

RICARDO COSTA ZEBINI

**SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS PARA CONTROLE
DE PROCESSOS: ANÁLISE E PROJETO**

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP
para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia

São Paulo, 1985

RICARDO COSTA ZERBINI

Eng. Eletricista, Escola Politécnica da USP, 1977

**SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS PARA CONTROLE
DE PROCESSOS: ANÁLISE E PROJETO**

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP
para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Lucas Antonio Moscato
Professor Adjunto do Departamento
de Engenharia de Eletricidade da
EPUSP.

SÃO PAULO, 1985

FD-660

A meus pais,
meus filhos
e minha esposa.

Este trabalho foi realizado com o apoio da
Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. Lucas Antonio Moscato pela orientação.

À Prof^a Dr^a Edith Ranzini pela colaboração e dedicação.

À Sineide T. Vieira, Sônia Regina I. Carlino, Alberto B. dos Santos e Elizabeth Araujo pelos serviços executados.

Aos colegas da FDTE que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho

Obrigado

R E S U M O

Em sistemas de supervisão e controle de processos que incorporam unidades de aquisição de dados e de atuação, posicionadas em locais distantes da unidade de processamento central, torna-se necessária a utilização de um sistema de transmissão de dados (STD) com características adequadas para tal finalidade. Os sistemas de transmissão de dados digitais possuem a capacidade de executar esta interconexão de modo confiável.

O presente trabalho expõe os aspectos relevantes das atividades de pesquisa, que envolveram o projeto de um concentrador, a definição de um protocolo de comunicação e a análise de desempenho, desenvolvidas em um sistema de transmissão de dados utilizado na supervisão e controle de um sistema ferroviário.

A B S T R A C T

There are processes with distributed data acquisition and actuator devices. Systems that supervise and control these processes require a Data Transmission System with special features. A digital data transmission system can perform it in a reliable way.

This work describes the relevant aspects of the research activities, which have envolved the project of a concentrator, the definition of a communication protocol and the performance analysis of a data transmission system used in a railway control and supervision system.

Í N D I C E

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1.1
2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS	2.1
2.1 - Enlace de Comunicação	2.1
2.1.1 - Canal de Comunicação	2.4
2.1.2 - Equipamento de Comunicação	2.5
2.1.3 - Interface de Comunicação	2.8
2.2 - Topologias	2.9
2.3 - Técnicas de Compartilhamento de Enlace Multiponto	2.15
2.3.1 - Multiplexação	2.15
2.3.2 - Varredura Seletiva	2.20
2.3.3 - Varredura Centralizada	2.22
2.3.4 - Contenção	2.24
2.4 - Técnicas para Redes Ponto a Ponto	2.25
2.4.1 - Comunicação em Anel	2.26
2.4.2 - Concentradores	2.28
2.5 - Protocolo de Comunicação	2.29
2.5.1 - Controle da Transferência dos Dados	2.31
2.5.2 - Detecção e Recuperação de Falhas	2.32
2.5.3 - Sincronismo	2.34
2.5.4 - Transparência	2.35
2.5.5 - Iniciação (Bootstrapping)	2.36
3. PROJETO DO STD	3.1
3.1 - Introdução	3.1
3.2 - Arquitetura da Estação Central	3.5
3.3 - Estações Remotas	3.7
3.4 - Configuração do STD	3.10
3.4.1 - Estudos Iniciais	3.11
3.4.2 - Solução adotada para o STD	3.19

	Pág.
3.5 - Protocolo de Comunicação	3.22
3.5.1 - Estrutura das Mensagens	3.23
3.5.2 - Procedimento de Interconexão	3.25
3.6 - Concentrador	3.27
3.6.1 - "Hardware"	3.27
3.6.2 - "Software"	3.27
4. ANÁLISE DE DESEMPENHO	4.1
4.1 - Desempenho de Varredura em Enlace Multiponto	4.3
4.1.1 - Supervisão	4.3
4.1.2 - Supervisão e Controle	4.10
4.1.3 - Memória da Remota de Supervisão ...	4.14
4.2 - STD Proposto	4.17
4.2.1 - Tempo de Resposta	4.17
4.2.2 - Memória do Concentrador	4.23
4.3 - Considerações sobre o Desempenho	4.25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	5.1
APÊNDICE I - DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO STD	A1.1
APÊNDICE II - CÁLCULO DAS TAXAS DE INDICAÇÕES E DE COMANDOS	A2.1

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

	Pág.
Fig. 2.1 Enlace de Comunicação	2.3
Fig. 2.2 Modos de Interligação	2.7
Fig. 2.3 Topologias de Redes Ponto a Ponto	2.10
Fig. 2.4 Topologias Multiponto	2.14
Fig. 2.5 Espectro de Frequência do FDM	2.17
Fig. 2.6 Esquema STDM	2.19
Fig. 2.7 Varredura Centralizada	2.23
Fig. 2.8 Comunicação em Anel	2.27
Fig. 3.1 Sistema Global	3.2
Fig. 3.2 Sistema Dual	3.4
Fig. 3.3 Diagrama Esquemático do NPD e Periféricos.	3.6
Fig. 3.4 Remota de Supervisão	3.8
Fig. 3.5 Remota de Controle	3.9
Fig. 3.6 Distribuição das Remotas na Via	3.12
Fig. 3.7 STD Multiponto	3.14
Fig. 3.8 Utilização dos MODEMS	3.15
Fig. 3.9 Comunicação com MODEM	3.16
Fig. 3.10 Topologia Adotada	3.18
Fig. 3.11 Configuração do STD	3.20
Fig. 3.12 Estrutura das Mensagens	3.23
Fig. 3.13 "Hardware" do Concentrador	3.28
Fig. 4.1 Um Ciclo de Varredura	4.4
Fig. 4.2 Gráfico da Equação (4.8)	4.9
Fig. 4.3 Gráfico da Equação (4.13)	4.13
Fig. 4.4 Gráfico da Equação (4.16)	4.16
Fig. 4.5 Esquema do STD	4.18
Fig. 4.6 Gráfico de Equação (4.20)	4.22
Tabela 4.1 - Tempo de Resposta por Enlace	4.21
Tabela 4.2 - Tempo de Resposta por Remota	4.21

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Na supervisão e controle de processos podem-se caracterizar três tarefas básicas: AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO e ATUAÇÃO. Estas três tarefas podem ser identificadas na maioria dos processos, tanto de origem analógica quanto digital [23][2].

A aquisição consiste na leitura das variáveis pertinentes ao processo físico e na sua transformação em sinais elétricos, compatíveis com as unidades que executam a tarefa de processamento dos dados obtidos do campo.

O processamento consiste na execução de procedimentos que, a partir dos dados lidos pelo sistema de aquisição de dados e do comportamento anterior do processo, geram informações que permitem atuar no processo, visando obter-se o desempenho desejado do sistema [1][28].

Quando as informações obtidas do campo são simplesmente apresentadas ao operador, sem que o mesmo atue diretamente no processo, classifica-se este sistema como sendo de supervisão.

Quando o operador, a partir de informações obtidas através da supervisão, emite comandos para atuar diretamente sobre o processo, caracteriza-se este sistema como sendo de supervisão e controle manual.

Um sistema de controle automático caracteriza-se pela geração de comandos que atuam diretamente no processo, através de algoritmos específicos para o particular processo, a partir de dados adquiridos do campo, sem a intervenção direta do operador.

A atuação consiste na transformação dos sinais de controle resultantes do processamento em sinais elétricos compatíveis com os níveis requeridos pelos transdutores ligados ao processo.

Em relação à estrutura dos equipamentos, os sistemas de supervisão e controle de processos podem ser divididos em dois grupos:

- distribuídos;
- centralizados.

Os sistemas distribuídos, também denominados de controle local, caracterizam-se pela existência de unidades de aquisição e atuação ligadas a partes do processo, possuindo, cada uma delas, controle apenas parcial sobre o processo global. Tais sistemas oferecem as vantagens de distribuição de carga de processamento entre processadores de menor porte, e de menor complexidade na execução das tarefas de aquisição e atuação. Os sistemas distribuídos, entretanto, não fornecem aos operadores visualização global do processo. Assim sendo, o controle distribuído aplica-se a processos que podem ser divididos em sub-processos independentes e cuja supervisão não requeira a apresentação centralizada de todas as variáveis do sistema [15][4].

Os sistemas de controle centralizados caracterizam-se pela existência de uma única unidade de processamento, que recebe os sinais de supervisão, executa os algo-

ritmos de controle e envia os comandos de controle para a atuação. Este tipo de sistema oferece as vantagens de concentração das informações relativas ao processo e de apresentação dos dados a serem supervisionados através de dispositivos periféricos que facilitam sua interpretação (painéis sinóticos, monitores de vídeo, impressoras, traçadores gráficos). Essas vantagens facilitam a ação dos operadores. Assim sendo, os sistemas centralizados para a supervisão de processos são utilizados onde é necessária uma visão geral do conjunto de variáveis. Tais sistemas também são adequados para o controle de processos onde a atuação sobre o processo depende de todas as variáveis envolvidas |25|.

Nos sistemas centralizados, o controle do processo depende totalmente da central de processamento. Dessa forma, é necessário que essa central apresente características de confiabilidade e disponibilidade que a tornem imune a falhas |31||40||3||45|. Estas características geralmente elevam os custos dos sistemas centralizados em relação aos dos sistemas distribuídos. Uma alternativa para contornar esse fato é a utilização de sistemas hierarquizados, isto é, centralizados mas com a possibilidade de operação através de controladores distribuídos, em caso de falha da central |24|.

Tanto em sistemas distribuídos quanto em sistemas centralizados, há a necessidade de se transferirem as informações, de modo confiável e seguro, entre as unidades de processamento e o processo propriamente dito. Esta transferência, entretanto, pode ser dificultada pelos seguintes fatores:

- processos localizados em pontos fisicamente distantes uns dos outros;
- processos localizados em pontos onde as con-

dições ambientais não permitem a instalação de equipamentos de processamento ou a presença de operadores.

Sistemas ferroviários e de despacho de energia elétrica são exemplos de processos fisicamente distribuídos e, na maioria dos casos, supervisionados e controlados por um sistema centralizado, onde os pontos de medidas e atuações estão distribuídos ao longo do processo.

Processos químicos, siderúrgicos e petroquímicos são exemplos típicos de condições ambientais inadequadas para a instalação de equipamentos de processamento ou para a presença de operadores próximos do processo.

A solução adotada, para contornar os problemas apontados, é a utilização de um sistema de interligações que inclua uma rede de transmissão que possibilite a troca de informações entre os equipamentos de processamento e os elementos sensores e atuadores diretamente conectados ao processo.

Em alguns sistemas as informações são transmitidas sob forma analógica (pneumáticas e elétricas) [18][26]. Nestes casos, entretanto, dificilmente é garantida a integridade da informação. Para garantir essa integridade introduziram-se, posteriormente, sistemas de transmissão de informações digitais. Estes sistemas de interligações denominam-se Sistemas de Transmissão de Dados (STD) [51].

Num sistema de transmissão de dados aplicado em controle de processos, os dados transmitidos são obtidos em tempo real devendo ser analisados dentro de um tempo finito, com suas peculiares variações.

Os STDs são, atualmente, utilizados em larga escala na interligação de computadores e periféricos e têm sido amplamente pesquisados. Entretanto, os STDs empregados em interligações de computadores não consideram o fato das informações serem obtidas em tempo real. Com isso, a aplicação direta desses STDs no controle de processos pode não ser eficiente.

O emprego dos STDs utilizados em computadores para interligação das unidades de um sistema de controle de processo acarreta atrasos na transferência dos dados entre as unidades. As causas desses atrasos são:

- conversão dos dados da forma analógica para digital;
- serialização dos dados para transmissão;
- inserção de comandos relativos à comunicação (protocolo de comunicação);
- retardo nas linhas de comunicação;
- velocidade dos canais de transmissão de dados.

Os atrasos provocados pelo emprego do STD na troca de informação entre o aquisitor, o processador e o atuador representam tempo de resposta maior para o sistema. Na escolha de um STD, portanto, é necessário que se disponha de métodos para calcular os atrasos envolvidos, a fim de verificar a compatibilidade com o tempo de resposta desejado para o controle.

Esta dissertação resultou de um trabalho de pesquisa cujo objetivo foi a análise do desempenho de um STD, utilizado na supervisão e controle de um sistema ferroviário.

Essa pesquisa foi motivada pela necessidade de

se projetar um STD e de se calcular o tempo de resposta do mesmo, para fornecer subsídios à análise de desempenho do sistema global, a qual não faz parte do escopo deste trabalho.

O trabalho realizado envolveu, além da análise do desempenho, o projeto e a implementação de partes do STD, que também são focalizados nesta dissertação: os concentradores e o protocolo de comunicação.

Para a execução desta pesquisa foram inicialmente estudadas as características de vários STDs, visando obter subsídios para o trabalho em questão. No capítulo 2 desta dissertação, são apresentados os aspectos mais importantes a serem considerados, no projeto de um STD, aplicado em controle de processo.

O capítulo 3 é dedicado ao projeto do STD. Naquele capítulo, inicialmente apresentam-se as considerações preliminares para a escolha da configuração mais adequada e descreve-se a adotada. É também apresentada a descrição funcional do protocolo de comunicação utilizado, cuja sintaxe encontra-se detalhada no Apêndice I.

A análise do desempenho do STD é desenvolvida no capítulo 4, onde também são comentados os resultados obtidos.

No capítulo 5 apresentam-se as considerações finais a respeito do trabalho realizado.

A avaliação dos parâmetros específicos do sistema ferroviário, necessários para a análise realizada, é feita no Apêndice II.

CAPÍTULO 2

SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

2 - SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Os sistemas de controle e supervisão de processos são constituídos de estações de processamento de dados e de estações de aquisição e atuação, normalmente chamadas de estações remotas. As estações de processamento trocam informações entre si e com estações remotas através de um sistema de transmissão de dados.

Um sistema de transmissão de dados é o conjunto de elementos que possibilita a interconexão física e lógica entre estações, permitindo a troca de informações.

A aplicação de STDs para a interconexão de computadores, normalmente denominada rede de transmissão de dados, caracteriza-se pela possibilidade de uma dada estação poder comunicar-se com qualquer outra estação desejada.

Em controle de processos o fluxo de informação ocorre entre estações de processamento e estações remotas. Uma característica importante, do ponto de vista do STD, é que estações remotas não trocam, em geral, informações entre si.

Neste capítulo são abordados conceitos básicos relativos aos Sistemas de Transmissão de Dados aplicados especificamente a sistemas centralizados de controle e supervisão de processos. Assim sendo, o STD se limita a prover recursos para a interconexão entre uma estação central e as

estações remotas.

Existem várias topologias para a interligação das estações. Estas topologias dependem das características da aplicação específica, no que se refere ao fluxo de informação entre estações, e da disponibilidade de recursos para a implantação do STD.

Para garantir a troca ordenada de informações e a total compatibilidade entre os componentes que constituem o STD, deve-se seguir uma série de regras. A esse conjunto de regras denomina-se Protocolo de Comunicação, que envolve aspectos elétricos, mecânicos e funcionais.

2.1 - Enlace de Comunicação

O componente básico de um STD é o enlace de comunicação. O enlace representa a interconexão física e lógica que permite a uma estação receber e enviar dados, de um modo confiável, de ou para uma outra estação [43].

Um enlace de comunicação de dados é constituído por elementos que oferecem recursos para que duas ou mais estações ("data terminal equipment" - DTE) possam trocar informações ou dados. Estes elementos são:

- canal de comunicação;
- equipamento de comunicação ("data communication equipment" - DCE);
- interface de comunicação (DTE/DCE).

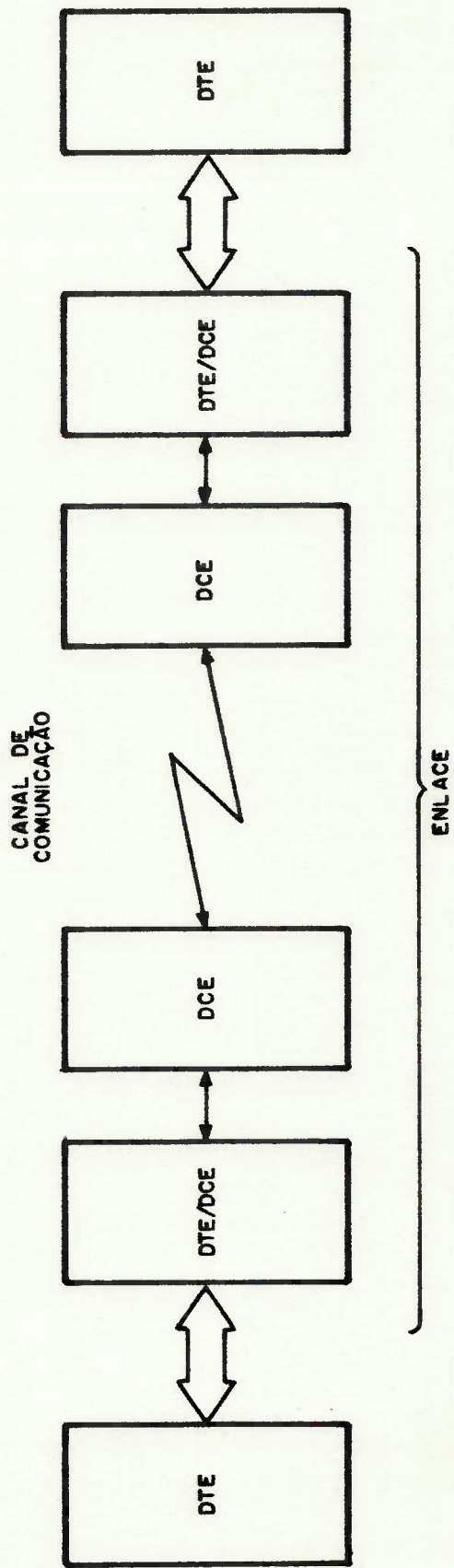


FIGURA 2.1 - ENLACE DE COMUNICAÇÃO

Na figura 2.1 está esquematizada a ligação entre duas estações, através de um enlace, mostrando as conexões entre seus elementos.

2.1.1 - Canal de Comunicação

O canal de comunicação representa o meio que irá transportar a informação de uma localidade para a outra [46]. Como exemplos, podem-se citar:

- fios e cabos (comunicação elétrica);
- fibra óptica (comunicação óptica);
- rádio-frequência (comunicação eletromagnética).

A utilização do canal de comunicação para dados digitais pode ser efetuada segundo duas técnicas:

- comunicação paralela;
- comunicação serial.

Nas ligações do tipo paralelo, a informação a ser transmitida é agrupada em palavras compostas por um certo conjunto de unidades binárias (bit). A comunicação é efetuada pela transmissão, palavra por palavra, sendo transmitidos simultaneamente todos os bits de cada palavra. Dessa forma, existe uma interligação física entre as estações para cada bit de informação da palavra. Além dos sinais da informação propriamente dita, deve existir também uma indicação, da estação transmissora para a receptora, sinalizando que o dado está presente na linha para ser lido.

As transmissões em paralelo são utilizadas quando são necessárias altas taxas de transferência de informação.

Na transmissão serial, a informação é enviada bit a bit, ou seja, é feita uma serialização dos dados. Para que a estação receptora possa identificar corretamente a informação de cada bit e para que não ocorra defasagem entre as estações, existem dois esquemas de ligações seriais que garantem a fase entre as estações: serial síncrona e serial assíncrona [47].

Nas transmissões seriais síncronas, além do sinal de informação, é enviado também um sinal que indica o instante em que a informação de cada bit é válida para leitura. Este sinal denomina-se sinal de sincronismo.

