



**XV SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

**GPC / 21**

**17 a 22 de Outubro de 1999  
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO V**

**PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - (GPC)**

**PROTEÇÃO E CONTROLE DIGITAIS DA SUBESTAÇÃO DE 230 KV DA USINA TERMELÉTRICA UTE URUGUAIANA, DE 600MW E SUA INTERFACE COM OS SISTEMAS ELÉTRICOS E DE CONTROLE DA USINA**

Allan Cascaes Pereira\*

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
MARTE Engenharia Ltda.

Carlos Eduardo Freitas Pinto  
ENGEVIX Engenharia S/C Ltda.

Roberto Tomedi Sacco

AES Uruguaiana Empreendimentos Ltda.

**RESUMO**

No trabalho são enfocados itens como: controle da subestação a partir de um sistema digital localizado na usina, uso de unidades de processamento distribuído na usina e na subestação, esquema de sincronismo para entrada de geradores e fechamento dos disjuntores da subestação, lógica de seleção de potencial, interface com os sistemas de controle da usina, etc.

É abordado o sistema de comunicações entre a usina e a subestação da UTE e entre esta e as subestações do sistema de 230 kV da concessionária CEEE, Uruguaiana 5 e Alegrete 2.

Finalmente, são analisadas as diversas proteções utilizadas, incluindo as proteções dos transformadores, linhas e barramentos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Controle Digital; Proteção Digital; Digitalização

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A construção do Complexo Termoelétrico de Uruguaiana é resultado da política governamental de incentivo à produção independente de energia, tornada possível com a nova legislação. No Brasil, a construção de usinas térmicas ou hidráulicas pertencentes a empresas privadas representa uma experiência relativamente recente, justificando o atual interesse do setor elétrico pelo assunto. No caso particular focado pelo presente trabalho, trata-se de uma usina termoelétrica com potência líquida na barra de saída da subestação de 600MW.

A potência gerada é transmitida ao sistema elétrico da CEEE através de duas linhas de transmissão de 230

kV. Uma das linhas possui cerca de 5 km e alimenta a subestação de Uruguaiana 5. A outra linha tem, aproximadamente, 130 km e está ligada à subestação de Alegrete 2.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar, em linhas gerais, os critérios que nortearam o desenvolvimento do projeto elétrico da subestação da usina em pauta, no que tange aos seus sistemas de controle, supervisão e proteção, incluindo a interface com a usina.

**2.0 - INFORMAÇÕES GERAIS**

**2.1 - Usina Termoelétrica**

A usina termoelétrica de Uruguaiana foi concebida para operar em ciclo combinado, possuindo três (3) unidades geradoras. Duas destas unidades, com potência de 208,5 MVA, são acionadas por turbinas de combustão a gás. Nestas, o ar atmosférico é injetado no compressor da turbina e comprimido a uma pressão de 15 atmosferas. Um resfriador, instalado na entrada de ar do compressor, reduz a temperatura de entrada do ar, aumentando, assim, o desempenho da turbina de combustão. O combustível utilizado é o gás natural. Após a combustão, os gases superaquecidos se expandem através dos diversos estágios da turbina. Na exaustão, os gases encontram-se, ainda, a uma temperatura de cerca de 600°C. São, então, reutilizados na geração de vapor em uma caldeira de recuperação.

Os gases, após deixarem a caldeira de recuperação, fluem para a atmosfera através da chaminé, a uma temperatura entre 85 e 100°C.

\* UERJ / MARTE ENGENHARIA LTDA.

Uma terceira turbina utiliza o vapor a alta pressão produzido pelas caldeiras de recuperação e aciona um terceiro gerador, o qual possui uma potência de 294 MVA. Os três geradores são refrigerados a hidrogênio.

Na saída desta terceira turbina, o vapor é condensado em um condensador de superfície. Água de reposição é injetada no condensador, através de um sistema de desaeração a vácuo, o qual é parte integrante do condensador. O condensado é removido do poço do condensador por uma das 2 bombas de condensado integrantes do grupo. Além destas, três bombas de água de alimentação, também, integrantes do grupo (uma para cada caldeira de recuperação e uma de reserva) fornecem água para as seções de alta pressão e pressão intermediária da caldeira.

Um sistema integrado de controle digital de cada grupo monitora automaticamente todos os sub-sistemas, enviando informações para a sala de controle. Este sistema integrado possibilita a operação e o controle das turbinas de combustão e a vapor, das caldeiras de recuperação e de outros sub-sistemas. Inclui, também, a seleção da carga dos geradores e turbinas, o controle de combustíveis, da carga ativa e reativa, da tensão e da sincronização, bem como das pressões e temperaturas do vapor.

