

## 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE REDES DE COMPUTADORES (2º SBRC)

### Sistema Distribuído de Processamento - SDP-86

Silvio Roberto Sakata  
Daniel Brandão Cavalcanti  
Alice Maria B.H.Tokarnia  
Hércules Lobo de Souza  
Alexandre Costa e Silva  
Fernando Rodrigues da Cunha

Prólogo S.A. - Produtos Eletrônicos  
Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento  
SIA - Trecho 03 - Quadra 02 - Lotes 1.220/1.240  
CEP.: 71.200 - BRASÍLIA-DF  
Caixa Postal: 07/1116  
Telefone: (061) 234-2009

### RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de mostrar o desenvolvimento de um Sistema Distribuído de Processamento, a partir de dois enfoques. O primeiro é mostrar o Sistema transferido do CEPEL à Prólogo S.A, considerado como a 1ª Versão da rede.

O segundo é mostrar as modificações, tanto em "hardware" como em "software", que foram introduzidas visando aumentar a confiabilidade e eficiência do Sistema, utilizando-se novas tecnologias de circuitos integrados LSI.

A arquitetura dessa rede possui como características a Modularidade e a Descentralização. Com estas características, o Sistema apresenta-se bastante flexível com possibilidade de adaptação a diversas aplicações e com capacidade de evolução a custos razoavelmente baixos.

Uma aplicação deste Sistema ocorre na área de Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos, funcionando como um Centro de Operação Regional (COR).

## 1 - INTRODUÇÃO

O projeto do Sistema Distribuído de Processamento, SDP-86, de que trata este trabalho, baseia-se em Tecnologia desenvolvida pelo CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica da ELETROBRÁS.

Esta tecnologia foi transferida à PRÓLOGO S.A. com o objetivo inicial de fornecer a FURNAS - Centrais Elétricas S.A. o Sistema de Supervisão e Controle de um COR - Centro de Operação Regional, a ser instalado na subestação de Jacarepaguá no Rio de Janeiro.

Visando ampliar o potencial de aplicações deste Sistema a outras áreas de atuação da empresa, a PRÓLOGO S.A. está realizando o desenvolvimento de um novo "hardware" e implementando também modificações e aperfeiçoamentos no "software" original.

Especificamente no Subsistema de Comunicações, algumas significativas alterações estão sendo introduzidas. A utilização de cabo coaxial como meio físico de transmissão, de transceptores mais sofisticados para a conexão dos microcomputadores à via e o aumento da taxa de transmissão na via (por meio de modificações em "hardware" e "software") são pontos em que um considerável esforço vem sendo realizado.

## 2 - CONCEPÇÃO DA REDE

Esta rede possui como características principais a Modularidade e a Descentralização, tanto em "hardware" como em "software".

No desenvolvimento deste Sistema de Comunicação o CEPEL baseou-se na concepção de REDES LOCAIS com processadores distribuídos, adotando uma estrutura de Níveis, garantindo assim a sua flexibilidade para adaptação a outras aplicações, bem como o seu acompanhamento frente a avanços tecnológicos [2].

A característica de Descentralização é atingida quando:

- i) O funcionamento do Sistema não depende de um único elemento específico (centralizador), ou seja, todos os elementos conectados à rede podem acessar a via independentemente.
- ii) A influência no Sistema pela perda de qualquer elemento é a menor possível.
- iii) O Sistema pode degradar-se até o seu ponto mínimo de existência (dois elementos) sem alteração de suas características funcionais.

Para atingir um Sistema Modular é necessário verificar o custo ou esforço necessário para a introdução de mais um módulo no Sistema.

A modularidade é ótima, quando este custo for igual ao valor do módulo apenas [2].

#### 2.1 - Estado Inicial da REDE:

O projeto dessa rede foi concebido pelo CEPEL, para possibilitar a configuração de microcomputadores com capacidade de processamento bastante elevada e com flexibilidade suficiente para permitir que cada um possa ser facilmente adequado a uma aplicação específica, por exemplo, aquisição e pré-processamento de dados, interação com operadores humanos através de uma console de Supervisão e Monitoração, comunicação com nível hierárquico superior, controle de impressão de relatórios, etc.

Nesta primeira versão, os microcomputadores foram baseados no iAPX 88 da INTEL, onde o 8088 é um microprocessador de 8 bits, com software totalmente compatível com o iAPX 86.

Do ponto de vista topológico, pode-se considerar os seguintes elementos da rede (fig. 2.1).

VGI - Via Geral de Intercomunicação, é o meio físico utilizado para enlaces de comunicação entre estações, chamado aqui simplesmente de via.

Transceptor - É o elemento do Sistema responsável pelo encaminhamento das informações, fazendo a interface com a via.

