

# SISTEMA DE REJEIÇÃO DE CARGAS PARA PROTEÇÃO DA TERMELÉTRICA DA COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO <sup>1</sup>

María de los Ángeles López Rivas<sup>2</sup>  
Francisco Carvalho<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho apresenta as fases de desenvolvimento e implantação do Sistema de Rejeição de Cargas desenvolvido para o Sistema Elétrico da CST, com o objetivo de proteger as unidades geradoras da Termelétrica da usina, com uma abordagem direcionada à garantir a estabilidade do sistema e um enfoque à aplicação prática e testes realizados. São apresentados os resultados desta implantação, mostrando alguns dados sobre desligamento involuntário e rejeição de cargas não prioritárias. Em resumo, são mostradas as etapas percorridas para rejeição de cargas não prioritárias, a partir da coleta das grandezas de consumo e geração interna. Estas etapas também compreendem a validação dos dados de entrada, os cálculos da potência gerada e consumida, a análise da topologia do sistema elétrico, a seleção da prioridade das cargas para rejeição, a análise de eventos de separação do sistema da concessionária com relação ao sistema elétrico interno, e a atuação da lógica de rejeição das cargas não prioritárias. O trabalho é desenvolvido de modo a mostrar soluções que podem ser adotadas por grandes e pequenos consumidores que possuam paralelismo de fontes de energia interna com a concessionária ou apenas fontes de energia interna.

**Palavras-chave:** Rejeição de cargas; Proteção; Controle; Automação.

## SYSTEM OF LOAD REJECTION FOR PROTECTION OF THERMOELECTRIC OF A PLANT

### Abstract

This work presents the phases of development and implantation of the System of Load Rejection developed for the Electrical System of the CST, with the objective to protect the generating units of the Thermoelectric Central of the plant. The proportionate results with this implantation are presented, showing some data on involuntary disconnection and rejection of the not priority load. In summary, the stages covered for rejection not priority load are shown, from the values of consumption and internal generation, since the collection and validation of entrance data, calculations of the generated and consumed power, analysis of the topology of the electrical system, election of priority of loads for rejection, analysis of events of separation of the system of the concessionaire with relation to the internal electrical system, until the performance of the rejection to the not priority loads.

The work is developed in order to reveal solutions that can be adopted by great and small consumers who possess internal power plants.

**Key words:** Load rejection; Protection; Control; Automation.

<sup>1</sup> *Contribuição Técnica ao X Seminário de Automação de Processos da ABM; Belo Horizonte - MG, 4 a 6 de Outubro de 2006.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Eletricista, Depto. de Automação Industrial, executor do projeto – CONVERTEAM Brasil Ltda. - Av. Álvares Cabral, 1345 – Lourdes – CEP 30.170-001 – Belo Horizonte – MG – Brasil*

<sup>3</sup> *Engenheiro Eletricista, Depto. de Gerenciamento de Projetos, gerente do projeto – Converteam Brasil Ltda. - Av. Álvares Cabral, 1345 – Lourdes – CEP 30.170-001 – Belo Horizonte – MG – Brasil - Apoio*

## INTRODUÇÃO

Em sistemas elétricos industriais de cogeração de energia elétrica e vapor, aonde participam concessionárias, a qualidade do fornecimento de energia e um melhor aproveitamento da energia interna são de grande importância para consumidores de grande e pequeno porte.

Suprir a demanda de energia elétrica parcialmente ou totalmente através de geração própria é a melhor solução adotada por muitas indústrias, do ponto de vista econômico. A geração própria depende, entre outros, de fatores relativos ao processo da indústria, entre eles consumo de energia térmica (vapor e/ou gases quentes, por exemplo, do Alto Forno) e consumo de energia elétrica. Independentemente da confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, com a geração própria é alcançado um melhor aproveitamento das fontes primárias de energia interna da usina, o que contribui para a economia de insumos.