Em caso de emergência, teste, necessidade ou falha no sistema de controle distribuído, os grupos eletrogêneos podem ser operados localmente.

Os seguintes equipamentos e sistemas principais estão sendo fabricados nos Estados Unidos da América pela Siemens-Westinghouse Power Systems Corporation, fazem parte integrante da instalação e serão importados pelo porto de Rio Grande – RS.

- 02 (dois) Grupos Eletrogêneos de ciclo combinado, acionados por turbina a gás natural, com potência de 176MW, incluindo sistemas de lubrificação, refrigeração, proteção contra incêndio e controle.

- 01 (uma) Turbina a vapor acoplada a gerador, com potência de aproximadamente 264 MW, com rotação de 3.600 RPM, incluindo condensador e sistemas de refrigeração, lubrificação, proteção contra incêndio e controle.

## 2.2 - Subestação de 230 kV

A subestação de 230 kV está localizada junto à usina termoeletrica. A configuração escolhida para os barramentos é do tipo disjuntor-e-meio modificado, o qual apresenta excelente flexibilidade operativa e um menor custo quando comparado com outros tipos de barramento, como barra dupla, por exemplo. Com este tipo de configuração foi possível conectar, utilizando apenas 08 disjuntores e 23 chaves seccionadoras, os seguintes circuitos: 03 vãos de chegada das unidades

geradoras, 02 vãos de saída de linha e 02 vãos de alimentação dos transformadores de serviços auxiliares da usina, mantendo, ainda, a possibilidade de acréscimo de mais 01 saída de linha, no futuro.

Neste esquema, os vãos de chegada das unidades geradoras e os vãos de saída para as linhas de transmissão estão ligados a 2 (dois) disjuntores, cada um, enquanto os transformadores de serviços auxiliares da usina estão ligados diretamente aos barramentos de 230 kV, conforme mostrado na Figura 2.1.

## 3.0 - SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DA SUBESTAÇÃO

A subestação será não atendida e operada, normalmente, a partir da usina por meio de um Sistema de Controle Digital Distribuído – SCDD, redundante, cuja unidade central de processamento e IHM estão localizados na sala de controle da usina.

Na subestação, a aquisição dos dados de interesse para o operador se fará através de uma Unidade de Processamento Distribuído – UPD/SE. Esta UPD realizará, também, as funções de abertura manual dos disjuntores e comando das chaves da subestação, além de outras funções, conforme descrito adiante.

O comando de fechamento dos disjuntores da subestação será executado por UPD's localizadas na usina, junto a cada gerador.

A interface com o operador, na usina, será feita utilizando os meios normais de IHM (teclados, monitores, impressoras, consoles de operação, etc.). Serão utilizadas telas específicas para o controle da subestação, incluindo uma tela geral, telas parciais, listas de alarmes e eventos, etc., de modo a se ter a visualização de todas as informações necessárias de forma clara e adequada ao rápido entendimento do operador.

O sistema SCDD possuirá meios para efetuar a abertura e fechamento dos disjuntores e chaves operacionais de 230 kV. Para cada ponto de comando de abertura ou fechamento de disjuntor ou chave, está previsto um relé de interposição.

A informação de tensão, corrente, potência ativa e reativa das linhas será obtida a partir dos relés de proteção, através de comunicação serial com a UPD na subestação. Para obtenção da tensão e frequência das barras serão utilizados transdutores de tensão e frequência.

## 4.0 - ESQUEMA DE SINCRONISMO E FECHAMENTO DOS DISJUNTORES

O fechamento de qualquer dos disjuntores da subestação somente poderá ser feito se existirem condições de sincronismo entre seus terminais.

Por razões de segurança, foi estabelecido como critério que o fechamento dos disjuntores de 230 kV somente poderá ser realizado quando for iniciado ou confirmado por, pelo menos, dois dispositivos ou chaves de controle, com seus contatos em série. Assim, fica grandemente reduzida a possibilidade de fechamento acidental ou fora das condições de sincronismo.

Um circuito lógico realizará o chaveamento das tensões da barra, gerador ou linha, em função do disjuntor a ser fechado e da posição (aberto ou fechado) dos demais disjuntores e chaves seccionadoras do mesmo vão, de modo que as tensões apropriadas sejam ligadas aos dispositivos de sincronismo.