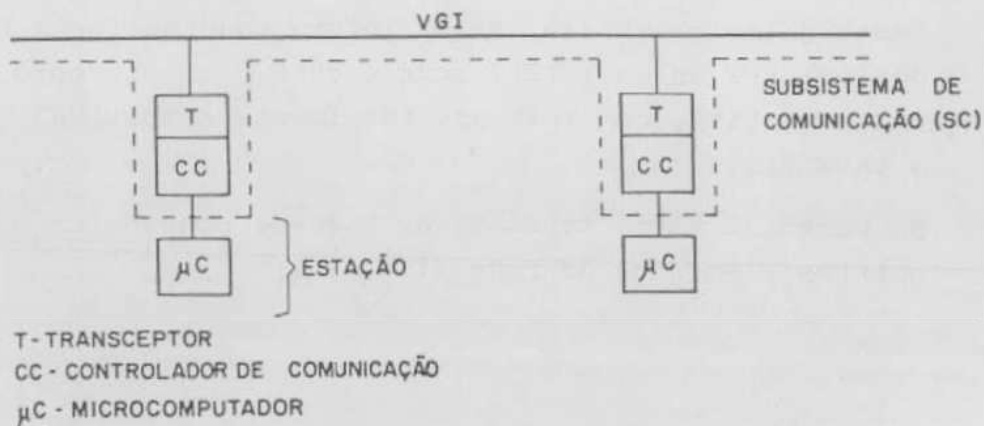
Estação - Microcomputador dedicado às funções específicas da aplicação.

Controlador de Comunicação (CC):

Este módulo, como parte do Subsistema de Comunicações, é acoplado à Unidade de Processamento UCP e Transceptor, e realiza o controle da Comunicação entre as estações que estejam conectadas ao mesmo meio físico de transmissão (via).

A estrutura deste módulo permite a cada uma das estações, que compartilham a via, concorrer através do esquema de contenção do tipo CSMA/CD, adquirir o controle e efetuar a transmissão de dados sob a forma de pacotes (maiores detalhes nos sub-itens 2.1.3 e 2.1.4).

fig. 2.1 - TOPOLOGIA DA REDE



### 2.1.1 - Aspectos de Software:

Escalar os programas para serem executados e transferir o controle da UCP de um programa para outro são funções do "Programa Executivo" (Supervisor), que gerencia a execução dos programas do Sistema, de forma que as funções de controle e aquisição de dados sejam realizadas de acordo com as especificações do Sistema.

O NSO é um Programa Executivo que atua como núcleo de um Sistema Operacional de tempo-real, multitarefa, em que as tarefas são escaladas com base em suas prioridades.

Na estrutura do NSO, três conceitos são fundamentais:

Tarefa (task) - ou processo, é um conjunto de instruções formando um programa independente, que realiza determinada função ou trabalho no Sistema, interagindo com outras tarefas e concorrendo pelos recursos de uso comum.

Mensagem - É uma estrutura organizada contendo informações, através da qual são realizadas a transferência de dados e/ou sincronização entre tarefas. A interação entre tarefas ocorre através de troca de mensagens.

Intercâmbio (Exchange) - É a estrutura necessária à coordenação da transferência de mensagens entre tarefas, ou seja, são os "nós" de comunicações entre tarefas.

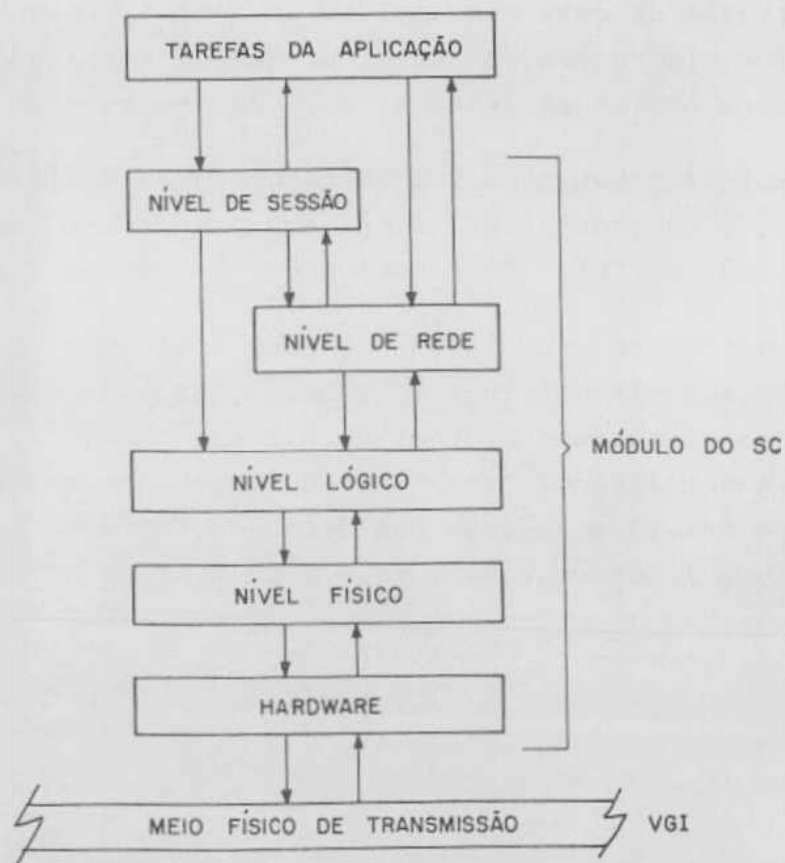
Embora as tarefas específicas de cada aplicação tenham que ser desenvolvidas individualmente, algumas tarefas associadas a recursos básicos do Sistema podem ter o seu uso generalizado. Para tanto é importante que o acesso a estas tarefas seja bem definido, através dos respectivos intercâmbios.