O acelerado desenvolvimento das indústrias provoca crescimento do consumo de energia em taxas relativamente aceleradas, e a necessidade de investimento contínuo traz como consequência necessidade de expansão dos sistemas elétricos existentes utilizando uma fonte de energia elétrica confiável, que é muitas vezes a principal motivação para se instalar a geração própria. Neste contexto, os sistemas elétricos acabam tendo uma topologia complexa e muitas vezes sem uma distribuição perfeitamente estabelecida.

Também a operação em paralelo destas duas fontes de energia exige uma otimização da operação do sistema termelétrico, possibilidades de se isolar o sistema da indústria do sistema da concessionária quando ocorre falha nesta última, e de um controle automático do consumo e da geração.

Contingências no sistema elétrico das concessionárias, que resultam na separação dos dois sistemas na usina (formação de ilha) causam variações significativas na geração de energia elétrica interna por atuação dos controles de frequência dos turbogeradores e, por consequência, variações nos fluxos de vapor e pressões nos coletores de vapor do sistema térmico.

Uma análise de estabilidade elétrica convencional consideraria o sistema elétrico desacoplado do sistema a vapor, que não influenciaria na capacidade de geração termelétrica na transição ou na separação dos dois sistemas. Nesta situação possivelmente algum dos geradores chegaria ao **trip** e os restantes, tentando manter as cargas ligadas, seriam eletricamente sobrecarregados. Deste modo um sistema de rejeição de cargas convencional atuaria tardiamente pelo relé de subfrequência e a possibilidade de colapso da central termelétrica poderia ser alta, não sendo suficiente para garantir a estabilidade do sistema, já que as cargas remanescentes não respeitariam a disponibilidade de geração e a despressurização dos coletores de vapor acelerariam a degradação do sistema.

Este trabalho abordou o problema a partir deste ponto de vista, de maneira que, as grandezas fundamentais de análise do sistema passam a ser potência ativa de geração e de consumo. O enfoque do desenvolvimento do sistema foi dado na aplicação desta análise para a definição de um sistema de rejeição de cargas, partindo da premissa de que o controle seria feito a partir do consumo e não da frequência.

No trabalho são apresentados resultados práticos do sistema implantado na Companhia Siderúrgica de Tubarão, que deu solução às necessidades do cliente, evitando instabilidade durante a implantação. O mesmo tem possibilidades de aplicação em outras indústrias.

## DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### Hipóteses, Limites e Tolerâncias

Como os sistemas de proteção de paralelismo devem garantir a pronta separação dos sistemas prioritários da concessionária em caso de falhas externas, porém evitando atuações indevidas, estas proteções devem separar os sistemas prioritários e não prioritários em um ponto onde o desbalanço entre carga e geração elétrica seja minimizado.

Para implantação deste Sistema foi realizado um estudo prévio das proteções, complementando com lógicas as definições de separação dos sistemas e os Modos operacionais usuais. Os cálculos de consumo para balanço de cargas e a lógica de rejeição seriam processados num PLC exclusivo para esta função, composto por duas CPU's redundantes.

Como hipótese básica considerou-se indispensável a disponibilidade dos dados de entrada via Entradas/Saídas físicas ou redes de comunicação confiáveis para consumo pelo PLC dedicado a esta função e a disponibilidade de saídas para comando de desligamento das cargas por rejeição, independentes das saídas operacionais. Estes são:

- Potência Ativa de recebimento da Concessionária, das unidades Geradoras que compõem a Termelétrica e de outras fontes de energia do sistema, como vapor recuperado do Alto Forno;
- Potências ativas dos alimentadores das Subestações e das cargas que compõem o sistema para realização de balanço;
- Estado dos disjuntores e chaves seccionadoras nas Estações de Recebimento;
- Estado dos disjuntores e chaves seccionadoras nas Subestações de áreas;
- Disponibilidade de entradas de trip nos relés de proteção das cargas não prioritárias, para atuação de sinais de Saída, provenientes do PLC, individuais para cada uma das cargas rejeitáveis, sendo que para as cargas mais prioritárias a disponibilidade deveria ser redundante;
- Informações adicionais de estado de carregamento do Alto Forno, estado de troca de regeneradores, Potência Ativa da turbina de recuperação de gases do Alto Forno, informações de Trip de Caldeiras;
- Definição lógica dos Modos Operacionais e rotinas utilizadas na Operação do Sistema Elétrico da usina e
- Definição da lógica de Separação dos Sistemas Elétricos paralelos.