O fechamento de qualquer dos disjuntores de 230 kV será iniciado pelo operador, através do sistema de controle digital da usina e a partir da tela geral da subestação, acionando o cursor sobre o disjuntor escolhido. Aparecerá na tela um pequeno painel de controle com a indicação “Liberado” (ou “Impedido”) e com as teclas: “Seleção”, “Rearme” e “Abrir”. O acionamento da tecla “Seleção” fará energizar o relé de interposição correspondente ao disjuntor escolhido, o qual irá preparar o circuito de fechamento do disjuntor e ligará as tensões apropriadas às barras “running” e “incoming”, energizando os equipamentos de sincronismo.

Para atender ao critério de segurança mencionado acima, é utilizado um relé de verificação de sincronismo. Assim, somente haverá fechamento se, após o disjuntor ter sido selecionado, o operador, observando o painel de sincronismo, acionar a botoeira de fechamento no período em que o relé de verificação de sincronismo estiver dando permissão para fechamento.

## **5.0 - INTERTRAVAMENTOS E BLOQUEIOS ELÉTRICOS**

Um esquema de intertravamentos elétricos foi desenvolvido, com a finalidade de impedir a operação de qualquer das chaves seccionadoras sob carga, bem como para evitar energização acidental dos geradores. Poderá ocorrer uma situação em que o gerador se encontre parado, com a chave isoladora do vão fechada e com os respectivos disjuntores abertos. Neste caso, o fechamento de um dos disjuntores poderá causar grandes danos ou, até mesmo, destruir o gerador. Esta energização acidental é evitada por um contato de saída da UPD da usina, o qual, não permitirá o fechamento se o gerador estiver sem tensão.

Além disto, o fechamento de qualquer dos disjuntores de 230 kV ligados aos geradores será impedido se o disjuntor de campo do gerador estiver aberto.

## **6.0 - SISTEMA DE ALARMES**

Os alarmes relativos aos relés de proteção das linhas de 230 kV são indicados no visor de cristal líquido dos próprios relés de proteção digital, localizados nos painéis de proteção na casa de controle da subestação.

Os alarmes correspondentes aos disjuntores, chaves seccionadoras, serviços auxiliares de CA e CC, equipamentos de comunicação, teleproteção e medição de faturamento, bem como a unidade de processamento distribuído (UPD), a proteção de barras e o sistema de detecção de incêndio são indicados em um anunciador de alarmes específico, denominado Anunciador da Subestação, o qual é do tipo digital.

O anunciador de alarmes mencionado acima é capaz de transmitir à UPD da subestação, para retransmissão ao SCDD, na usina, a informação dos alarmes que tiverem operado.

## **7.0 - TRANSMISSÃO DE SINAIS PARA O SISTEMA SCADA DA CEEE**

A comunicação para o sistema SCADA utiliza o enlace de fibra ótica instalado entre a subestação da UTE Uruguaiana e a subestação Uruguaiana 5.

São utilizados 2 (dois) canais para transmissão de dados e informações de controle, sendo um denominado “principal” (normalmente em operação) e o outro designado como de “retaguarda”. Os dois canais estão normalmente em operação. O chaveamento do canal “principal” para o de “retaguarda”, em caso de indisponibilidade do primeiro, é feito no COS da CEEE, em Porto Alegre.

## **8.0 - CONCEITOS GERAIS SOBRE A FILOSOFIA DE PROTEÇÃO**

O sistema de proteção da subestação foi especificado para detectar qualquer falta trifásica, bifásica ou monofásica que possa ocorrer nos equipamentos da subestação, barramentos e condutores, bem como nas linhas de transmissão e nas conexões entre a subestação e a usina.

É utilizada a filosofia de proteção de retaguarda local. Isto significa que todos os elos da cadeia de proteção principal, tais como, enrolamentos dos transformadores de corrente e tensão, cabos, relés e bobina de disparo dos disjuntores são duplicados, de modo que falhas em qualquer dos componentes da proteção principal não afetem a operação da proteção de retaguarda e vice-versa.

Há 2 (dois) sistemas de proteção associados a cada zona de proteção, identificados como proteção primária e proteção secundária. As únicas exceções são as zonas de proteção das barras A e B, bem como os trechos entre os transformadores elevadores ou os transformadores auxiliares e os respectivos disjuntores, os quais possuem uma só proteção cada um. É utilizada a filosofia de falha simples, isto é, não é considerada a possibilidade de falha simultânea de componentes das proteções primária e secundária. Cada disjuntor possui duas bobinas de disparo. A proteção primária é ligada a uma bobina de disparo e a proteção secundária é conectada à outra.