As tarefas que compoem o módulo de "software" do Subsistema de Comunicação são dedicadas à funções básicas do comunicação no Sistema, fazendo uso dos recursos do NSO.

### 2.1.2 - Protocolo do Subsistema de Comunicação:

O SC possibilita a interligação de microcomputadores com Sistemas Operacionais baseados no NSO, através de uma rede local em barramento. Este módulo tem por função possibilitar a troca de informações entre as diversas tarefas residentes nas estações conectadas à via. O projeto deste módulo foi desenvolvido em 5 níveis, hierarquicamente e funcionalmente distintos, conforme mostra a fig. 2.2

fig. 2.2 - PROTOCOLO DO SUBSISTEMA DE COMUNICAÇÃO





Os níveis mais altos do protocolo são implementados como tarefas do NSO, enquanto os mais baixos estão fora do contexto deste.

Cada nível possui funções, logicamente independentes, que podem ser desenvolvidas, implementadas e ativadas independentemente.

Estes níveis foram estruturados de acordo com dois objetivos básicos:

- 1 - Existirem interfaces bem definidas entre os níveis, permitindo assim uma evolução modular em termos de desenvolvimento.
- 2 - Os procedimentos realizados nos níveis mais baixos serem transparentes aos níveis mais altos.

Em cada nível são executados diversos procedimentos, relativos à comunicação, que realizam um trabalho para o nível superior.

Estes procedimentos utilizam como unidade de trabalho as tarefas implementadas nos níveis inferiores.

O Nível de HARDWARE realiza a Transferência de informações (pacotes variáveis), utilizando sinais binários (bits) como unidades de trabalho. É o nível mais baixo, envolvendo o meio de transmissão, os circuitos de interfaces e os dispositivos microperiféricos que se comunicam por intermédio do protocolo SDLC e codificação NRZI. Além disso, estão incluídos os suportes para detecção de colisão e portadora.

Na nova versão da REDE Prólogo, este nível sofreu modificações com a implementação de novas tecnologias de componentes LSI (ver item 2.2)

O nível inferior do módulo de "software" do SC é o Nível FÍSICO, que controla diretamente o "hardware", através de rotinas de software básico ("handlers") que estão fora do contexto do NSO.

Este nível teve que sofrer modificações para se conseguir, na nova versão Prólogo, uma taxa de Transmissão de 880 Kbs e também para adaptar o "software" de comunicação ao novo "hardware".

Imediatamente acima deste nível, encontra-se o Nível LÓGICO, responsável pela Lógica Operacional das comunicações. É constituído de quatro tarefas responsáveis pelo envio de comandos e respostas, provenientes da aplicação, quando uma estação quer se comunicar com outra. Estas tarefas são responsáveis também pelo recebimento e decomposição de mensagens "grandes" em "pacotes" com tamanhos definidos que podem trafegar pela Via

O Nível de REDE, por sua vez, é constituído de três tarefas que permitem informar aos níveis superiores o estado, ou a ocorrência de uma mudança no estado de funcionamento das estações conectadas a Via, evitando com isso que a aplicação fique tentando se comunicar com estações que estejam fora de serviço. Este nível do SC pode fazer um interfaceamento direto com as tarefas da aplicação.

Finalmente, o Nível de SESSÃO faz a interface entre as tarefas da aplicação e os demais níveis do módulo SC. Este nível foi elaborado com o objetivo de facilitar a comunicação entre entidades de "software" de aplicação, denominados "Objetos". Os objetos são grupos de processos, rotinas e dados, que constituem uma unidade lógica, com uma determinada função. Um objeto é identificado pelo Nível de SESSÃO por um nome.

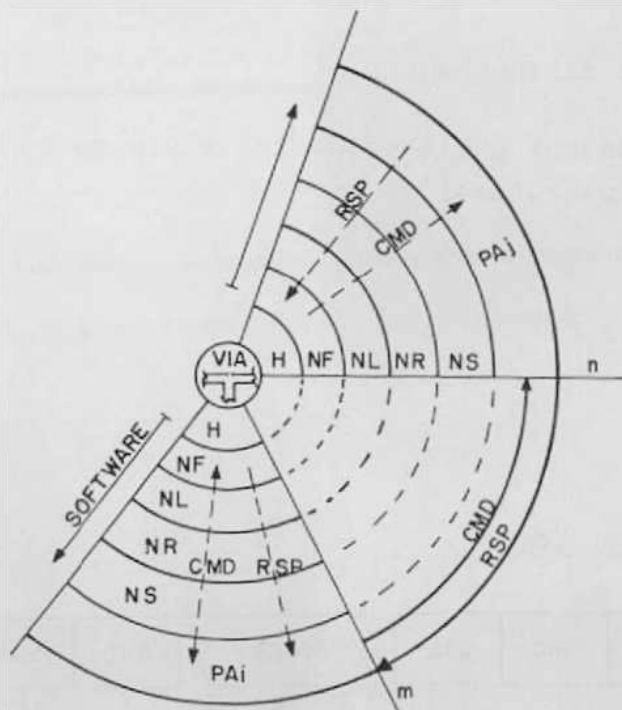
Assim, o Nível de SESSÃO permite o envio ou recepção de mensagens entre objetos residentes em um ou mais microcomputadores conectados à via, utilizando-se dos níveis mais baixos.