O Sistema se integra em uma instalação completa, compreendendo equipamentos, medidores, transdutores, dispositivos de transferência de Entradas/Saídas, redes de comunicação e um sistema de operação centralizada com recursos de supervisão e automação, hoje perfeitamente disponíveis, em que participam usuários de operação do Sistema elétrico, e usuários de manutenção elétrica e de automação.

Esta filosofia fez do sistema de rejeição de cargas desenvolvido um sistema de proteção preventiva, o que o diferencia dos convencionais por subfreqüência, que cumprem o papel de retaguarda do sistema principal, com ação remediadora.

As características dos componentes, meios de comunicação e transferência de dados definem a qualidade e precisão dos sinais e a serem utilizados na análise e cálculo base da rejeição de cargas.

A tolerância do sistema está definida pelos tempos entre eventos de ação para atuação da função de rejeição, a partir da contingência que define a desinterligação dos sistemas elétricos, como indica a figura abaixo.

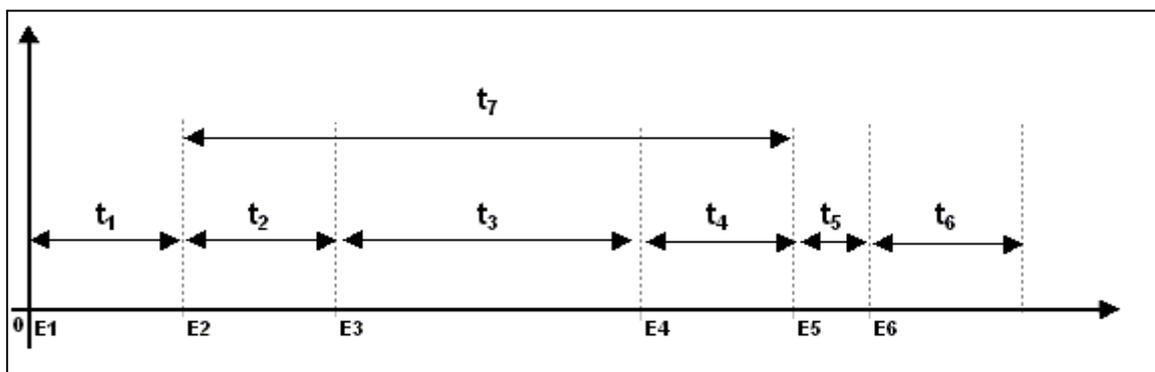


Figura 1 . Diagrama de tempo de execução da lógica de rejeição.

Aonde:

Evento 1: Ocorrência da 1ª contingência, que efetivamente define a separação dos sistemas elétricos da concessionária e do sistema elétrico próprio (**E1**);

Evento 2: Dispositivo auxiliar de entrada (relé de proteção) atua devido à ocorrência do evento E1 (**E2**);

Evento 3: Sinal do evento E2 é efetivamente atualizado na memória (na tabela de dados) do PLC (**E3**);

Evento 4: Execução da lógica do Sistema de Rejeição de Carga após atualização do evento E3 (**E4**);

Evento 5: Sinal do evento E4 é efetivamente atualizado na memória (na tabela de dados) do PLC (**E5**);

Evento 6: Dispositivo auxiliar de controle (relé de proteção) atua devido a ocorrência do evento E5 (**E6**);

Evento 7: Dispositivo de controle (disjuntor) efetivamente atua no sentido de descartar carga (**E7**).

Esses eventos determinam os intervalos de tempos entre a efetiva ocorrência de disparo E1 e a atuação do dispositivo auxiliar que vai informar tal ocorrência ( $t_1$ ), os tempos de atuação dos dispositivos auxiliares de entrada dos sinais ao PLC ( $t_2$ ), a atualização dos estados nas tabelas internas dos PLC's, o tempo necessário para a lógica de Rejeição de Cargas estabelecer a estratégia de controle ( $t_3$ ), o tempo até atualização dos dados na saída do PLC ( $t_4$ ), a efetiva atuação do relé auxiliar de controle ( $t_5$ ) e por ultimo o tempo até a abertura dos disjuntores das cargas a serem descartadas ( $t_6$ ).