Nas comunicações seriais assíncronas, o estabelecimento de fase entre as ações é feito por sequências especiais de bits inseridos durante a transmissão da informação. Neste esquema, existe a vantagem de ser necessário um único meio físico para a transmissão da informação entre estações, o que resulta em simplicidade e economia nas instalações.

2.1.2 - Equipamentos de Comunicação

O equipamento de comunicação de dados ("Data Communication Equipment" - DCE) é responsável pela compatibilização entre os dados digitais e os correspondentes sinais requeridos para a propagação no canal de comunicação. Portanto, os DCEs são, de um modo geral, específicos para

cada meio de comunicação ao qual eles se conectam.

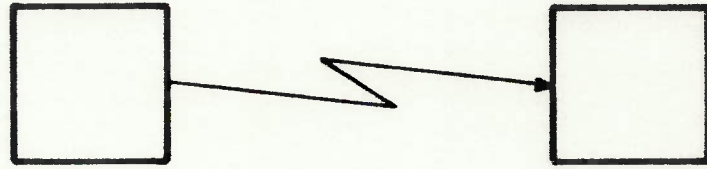
Os canais de comunicação, constituídos por cabos ou fios são, atualmente, amplamente empregados. Nesses casos, e quando as distâncias são curtas, o DCE se resume, em geral, a um circuito para casamento de impedância entre a linha e os circuitos digitais ("line-drivers" e "line-receivers"). Para distâncias maiores, o DCE é constituído de moduladores e demoduladores, comumente denominados por MODEM |9||47|.

O MODEM é basicamente um circuito que, a partir de dados digitais seriais, modula um sinal cuja frequência se encontra dentro da faixa de frequência compatível com o canal de comunicação utilizado. A recepção de dados é executada através da demodulação do sinal recebido, transformando-o no sinal digital correspondente.

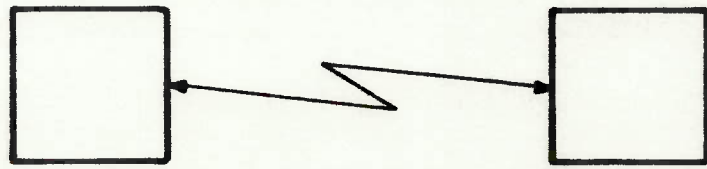
Os MODEMs são classificados quanto ao tipo de modulação que efetuam (amplitude, frequência e fase) |38|.

Os MODEMs também são classificados quanto ao modo de utilização do canal de comunicação. Esses modos, representados na figura 2.2, são:

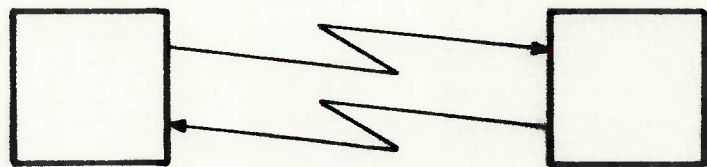
- SIMPLEX: comunicação unilateral. Uma estação possui a função de transmissora e a outra de receptora, não se alterando nunca suas funções.
- SEMI-DUPLEX: comunicação bilateral. A transmissão de uma estação A para outra estação B é executada em um período e de B para A em outro período. Não se permite assim, transmissões simultâneas nos dois sentidos. Este modo pode ser empregado em canais baseados em comunicação serial a dois fios, porém a linha deve ser inver-



SIMPLEX



SEMI-DUPLEX



DUPLEX

FIGURA 2.2 - MODOS DE INTERLIGAÇÃO

tida ("turned around") para reverter a transmissão de uma para outra estação. Esta inversão pode acarretar perda de tempo ou atraso na utilização do MODEM. Canais de comunicação a quatro fios eliminam este problema.

- DUPLEX: comunicação bilateral simultânea. Normalmente utiliza canais de comunicação com dois pares. Entretanto, é possível utilizar um canal de comunicação com um par de fios, através da escolha de duas portadoras de frequências diferentes.

A escolha do tipo de MODEM mais adequado para a transmissão de dados digitais, para cada aplicação, depende do tipo de canal, da relação sinal/ruído tolerada, da velocidade de transmissão desejada e do custo.

2.1.3 - Interface de Comunicação

A interface de comunicação possui a função de garantir a consistência da informação entre a estação transmissora e a receptora.

A função dos DCEs é executar o reconhecimento da informação a nível de bit. A interface, por outro lado, tem por responsabilidade providenciar um mecanismo para garantir que a estação receptora reconheça a mesma seqüência de bits enviada pela estação transmissora. Este mecanismo representa o sincronismo entre estações.

Também é função da interface, detectar e corrigir erros causados por interferências externas (ruídos) no

meio de comunicação. A interface, portanto, deve garantir a confiabilidade da transferência da informação entre duas estações.

2.2 - Topologias

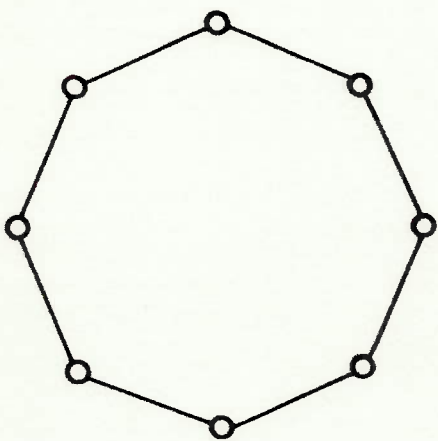
Topologia refere-se à estrutura de interconexão dos enlaces empregados na interligação de várias estações |11||36||41||43||49|.

Um enlace de comunicação pode ser compartilhado por duas ou mais estações. Quando o enlace é compartilhado por apenas duas estações, caracteriza-se um enlace do tipo ponto a ponto. Quando o enlace é compartilhado por mais de duas estações, caracteriza-se um enlace do tipo multiponto.

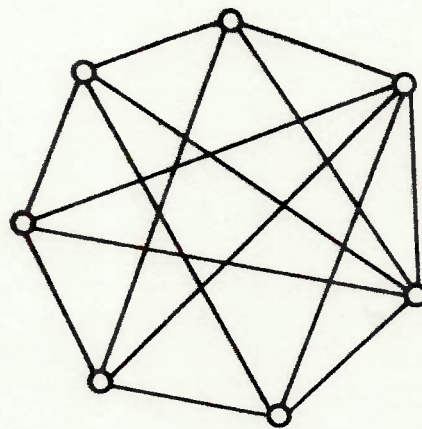
As estruturas que utilizam somente enlaces ponto a ponto denominam-se redes ponto a ponto. Nessas estruturas uma dada estação não possui necessariamente enlace para comunicação com as demais estações. A comunicação entre as estações que não possuem enlace entre si, quando necessário, é executada indiretamente através de estações intermediárias que repassam as mensagens.

As redes ponto a ponto podem se dividir em redes com caminhos simples e redes com caminhos múltiplos.

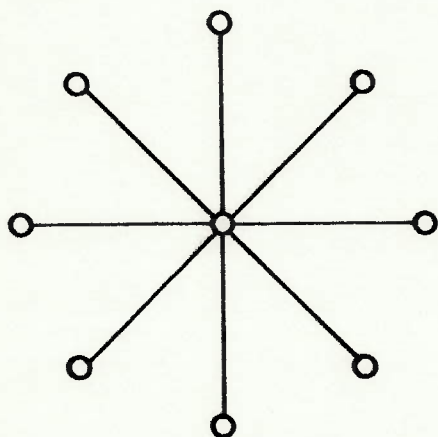
As redes de caminhos simples são aquelas onde existe uma única sequência de estações intermediárias para efetuar a comunicação indireta entre uma estação e uma outra qualquer. Neste caso pode-se identificar três topologias, representadas na figura 2.3:



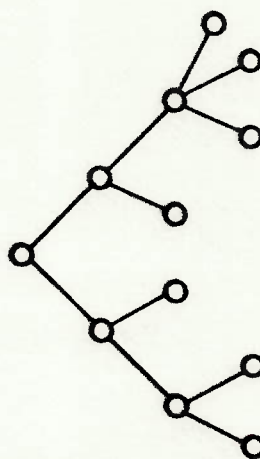
B. ANEL



D. CAMINHOS MÚLTIPLOS



A. ESTRELA



C. ÁRVORE

FIGURA 2.3 - TOPOLOGIAS DE REDES PONTO A PONTO

- estrela;
- árvore;
- anel.

A configuração em estrela é caracterizada por uma estação central conectada às demais estações, por um canal particular ligando-a a cada uma das outras; todas as estações somente se comunicam com a estação central. Para uma estação qualquer se comunicar com outra, a estação origem deve enviar as informações à estação central que, por sua vez, as encaminha à estação destino.

A topologia em estrela é adequada em controle centralizado de processos onde se dispõe de um canal de comunicação para cada estação remota. Nesses casos, entretanto, a topologia não representa uma perfeita estrela, dado que não existe comunicação entre remotas. Sendo assim, a análise de desempenho desta topologia deve ser efetuada individualmente para cada enlace entre a estação central e as remotas.

A configuração em árvore é uma estrutura hierárquica. Qualquer estação possui apenas um único canal de comunicação com a estação de nível hierárquico superior e pode estar conectada a uma ou mais estações de níveis hierárquicos inferiores. Ao conjunto de estações de níveis inferiores conectadas a uma dada estação, denomina-se sub-árvore. A comunicação entre duas estações que pertencem a sub-árvores diferentes é executada através da estação de nível hierárquico superior cuja sub-árvore correspondente englobe as duas estações em questão.

A topologia em árvore é empregada em sistemas de controle de processos que apresentam características de controle distribuído hierárquico. Também é empregada em siste-

mas de controle centralizado quando não se dispõe de canais de comunicação que interliguem diretamente a central às remotas. Nesses casos são utilizados elementos intermediários com função específica para auxiliar na comunicação. Estes elementos são denominados concentradores.

A configuração em anel caracteriza-se por estarem as estações conectadas duas a duas, de forma a fechar um elo. A comunicação entre duas estações é feita por mensagens que sucessivamente são retransmitidas por todas as estações intermediárias.

O esquema em anel tem a vantagem de poder utilizar os canais de comunicação simplex, eliminando assim problemas ocasionados no chaveamento das linhas ("turn-around"). Entretanto, a falha em um enlace ou em uma dada estação ocasiona o rompimento do anel, acarretando a queda total do sistema. Quando a falha é na estação, este problema pode ser contornado através de um mecanismo, residente na própria estação, que detecte suas falhas e, nesse caso, interligue o canal de entrada com o canal de saída. Assim, a estação defeituosa é excluída do anel, não ocorrendo rompimento nas comunicações. As falhas nos enlaces são irrecuperáveis.

As topologias em anel são, de um modo geral, inadequadas a aplicações onde o canal de comunicação possui baixa disponibilidade.

Empregam-se topologias em anel em sistemas de controle de processos, quando é necessário otimizar o esquema de ligação entre as estações, com a utilização de enlaces ponto a ponto operando no modo simplex.

As redes ponto a ponto com caminhos múltiplos caracterizam-se pela existência de mais de uma seqüência de

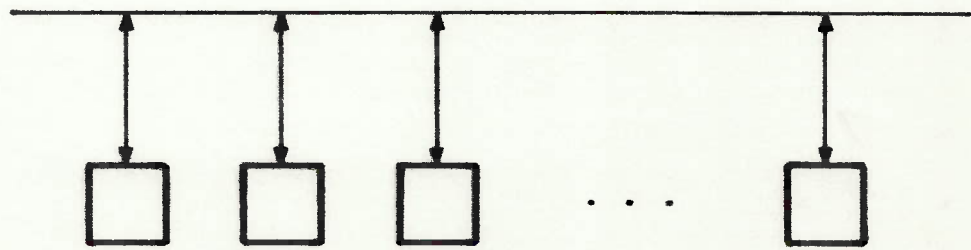
estações para a comunicação indireta entre duas estações que não estão interconectadas por um enlace. São normalmente utilizadas nas redes de interligação de computadores, não sendo comumente empregadas em sistemas de controle de processos, por apresentarem complexidade que não é necessária para esta aplicação.

As estruturas que utilizam enlaces multiponto são denominadas redes multiponto ou redes de difusão. Nessas estruturas somente uma única estação pode estar transmitindo, em um dado instante, devido ao compartilhamento do canal pelas várias estações. Para que haja controle ao acesso do canal é necessário que existam mecanismos que decidam a concorrência ao uso do canal entre duas ou mais estações que desejam iniciar a transmissão em um dado instante.

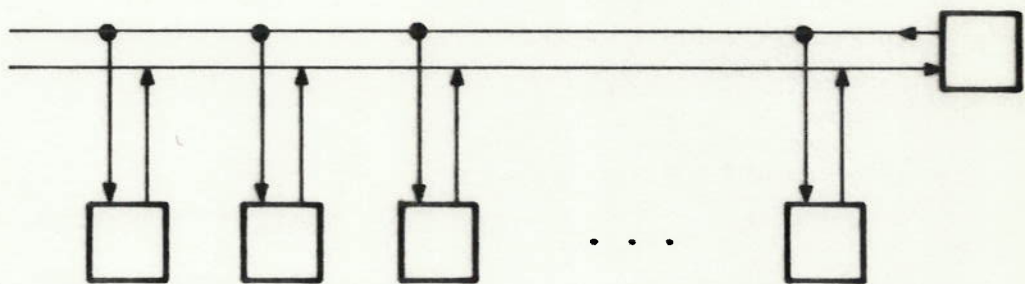
As estruturas multiponto também se caracterizam pela capacidade de uma estação poder enviar uma mensagem que é recebida simultaneamente pelas demais estações, o que caracteriza a denominação redes de difusão ("broadcasting").

A figura 2.4A mostra uma topologia multiponto onde uma dada estação pode comunicar-se com qualquer outra estação. Na figura 2.4B está representada uma topologia multiponto onde somente uma estação (estação central) pode comunicar-se com qualquer outra estação.

As redes multiponto são bastante empregadas no controle de processos por apresentarem economia e facilidade de implantação do meio de comunicação.



A . DISTRIBUÍDA



B . CENTRALIZADA

FIGURA 2.4 - TOPOLOGIA MULTIPONTO

2.3 - Técnicas de Compartilhamento de Enlace Multiponto

Nas topologias multiponto é necessária a existência de uma técnica para que o canal possa ser compartilhado entre as várias estações que estão a ele conectadas.

O acesso simultâneo ao canal, por duas ou mais estações que desejam transmitir, cria uma concorrência ao uso do mesmo. Para evitar esta concorrência, deve existir um mecanismo para controlar o uso do canal. Quando o controle de acesso ao canal é decidido sempre pela mesma estação, obtém-se uma configuração multiponto de controle centralizado. Nesse caso, a estação que controla o uso do canal é chamada de estação primária e as demais estações, de secundárias. Quando o controle do uso do meio é decidido por algum mecanismo que envolve todas as estações, obtém-se uma configuração multiponto de controle distribuído.

A seguir são descritas algumas técnicas para controle do compartilhamento dos canais em estruturas do tipo multiponto.

2.3.1 - Multiplexação

Multiplexação é a técnica utilizada para o compartilhamento de um mesmo canal físico entre várias estações, através da qual cada estação transmite e/ou recebe dados como se dispusesse de um canal próprio a si alocado |13||8|.

Existem dois tipos de multiplexação:

- por divisão da faixa de frequência
("frequency division multiplexing" - FDM);
- por divisão de tempo
("time division multiplexing" - TDM).

No caso de multiplexação por divisão de frequência, a cada estação é alocado um par de frequências (sub-canal) necessário para transmitir dados digitalmente. Para garantir que não ocorra interferência de um sub-canal no outro, é necessário que exista uma banda de proteção em frequência para cada sub-canal. Com isto, limita-se o número de canais disponíveis. A figura 2.5 mostra a portadora de cada sub-canal, para os níveis lógicos zero e um, e a respectiva banda de frequência ocupada pelo canal.

Configurações multiponto que utilizam a técnica de multiplexação por divisão de frequência têm comportamento análogo à configuração estrela, apesar de utilizar um único canal de comunicação.

Na multiplexação por divisão do tempo - TDM, estabelece-se o período total correspondente a um ciclo de comunicação (tempo necessário para que a estação primária comunique-se com todas as estações secundárias). Esse período é dividido em intervalos e cada intervalo é destinado a uma das estações secundárias. Assim sendo, uma estação secundária pode se conectar à estação primária apenas durante o seu intervalo. Ao se encerrar esse intervalo, a próxima estação secundária é que se conecta à estação primária, e assim sucessivamente.

Quando o período tem duração fixa, denomina-se multiplexação por divisão síncrona do tempo ("synchronous

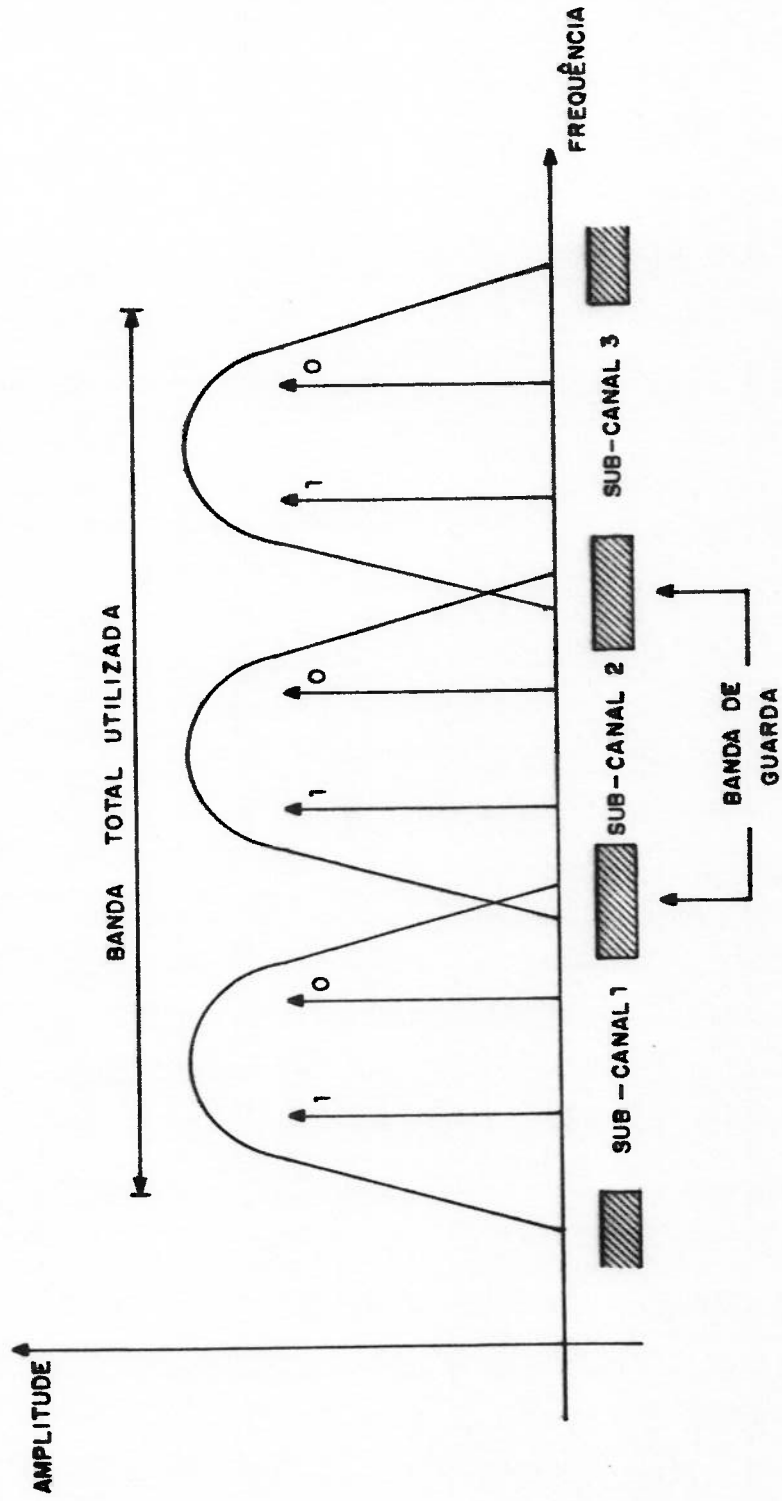


FIGURA 2.5 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DO FDM

time division multiplexing" - STDM).