Os relés de proteção são de tecnologia digital, com exceção das proteções de barra. Os sistemas de proteção possuem altos níveis de confiabilidade e seletividade, assim como capacidade de auto-teste e auto-diagnose.

Todos os disjuntores de 230 kV possuem esquema de falha de disjuntor, o qual opera sempre que a proteção primária ou secundária houver atuado e os disjuntores correspondentes não tenham sido disparados após um intervalo de tempo ajustável.

Todos os relés de proteção possuem facilidades de teste para permitir o seu isolamento durante manutenções.

## 9.0 - PROTEÇÃO DE LINHA CURTA

A proteção primária é constituída por uma proteção diferencial de linha (função 87L), que compara a corrente nas duas extremidades da linha de transmissão e opera com alta velocidade para faltas internas, tanto monofásicas quanto multifásicas.

A comunicação entre os dois terminais de linha é obtida por meio de um enlace de fibras óticas.

A proteção secundária é constituída por relés de sobrecorrente direcional com polarização por tensão, os quais operam para qualquer falta mono ou multifásica na linha protegida.

Funções de sobre e subtensão devem detetar se a tensão na linha está acima ou abaixo de limites pré-selecionados. Após uma temporização ajustável, são disparados os disjuntores de linha correspondentes.

O disparo dos disjuntores de linha pela proteção inicia a ação de religamento automático. A função religamento é do tipo rápido e seletivo, com religamento somente para faltas monofásicas e com uma só tentativa. A função de religamento pode ser ligada ou desligada pelo operador, quando desejado.

Apenas um dos disjuntores ligados à linha é religado automaticamente. O outro disjuntor é fechado manualmente. Preferencialmente, o disjuntor a ser religado é o disjuntor do lado da barra. Caso este disjuntor esteja indisponível, pode ser selecionado o

disjuntor central, desde que o disjuntor da outra barra esteja fechado.

## 10 - PROTEÇÃO DE LINHA LONGA

A proteção primária consiste de uma proteção de distância com 4 zonas de proteção (uma delas ajustada na direção reversa) e que deve operar para faltas monofásicas e multifásicas na linha protegida.

Proteção de alta velocidade é obtida para 100% do comprimento da linha, por meio de um esquema de teleproteção que utiliza um canal de comunicação tipo onda portadora acoplado ao condutor da linha (fase B).

O esquema de teleproteção utilizado é o comparação direcional tipo bloqueio, no qual faltas externas à linha protegida energizam um relé de distância de alcance reverso, que parte o transmissor, bloqueando o terminal remoto.

Durante oscilações de potência, as unidades de distância são bloqueadas por meio de um esquema de bloqueio por oscilações, a fim de impedir operações indevidas.

A proteção secundária consiste de um esquema de proteção de distância por zonas com 4 zonas de proteção de distância (uma delas na direção reversa). Esta proteção opera para faltas mono e multifásicas na linha protegida.

Uma vez que esta proteção não utiliza um canal de teleproteção, disparos de alta velocidade serão obtidos apenas para 85% da linha.

Similarmente à proteção primária, um esquema de bloqueio por oscilações é também utilizado.

Uma proteção terciária complementa as proteções primária e secundária e consiste de um esquema de sobrecorrente direcional capaz de detetar faltas monofásicas e multifásicas na linha.

Uma função de localização de faltas é parte integrante dos relés de distância.

As proteções de sobre e sub-tensão e o esquema de religamento automático são semelhantes ao descrito para a proteção de linha curta.

## 11 - PROTEÇÃO DO VÃO DE SAÍDA PARA AS UNIDADES GERADORAS

A proteção primária consiste de uma extensão da proteção de corrente diferencial incluída no escopo da usina, cuja zona de alcance vai desde os transformadores de corrente tipo pedestal do vão de disjuntor e meio correspondente, até os transformadores de corrente localizados no lado do neutro dos geradores.

A proteção secundária consiste de relés de sobrecorrente de fase e de terra, com característica instantânea e temporizada, também incluídos no

escopo da usina. Estes relés são alimentados pelos transformadores de corrente tipo bucha do lado de alta tensão dos transformadores.

## **12 - PROTEÇÃO DOS VÃOS DE SAÍDA PARA OS TRANSFORMADORES DOS SERVIÇOS AUXILIARES DA USINA**

A proteção primária consiste de uma extensão da proteção diferencial da barra respectiva, cuja zona de alcance vai até os TC's das buchas de 230 kV dos transformadores auxiliares.