A estrutura do NSO, fornecendo as primitivas de comunicação entre tarefas, assim como dos módulos de "software" de base simplifica consideravelmente o esforço necessário no desenvolvimento de tarefas de aplicação. Outro aspecto importante é o fato de quase todo o software do SC estar desenvolvido em PLM/86, exceto o Nível Físico que está codificado em Assembly, devido a requisitos de tempo. O PLM/86, é uma linguagem de alto nível bastante poderosa e flexível.



Na fig. 2.3, é ilustrado um diálogo (comando e resposta) entre os programas de aplicação PA<sub>i</sub> da estação m e PA<sub>j</sub> da estação n, onde a linha tracejada representa o trajeto real da comunicação e o caminho indicado pelas setas representam o trajeto virtual para os Programas de Aplicação (PA<sub>i</sub> e PA<sub>j</sub>).

fig. 2.3 - COMUNICAÇÃO ENTRE A ESTAÇÃO M E ESTAÇÃO N



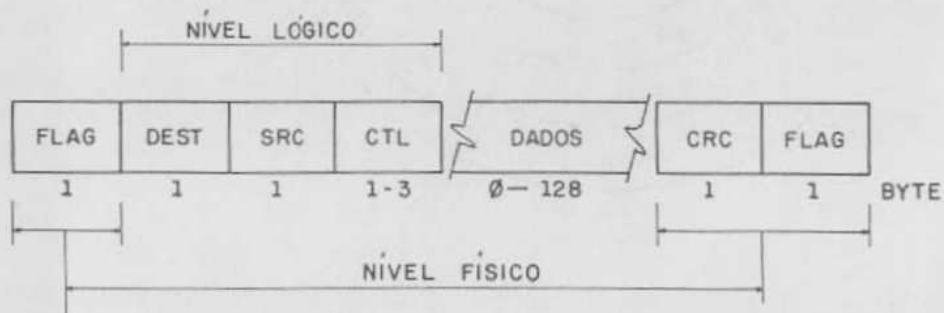
### 2.1.3 - Método de Acesso à VGI:

Foi adotado o método de acesso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection).

Nesse método de acesso, as estações ficam constantemente monitorando a via, antes e durante a transmissão de alguma mensagem. No caso de detecção de colisão, o tempo de retração (backoff) é aleatório e possui valores médios fixos, escolhidos pelo Nível Lógico.

### 2.1.4 - Formato das Mensagens

As mensagens que trafegam pela via possuem a seguinte estrutura:



onde:

FLAG: 1 byte pelo microperiférico Controlador de Protocolo, para detecção de início ou final de mensagem

DEST: 1 byte para o endereço da estação destino

SRC: 1 byte para o endereço da estação fonte

CTL: de 1 a 3 bytes para o controle de mensagens na via

DADOS: de 0 a 128 bytes, que são os dados úteis da mensagem

CRC: Cyclic Redundancy Checksum, para verificação da integridade da mensagem, calculado pelo Controlador de Protocolo.

Foi utilizado no Sistema o protocolo síncrono SDLC devido às facilidades oferecidas para sua implementação. Por exemplo, maior taxa de transferência de dados, verificação automática de endereço e inserção automática de 0 (sendo associada ao NRZI).

## 2.2 - Evolução da REDE:

Esta seção descreve as modificações e melhorias que transformaram a tecnologia transferida pelo CEPEL na rede PRÓLOGO.

A motivação para tais modificações foi principalmente a obtenção de um produto industrial de maiores desempenho e disponibilidade. Para tanto, o MTBF dos circuitos foi bastante aumentado, permitindo também uma elevação da taxa de TRANSMISSÃO/RECEPÇÃO.

Com o auxílio da figura 2.4 pode-se analisar os diversos módulos que constituem o novo hardware do sistema de comunicação.

O primeiro bloco é a CPU, responsável pelo controle do subsistema. A CPU utilizada é o iAPX186, que incorpora os canais de DMA utilizados para a troca dos dados entre a memória da CPU e o subsistema.