Na figura 2.6A está representado o esquema da divisão do tempo entre três estações. Cada estação possui um intervalo alocado para transmitir os dados mesmo que não possua informações a serem transmitidas naquele instante. As estações que possuem informações a serem enviadas não podem utilizar os intervalos de outras estações em nenhuma hipótese. A figura 2.5B mostra o tempo ocioso quando as estações não dispõem de informações para transmitir.

Quando algumas estações possuem maior número de informações a transmitir ou quando não existe uma perfeita distribuição de carga entre as estações, o STDM não apresenta bom desempenho, devido à sobretaxa de intervalos não utilizados em relação aos utilizados.

A fim de evitar ociosidade no canal de tempo, existe uma outra técnica TDM, que consiste na multiplexação assíncrona dos períodos de tempo ("Assynchronous Time Division Multiplexing" - ATDM). Nesta técnica, compartilha-se o tempo apenas entre as estações que possuem dados para serem transmitidos. As estações utilizam o canal em intervalos de tempo consecutivos e delimitados por caracteres de controle que identificam a divisão de cada período. No caso de uma certa estação não possuir dados a transmitir, no intervalo de tempo a ela designado, é inserido apenas o delimitador indicativo do fim de suas transmissões.

Com o objetivo de facilitar o reconhecimento de cada estação dentro do intervalo, juntamente com os delimitadores é inserido o endereço de cada estação transmissora.

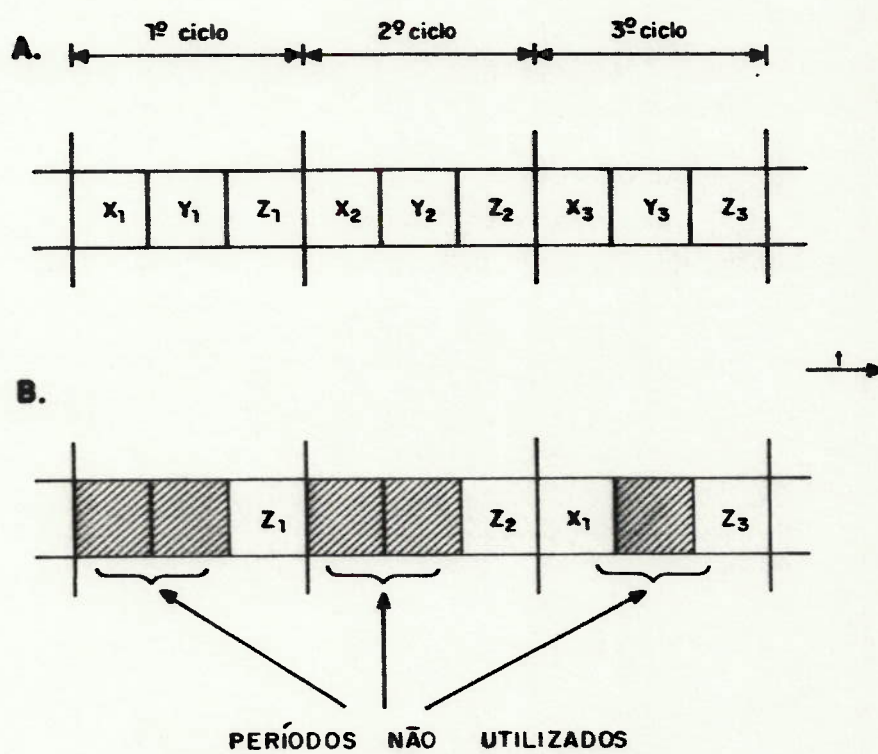


FIGURA 2.6 - ESQUEMA STDN

2.3.2 - Varredura Seletiva ("Selective Polling").

Esta técnica é utilizada em configurações do tipo multiponto nas quais existe uma estação primária que governa a troca de mensagens na linha. A comunicação sempre ocorre entre a estação primária e uma estação secundária; assim sendo, não há possibilidade de comunicação direta entre duas estações secundárias [16].

A estação primária é responsável pela definição da estação secundária com a qual pretende se comunicar. Essa comunicação é estabelecida pelo endereçamento seletivo de cada estação secundária. Todas as estações secundárias permanecem constantemente na escuta da estação primária; quando uma determinada estação secundária reconhece o seu endereço, é estabelecida a conexão e iniciada a transmissão da resposta à mensagem que lhe foi enviada. Para que a estação primária possa reconhecer que foi a estação secundária solicitada que ocupou o canal, é necessário que esta envie, juntamente com a resposta, o seu endereço.

A técnica de varredura seletiva exige, pelo acima exposto, que o protocolo de comunicação inclua campos de endereço nas mensagens.

Ao se optar pela técnica de varredura seletiva é possível utilizar os canais de comunicação no modo duplex ou no modo semi-duplex. Normalmente escolhe-se o modo semi-duplex, uma vez que o diálogo entre as estações primária e secundária é do tipo pergunta e resposta, o que significa que somente uma das duas estações está transmitindo. Quando se requer um melhor desempenho, opta-se pela operação semi-duplex a quatro fios, onde um par é destinado exclusivamente para a transmissão de dados originados na estação primária e o outro par é compartilhado pelas estações secundárias. As

configurações multiponto que utilizam a técnica de varredura seletiva com o canal de comunicação operando no modo semi-duplex, a quatro fios, são também denominadas multi-multiponto ou multiponto duplex.

Nos casos de varreduras baseadas em esquemas semi-duplex a dois fios, a cada endereçamento, o sentido de transmissão da linha deve ser invertido, para que a estação primária receba os dados da secundária. Quando são utilizados circuitos de acoplamento com a linha do tipo MODEM, a reversão não ocorre instantaneamente havendo, portanto, um tempo ocioso entre a colocação da portadora por uma estação e a retirada pela outra. O tempo gasto na reversão da linha introduz, por sua vez, retardos na comunicação.

Utilizando circuitos a quatro fios, somente o canal de transmissão de dados das estações secundárias é compartilhado, uma vez que o canal de transmissão da estação primária é de uso exclusivo. Existe, portanto, tempo gasto apenas no chaveamento do par compartilhado pelas estações secundárias.

Para implementação do esquema de varredura seletiva dois aspectos devem ser considerados:

- tempo de varredura;
- capacidade de armazenamento de dados nas estações secundárias.

O tempo de varredura equivale ao tempo gasto para a execução de um ciclo de comunicação com todas as estações secundárias. Este tempo é função da velocidade de transmissão de dados do canal, do número de estações varridas, da taxa de informações coletadas, do tempo gasto para inversão das linhas e dos comandos necessários para contro-

lar a linha.

Cada estação secundária é endereçada a cada ciclo de varredura, o que significa que deve possuir capacidade de armazenar as suas informações a serem enviadas, durante o tempo de varredura das outras estações. A memória da estação deve ser dimensionada em função da taxa de informações a enviar e do tempo máximo calculado para executar uma varredura. No capítulo 4 é apresentado um estudo elaborado sobre este dimensionamento.

2.3.3 - Varredura Centralizada ("Hub Polling")

Quando a estação primária sempre interroga as estações secundárias seqüencialmente, é possível eliminar o tempo gasto para executar o endereçamento seletivo das estações, diminuindo assim, significativamente em alguns casos, o tempo de resposta do sistema.

Para aplicar-se a técnica de varredura centralizada é necessário que cada estação secundária disponha de um mecanismo para sinalizar à próxima estação que o canal já foi liberado. Dessa forma, a estação primária não necessita executar o endereçamento das demais estações, mas apenas indicar, para a primeira estação, que ela deve iniciar um ciclo de varredura. Na figura 2.7 apresenta-se um esquema de ligação tipo "varredura centralizada", destacando-se o recurso que cada estação possui para ativar a estação seguinte [8].

Existem duas alternativas para a implantação desta técnica. A primeira consiste na utilização de uma ligação adicional entre as estações, que pode ser simplesmente

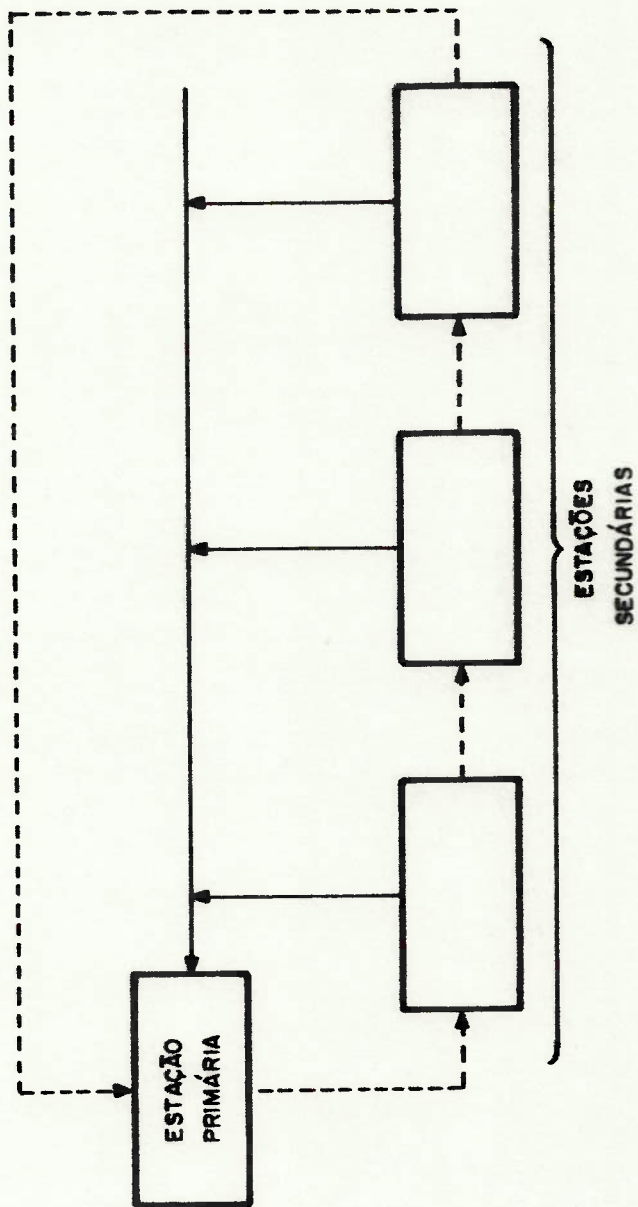


FIGURA 2.7 - VARREDURA CENTRALIZADA

um sinal de indicação. Ao se adotar essa alternativa, o canal de comunicação pode ser utilizado no modo simplex.

A segunda alternativa apoia-se no fato de todas as estações secundárias "escutarem" permanentemente qualquer mensagem que circule pelo canal; é possível fazer com que cada estação identifique, através de campos especiais nas mensagens, que a estação imediatamente anterior está transmitindo a última mensagem. Ao identificar esse fato, ela inicia imediatamente a sua transmissão para a estação primária. Nesse caso, o canal de comunicação deve ser utilizado no modo semi-duplex a dois fios.

2.3.4 - Contenção

A contenção é um mecanismo do tipo distribuído para o controle do acesso ao canal de comunicação. Neste esquema, todas as estações estão habilitadas a transmitir os dados por um único canal de comunicação, quando este estiver disponível. Antes de uma estação efetuar a transmissão, ela verifica se existe a presença de outra estação ocupando o canal. Uma vez liberado o canal, a estação inicia a transmissão dos seus dados [8].

Entretanto, duas ou mais estações podem iniciar a transmissão simultaneamente. Neste caso, ocorre conflito, e as mensagens não serão reconhecidas por nenhuma outra estação. As estações transmissoras, após temporizações aleatórias, retransmitem a mensagem, quando o canal estiver novamente desocupado. Assim fazendo, a probabilidade de ocorrência de novo conflito é baixa.

2.4 - Técnicas para Redes Ponto a Ponto

As técnicas utilizadas em enlaces ponto a ponto estão relacionadas com os modos de utilização do canal, já descritos anteriormente: simplex, semi-duplex e duplex.

No modo simplex não há concorrência ao uso do canal, pois uma estação é sempre transmissora e a outra sempre receptora. Também, no caso duplex, não há concorrência, pois existem dois canais disponíveis. Nos dois casos não existe, portanto, necessidade de se implementar nenhuma técnica para compartilhamento do canal.

Somente no modo semi-duplex o canal é compartilhado por ambas as estações para transmissão. Neste caso, deve existir um mecanismo que controle o uso do canal. Este mecanismo pode ser executado por apenas uma das estações (estação primária), o que permite a transmissão da outra estação (estação secundária) através de mensagem específica.

O mecanismo de controle também pode ser executado por ambas as estações. Neste caso o controle do canal é executado, ora por uma estação, ora pela outra. O controle do canal é repassado de uma para a outra estação por campos especiais nas mensagens trocadas.

Nas redes ponto a ponto, além da comunicação entre as estações que compartilham o mesmo enlace, são executadas comunicações entre estações que não estão diretamente conectadas. Para executar esta comunicação, que utiliza estações intermediárias, existe uma série de técnicas que variam de acordo com a topologia empregada. A seguir são apresentadas algumas técnicas para redes ponto a ponto que são normalmente utilizadas em sistemas de controle de processos.

2.4.1 - Comunicação em Anel

Existem três modos distintos de utilização do esquema em anel, para garantir que não ocorra sobrecarga nas comunicações.

- Anel de "Newhall". Caracteriza-se pela existência de mensagens que representam a permissão para transmitir ("token"), conforme esquematizado na figura 2.7A. Esta permissão permanece circulando no anel até o momento em que uma estação o retira, para inserir uma mensagem para outra estação. A estação destinatária, por sua vez retira a mensagem para consumo e devolve a permissão para o anel.
- Anel de Pierce. É baseado na divisão de intervalos de tempos fixos onde as mensagens são divididas de tal forma que ocupem um intervalo exato ("time-slot"), conforme esquematizado na figura 2.7B. A mensagem é, portanto, transmitida no instante em que a estação recebe um intervalo não utilizado.
- Inserção de atrasos. Cada estação possui três filas: de transmissão, de linha e de recepção. As mensagens recebidas e destinadas à outras estações, são inseridas na fila de linha, para transmissão pelo anel. As mensagens, cujo destino é a própria estação, são inseridas na fila de recepção para serem consumidas pela própria estação. Mensagens geradas pela estação são colocadas na fila de transmissão e são transmitidas quando existe, na fila de linha, espaço livre igual ao tamanho da mensagem. A figura 2.7C mos-

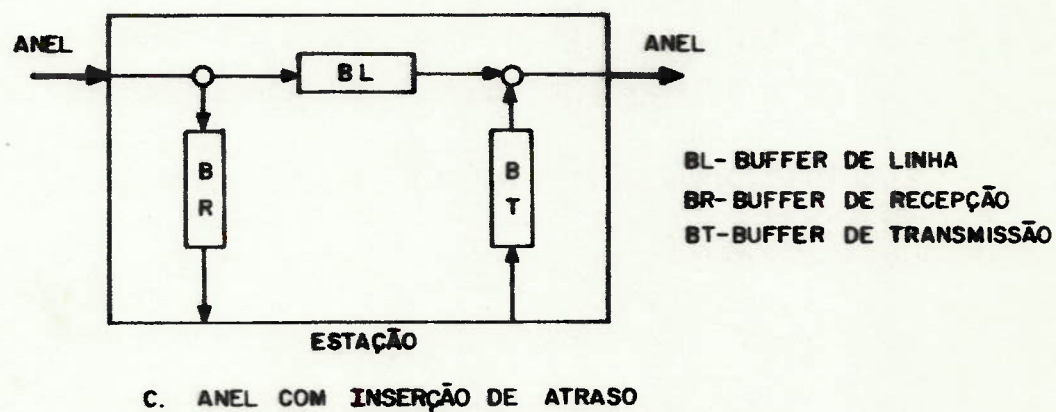
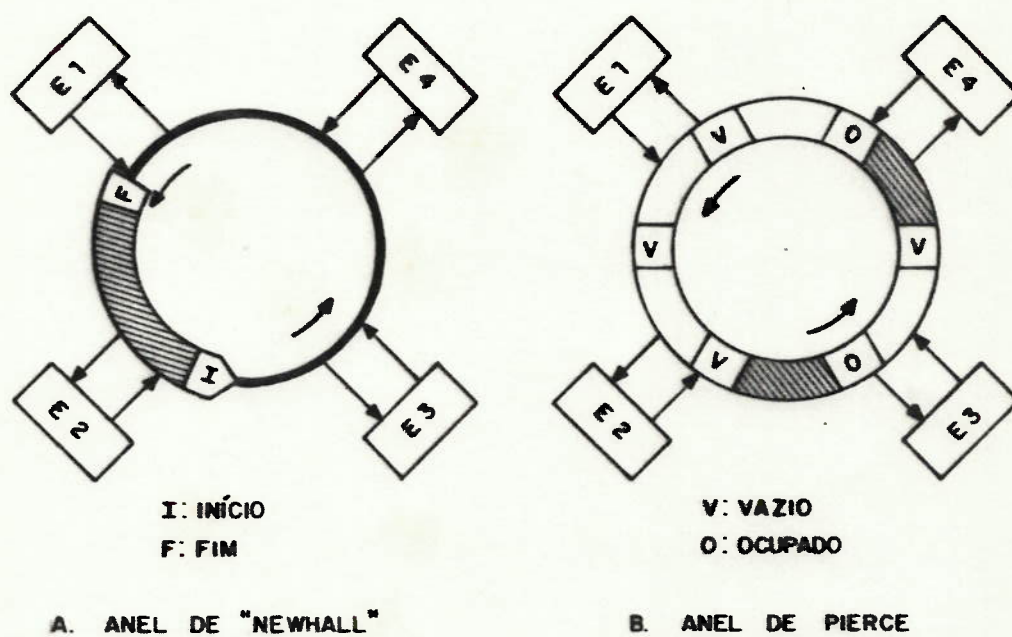


FIGURA 2.8 - COMUNICAÇÃO EM ANEL

tra a configuração das filas da estação.

2.4.2 - Concentradores

Os concentradores são equipamentos utilizados com a finalidade de concentrar em um único enlace ponto a ponto a comunicação com várias estações. Equivale a uma extensão do mecanismo ATDM [13][32].

As topologias em árvore utilizam os concentradores para a estruturação das sub-árvores.

O concentrador é um circuito com capacidade de processamento local, que executa a troca de informações com as estações de níveis inferiores e com a estação de nível superior. As estações de níveis inferiores são as remotas ou mesmo outros concentradores. A estação de nível superior pode ser a estação central ou outro concentrador.

Normalmente os concentradores possuem capacidade de armazenamento, podendo coletar as informações das estações secundárias e transmiti-las para a estação central, quando solicitado.

O uso dos concentradores permite a ligação de estações com características diferentes, no que se refere ao protocolo de comunicação, bem como permite compatibilizar canais com características diferentes (paralelo/serial, velocidade, etc.).

2.5 - Protocolo de Comunicação

Uma série de regras deve ser seguida para garantir a troca ordenada de informações e total compatibilidade entre os elementos de um STD. A esse conjunto de regras, que envolve aspectos elétricos, mecânicos e funcionais, denomina-se Protocolo de Comunicação |10||14||19||39||41||43||48||27|.