O tempo utilizado pelas lógicas no PLC, para o Sistema de Rejeição de Carga a ser implantado é dado pela formula:

$$T_{\text{PLC Rej.}}(t_7) = t_2 + t_3 + t_4$$

O limite desse tempo, para que ação de proteção seja preventiva, não deve ultrapassar os 250 ms (duzentos e cinquenta milissegundos), sempre que as condições relacionadas nas hipóteses estiverem satisfeitas.

## Elementos do Sistema

A rejeição de cargas seria operada através de uma IHM de supervisão que informaria as cargas autorizadas e o nível de prioridade para rejeição, e um PLC de controle on-line, que levaria em conta a disponibilidade real de geração termelétrica e o consumo . Desta forma estaria garantida a estabilidade do sistema termelétrico para todas as faltas que envolvam perda de parte das fontes de energia elétrica ou térmica.

Os elementos responsáveis por isto são:

- Sistema Elétrico

O sistema elétrico da CST até a implantação da rejeição de cargas era constituído das seguintes fontes:

- duas interligações com a concessionária de fontes externas: ESCELSA 1 e ESCELSA 2 nas S/E's de recebimento ER1 e ER2;
- três turbo geradores com sopradores TGS: G1, G2, e G4;
- um turbo gerador TG: G3;
- uma turbina de recuperação de gases: TRT na S/E Alto Forno;

e das cargas alimentadas pelas ER1 e/ou ER2 ou pela Geração interna G1/2, TRT e/ou G3/4, distribuídas pelas S/E's.

O arranjo das estações ER1 e ER2 são do tipo barra dupla com chave seletora de barra e disjuntor de acoplamento.

A energia é recebida em duas estações receptoras de 138kV e distribuída para as Subestações das áreas em 138kV. Os transformadores das áreas, com potência em torno de 35/50MVA alimentavam as cargas em 13,8kV e 34,5kV.

- Sistema de proteção e rejeição de cargas automática

Neste sistema, valores de demanda e geração elétricas e consumos e produção de vapor são atualizados automaticamente a cada varredura das CPU's redundantes de rejeição via Entradas/Saídas físicas. Também são atualizados os estados e resultados de lógicas de proteção e intertravamento do sistema elétrico via rede Ethernet , a partir dos PLC's dedicados às funções de proteção e interligação do sistema elétrico.

O sistema de rejeição de cargas como parte integrante do sistema de proteção, interage com os restantes elementos como indica a figura a seguir :