19.12

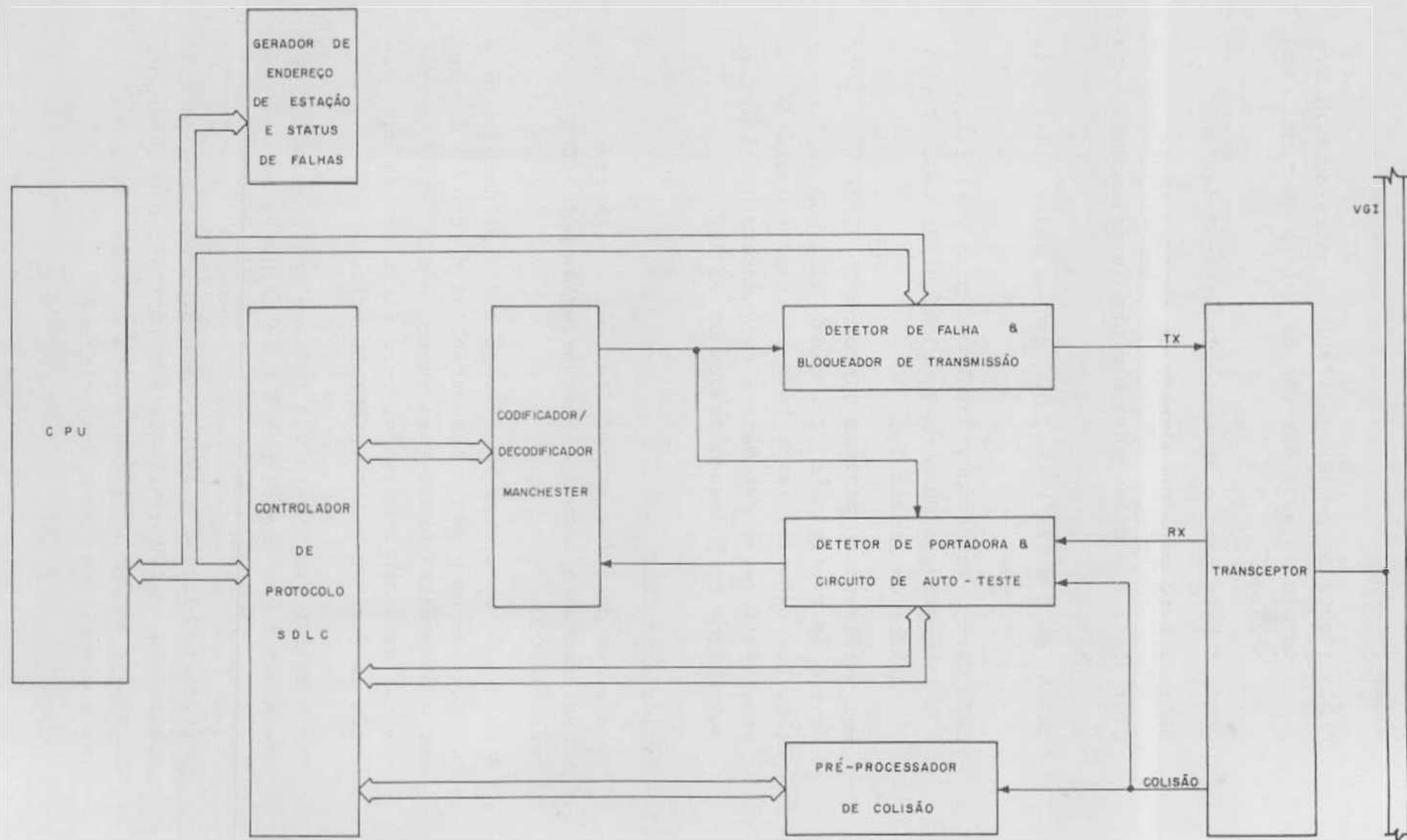


FIGURA 2.4 - SUBSISTEMA DE ACESSO À VGI

A utilização desta CPU, mais rápida e poderosa que o 8088, contribuiu para a elevação da taxa de transmissão e como o DMA está na mesma pastilha, houve um aumento de confiabilidade e uma diminuição da área ocupada e dos custos de industrialização.

O controlador de protocolo SDLC é o responsável por toda a serialização das mensagens além de gerar e detectar os pacotes segundo este protocolo.

Este controlador é também a interface entre vários módulos e a CPU.

O módulo de codificação/decodificação Manchester foi incorporado ao CC para aumentar a confiabilidade do tráfego na via.

Este módulo incorpora um detector de código não Manchester que permite evitar que dados adulterados sejam recebidos pelo controlador de protocolo SDLC. Ele também se encarrega de gerar/detectar um preâmbulo de sincronização para o código de Manchester.

O detector de falhas e bloqueador de transmissão foi introduzido para diminuir a probabilidade de uma estação ocupar a via ilegalmente.

O pré-processador de colisão tem como função colocar o sinal de colisão proveniente do transceptor em uma forma adequada ao controlador de protocolo SDLC. Recebendo este sinal, o módulo inicia a produção automática de "JAM" na via.

No módulo gerador de endereço de estação e status de falha, estão localizadas as chaves que definem o endereço físico da estação, bem como uma palavra de status de falha que permite ao "software" executar o auto-teste do sistema e averiguar se a falha é transitória ou permanente, tomando então as providências para recuperar ou isolar o Subsistema.

As principais características do transceptor desenvolvido pela Prólogo, cujo diagrama de blocos é mostrado na fig. 2.5, são:

- i) possuir uma alta isolação entre o cabo coaxial e o CC
- ii) detectar colisão, quando mais de uma estação transmite ao mesmo tempo.
- iii) ativar o sinal de detecção de colisão, ainda que a atividade na via seja máxima, não apresentando transição de Nível Lógico.

O projeto do transceptor foi desenvolvido visando uma taxa de transmissão máxima de 2Mbps, entretanto, devido às limitações de outros módulos do Sistema, a taxa de transmissão utilizada será inicialmente de 880 Kbps.

Como via Geral de Intercomunicação é utilizado um cabo coaxial com impedância de  $50\Omega$ , excitado pela saída do transceptor através de uma fonte de corrente.