O protocolo de comunicação pode ser dividido em níveis hierárquicos, para facilitar a sua utilização. Cada nível provê recursos ao nível superior, sem que este último necessite saber dos detalhes de como foram executadas as atividades para obtê-los.

Os níveis inferiores correspondem às funções que garantem a transferência de informações, de um modo confiável, entre as estações. Estas funções são subdivididas em três níveis:

- NÍVEL I (Nível físico): Define características físicas, elétricas e funcionais entre a ligação da interface e o DCE ou entre duas interfaces.
- NÍVEL II (Nível de enlace): Define as funções para transferência confiável de dados em uma ligação entre duas estações.
- NÍVEL III (Nível de rede): Define os procedimentos para conexão de estações em redes. Engloba os mecanismos de roteamento.

Os níveis superiores correspondem às funções para acesso, dos usuários e processadores, aos recursos que

garantem transferência de informação entre duas estações. Estes níveis são necessários em sistemas que interligam vários computadores. Em controle de processos, entretanto, os dados transportados pelo STD são, na maioria das vezes, específicos à aplicação para a qual o sistema foi projetado. Sendo assim, normalmente não é utilizada uma padronização para os níveis superiores, com o objetivo de otimizar o acesso ao STD.

Neste item será analisado somente o NÍVEL II, por ser considerado o mais importante no projeto de um STD aplicado em sistemas de controle de processos.

É evidente que se não houvessem erros nas comunicações, cada estação, ao transmitir uma mensagem, teria certeza de que a mensagem foi recebida corretamente. O protocolo de comunicação (NÍVEL II) resumir-se-ia, então, apenas na compatibilização da linguagem utilizada nas mensagens.

Os canais de comunicação, entretanto, nem sempre transmitem os dados corretamente. Os erros podem ser causados por interferências externas, produzidas pelo meio ambiente onde as linhas percorrem e também por falhas mecânicas, como rompimento de cabos ou curto-circuitos.

Existem atualmente vários protocolos definidos e padronizados que se propõem a resolver o controle da comunicação. É importante que, ao se adotar um protocolo, ele seja compatível com a topologia adotada e com o mecanismo de utilização dos canais e também adequado à aplicação do sistema global.

O protocolo de comunicação a nível de enlace deve possuir as seguintes funções:

- controlar a transferência dos dados;

- detectar e recuperar falhas;
- sincronizar as estações transmissora e receptora;
- permitir a transferência de qualquer informação (transparência);
- iniciar a comunicação ("bootstrapping").

2.5.1 - Controle da Transferência dos Dados

Para o controle da transferência dos dados de uma estação para outra, deve-se analisar dois aspectos importantes: os procedimentos de interconexão e a formatação dos dados.

O procedimento de interconexão ("handshaking") é o mecanismo responsável pela transferência confiável de informações entre estações. Dessa forma o procedimento estabelece a forma do diálogo entre estações, visando garantir, à transmissora, que a mensagem foi corretamente recebida pela estação destino.

A formatação refere-se ao estabelecimento de um padrão a ser obedecido na montagem das mensagens a serem transmitidas. Esse padrão consiste da subdivisão da mensagem em campos, cada um dos quais com conteúdos específicos. Geralmente, as mensagens são constituídas de três campos básicos:

- campo de controle;
- campo de informação;
- campo de detecção de erros.

O campo de controle é composto usualmente dos seguintes subcampos:

- ENDEREÇO: Identifica a estação destino ou fonte dos dados. É usado nos casos onde existem várias estações que compartilham um mesmo canal de comunicação. Nos enlaces ponto a ponto, este campo é irrelevante. Nas redes ponto a ponto este campo é utilizado para o roteamento das mensagens dentro da rede.
- SEQUÊNCIA DOS BLOCOS: Garante que mensagens sejam recebidas na mesma seqüência em que são geradas e que não ocorra perda ou duplicação.
- RECONHECIMENTO: Utilizado para indicar que as mensagens foram recebidas corretamente e na seqüência devida.

2.5.2 - Detecção e Recuperação de Falhas

As comunicações entre as estações devem ser protegidas dos erros que ocorrem na transmissão, a fim de garantir a consistência dos dados. Existem dois mecanismos utilizados para a recuperação dos dados transmitidos com erro: detecção de erros e correção de erros [21].

A detecção de erros é o mecanismo que somente detecta erros em uma seqüência de bits. A recuperação da informação é feita, neste caso, pela retransmissão da seqüência que foi recebida com erro.

A correção de erros é o mecanismo que detecta e identifica qual o erro que ocorreu em uma seqüência de bits transmitidos. Este mecanismo requer a transmissão de mais informação adicional do que o mecanismo de detecção para corrigir o mesmo número de erros. Usualmente é empregado quando os canais físicos de comunicação possuem retardos apreciáveis ou nos casos onde os dados transmitidos não podem ser retransmitidos. Este mecanismo é utilizado nas comunicações via satélite onde a transmissão não pode ser interrompida para retransmissão, devido ao grande retardo entre a transmissão e a recepção [6].

De um modo geral, no controle de processos, os canais de comunicação não apresentam retardos consideráveis, o que viabiliza a utilização do mecanismo de detecção de erros e recuperação por retransmissão.

A detecção de erros é implementada por um campo, usualmente no final de cada mensagem, utilizado para o teste de consistência da informação da mensagem ("Block Check Character" - BCC).

O teste mais elementar de erro é o teste de paridade de uma seqüência de bits, que consegue detectar apenas número ímpar de erros. Quando se utiliza bit de paridade a cada caractere enviado, o teste é denominado de teste de redundância vertical ("Vertical Redundancy Checking" - VRC) ,pois cada caractere é protegido individualmente. Outro método de detecção de erro consiste no teste de paridade dos bits de mesma posição em cada caractere. Esta técnica é chamada de teste de redundância longitudinal ("Longitudinal Redundancy Checking" - LRC). A associação destas duas técnicas aumenta em muito o número de erros detectados por mensagem.

Uma extensão da técnica LCR é o teste de redundância cíclica ("Cyclic Redundancy Checking" - CRC) que consiste na transmissão no campo BCC do resto da divisão polinomial binária da mensagem por um polinômio pré-determinado. Se a seqüência de bits recebida pela outra estação é divisível pelo polinômio, indica recepção correta da informação; caso contrário houve erro |29||30|.

Os códigos de redundância cíclica são atualmente os mais utilizados para detecção de erros nas transmissões de dados, por apresentarem alta taxa de detecção de erros e a facilidade de implantação tanto em circuitos ("hardware") como por programação ("software").

2.5.3 - Sincronismo

Nas recepções é necessário que haja um mecanismo que indique à estação receptora o início da mensagem. Este mecanismo denomina-se sincronismo.

O problema do sincronismo consiste em detectar qual é o primeiro bit da mensagem transmitida. Para isto, no início de cada mensagem, é transmitida uma seqüência de bits que difere de qualquer outra seqüência transmitida no campo dos dados. Esta seqüência de bits é denominada caractere de sincronismo.

A estação receptora, ao identificar o caractere de sincronismo, inicia a recepção dos dados subsequentes como sendo a mensagem enviada. Com este esquema, mesmo havendo a perda de um sincronismo ou a perda do fim da mensagem, devido a erros ou ruídos na linha, a comunicação é restabele-

cida no próximo caractere de sincronismo detectado, ignorando assim, a mensagem que teve a perda do sincronismo.

2.5.4 - Transparência

Quando se colocam caracteres de sincronismo na mensagem, os dados transmitidos não podem formar uma seqüência igual à do caractere de sincronismo. Se isso ocorresse, essa seqüência seria detectada como novo sincronismo, desencadeando o início de outra mensagem.

Para as informações alfanuméricas, este tipo de problema não ocorre. Neste caso são empregados códigos binários para representar o alfabeto e os números, reservando palavras especiais para a representação do caractere de sincronismo e de delimitadores da mensagem. Os códigos mais utilizados atualmente são os códigos ASCII e EBCDIC.

Em outros casos, entretanto, existe a necessidade de se transmitir dados na forma binária, o que não permite que se tenha palavras reservadas para a representação do caractere de sincronismo.

O método mais simples para solucionar estes casos é representar cada palavra em binário em um código equivalente dentro de um conjunto de caracteres que possua códigos reservados para sincronismo. Este método possui a vantagem de aumentar o número de bits a serem transmitidos. Um exemplo deste método é a representação hexadecimal ASCII para palavras binárias. Neste caso são transmitidos dois bytes para cada byte de informação.

Outro método consiste na inserção de caracteres especiais para indicar que a próxima palavra não deve ser considerada como caractere de controle ou de sincronismo. Esta técnica é utilizada nos protocolos controlados por caracteres e é chamada de inserção de palavra ("byte stuffing"). O protocolo síncrono BSC ("Binary Synchronous Communication") utiliza esta técnica [39].

Um outro método é o da inserção de apenas um bit, em sequências de bits a fim de forçar que o dado seja diferente da sequência de bits do sincronismo. Esta técnica é utilizada nos protocolos orientados a bit ("Bit Oriented Protocols" - BOP) e chama-se inserção de bit ("bit stuffing"). O protocolo HDLC utiliza esta técnica; neste caso a palavra de sincronismo é composta pela sequência em binário 01111110. A cada cinco "uns" transmitidos é inserido um bit zero. Com isto, nunca é transmitido, no campo de informação, a sequência de seis "uns" que poderia coincidir com o sincronismo. A estação receptora, por sua vez retira os bits inseridos para reconhecer a informação transmitida [39].

2.5.5 - Iniciação ("Bootstrapping")

Quando uma estação primária comunica-se com uma estação secundária que necessita receber no início da operação, informações pertinentes ao seu funcionamento, ou mesmo programas iniciais que definem as suas funções, então é necessário que o protocolo desempenhe esta função.

Este mecanismo de iniciação de estações remotas ("bootstrapping"), deve estar presente nos

protocolos para esta aplicação. A iniciação pode ser feita por campos especiais nas mensagens ou por mensagens específicas.

C A P Í T U L O 3

PROJETO DO STD

3 - PROJETO DO STD

3.1 - Introdução

O STD que motivou a realização deste trabalho está sendo utilizado em um sistema de supervisão e controle centralizado para o tráfego ferroviário do subúrbio da grande São Paulo, na região de abrangência da FEPASA (Ferrovia Paulista S.A.) |25|.

O projeto e a solução final adotada estão intimamente relacionados com as características do processo propriamente dito, com os canais de comunicação já disponíveis e com o requisito básico de centralização. A solução adotada para o sistema global está esquematizada na figura 3.1.

Ao longo da ferrovia estão localizadas estações remotas de controle e de supervisão, que se comunicam com a estação central, através do STD. As estações remotas não se conectam diretamente ao processo propriamente dito. Essa conexão se realiza através de um sistema de intertravamento da via ("traffic control system" - TCS).

O TCS é composto por circuitos de relés vitais ("fail safe") que garantem a segurança das operações ferroviárias. Dessa forma, a segurança requerida pela aplicação (transporte de passageiros e cargas) não é de responsabilidade do sistema centralizado cujo STD é objeto deste traba-

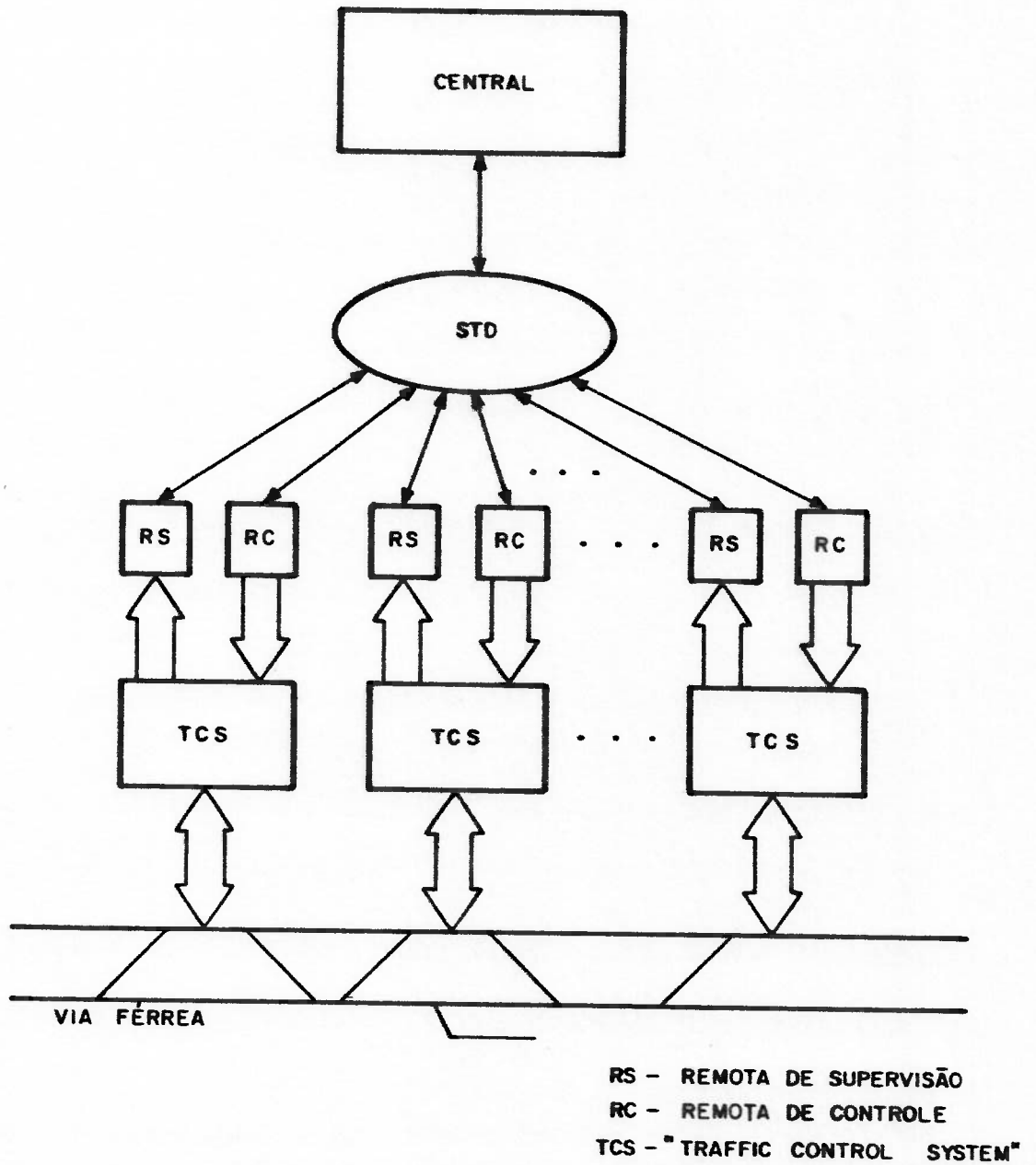


FIGURA 3.1 - SISTEMA GLOBAL

lho. Esse fato foi fundamental na especificação e projeto do sistema global e do próprio STD.

O processamento de todas as informações coletadas é realizado pela estação central, que é constituída de um computador dedicado e de dispositivos periféricos responsáveis pela comunicação homem-máquina.

O canal de comunicação, para uso do STD, já havia sido definido, anteriormente ao projeto do STD, e é constituído de um cabo de quadras que se estende ao longo da via férrea. Deste cabo, duas quadras foram destinadas ao STD.

Alta disponibilidade foi o requisito básico para o sistema global a ser projetado. Para atender a este requisito decidiu-se pela utilização de uma estação central dotada de mecanismos de reconfiguração, no caso de falhas, e pela duplicação do STD e das remotas, de forma a se dispor de dois sistemas totalmente independentes, operando em paralelo, conforme mostrado na figura 3.2 |35|.

Esta configuração permite que a transmissão de dados possa ser efetuada, mesmo na ocorrência de uma falha, utilizando-se o STD que não sofreu falha (recuperação "hot stand-by").

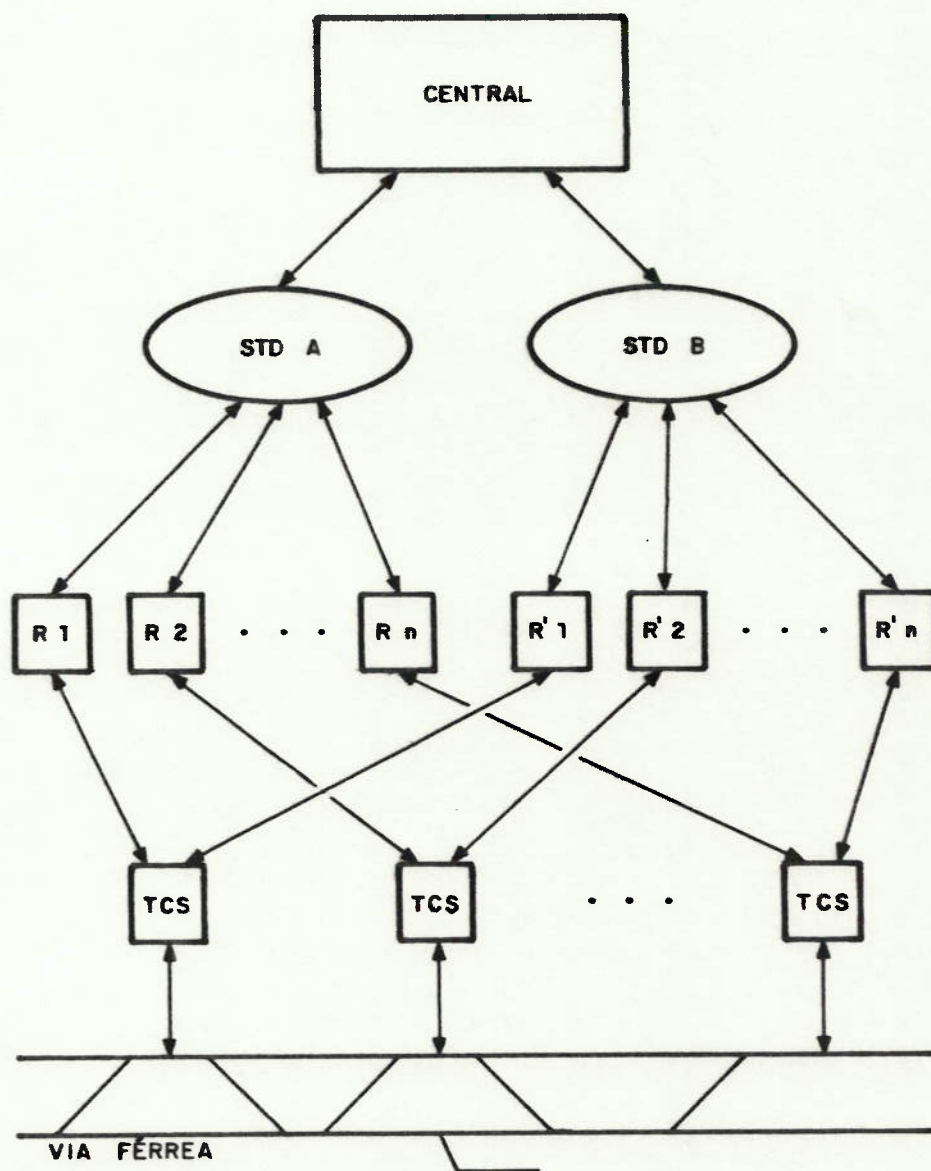


FIGURA 3.2- SISTEMA DUAL

3.2 - Arquitetura da Estação Central

A estação central é um computador dedicado, que apresenta uma arquitetura de multiprocessamento distribuído em tempo real. É constituído de um conjunto de módulos processadores, interligados através de dois anéis de comunicação (redundantes) do tipo de inserção atrasos. Esse computador é denominado Núcleo de Processamento Distribuído (NPD) [33][37].