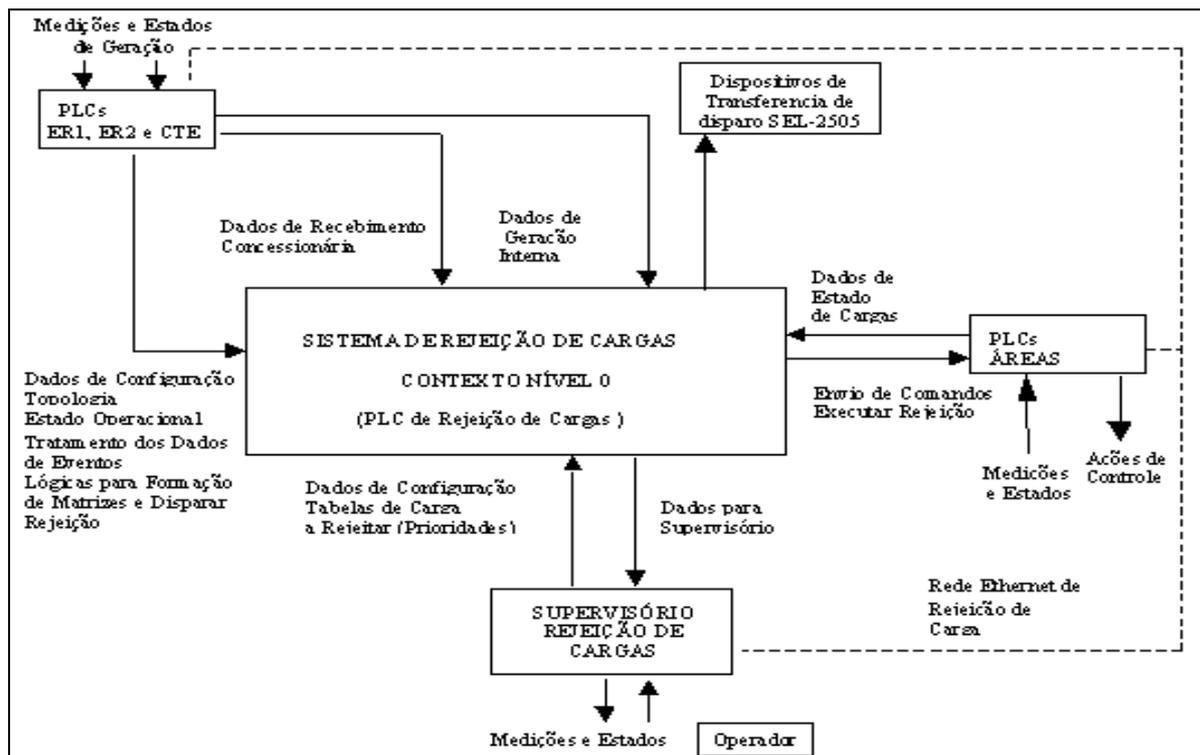


Figura 2. Interação dos elementos dos sistemas de proteção e de rejeição.

- Contingências elétricas da usina

As análises dos relatórios de ocorrências e o estudo de todas as outras contingências elétricas que podem causar a formação de ilhas de geração permite dividi-las em dois grupos:

- contingências externas (1a. contingência): problemas no fornecimento de energia da concessionária, principalmente variações excessivas de frequência e desenergização completa da mesma;
- contingências internas (2a. contingência): desligamentos de qualquer um dos TGs, perda de transformadores e curtos-circuitos com atuação da proteção na média tensão.

## Interfaces

O Sistema tem como princípio a operação centralizada, com níveis hierárquicos e interfaces entre os elementos que o alimentam de dados.

Estas são:

- interface do PLC de controle da rejeição com a IHM de supervisão;
- interface do PLC de controle da rejeição com os PLC's do Sistema elétrico em todas as Subestações, que coletam dados dos disjuntores, chaves seccionadoras, relés de proteção, transdutores de potência, etc. via rede Ethernet TCP/IP;
- interface do PLC de controle da rejeição com dispositivos de transferência de disparo via fibra ótica para envio de sinais de desligamento redundante às cargas menos prioritárias.

## Arquitetura

Os diversos níveis que compõem o sistema garantem as interfaces existentes com uma arquitetura integrada por meio de rede Ethernet com protocolo TCP/IP, dos tipos Ring (em Anel) e Radial.

Uma rede independente, interliga as CPU's redundantes de rejeição de cargas entre se, e as mesmas aos módulos de entrada / saída remotas, como indica a figura a seguir :