O hardware atual permite uma variação no tempo médio de retração (back off) possibilitando a otimização do tráfego de mensagens na via.

Do ponto de vista de software as modificações se estenderam por todo o Nível Físico que ao ser modificado para funcionar com o novo hardware deixou sua interface com o nível lógico praticamente inalterada. Os "handlers" que compõem este nível, bem como trechos do S.O. foram otimizados de modo a melhorar o tempo de atendimento às interrupções. A rotina de auto-teste e recuperação de erro, atualmente especificada está em fase de implementação.

Com estas melhorias, o Subsistema, tem agora capacidade de funcionar sem perdas de pacote (exceto por um eventual estouro da capacidade de armazenamento de pacotes) a 880 Kbps com um comprimento máximo da via de 2 Km.



19.15

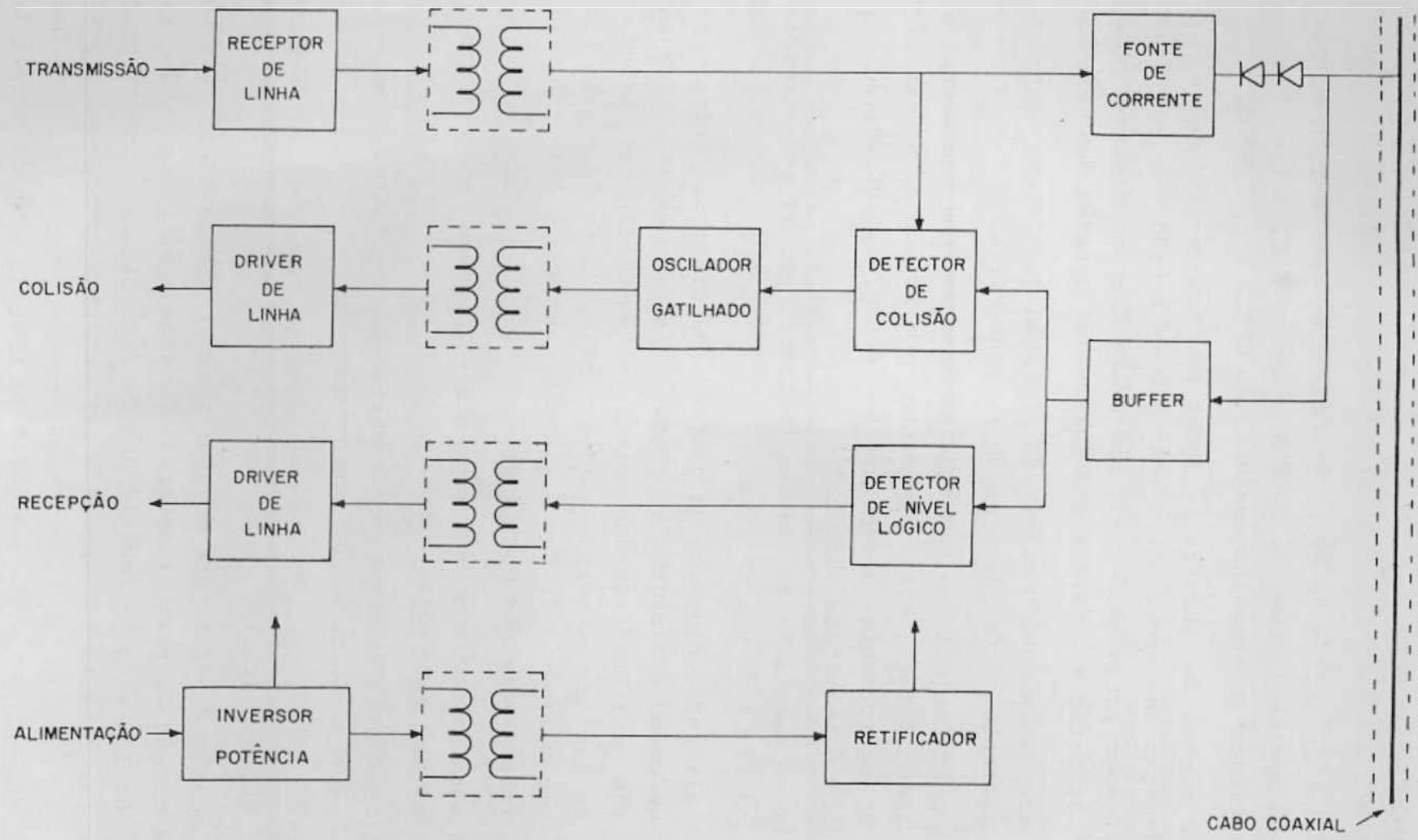


FIGURA 2.5 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO TRANSEPTOR

### 3 - APLICAÇÃO DA REDE

A primeira aplicação deste sistema será nos Centros de Operação Regional (COR) de FURNAS - Centrais Elétricas S.A., i dealizados em trabalho conjunto do CEPEL e de FURNAS.