Cada processador que compõe o NPD possui uma tarefa distinta. Os processadores estão divididos em dois grupos: processadores dedicados (PD) e processadores de uso geral (PUG).

Os PUGs possuem características de hardware idênticas e são utilizados para executar os algoritmos referentes à lógica de supervisão e controle do processo. Os PDs possuem hardware específico e são utilizados para conectar a estação central aos dispositivos periféricos e ao STD. A figura 3.3 mostra a configuração do NPD.

Dadas as condições de duplicidade do STD estão instalados no NPD dois processadores dedicados (PD), responsáveis pela conexão da central aos STDs. Esses processadores são denominados de interfaces com o sistema de transmissão de dados (ISTD) e apresentam características de hardware e de software idênticas. Os ISTDs são subordinados a um processador PUG, que executa a consistência dos dados coletados.

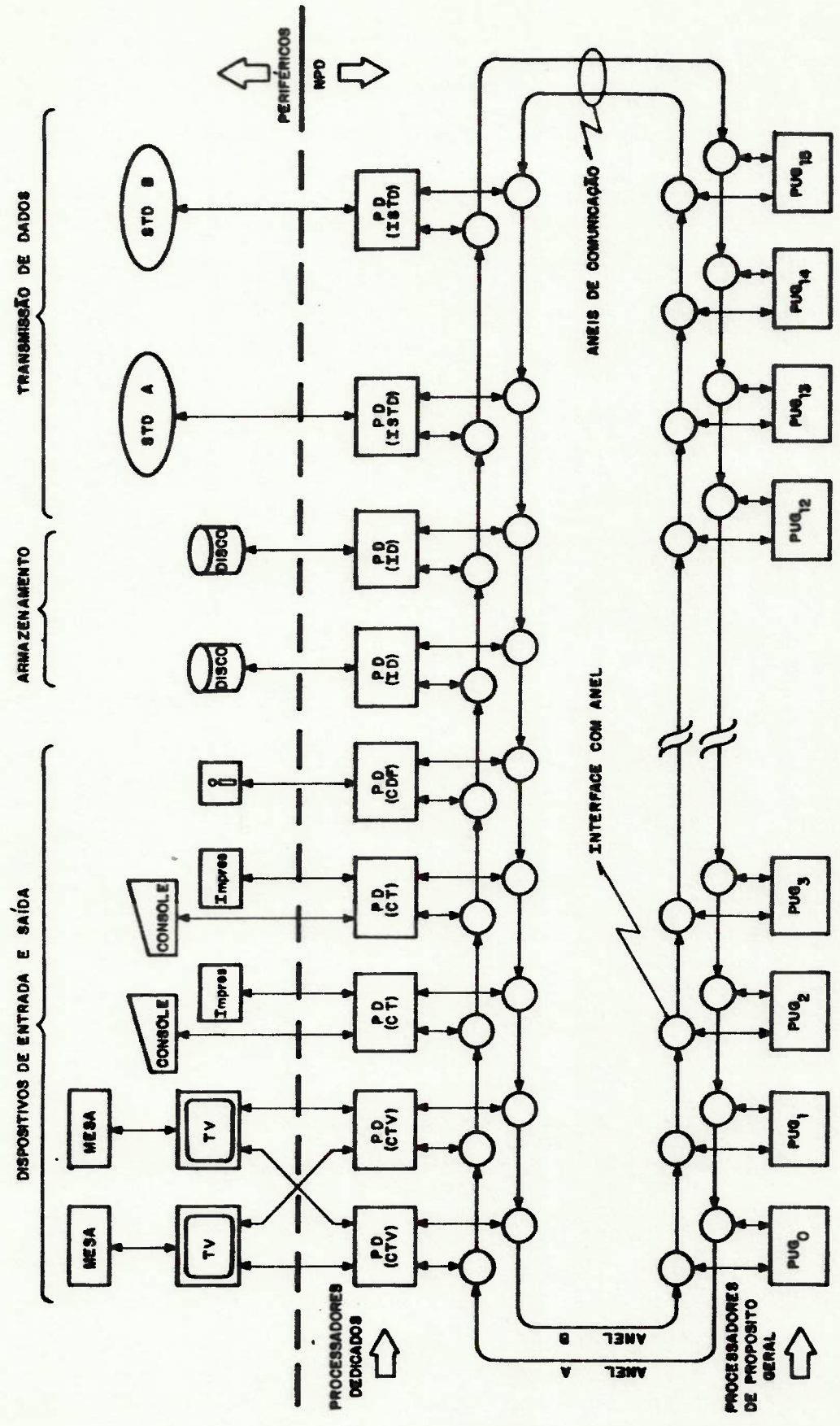


FIGURA 3.3 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA ESTAÇÃO CENTRAL

3.3 - Estações Remotas

As estações remotas estão divididas em dois tipos:

- estação remota de supervisão;
- estação remota de controle.

As remotas de supervisão executam continuamente a leitura das informações do campo. As informações do campo estão divididas nas seguintes classes de indicação:

- presença de trens nos trechos da via;
- seleção de entrada de rota;
- seleção de saída de rota;
- rotas selecionadas;
- estado dos sinais da via (sinaleira);
- solicitação de posicionamento de máquina de chave;
- posição de máquina de chave.

Estas informações são comparadas, na própria remota, com as anteriormente coletadas e, no caso de existir alguma alteração, a informação atualizada é armazenada e enviada ao centro, para sua análise. Esse procedimento minimiza o número de mensagens trocadas entre os vários elementos do STD.

A capacidade de armazenar mudanças é limitada pelo tamanho máximo de área de armazenamento disponível nas remotas. O dimensionamento dessa área é apresentado no item 4.3.

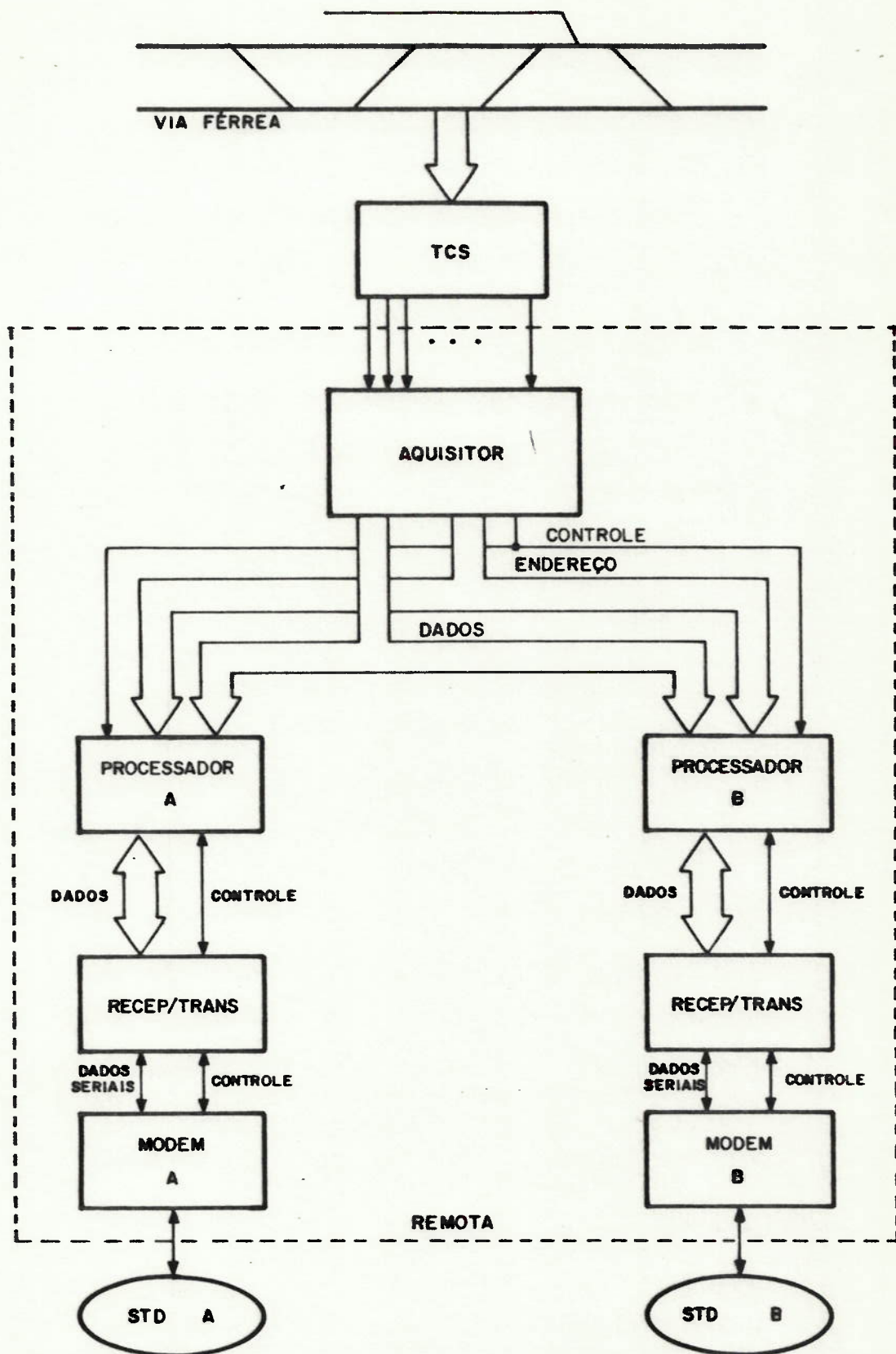


FIGURA 3.4 - REMOTA DE SUPERVISÃO

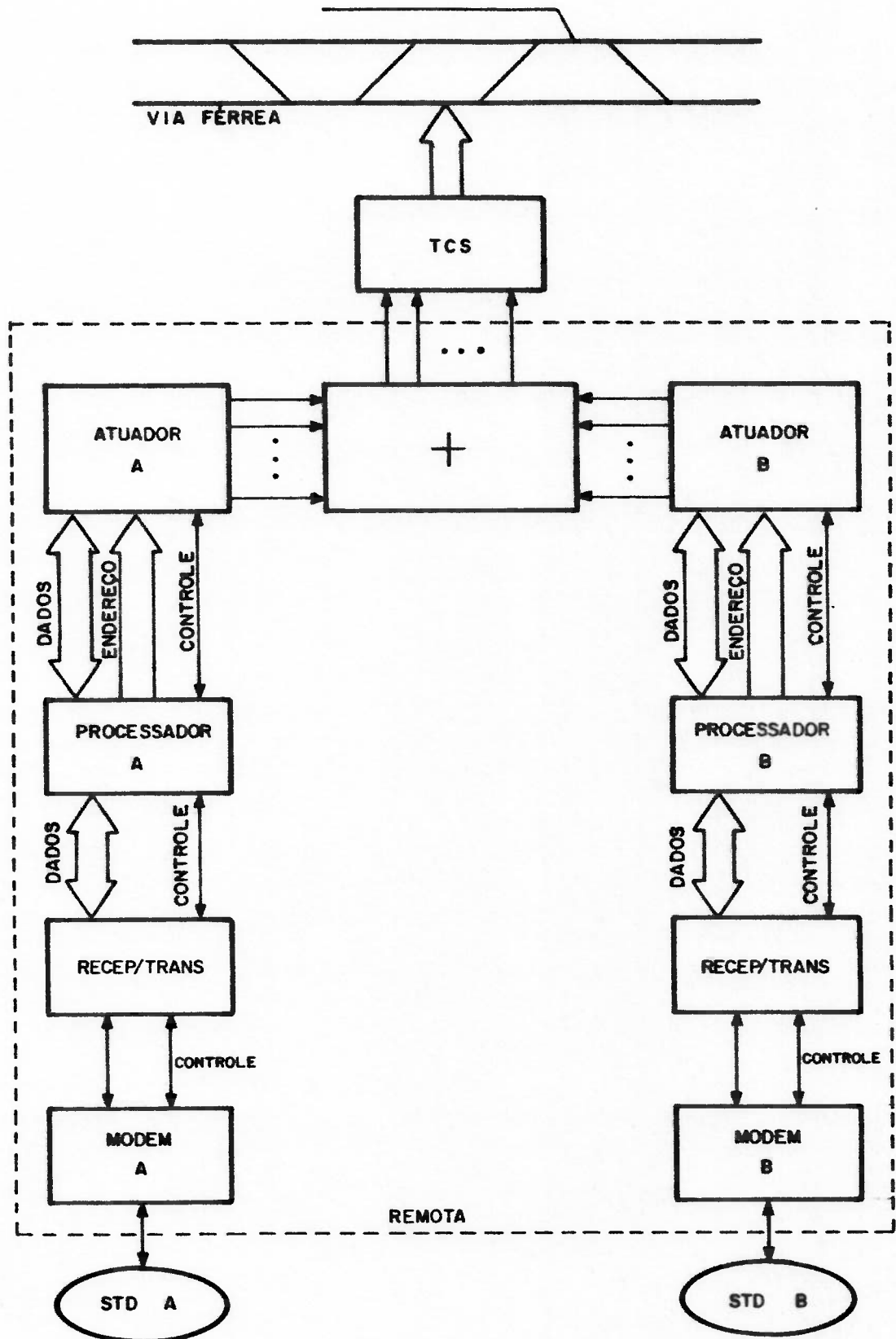


FIGURA 3.5 — REMOTA DE CONTROLE

A arquitetura das remotas de supervisão é composta por dois processadores distintos, que coletam informações do campo através de um circuito de aquisição, com redundância. Cada processador comunica-se com um dos STDs. Na figura 3.4 está esquematizada a arquitetura da remota de supervisão [43].

As remotas de controle atuam no processo, através do sistema TCS, a partir de ordens emitidas pela estação central. A efetivação dos comandos, entretanto, só ocorre se a lógica de intertravamento assim o permitir. Os comandos estão divididos nas seguintes classes de atuação:

- seleção de entrada de rota;
- seleção de saída de rota;
- comando de máquina de chave;
- comando de sinal.

A arquitetura da remota de controle também é constituída de dois processadores distintos. Ambos os processadores emitem comandos para uma lógica com redundância, ligada ao TCS. Cada processador está conectado a um dos STDs. A figura 3.5 esquematiza a arquitetura da remota de controle.

3.4 - Configuração do STD

Os estudos que levaram ao projeto do STD foram elaborados desprezando-se a existência da dualidade. Esta consideração é válida pois são dois sistemas idênticos e independentes operando em paralelo.

3.4.1 - Estudos Iniciais

Como ponto de partida, foram analisadas a distribuição e a topologia do processo, para definir o melhor posicionamento para as remotas. Definiu-se, assim, a instalação de 15 remotas de supervisão e 15 remotas de controle. Estas remotas foram instaladas nas estações ferroviárias, junto aos TCSs. A figura 3.6 esquematiza a distribuição das remotas ao longo da via férrea e a localização da estação central.

Com base na definição prévia do meio de comunicação a ser utilizado (uma quadra por STD), partiu-se preliminarmente da idéia de utilizar a topologia multiponto para interligar a estação central a todas as remotas. A partir desta premissa, foram analisadas algumas técnicas, que se apresentavam viáveis, para compartilhamento do canal de comunicação.

A primeira técnica de compartilhamento do canal multiponto analisada foi a técnica de multiplexação por frequência (FDM). Esta solução não é adequada à aplicação, por requerer do canal de comunicação um amplo espectro em frequência. O sistema proposto utiliza um número de remotas relativamente elevado, com a possibilidade de ser expandido. No caso FDM, cada remota ocupa um par de frequências, implicando em um espectro muito amplo, incompatível com o canal disponível.

A outra técnica considerada viável foi a varredura por endereçamento seletivo, que inicialmente apresentava características bastante interessantes para o sistema. Assim sendo, foi feito um estudo mais detalhado para verificar sua viabilidade.

JP-JULIO PRESTES	CK-CARAPICUIBA
BF-BARRA FUNDA	BY-BARUERI
DM-DOMINGOS DE MORAES	IY-ITAPEVI
PQ-PRESIDENTE ALTINO	AB-AMADOR BUENO
OZ-OSASCO	PO-PINHEIROS
KS-COMANDANTE SAMPAIO	SE-SANTO AMARO
ZN-MATADOURO MUNICIPAL	JB-JURUBATUBA

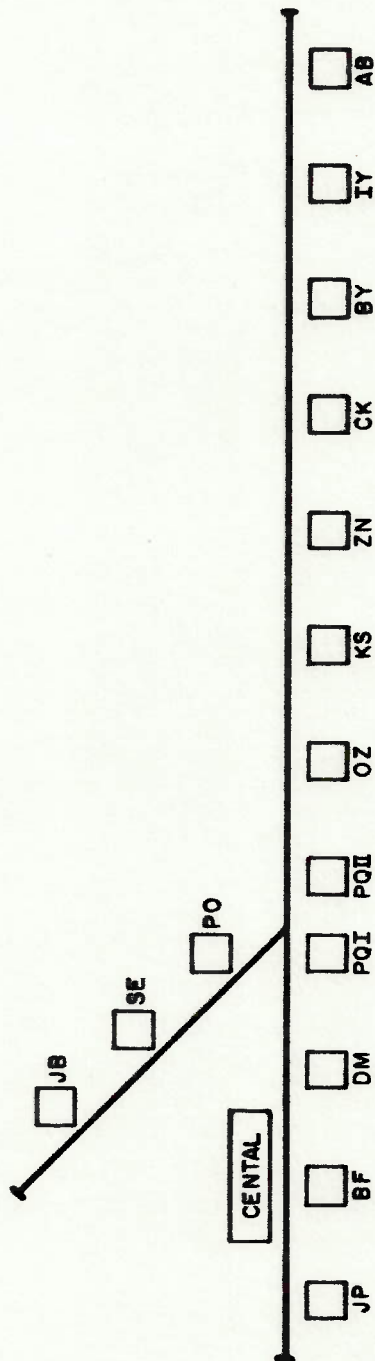


FIGURA 3.6 - DISTRIBUIÇÃO DAS REMOTAS NA VIA

Definiu-se, assim, que a estação primária que executa o endereçamento seletivo é o processador dedicado ISTD, pertencente à estação central. Todas as remotas recebem as informações do ISTD por meio de um canal físico (um par de fios) e enviam as informações-resposta ao ISTD através de outro canal físico (o cabo possui 2 pares de fios para cada sistema de comunicação). As remotas, portanto, não se comunicam entre si e o ISTD controla a utilização dos canais por meio de mensagens endereçadas à remota, indicando permissão para transmitir. Com este mecanismo, somente pode existir uma remota se comunicando com o ISTD, em um dado intervalo de tempo. A figura 3.7 esquematiza a ligação das remotas.

Como as distâncias entre as remotas e a central são relativamente grandes para conexão direta (da ordem de dezenas de quilômetros), é necessária portanto, a utilização de MODEM para o acoplamento das remotas e do ISTD com os canais físicos de comunicação. Na figura 3.8 é mostrado o uso de MODEM na estrutura multiponto.

Os MODEMs do tipo assíncrono são de mais baixo custo em relação aos do tipo síncrono e plenamente satisfatórios para a utilização no caso apresentado.

A introdução do MODEM, entretanto, insere um retardo nas comunicações, devido ao "chaveamento de portadora". Este problema ocorre pois todas as remotas (estações secundárias) transmitem informações por um único par, o que implica na colocação de portadora pela remota somente quando endereçada pela estação primária. Conforme esquematizado na figura 3.9, existe um atraso entre a colocação da portadora e o início da transmissão dos dados.