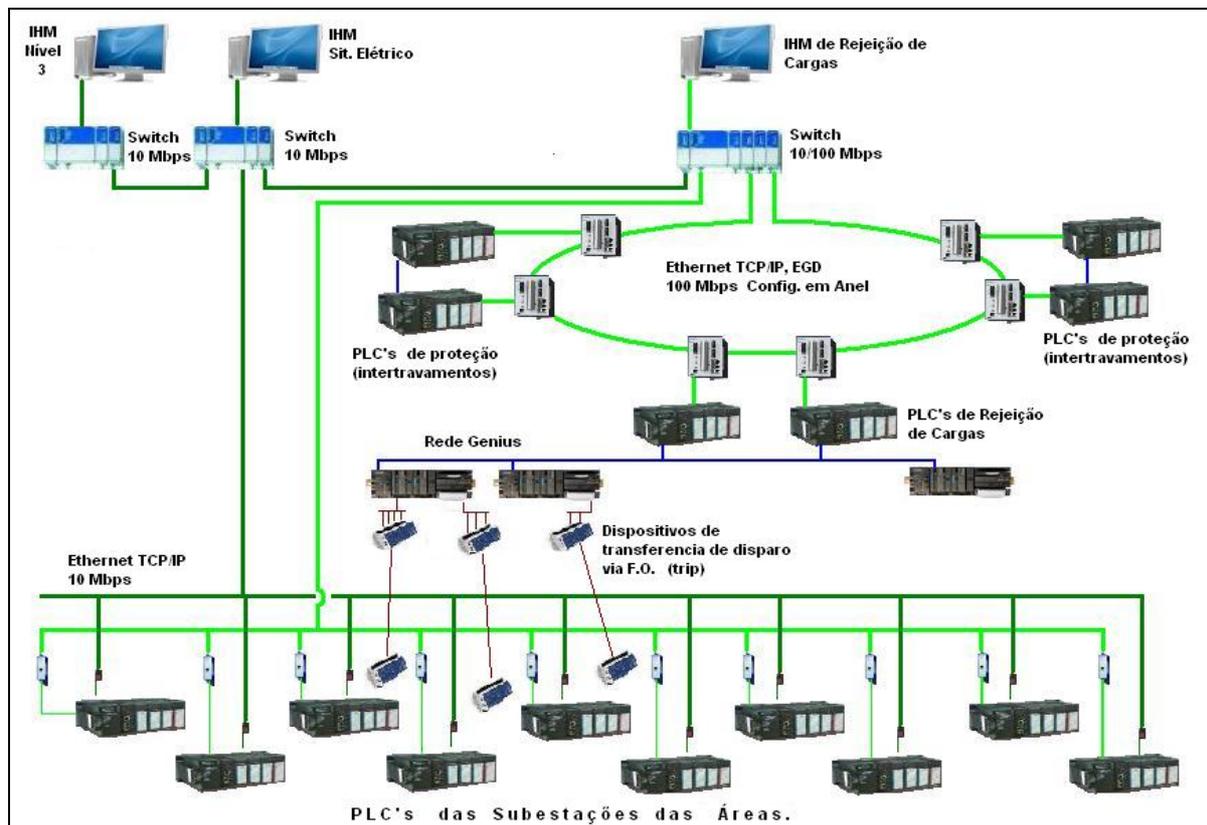


Figura 3. Arquitetura de redes de comunicação

## IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO

Para uma avaliação completa dos efeitos de contingências elétricas e testes dos resultados da atuação da lógica de rejeição de cargas no sistema elétrico da CST, procedeu-se a uma modelagem integrada do seu sistema elétrico.

Foi desenvolvido um simulador composto de aplicativo a ser executado no PLC e telas de comando e supervisão para configuração dos diferentes modos operacionais e simulação das contingências de 1º e 2º ordens. Neste sistema eram simulados valores de demanda e geração elétricas e consumos e produção de vapor que seriam tratados pela lógica de rejeição de cargas, via telas de IHM e enviados automaticamente às tabelas auxiliares de entrada, onde estariam armazenados todas as entradas e saídas físicas e de rede (topologia, capacidades nominais, etc.). Para cada modo operacional eram simuladas todas as possíveis situações reais que gerariam estas contingências e era analisado o resultado do tratamento de cada situação pela lógica de rejeição.

O programa aplicativo de rejeição de cargas foi estruturado em matrizes com tratamento dos dados organizados em tabelas, como indica a figura abaixo, contendo os componentes da lógica.

Os principais automatismos abordados são:

- análise e cálculo da potência gerada e consumida pela usina;
- análise da topologia do sistema elétrico (estado das chaves seccionadoras e de aterramento, disjuntores alimentadores, disjuntores de interligação de barras e das Estações receptoras da concessionária);
- seleção de prioridade das cargas para rejeição;
- análise de contingências de eventos de separação do sistema da concessionária com relação ao Sistema elétrico da interno e
- atuação da lógica de rejeição das cargas não prioritárias.