Cada centro de operação regional tem como atividades a co ordenação das manobras, o controle de tensão e â normalização, após perturbações, de uma certa área do Sistema Elétrico. Estas atividades são realizadas através das funções:

- i) acompanhamento contínuo da evolução do sistema elétrico nas subestações da área de responsabilidade do COR.
- ii) controle dos equipamentos na área do COR, incluindo a identificação dos equipamentos controláveis, a seleção do equipamento, a execução do controle e informação so bre o resultado obtido.
- iii) apresentação de alarmes indicando alguma anormalidade no valor de uma variável.
- iv) alteração dinâmica do conteúdo de diversas estruturas de dados definidas "a priori". Algumas dessas estruturas são: horários dos relatórios automáticos, tabelas de limites associados às variáveis, lista de variáveis com alarmes inibidos e lista de variáveis cujos valores foram inseridos manualmente.
- v) consulta através do vídeo das estruturas de dados disponíveis para alteração.
- vi) registro da evolução de variáveis analógicas e emissão de relatórios pedidos ou programados.
- vii) envio e recepção de mensagens do Centro de Operação do Sistema (COS).

A adoção da estrutura modular permite grande flexibilidade na adição de novas funções ao Sistema e assegura longa vida útil devido às facilidades de expansão. A importância destas características deve ser avaliada levando em conta, que o usuário, no caso FURNAS, conhece, todos os detalhes do "hardware" e do "software" do Sistema podendo moldá-lo de acordo com suas necessidades.

Foi adotada a terminologia "Operadores" pelo usuário, para caracterizar as estações que se conectam pela VGI.

Pretende-se em FURNAS que a configuração do sistema seja a seguinte:

#### A-) SISTEMA BÁSICO "ON-LINE"

Constituído do conjunto de facilidades disponíveis "on-line" cujas funções independem da aplicação a ser atendida. Essas facilidades são:

- Sistema Básico do Módulo (SBM): "hardware" de uma unidade de processamento, núcleo do sistema operacional, gerenciador de arquivos em disco, gerenciador dos bancos de dados empregados na aplicação, formadores de entrada e saída e formadores de dados para o registrador gráfico.
- Subsistema de Comunicação (SC): descrito neste trabalho.
- Subsistema de Observação e Salvamento (SOS): utilizado para aumentar o grau de observabilidade e disponibilidade do sistema de supervisão e controle e garantir a continuidade de operação na presença de falhas.
- Utilitários do Sistema: incluindo o mantenedor da replicação de dados, o responsável pelo sincronismo dos operadores e o relógio/calendário.

#### B-) SISTEMA DE SUPORTE

Constituído pelo "hardware" e "software" envolvido na geração e manutenção do sistema, a saber:

- Sistema de Implantação de Programas
- Gerador da Base de Dados do Sistema
- Simuladores

#### C-) SISTEMA DE APLICAÇÃO

Trata-se do conjunto de programas e operadores (estações) configurados pelo usuário para uma determinada aplicação.

No caso de FURNAS os programas são:

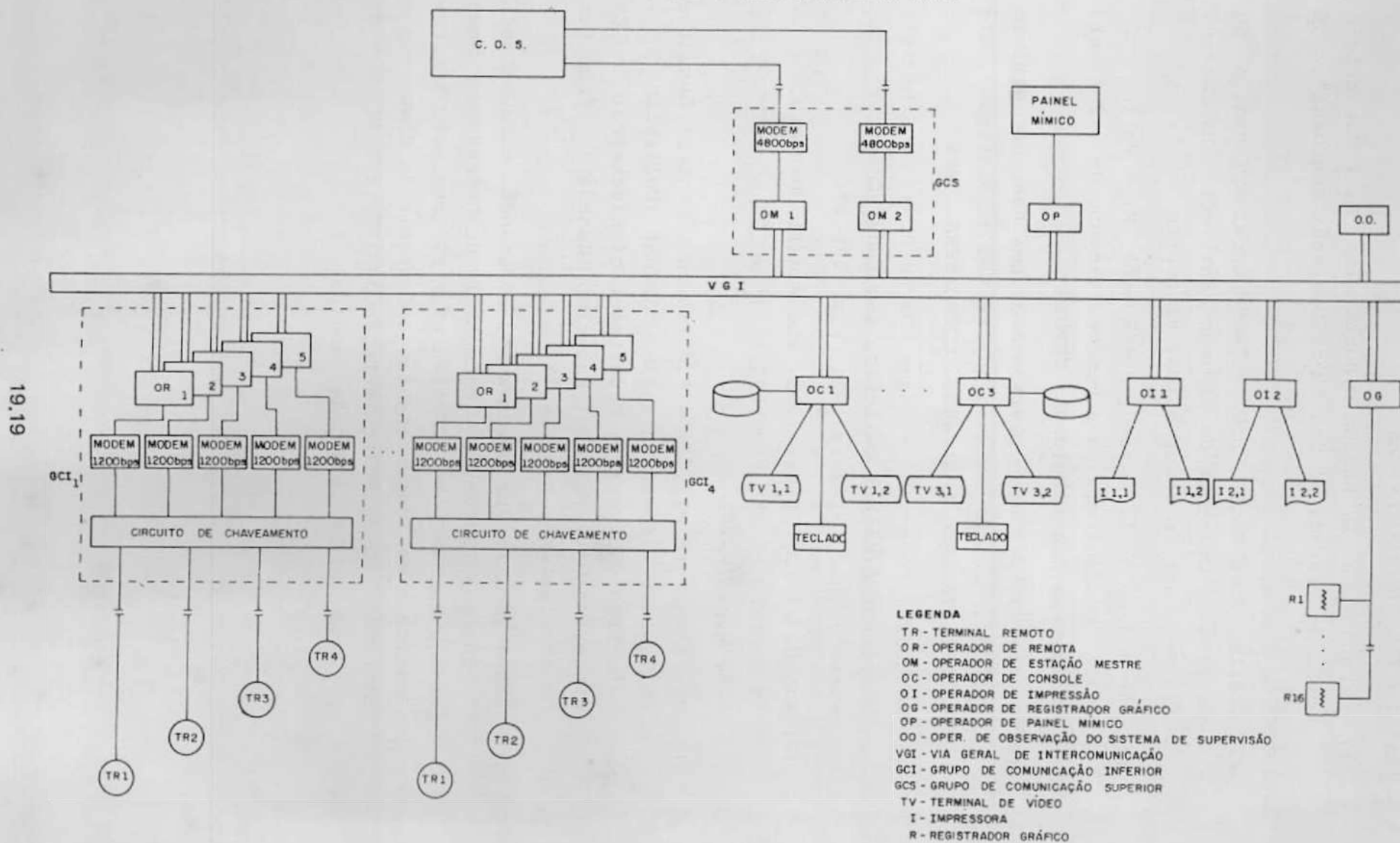
- Comunicação Homem-Máquina

- Comunicação com o Sistema Elétrico
- Comunicação com o Sistema Central

Os operadores configurados são mostrados na figura 2.6 e constam de:

- Operador de Remota (OR) - responsável pela aquisição e transmissão de dados, para as unidades terminais remotas.
- Operador de Estação Mestre (OM) - responsável pela coleta e transmissão de dados para o COS (estação mestre).
- Operador de Console (OC) - encarregado de diálogo e apresentação de dados em terminais de vídeo. Além disto, mantém e apresenta as mensagens de alarme.
- Operador de Registrador Gráfico (OG) - controle dos registradores gráficos e mostradores digitais de painel.
- Operador de Impressora (OI) - encarregado da formatação e apresentação.
- Operador de Painel Mímico (OP) - responsável pela apresentação do estado de subestações e estado de disjuntadores de linhas de transmissão através do painel mímico.
- Operador de Observação (OO) - responsável pela apresentação e reconfiguração do próprio sistema de supervisão e controle do COR, permitindo que o pessoal de manutenção, esteja sempre informado do estado dos diversos operadores e periféricos.

FIGURA 2.6 - DIAGRAMA GERAL DO SISTEMA DE FURNAS



- LEGENDA**
- TR - TERMINAL REMOTO
  - OR - OPERADOR DE REMOTA
  - OM - OPERADOR DE ESTAÇÃO MESTRE
  - OC - OPERADOR DE CONSOLE
  - OI - OPERADOR DE IMPRESSÃO
  - OG - OPERADOR DE REGISTRADOR GRÁFICO
  - OP - OPERADOR DE PAINEL MÍMICO
  - OO - OPER. DE OBSERVAÇÃO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO
  - VGI - VIA GERAL DE INTERCOMUNICAÇÃO
  - GCI - GRUPO DE COMUNICAÇÃO INFERIOR
  - GCS - GRUPO DE COMUNICAÇÃO SUPERIOR
  - TV - TERMINAL DE VÍDEO
  - I - IMPRESSORA
  - R - REGISTRADOR GRÁFICO

- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fernandes, A. L. Bogado e Moszkowicz, M. - "Descrição Geral do Sistema do Centro de Operação Regional", CEPEL
- (2) Gracia, J. e Souza, L.C. - "Rede Local Aplicada a Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos", XV Congresso Nacional de Informática, RioCentro
- (3) Fernandes, A. L. Bogado, Moszkowicz, M. e Valle, L. Della "Metodologia para Desenvolvimento de Software em Sistema Distribuídos", CEPEL
- (4) Gracia, J. - "Desenvolvimento de uma Rede de Microprocessadores Aplicada a Supervisão de Sistemas Elétricos, Tese de Mestrado - COPPE/UFRJ, 1980
- (5) Metcalfe, Robert M. e Boggs, David R. - "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks", VOL. 19, July/1976, p.p. 395-404
- (6) Shoch, J. F.; Dalal, Y. K. and Redell, David D. - "Evolution of the Ethernet Local Computer Network", XEROX, p.p. 10-26
- (7) Moura, A. e Field, J. - "Collision - Control Algorithms in Carrier - Sense Multiple - Access (Collision - Detection) Networks", Department of Electrical Engineering University of Waterloo, Canadá, Computer Communications, p.p. 10-18.
- (8) Araújo, P.J.P. de; Cavalcanti, D. Brandão e Cavalcanti, A. Sherman "Supervisão e Controle de Processos: Modularidade em Hardware e Software" - 1º Congresso Latino-Americano de Instrumentação e Controle de Processos e 5º Seminário de Instrumentação do IBP, 8 a 11 de Novembro de 1983, Rio de Janeiro.