É importante notar que a estação primária está com a portadora continuamente presente, uma vez que existe

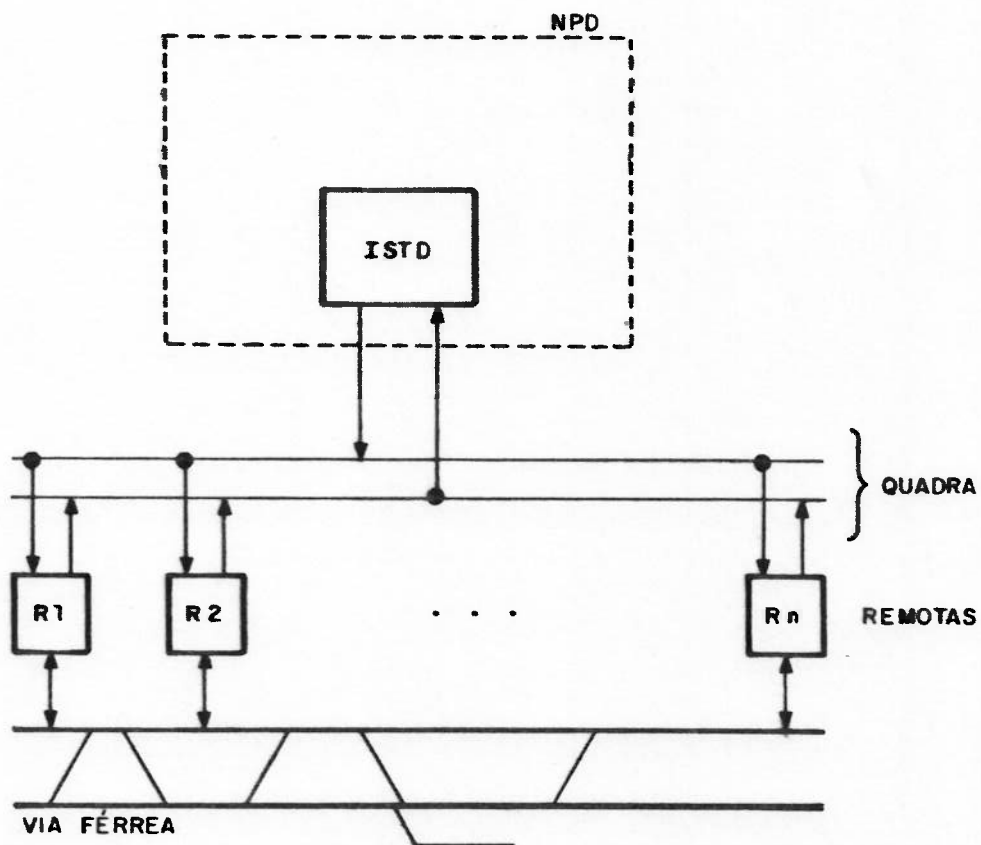


FIGURA 3.7 - STD MULTIPONTO

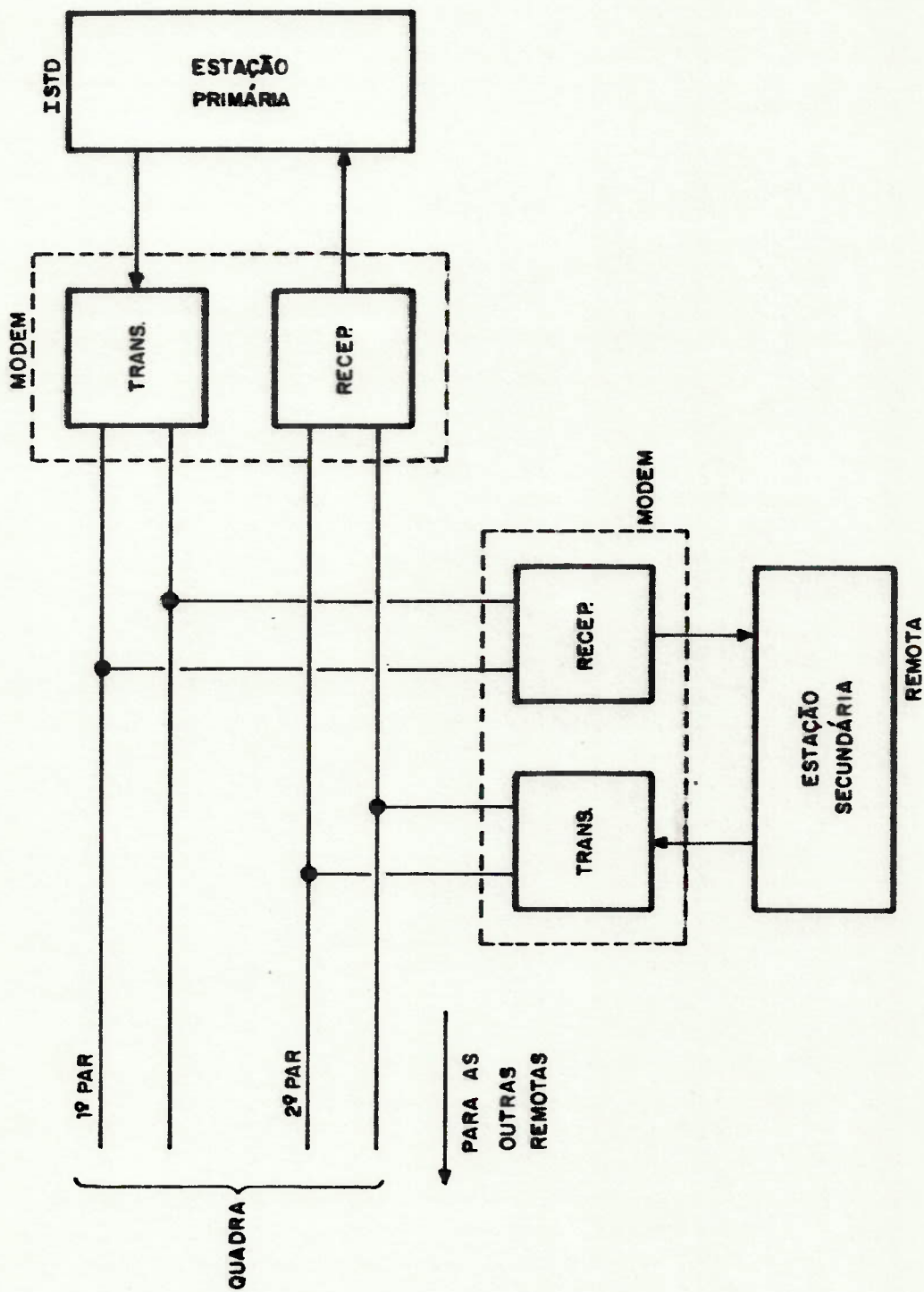


FIGURA 3.8 - UTILIZAÇÃO DOS MODEMS

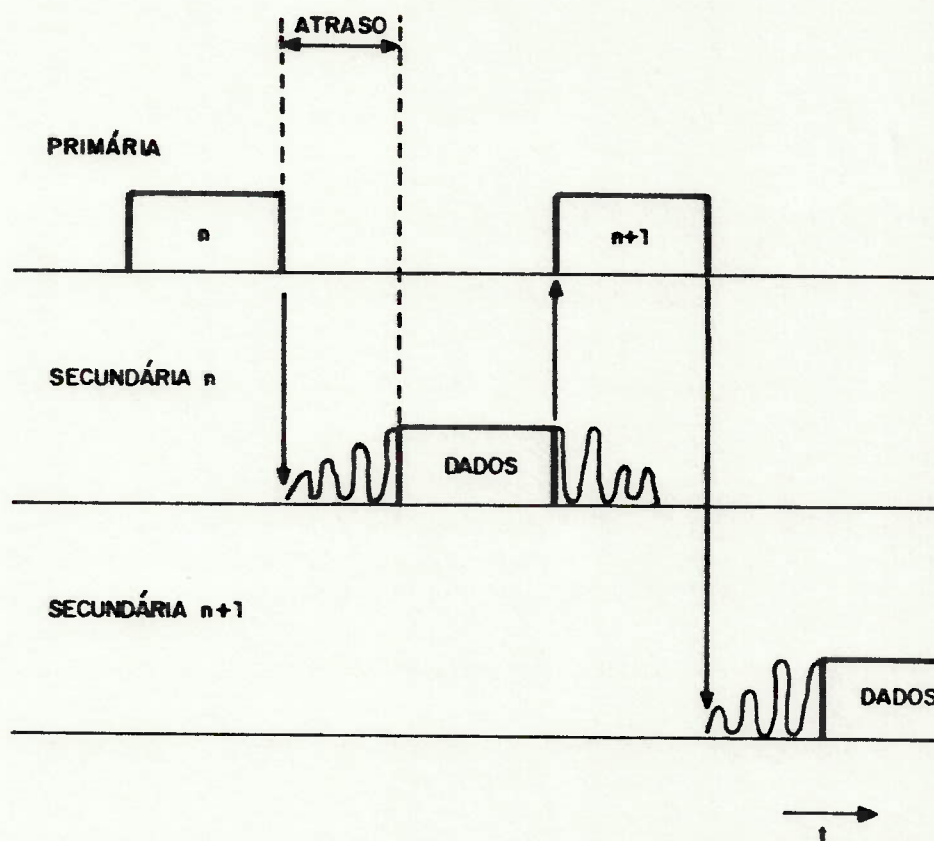


FIGURA 3.9 - COMUNICAÇÃO COM MODEM

um par exclusivo para suas transmissões. Devido à estrutura de endereçamento seletivo, a retirada da portadora por parte da remota não introduz retardos, uma vez que a portadora é retirada simultaneamente ao endereçamento da próxima remota, que é executado pela primária (vide figura 3.9).

Outro aspecto importante é a limitação na taxa de transferência de informações, restrita pelas características das linhas utilizadas (cabos telefônicos) e do MODEM. Esta taxa foi estabelecida em 1200 bps, que é a taxa utilizada em transmissões de dados digitais em linhas telefônicas públicas.

A estrutura multiponto com endereçamento seletivo apresentou-se adequada ao projeto. Entretanto, no caso de uma falha no cabo de comunicação, é interrompida a comunicação com todas as remotas. Como a manutenção de cabos é uma tarefa demorada, a operação do sistema é executada sem redundância, na transmissão de dados, durante o período de manutenção corretiva do cabo.

Para contornar este problema, resolveu-se optar por uma estrutura que continuasse operando, com um certo nível de degradação, mesmo na ocorrência de falhas no cabo. Para isso deve-se adotar uma topologia que divida o cabo de comunicação em vários enlaces independentes.

A topologia em árvore hierárquica apresentou-se bastante adequada para esta finalidade, o que levou ao emprego da mesma para o STD em questão.

Utilizou-se, para a implementação desta topologia, a associação de concentradores e da técnica de varredura seletiva, conforme esquematizado na figura 3.10. Os concentradores possuem a tarefa de controlar grupos de remotas ("cluster controller") e são posicionados em pontos estraté-

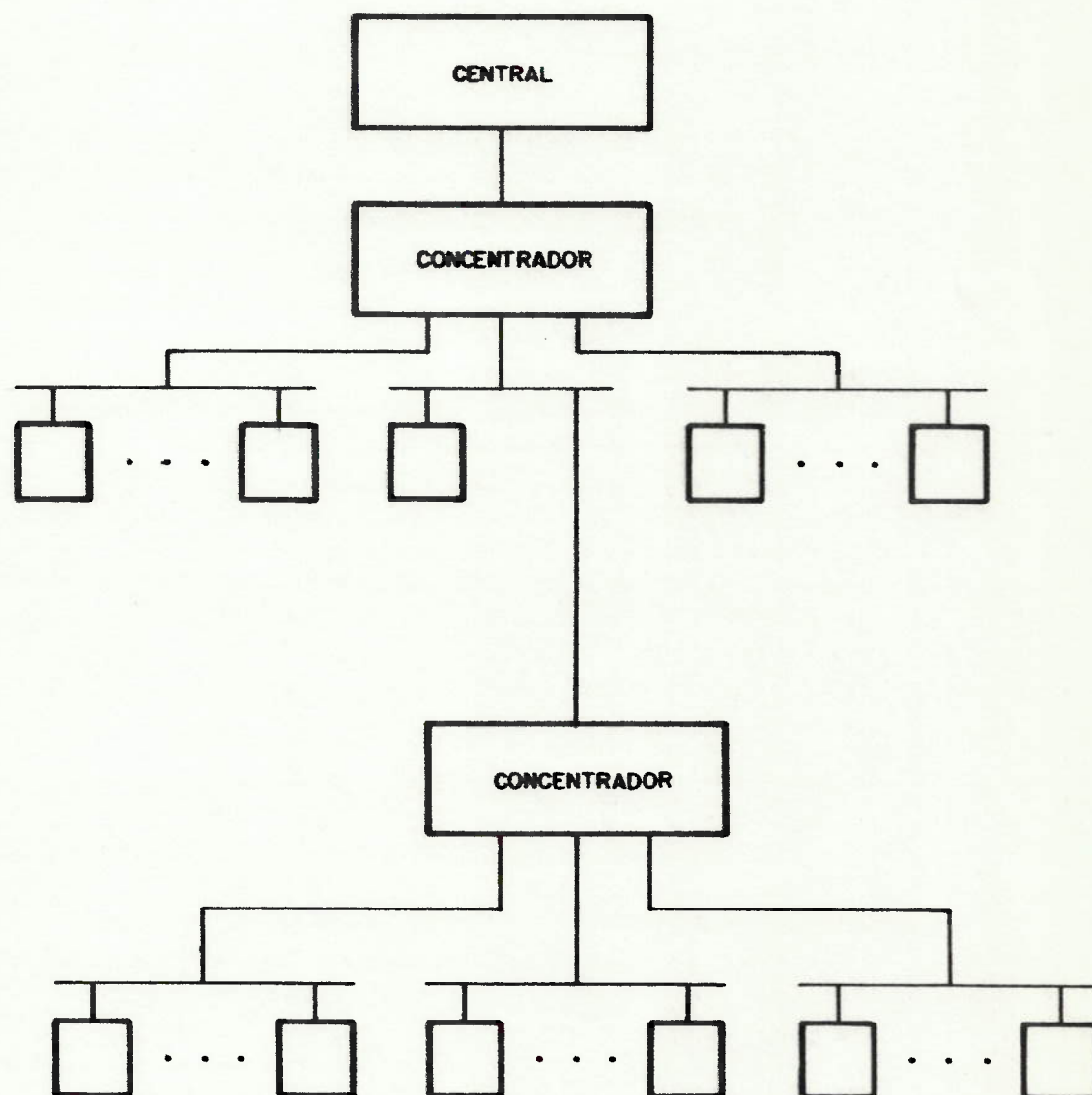


FIGURA 3.10 - TOPOLOGIA ADOTADA

gicamente favoráveis, com o objetivo de minimizar as ligações do sistema. A ligação entre o centro de processamento (ISTD) e as remotas é executada, portanto, através do concentrador.

3.4.2 - Solução adotada para o STD

A topologia em árvore escolhida é constituída de dois concentradores. A distribuição das remotas e dos concentradores está esquematizada na figura 3.11.

Cada concentrador possui quatro canais de comunicação. Um dos canais é o canal de comunicação superior pelo qual o concentrador executa a função de estação secundária na comunicação. O elemento de nível hierárquico superior, conectado a este canal, controla o concentrador. Este elemento pode ser a central (ISTD), ou um outro concentrador.

Os demais canais são os canais de comunicação inferiores, através dos quais é executada, pelo concentrador, a função de estação primária. Cada canal inferior implementa uma estrutura multiponto semi-duplex a quatro fios e pode controlar remotas de supervisão, de controle e outros concentradores de níveis inferiores. Os elementos inferiores representam o papel de estação secundária na comunicação e, portanto, somente ocupam o canal de comunicação para transmitir, quando requisitados pelo concentrador, por meio de endereçamento seletivo.

As remotas de supervisão são continuamente varridas com o objetivo de requisitar as informações relativas

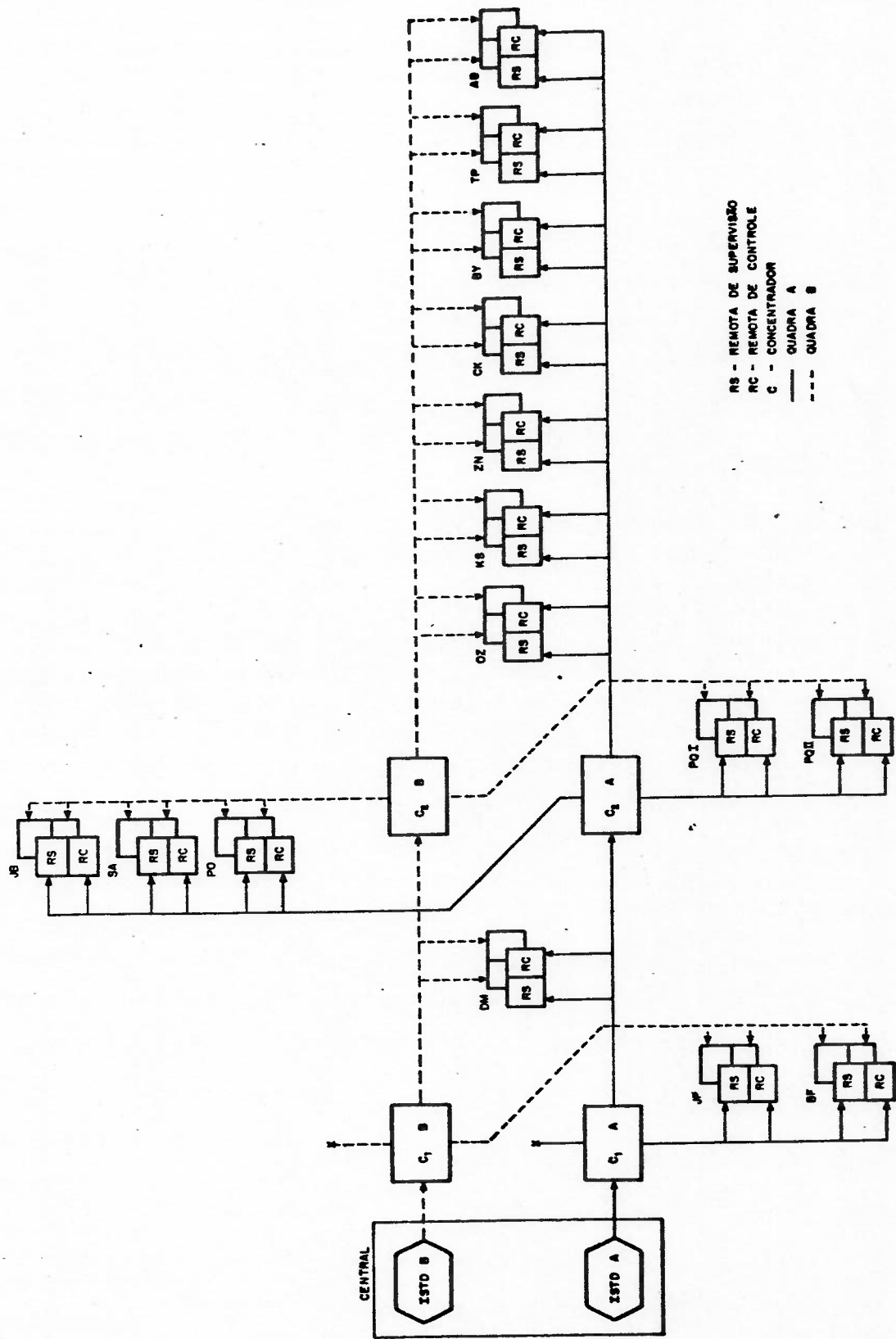


FIGURA 3.11 - CONFIGURAÇÃO DO BTM

às mudanças ocorridas no campo. A varredura é executada por meio de endereçamento seqüencial seletivo das remotas de supervisão.