A proteção secundária está também incluída no escopo da usina e consiste de relés de sobrecorrente de fase, com característica instantânea e temporizada. Estes relés são alimentados pelos TC's tipo bucha, no lado de 230 kV do transformador.

Há, também, um relé de sobrecorrente de neutro, cuja função é proteger o barramento de 4,16 kV e oferecer proteção de retaguarda aos alimentadores de 4,16 kV para faltas à terra.

## **13 - PROTEÇÃO CONTRA FALHA DE DISJUNTOR**

Esta proteção é constituída por um detetor de corrente, um temporizador e um relé de disparo e bloqueio.

Há uma proteção de falha de disjuntor para cada disjuntor de 230 kV.

Será identificada uma condição de falha de disjuntor se uma das proteções correspondente a um disjuntor houver atuado e, após um tempo pré-ajustado, o detetor de corrente continuar operado, indicando que ainda há fluxo de corrente através do disjuntor.

Uma vez detetada uma condição de falha de disjuntor, devem ser disparados todos os disjuntores adjacentes ao disjuntor faltoso.

Um tipo de falha que pode acontecer e que poderá danificar o gerador é a ocorrência de arco interno em um ou dois pólos do disjuntor, provocando o aparecimento de correntes desbalanceadas.

Para evitar as consequências de tal falha, a proteção de falha de disjuntor é complementada por um esquema que consiste de um contato da unidade de sobrecorrente instantânea, ligada ao TC do neutro do transformador elevador, em série com um contato tipo "b" do disjuntor respectivo. Este conjunto é usado para iniciar a proteção de falha de disjuntor. O ajuste da unidade de sobrecorrente deve ser suficientemente baixo para detetar o desbalanço de corrente, mesmo em situação de carga mínima.

A proteção pelo relé de sobrecorrente de sequência negativa do gerador também poderá detetar este tipo de falha, porém em um tempo muito elevado.

## **14 - PROTEÇÃO DOS BARRAMENTOS**

Para cada uma das barras de 230 kV é fornecida uma proteção específica, tipo diferencial, a qual deve operar para todos os tipos de faltas monofásicas e multifásicas que podem ocorrer nas zonas de proteção das barras.

Nos vãos de linha e de transformador elevador, as proteções de barra são alimentadas por um enrolamento dos TC's tipo pedestal que estão localizados no lado da barra do vão de disjuntor e meio correspondente.

Nos vãos dos transformadores auxiliares, as proteções de barra são alimentadas por um enrolamento dos TC's da bucha de 230 kV desses equipamentos.

O relé de bloqueio da proteção de barras é também atuado pelas proteções de falha de disjuntor dos disjuntores 230 kV ligados à respectiva barra. Dessa forma, o disparo e o bloqueio do fechamento dos disjuntores de barra são realizados por um único relé, de modo a reduzir a fiação entre os diversos painéis.

## **15 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em vista do porte da usina em pauta, foi definido que sua subestação deveria possuir dupla barra de operação. Visando a uma redução no custo dos equipamentos, a par de maior flexibilidade operativa, foi escolhida a configuração em disjuntor e meio modificado, conforme mostra a Figura 2.1.

O uso de dois (2) disjuntores associados a cada unidade geradora ocasionou algumas dificuldades no interface com o projeto da usina, que foram superadas graças ao espírito de cooperação demonstrado pelo pessoal técnico da Siemens-Westinghouse.

Entre os assuntos que mais ocuparam a atenção dos profissionais envolvidos podemos citar o fechamento com sincronismo dos disjuntores ligados às unidades geradoras; o envio e recebimento de sinais da usina, seja por transmissão serial, seja por cablagem convencional, bem como o desenvolvimento de circuitos utilizando componentes convencionais ou digitais e lógicas que apresentem níveis de segurança elevados.

Finalizando, pode-se dizer que o projeto do sistema de controle digital da subestação e seu interface com a usina é resultante do trabalho conjunto das equipes técnicas do cliente, a AES, das empresas de consultoria ENGEVIX e MARTE Engenharia, assim como, em parte, do fabricante dos geradores, turbinas e auxiliares, a Siemens-Westinghouse.

Sabemos que a tecnologia digital está evoluindo muito rapidamente, trazendo, frequentemente, novas soluções aos problemas atuais. Entretanto, esperamos com o Informe Técnico ora apresentado, poder contribuir de

alguma forma, apontando dificuldades e caminhos, para a execução do projeto dos sistemas de controle e proteção digitais para subestações de novas usinas.