Os Modos Operacionais serão a base de toda a análise feita pelo Sistema de Rejeição de Cargas, assim como o análise de estados intermediários.

O sistema atua de forma diferente segundo a contingência do sistema elétrico ocorrida.

- Queda de paralelismo com a concessionária ( 1<sup>a</sup> contingência)

Esta contingência consiste na perda de alimentação da concessionária ocorrida na subestação receptora.

A rejeição de cargas atua até os 500 ms (no máximo) posteriores a esta contingência, evitando a sobrecarga dos turbogeradores da usina, que ao ser desfeito o paralelismo passam a alimentar as cargas ligadas à subestação da Casa de Força.

- Queda de geração interna da termelétrica ( 2<sup>a</sup> contingência)

Consiste na perda de algum dos turbogeradores da usina, que se encontravam em funcionamento e ligado à barra que alimentava as cargas.

Neste caso, a lógica de rejeição atualiza on-line o balanço de cargas e a geração resultante, e em até 500ms (no máximo) define a matriz de desligamentos e os executa.

- Sistema integrado de proteção e rejeição de cargas antecipatório

Para uma atuação num intervalo de tempo reduzido, a matriz de rejeição deve estar definida e sendo atualizada on-line pelo PLC a cada varredura de CPU, a partir dos dados fornecidos pelas CPU's de interligação, que realizam as funções de proteção.

A lógica de preparação desta matriz, realiza um análise e validação dos dados de entrada, analisa a topologia do sistema elétrico, monitora a ocorrência de contingências e realiza o controle da rejeição, como mostra o fluxograma da figura a seguir.

O Set-point de rejeição resultante da lógica, representa os valores de potência ativa a serem desligados para manter o consumo balanceado com a geração interna em caso de separação dos sistemas, considerando os dados de entrada pelo operador na IHM.

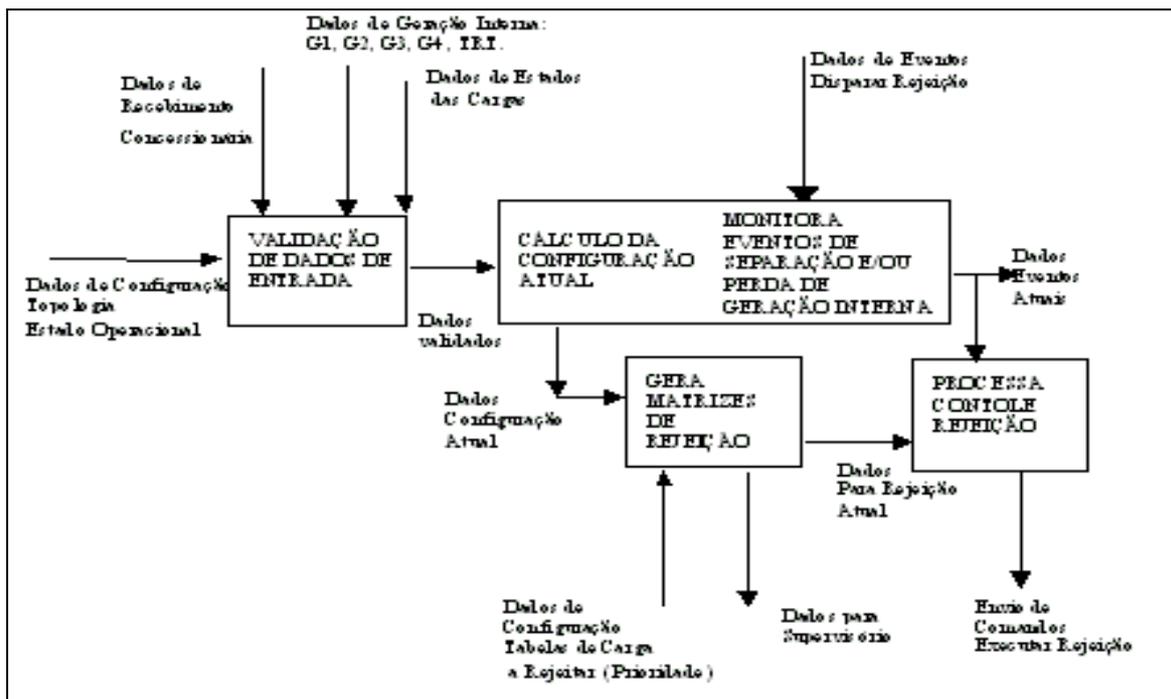


Figura 4. Componentes da lógica de Rejeição de Cargas.