Os concentradores de níveis inferiores também fazem parte do ciclo de varredura, e transmitem, quando solicitados, as informações coletadas das remotas da sua sub-árvore.

Além das funções descritas anteriormente, o concentrador deve:

- coletar as informações das remotas que está controlando e armazená-las temporariamente, para serem enviadas à central quando solicitadas;
- sinalizar à central a ocorrência de anomalias nos elementos que está controlando;
- desativar remotas defeituosas, para que não interfiram no procedimento de recepção de dados dos outros elementos;
- enviar mensagens de controle com maior prioridade em relação às mensagens de supervisão.

3.5 - Protocolo de Comunicação

O protocolo de comunicação foi desenvolvido para atender ao STD projetado, sendo, assim, específico para a aplicação à qual ele se destina.

Para o protocolo de nível físico (NÍVEL I), foi estabelecido que o equipamento de comunicação utilizado é um MODEM, com as seguintes características:

- transmissão serial assíncrona;
- modulação FSK;
- taxa de transmissão de 1200 bps;
- alta impedância de entrada e saída para configuração multiponto;
- comunicação semi-duplex a quatro fios.

A interface de comunicação segue a norma EIA RS232C (CCITT V24 e V28). Os dados são transmitidos em bytes, utilizando o mecanismo "start-stop" para sincronismo a nível de byte entre estação transmissora e receptora.

Devido à estrutura adotada, árvore hierárquica, o controle de comunicação do enlace é executado pela estação de nível hierárquico superior (primária) em relação às de nível hierárquico inferior (secundárias).

O protocolo de comunicação a nível de enlace (NÍVEL II) está baseado em comunicação semi-duplex por mensagem, e é padronizado para todos os enlaces presentes no STD.

A seguir são apresentados a estrutura das mensagens e o procedimento de interconexão utilizado.

3.5.1 - Estrutura das Mensagens

As mensagens são compostas por quatro campos, conforme esquematizado na figura 3.12.

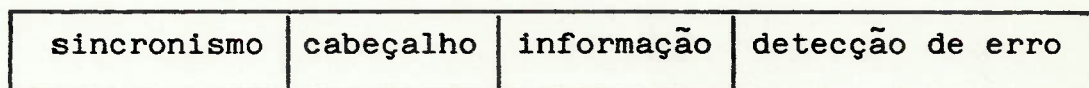


Figura 3.12 - Estrutura das mensagens

O campo de sincronismo é o primeiro campo de cada mensagem e é utilizado para indicar à estação receptora o início de uma nova mensagem. Este campo é composto por dois bytes, cujo conteúdo hexadecimal é 80H e 81H. Este padrão foi adotado por formar uma seqüência de bits que sempre garante a recuperação do sincronismo a nível de byte.

Para garantir que o padrão do sincronismo não seja repetido nos campos de cabeçalho e de informação, o bit mais significativo do primeiro byte, de cada dois transmitidos nesses campos, possui o valor 0.

O campo de cabeçalho é o campo de controle da comunicação e é composto por dois bytes. Este campo está subdividido em 3 subcampos:

- endereço;
- código;
- bit contador.

O significado de cada subcampo depende da estação que está transmitindo a mensagem.

- transmissão pela primária:

endereço: representa o número da estação secundária solicitada para a comunicação.

código: indica qual a operação a ser efetuada (silêncio, configuração, pedido de dados ou comando).

bit contador: indica qual é o número da mensagem que está sendo transmitida.

- transmissão pela secundária:

endereço: representa o número da estação secundária que está transmitindo a mensagem.

código: indica a ocorrência de alguma falha na estação.

bit contador: indica o número da última mensagem recebida da estação primária.

O campo de informação tem extensão variável, sempre com um número par de bytes. No sentido central-remotas, os dados transmitidos correspondem a informações referentes à configuração ou a comandos de atuação. No sentido remota-central os dados transmitidos neste campo correspondem às informações do processo que está sendo supervisionado.

O campo de detecção de erros é composto de dois bytes, e é o último campo da mensagem. O bit mais significativo do primeiro byte é sempre 1 o que indica à estação remota o fim da mensagem. Os demais bits representam o resto da divisão polinomial dos campos de cabeçalho e de informação pelo polinômio:

$$X^{15} + X^{14} + X^{13} + X^{12} + X^9 + 1$$

Este polinômio foi escolhido com base nos conceitos de Peterson [29][30], e detecta os seguintes erros:

- qualquer erro simples;
- qualquer erro duplo;
- qualquer erro triplo;
- qualquer erro consecutivo de tamanho 14;
- quaisquer dois erros consecutivos de tamanho 2.

A sintaxe detalhada das mensagens está descrita no Apêndice I.

3.5.2 - Procedimento de Interconexão

O procedimento de interconexão garante a confiabilidade da comunicação no enlace.

Adotou-se a estratégia de uma relação mestre/escravo entre a primária e a secundária. A estação secundária, com a função de escravo, somente inicia a transmissão ao receber da primária (mestre) uma mensagem sem erros e contendo

o seu endereço.

As falhas na comunicação são tratadas sempre pela estação primária. A toda transmissão, a estação primária inicia uma temporização de recepção; se, durante este intervalo, não receber nenhuma resposta da secundária, ela assume que ocorreu uma falha de comunicação e retransmite a mensagem. Se, após algumas tentativas, a primária não receber resposta, a estação secundária é considerada inoperante e o defeito é sinalizado à central.

Esta falha é detectada também pelo concentrador em sua função de primária. Neste caso, o concentrador cria uma mensagem de supervisão referente ao defeito e a envia à central, quando solicitado pelo elemento de nível superior.

Para garantir que mensagens não sejam perdidas ou duplicadas, quando ocorre erro de comunicação, o procedimento de comunicação utiliza-se do bit contador presente no campo do cabeçalho. Este bit é incrementado a cada comunicação executada com sucesso.

A estação secundária possui, internamente, uma variável que indica qual a última mensagem recebida corretamente da estação primária. A secundária está, portanto, esperando a mensagem com número seguinte ao da última recebida. No caso da secundária receber uma mensagem da primária com número igual da última recebida, configura-se uma situação em que a primária não recebeu resposta e está retransmitindo a mensagem anterior. Nessa situação, a secundária ignora a mensagem atual e retransmite a resposta da mensagem anterior.

3.6 - Concentrador

3.6.1 - "Hardware"

O projeto do hardware do concentrador foi executado com base em uma arquitetura que utiliza microprocessador.

Utilizou-se o microprocessador INTEL 8085A e os componentes que integram a sua família, para o desenvolvimento do projeto. Esse projeto, esquematizado na figura 3.11, apresenta as seguintes características:

- 18k bytes de memória do tipo apenas leitura (ROM);
- 12k bytes de memória do tipo escrita/leitura (RAM);
- circuito temporizador (TIMER);
- 4 interfaces de comunicação serial síncrona/as-síncrona (USART).

3.6.2 - "Software"

O software do concentrador está implementado através de programas (processos) que executam as tarefas do concentrador, numa forma cooperativa, compartilhando os recursos do processador (multiprogramação).

Para permitir o ambiente de multiprogramação foi desenvolvido um sistema operacional próprio para gerenciar os recursos de hardware do concentrador |20||34|.

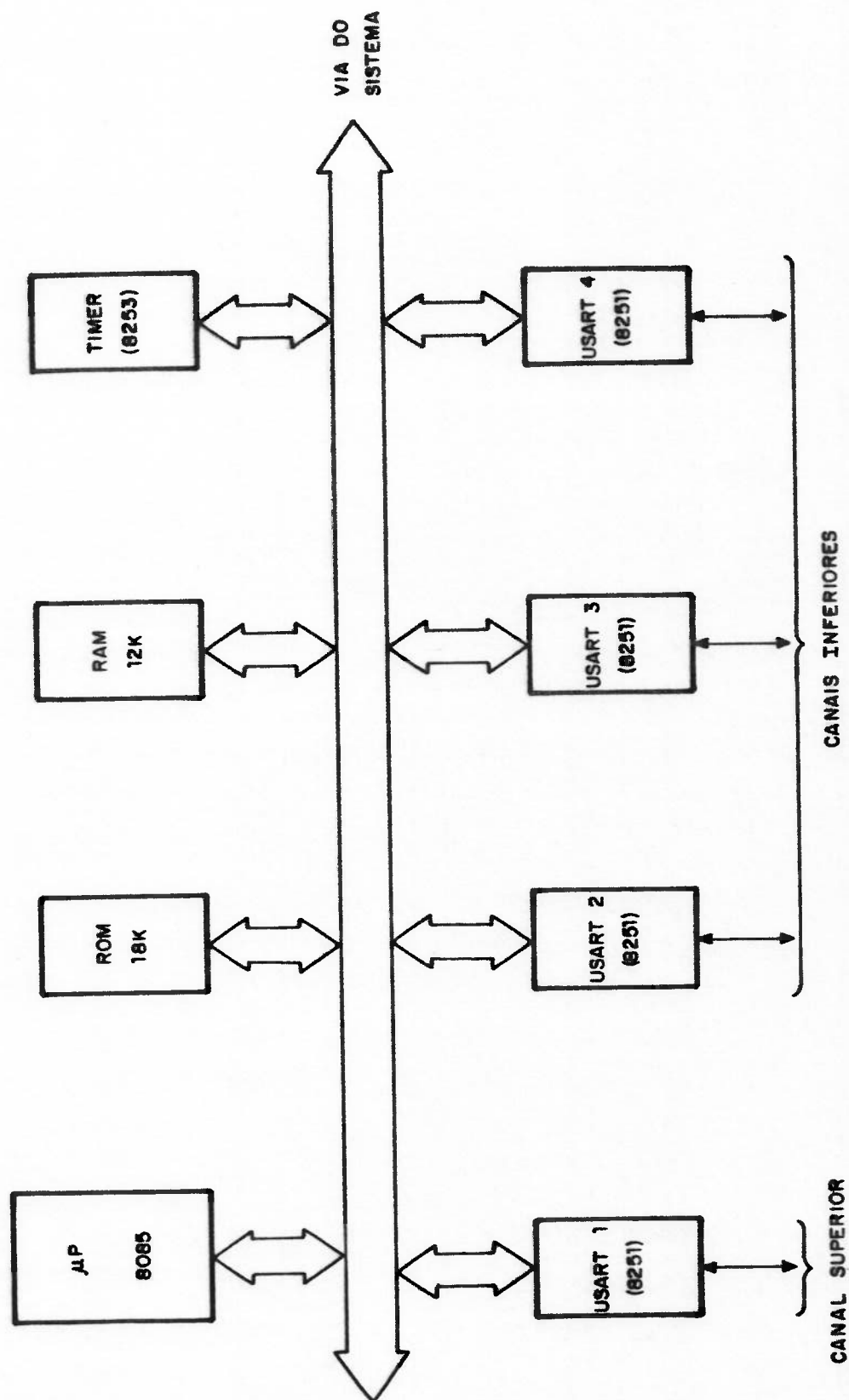


FIGURA 3.13.-"HARDWARE" DO CONCENTRADOR

Este sistema operacional é formado pelo seguinte conjunto de programas:

- Gerenciador de UCP:

Este módulo é responsável pela sincronização do uso dos recursos e pela ativação e bloqueio dos processos.

O mecanismo de sincronização está baseado nos operadores P e V. Estes operadores executam acesso a semáforos contadores. Os recursos estão sempre associados a semáforos e são requisitados através do semáforo correspondente. O operador P permite que um processo solicite o semáforo. O operador V permite ao processo liberar o semáforo [12].

Quando um processo solicita um semáforo não disponível, o gerenciador de UCP interrompe a execução deste processo e o coloca num estado de espera de liberação do semáforo, inserindo-o em uma fila correspondente.

A liberação de um semáforo por um processo faz com que o gerenciador de UCP retire o primeiro processo (se houver) da fila de espera do semáforo e o coloque no estado de pronto para execução, inserindo-o na fila do escalador.

O escalador de processos é o módulo do gerenciador de UCP que é acionado toda vez que a execução de um processo é interrompida. Este módulo possui a finalidade de ativar (executar) um processo da fila do escalador. Esta fila é formada pelos processos que já receberam os recursos so-

licitados e estão em espera para execução. O processo é selecionado pela sua prioridade e pela ordem de chegada na fila.

- Gerenciador de memória:

Este módulo permite o acesso ordenado dos processos à área de armazenamento de dados do concentrador. Esta área comum ("buffer-pool") é composta por uma lista ligada de blocos de memória, de tamanho fixo, de onde um processo pode requisitar ou para onde pode devolver blocos.

- Gerenciador das filas:

Este módulo é responsável pela colocação ou retirada de elementos das filas dos semáforos e da fila do escalador. Também é responsável pela troca de dados entre os processos (comunicação entre processos). Quando um processo deseja enviar um bloco de dados a outro processo, este último solicita, ao gerenciador de filas, a inserção na fila de recepção de dados do outro processo. Os dados serão recebidos pelo outro processo quando ele os solicitar ao gerenciador de filas.

- Gerenciador do relógio interno:

Este módulo é responsável pelo mecanismo de temporização, através do qual controla o uso do relógio interno. As temporizações são solicitadas pelos processos ao gerenciador de relógio

interno, que informa aos mesmos o instante em que essa contabilização se encerra.

As funções do concentrador são executadas por dois processos aplicativos:

- Processo de Tratamento do Canal Inferior ;
- Processo de Tratamento do Canal Superior

Estes processos ativam as interfaces de comunicação, através de um conjunto de rotinas de comunicação. As rotinas de comunicação são responsáveis pela ativação dos circuitos de comunicação (USART) e executam a transmissão e recepção de mensagens, conforme o protocolo de comunicação estabelecido.

As rotinas de transmissão executam a formatação da mensagem, calculam o código de redundância cíclica (CRC) e transmitem o sincronismo. O processo que solicitou a transmissão permanece em espera, aguardando a finalização da transmissão |5||50|.

A rotina de recepção, após ser ativada, permanece aguardando a recepção do campo de sincronismo. Após a detecção do sincronismo inicia-se a recepção dos dados e o cálculo do código de redundância cíclico. Ao ser detectado o campo do CRC da mensagem, é encerrada a recepção, liberando o processo que solicitou a recepção e indicando se a mensagem foi recebida sem erros.

Ambas as rotinas são módulos que podem ser modificadas numa eventual substituição do hardware de comunicação ou em alterações no proto-

colo de comunicação adotado, sem que seja necessário alterar a estrutura do restante do software do concentrador.

3.6.2.1 - Processo de Tratamento do Canal Superior

O processo de tratamento do canal superior executa o procedimento de interconexão do canal superior, sendo, portanto, o procedimento que permite que o concentrador desempenhe a função de estação secundária.

Assim que o concentrador é iniciado, este processo permanece aguardando uma mensagem de configuração. Esta mensagem, enviada pela central, fornece ao concentrador informações sobre a configuração das remotas e dos outros concentradores que formam a sua sub-árvore, e permite ao concentrador executar o roteamento das mensagens para os elementos conectados nos seus canais inferiores.

Quando configurado, o concentrador aceita qualquer mensagem, enviada pela estação de nível superior, cujo endereço seja o de algum elemento da sua sub-árvore. Estas mensagens são enviadas para o correspondente processo de tratamento do canal inferior, conforme o mapa de rotas recebido na configuração.

Quando é recebida, da primária, a mensagem de pedido de dados, este processo verifica se existe, em sua fila, blocos de dados enviados pelos outros processos. Se existe algum bloco na fila, estes dados são enviados à primária, como resposta ao pedido; caso contrário, é enviada à primária apenas a mensagem de reconhecimento.

3.6.2.2 - Processo de Tratamento do Canal Inferior

O concentrador possui três processos de tratamento do canal inferior que executam, cada um deles, o tratamento do respectivo canal inferior. Estes processos são idênticos, diferindo apenas nas chamadas das rotinas de comunicação do respectivo canal.

O tratamento do canal inferior corresponde ao procedimento de interconexão do concentrador com os elementos conectados aos canais inferiores, sendo, portanto, o procedimento que permite que o concentrador desempenhe a função de estação primária.

O processo Tratamento do Canal Inferior executa as seguintes tarefas:

- envio de mensagens de controle;
- varredura ("polling") das remotas de supervisão;
- transferência de dados entre concentradores.

O mecanismo de varredura seletiva das remotas é executado entre as remotas já configuradas. As configurações das remotas são enviadas ao concentrador pela central. A remota é inserida na fila de varredura a partir do momento que confirma o recebimento da mensagem de configuração.

É esperada resposta das secundárias sempre que é enviada uma mensagem de configuração, de pedido de dados ou de comandos. Considera-se que ocorreu um erro na comunicação, quando a mensagem recebida tem erro de CRC ou quando termina o limite de tempo para a recepção ("time-out").

Toda vez que ocorre um erro de comunicação, nova tentativa é executada. Se após algumas tentativas persistir

o erro, a remota é considerada como defeituosa.

A remota defeituosa é eliminada da fila de varredura e é enviada uma mensagem de alarme para a central através do canal superior. Esta remota é mantida como não configurada e somente retorna à operação após nova mensagem de configuração.

As informações recebidas das remotas, assim como as informações recebidas dos concentradores inferiores, são enviadas, através de blocos, da área comum de memória, para o processo Tratamento do Canal Superior . Estas informações permanecem na fila do processo Tratamento do Canal Superior até o instante de serem solicitadas pelo elemento de nível hierárquico superior ao concentrador.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE DESEMPENHO

4 - ANÁLISE DE DESEMPENHO

O desempenho de um STD pode ser avaliado através do cálculo do tempo necessário para transportar informações [22].

Denomina-se de tempo de resposta (T_r) ao intervalo de tempo médio decorrido entre o instante em que a informação está disponível na estação origem até o instante em que a mesma está disponível na estação destino, após ter sido transportada pelo STD em questão.

Nos processos, as informações são geradas em tempo real e devem ser continuamente transportadas para as estações que executam o processamento.

Nos sistemas de controle centralizado, as estações remotas de supervisão executam a aquisição de dados referentes a eventos que ocorreram no processo, e estas enviam dados para a estação central.

Alguns eventos, entretanto, podem ocorrer no instante em que a estação remota se encontra em uma comunicação para o transporte do evento anterior. Neste caso, os dados referentes a este evento devem aguardar o fim da comunicação presente, para serem então enviados na próxima comunicação.

As estações remotas de supervisão devem, portan-

to, ter capacidade de armazenamento para dados correspondentes a eventos que ocorram durante o intervalo entre uma comunicação e outra.

Diz-se que um STD está em saturação quando o intervalo entre a transmissão de dois eventos é maior que o intervalo entre a geração dos mesmos pelo processo.

A análise de desempenho de um STD, aplicado em supervisão e controle de processos, deve incluir o dimensionamento da saturação, com o objetivo de avaliar a capacidade máxima do STD em estudo.

Neste capítulo é apresentada a análise de desempenho do STD projetado, que foi descrito no item 3.4.

Conforme exposto anteriormente, o projeto do STD baseou-se em uma série de requisitos funcionais e de confiabilidade, e nos recursos disponíveis para a implantação. Entretanto, para a configuração escolhida, é necessário determinarem-se parâmetros quantitativos para se garantir a perfeita adequação do STD à aplicação.

Os parâmetros que foram determinados referem-se ao tempo de resposta e à saturação do STD.

A análise que é apresentada a seguir também engloba o cálculo de memória mínima necessária para as estações remotas e concentradores.

Devido às características do STD projetado, é necessário o conhecimento do desempenho de enlaces multiponto com técnica de varredura. Dessa forma, foi inicialmente calculado (item 4.1) o desempenho desses enlaces, e tais resultados foram utilizados para o cálculo do sistema global.