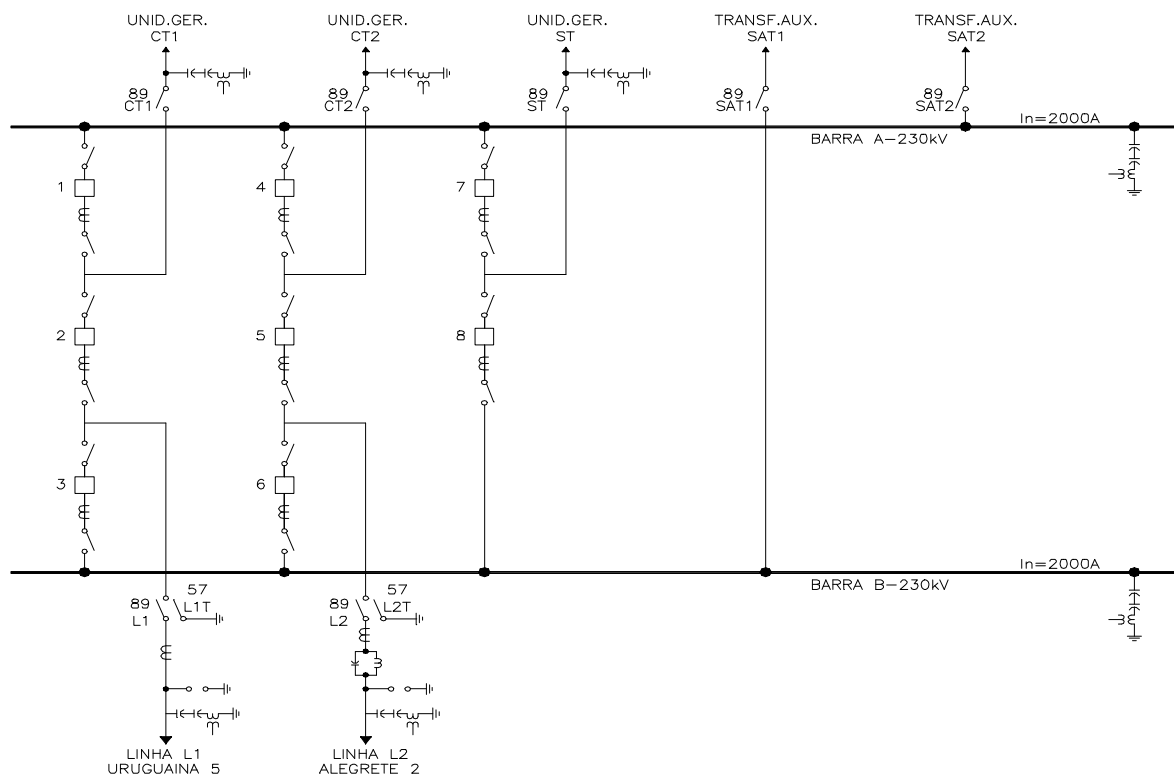


FIGURA 2.1 – SUBESTAÇÃO UTE URUGUAIANA  
DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO

## REFERÊNCIAS

1. Requisitos para Especificações Técnicas de Proteções Digitais para Linhas de Transmissão – Fernando Pettinati Ayello e Jorge Miguel Ordagi Filho – XIII SNPTEE – Camboriú, 1995.
2. Plano Diretor de Automação da CHESF – Valencio G. Pereira et al. – XIV SNPTEE – Belém, 1997.
3. Aspectos da Digitalização de Subestações Novas e Existentes com Uso de Proteção Digital ou Convencional – A.C Pereira e F.R.H. Azevedo – XII SNPTEE – Recife – 1993
4. Experiência da Eletronorte com Sistemas Digitais e Controle e Proteção nas Subestações de Santa Maria 230/138/13,8 kV e Macapá II 69/13,8 kV - Carlos Alberto M. Aviz e Ildio José O. Gouveia – XIV SNPTEE – Belém, 1997.
5. Especificação da Proteção Digital para Linhas de Extra Alta Tensão e Geradores de Grande Porte – Carlos F. Baggetti et al. – XIV SNPTEE – GPC. – Belém, 1997.
6. Digitalização de Subestações Industriais Incluindo Proteção Digital – A.C. Pereira e B. Severo – Revista Eletricidade Moderna – Nov. 96.