Estes dados de entrada são:

- Cargas não prioritárias do sistema, autorizadas para ser desligadas;
- Reserva Girante a ser respeitada;
- Capacidade máxima de geração das máquinas, conforme informada pela operação da termelétrica;
- Potência de Sopro dos TGS.

Para a interface com a operação e manutenção do Sistema elétrico foram desenvolvidas telas customizadas no Sistema supervisorio que demonstram o resultado do tratamento antecipatório das lógicas executadas no PLC.

Estas telas indicam ao operador do sistema elétrico :

- estados do sistema num diagrama Unifilar;
- o modo operacional interpretado pela topologia do sistema elétrico, conforme os procedimentos operacionais;
- mostram quais serão as barras das subestações de área que se manterão alimentadas após uma possível contingência;
- as interligações existentes entre subestações de área pelas barras de 13,8kV;
- gráfico comparativo com os dados de consumo da usina, capacidade máxima e reserva de geração e set-point de rejeição.

- Resultados obtidos

O Sistema foi implantado durante a expansão de 5Mt/A do Sistema Elétrico da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST – 2004/2005), com um tempo máximo de atuação da função de rejeição alcançado de 150 ms para uma contingência de 1ª ordem, e de 240 ms para uma contingência de 2ª ordem. Este tempo foi medido e registrado pelo Sistema SOE, que sincroniza os horários de todas as CPU's do sistema elétrico.

Como resultado da implantação, os diagnósticos resultantes da análise executada pelas lógicas a cada varredura da CPU, no PLC de Rejeição, são mostrados nas telas e gráficos do sistema supervisorio, sendo utilizados pelos usuários do mesmo para definição de estratégias de operação do sistema elétrico, uma vez que antecipa qual será a topologia resultante da ocorrência de uma contingência, quais as cargas a serem desligadas e qual será o valor total a ser reduzido por esta função de rejeição.

As sinalizações de uma diferença excessiva entre o consumo total da usina muito baixo e a capacidade máxima de geração muito alta tem sido utilizado, quando permitido pelo operador desde o sistema supervisorio, para rejeitar automaticamente a Turbina de recuperação de gases do Alto Forno, evitando desse modo excessivas rejeições de vapor das caldeiras.

## **CONCLUSÕES**

Pela completa modelagem do sistema elétrico da CST durante o desenvolvimento e a implementação deste sistema, e pela fidelidade das características operacionais, junto ao funcionamento do sistema implementado sem ocorrências de acidentes de rejeição involuntária (não prevista pela lógica), o sistema demonstra confiabilidade nas análises para preparação das matrizes de rejeição.

A arquitetura de redes de comunicação em anel (tipo Ring) com redundância de CPU's e saídas redundantes de trip das cargas menos prioritárias (via I/O e via dispositivos de transferencia de sinal por fibra ótica), tem demonstrado a segurança que o sistema oferece.

A filosofia de tratamento das variáveis, de análise do sistema e a forma de atuação dos resultados da lógica para desligamento das cargas, organizadas em rotinas que tratam matrizes de dados, vislumbra possibilidades de aplicação em outras lógicas para proteção ou controle de termelétrica.

## **Agradecimentos**

Meus agradecimentos ao Engenheiro Emerson Miranda pela colaboração e auxílio técnico prestados durante o desenvolvimento do Simulador para modelagem e testes do sistema e ao Engenheiro Ademir Carvalho pela colaboração no canteiro de obras.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 María de los Ángeles López Rivas, José Flávio Rabelo. "Análise Funcional do Sistema de Rejeição de Cargas para a Companhia Siderúrgica de Tubarão" , ALSTOM, 2003.