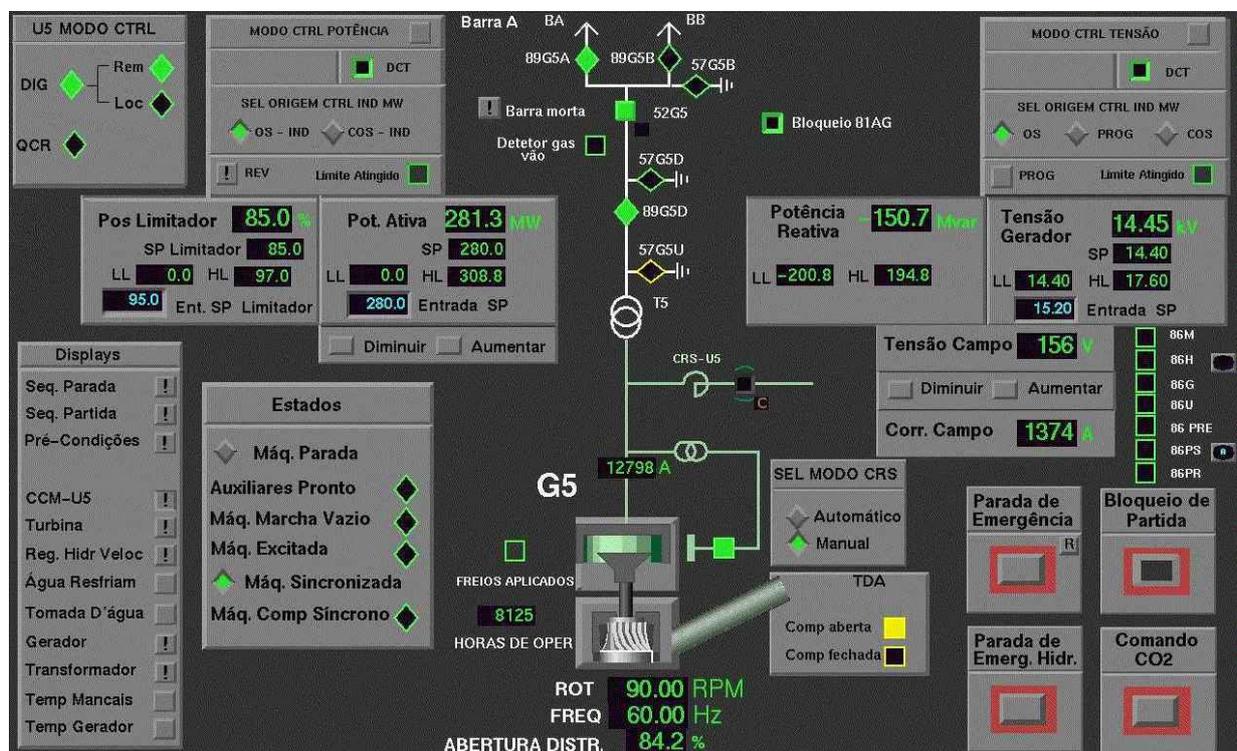


FIGURA 6 - Tela de Supervisão e Controle Geral da UGV

## 6.0 - CONCLUSÃO

O CLP utilizado, montado em um painel dedicado para este fim, utiliza cartões do lote de peças sobressalentes. Portanto, o custo de hardware não foi significativo. O software aplicativo é basicamente o mesmo da unidade geradora com poucas modificações e apenas um módulo a mais, que faz a inicialização dos estados das variáveis e a simulação do processo. Assim, concluímos que os esforços necessários para implementação da UGV foram mínimos, considerando os recursos financeiros e humanos utilizados.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da UGV mostrou-se apropriada, gerando um produto de alto nível para suporte à manutenção de software de controle das unidades geradoras e com excelente desempenho como ferramenta de treinamento contínuo de operadores, sendo imperceptíveis quaisquer diferenças entre a operação da máquina virtual, comparada à real.

Os índices de taxa de falhas da UHE Salto Caxias, comparados com as outras duas maiores usinas da Copel, demonstram os ganhos na redução de falhas das unidades geradoras. Boa parte deste ganho deve-se ao programa

de treinamento contínuo de operadores e mantenedores, que usam a UGV como principal ferramenta de auxílio nesta atividade.

Mesmo depois de vários anos decorridos da entrada em operação da usina, a UGV continua sendo de fundamental importância às atividades das equipes de operação e manutenção local, demonstrando sua efetiva utilização na rotina de trabalho destas equipes.

#### 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Especificação Técnica do Sistema Digital de Supervisão e Controle da UHE Salto Caxias.
- (2) Manual de operação das Unidades Geradoras da UHE Salto Caxias.
- (3) Manual de operação do Sistema Digital de Supervisão e Controle da UHE Salto Caxias.
- (4) Manuais de operação, programação e manutenção dos CLP.
- (5) Manuais de operação, programação e manutenção do Sistema Digital de Supervisão e Controle da UHE Salto Caxias.