4.1 - Desempenho de Varredura em Enlace Multiponto

4.1.1 - Supervisão

Num esquema de varredura, dispõe-se de uma estação primária e várias secundárias (remotas de supervisão), interligadas por um enlace multiponto. A estação primária solicita seqüencialmente, a cada estação secundária, as informações armazenadas. Cada estação secundária permanece armazenando os dados do processo, enquanto a primária está em comunicação com as demais.

Define-se tempo de varredura (T_v) como sendo o intervalo de tempo necessário para ser executada a comunicação entre a estação primária e todas as secundárias. A figura 4.1 mostra um ciclo de varredura, em um caso de varredura seletiva.

O tempo de resposta (T_r) é, portanto, calculado em função do tempo de varredura. Se um evento ocorre instantes antes do início da varredura (evento 1 da figura 4.1), então, o tempo de resposta é praticamente nulo. Se, por um outro lado, um evento ocorre logo após o início de uma varredura (evento 2 da figura 4.1), o tempo de resposta é aproximadamente igual ao tempo de varredura.

Logo, conclui-se que o tempo de resposta médio para esquemas de varredura é a metade do tempo de varredura.

$$T_r = \frac{T_v}{2} \quad (4.1)$$

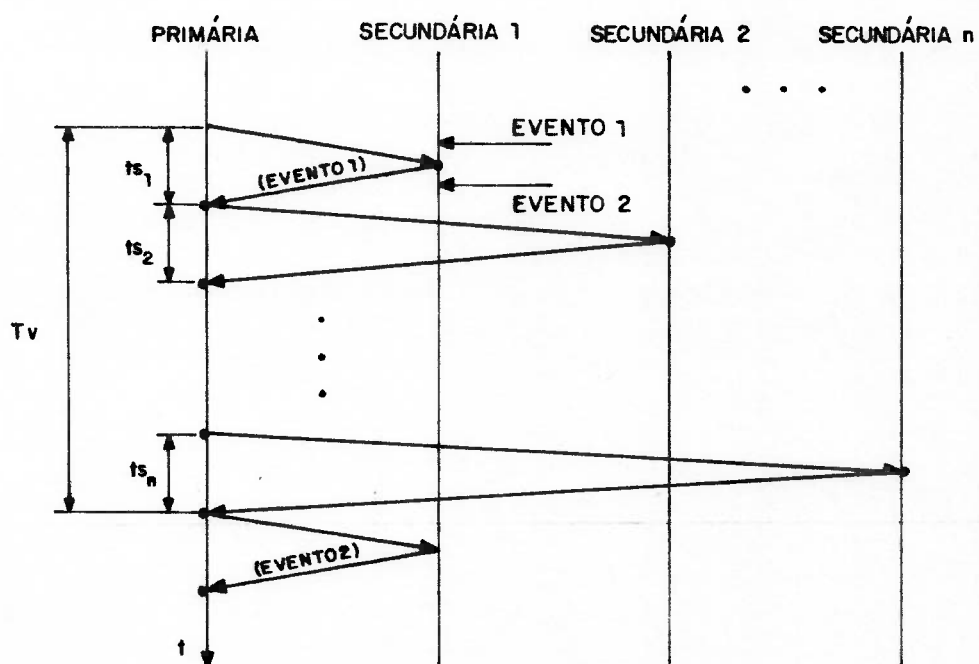


FIGURA 4.1 - UM CICLO DE VARREDURA

O tempo de varredura corresponde à somatória dos tempos dispendidos na comunicação entre cada estação secundária e a primária.

Sendo:

t_s - tempo de comunicação entre a estação primária e uma estação secundária;

n_s - número de estações secundárias (remotas de supervisão);

tem-se:

$$T_v = \sum_{i=1}^{n_s} t_{s_i} \quad (4.2)$$

O tempo de comunicação (t_s) entre a estação primária e a secundária, varia de acordo com a quantidade de dados armazenados até o momento em que a secundária é solicitada a transmitir. Estes dados correspondem aos dados armazenados desde a última comunicação.

Seja λ_s a taxa de geração de dados pelo processo, para uma dada remota de supervisão; têm-se, então, que a quantidade de informação a ser transmitida por esta remota, em cada varredura, é o produto da taxa λ_s pelo tempo de varredura ($\lambda_s \cdot T_v$).

Considerando que as informações são transmitidas através de mensagens, de acordo com um protocolo pré-estabelecido, o tempo em cada comunicação pode ser calculado pela soma do tempo dispendido para a transmissão dos dados mais o

tempo dispendido nos demais caracteres de controle da comunicação.

Seja:

t_d - tempo da transmissão dos dados;
 t_p - tempo dispendido no controle da comunicação;

tem-se:

$$t_s = t_p + t_d \quad (4.3)$$

Analisando o termo t_p , pode-se concluir que é equivalente ao tempo de comunicação primária/secundária quando a secundária não possui dados para transmitir. Como o protocolo utilizado no enlace multiponto é igual para todas as estações secundárias, o termo t_p é constante. Obtém-se, assim, a equação:

$$T_v = n_s \cdot t_p + \sum_{i=1}^{n_s} t_{d_i} \quad (4.4)$$

Seja:

v - velocidade de transmissão de dados do canal;
 k - quantidade de caracteres transmitidos para cada dado do processo;

tem-se que o tempo de transmissão dos dados por remota pode ser fornecido pela seguinte equação:

$$t_d = \frac{k}{v} \lambda_s T_v \quad (4.5)$$

Substituindo a equação (4.5) na equação (4.4), obtém-se:

$$T_v = n_s \cdot t_p + \frac{k}{v} T_v \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} \quad (4.6)$$

portanto:

$$T_v = \frac{n_s \cdot t_p}{1 - \frac{k}{v} \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i}} \quad (4.7)$$

Para o caso particular descrito no capítulo anterior, t_p representa o tempo da transmissão da mensagem de endereçamento primária/secundária (6 bytes), mais o tempo necessário para o MODEM da secundária colocar a portadora (50 ms), mais o tempo de transmissão, pela secundária, da mensagem sem dados (6 bytes).

A velocidade utilizada no canal de comunicação é de 1200 bps, o que representa uma velocidade de 120 bytes por segundo (oito bits de dado mais um "stop" e um "start"). Tem-se, então, para t_p o valor de:

$$t_p = 150 \text{ ms}$$

Conforme o protocolo descrito no Apêndice I, o número de bytes transmitidos para cada indicação do campo é dois ($k=2$).

Supondo que as estações remotas estão igualmente distribuídas ao longo do processo, pode-se considerar que a taxa de geração de mudanças pelo processo por remota é constante. Tem-se assim, que o tempo de varredura é:

$$T_v = \frac{9 \cdot n_s}{60 - \lambda_s \cdot n_s} \quad (4.8)$$

O gráfico da figura 4.2 mostra o comportamento do tempo de varredura em função da taxa de geração de mudanças por remota, para vários valores de n_s .

Observa-se que o ponto de saturação deste sistema ocorre para valores de $\lambda_s \cdot n_s = 60$.

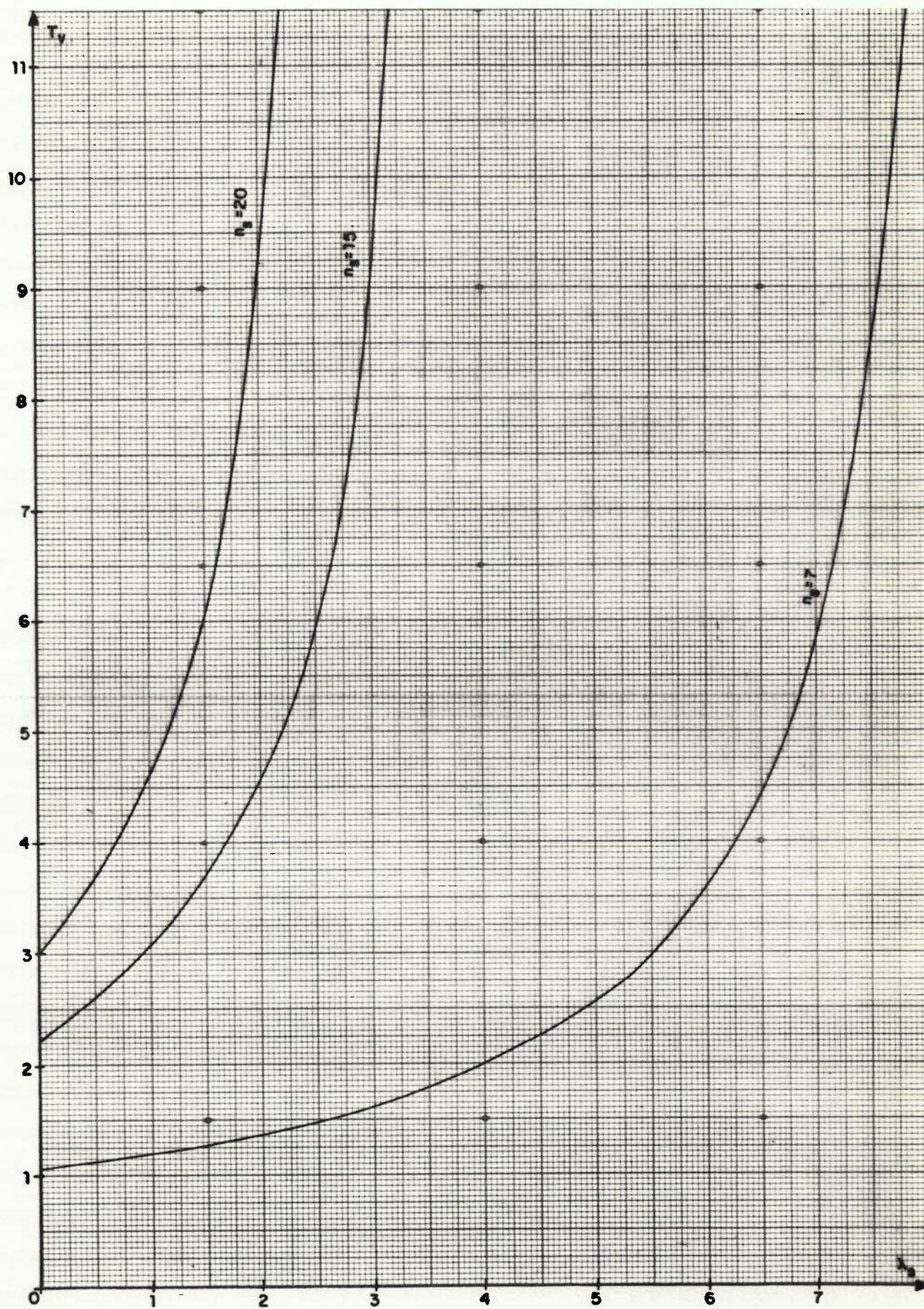


FIGURA 4.2 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO (4.8)

4.1.2 - Supervisão e Controle

No estudo anterior considerou-se apenas a existência de estações remotas que executam a supervisão do processo. Nos sistema de supervisão e controle, o STD é compartilhado também pelas remotas que atuam no processo.

Nos esquemas multiponto, onde se emprega a técnica de varredura, as estações remotas de controle, apesar de compartilharem do enlace multiponto, somente são selecionadas quando existem comandos de atuação.

Observa-se que os comandos sempre devem ser prioritários em relação às informações de supervisão. Portanto, a todo comando a varredura é interrompida para transmissão da mensagem-comando à respectiva remota.

Sendo assim, o tempo de varredura é acrescido do tempo dispendido nas comunicações com as estações remotas de controle.

O tempo de varredura é, portanto, a soma do tempo na comunicação com todas as estações remotas de controle (T_c) mais o tempo para executar a comunicação sequencial com todas as estações remotas de supervisão (T_s). Tem-se assim:

$$T_v = T_c + T_s \quad (4.9)$$

Seja:

t_c - tempo dispendido na comunicação primária/secundária para enviar um comando;

λ_c - número de comandos por unidade de tempo enviada a uma remota;

tem-se que, em uma varredura, T_c é dado pela equação:

$$T_c = \sum_{i=1}^{n_c} t_c \cdot \lambda_{c_i} \cdot T_v \quad (4.10)$$

Utilizando a equação (4.6), que expressa o tempo nas comunicações com as estações remotas de supervisão, tem-se que o tempo de varredura é:

$$T_v = n_s \cdot t_p + T_v \frac{k}{v} \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} + t_c \cdot T_v \sum_{i=1}^{n_c} \lambda_{c_i} \quad (4.11)$$

portanto:

$$T_v = \frac{n_s \cdot t_p}{1 - \frac{k}{v} \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} - t_c \sum_{i=1}^{n_c} \lambda_{c_i}} \quad (4.12)$$

Para o caso particular do STD, descrito anteriormente, considera-se:

λ_s constante;
 λ_c constante;
 $n_s = n_c = n$;
 $v = 120$ bytes/s.

Conforme o protocolo definido para o STD, o campo de informação para cada mensagem de controle, supondo que exista apenas um comando por mensagem, é de dois bytes. Assim, o tempo t_c é a soma de t_p mais o tempo para transmissão dos dois bytes. Tem-se, assim, para t_c o valor de:

$$t_c = 166 \text{ ms}$$

Substituindo os valores numéricos na equação (4.12), obtém-se:

$$T_v = \frac{n \cdot 9}{60 - n \lambda_s - 10 n \lambda_c} \quad (4.13)$$

O gráfico da figura 4.3 mostra o comportamento do tempo de varredura em função da taxa de geração de indicações. Utilizou-se nesse gráfico, valores percentuais da taxa de comandos enviados em relação à taxa de indicações.

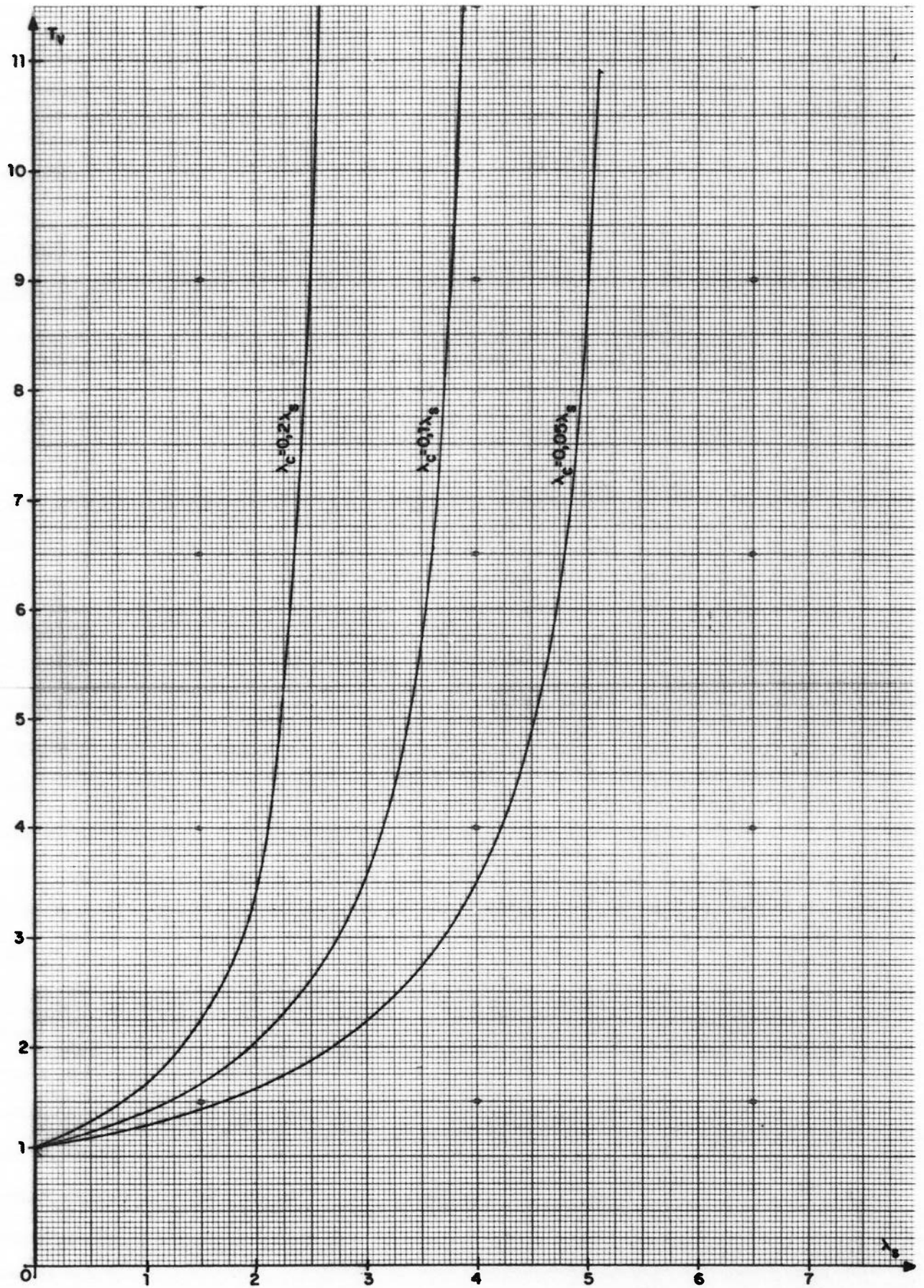


FIGURA 4.3 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO (4.13)

4.1.3 - Memória da Remota de Supervisão

Para garantir que a remota de supervisão envie à central todas as variações que ocorreram no processo, é necessário que exista na remota uma área de armazenamento temporário, para guardar as informações dos eventos que ocorrem durante o intervalo de tempo em que a remota não está transmitindo.

Seja T_e o intervalo de tempo que a remota de supervisão permanece aguardando a requisição da primária, e considerando k_1 o fator que expressa o número de bytes necessários para armazenar cada informação do processo, tem-se que a memória da remota (M_r) é:

$$M_r = k_1 \lambda_{s_r} \cdot T_v \quad (4.14)$$

Para o caso de varredura, o tempo de espera (T_e) equivale ao tempo de varredura (T_v) do enlace. Esta consideração é válida supondo-se que a estação primária (no caso o concentrador), sempre inicia uma nova varredura após encerrada a anterior.

Substituindo, assim, a equação (4.12), obtém-se:

$$M_r = k_1 \lambda_{s_r} \cdot \frac{n_s \cdot t_p}{1 - \frac{k}{v} \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} - t_c \sum_{i=1}^{n_c} \lambda_{c_i}} \quad (4.15)$$

Particularizando para o caso em estudo e generalizando para todas as remotas, com as mesmas considerações

feitas anteriormente e sendo $k_1 = 2$, tem-se que:

$$M_r = \frac{n \cdot 18 \cdot \lambda_s}{60 - n \lambda_s - 10 n \lambda_c} \quad (4.16)$$

O gráfico da figura 4.4 exemplifica o dimensionamento da memória das interfaces de campo (supervisão) para variações na taxa de informações geradas. Pode-se observar que a saturação, ou seja, uma capacidade infinita de armazenamento, ocorre em condições iguais às da saturação do enlace.

Para se quantificar o valor da memória (M_r), é necessário conhecer a distribuição da taxa de informações (λ_s) no tempo. Esse dado pode ser obtido analisando-se o tipo do processo que se está supervisionando.

Considerando-se:

$$\begin{aligned} \lambda_s &= 0.76 \text{ informações/s; (vide Apêndice II)} \\ \lambda_c &= 0.066 \text{ comandos/s; (vide Apêndice II)} \\ n &= 7; \end{aligned}$$

obtém-se para M_r o valor de:

$$M_r = 2 \text{ bytes}$$

Entretanto, o valor mínimo da memória deve ser calculado considerando-se a ocorrência do maior número de dados simultâneos. O Apêndice II mostra que podem ocorrer,

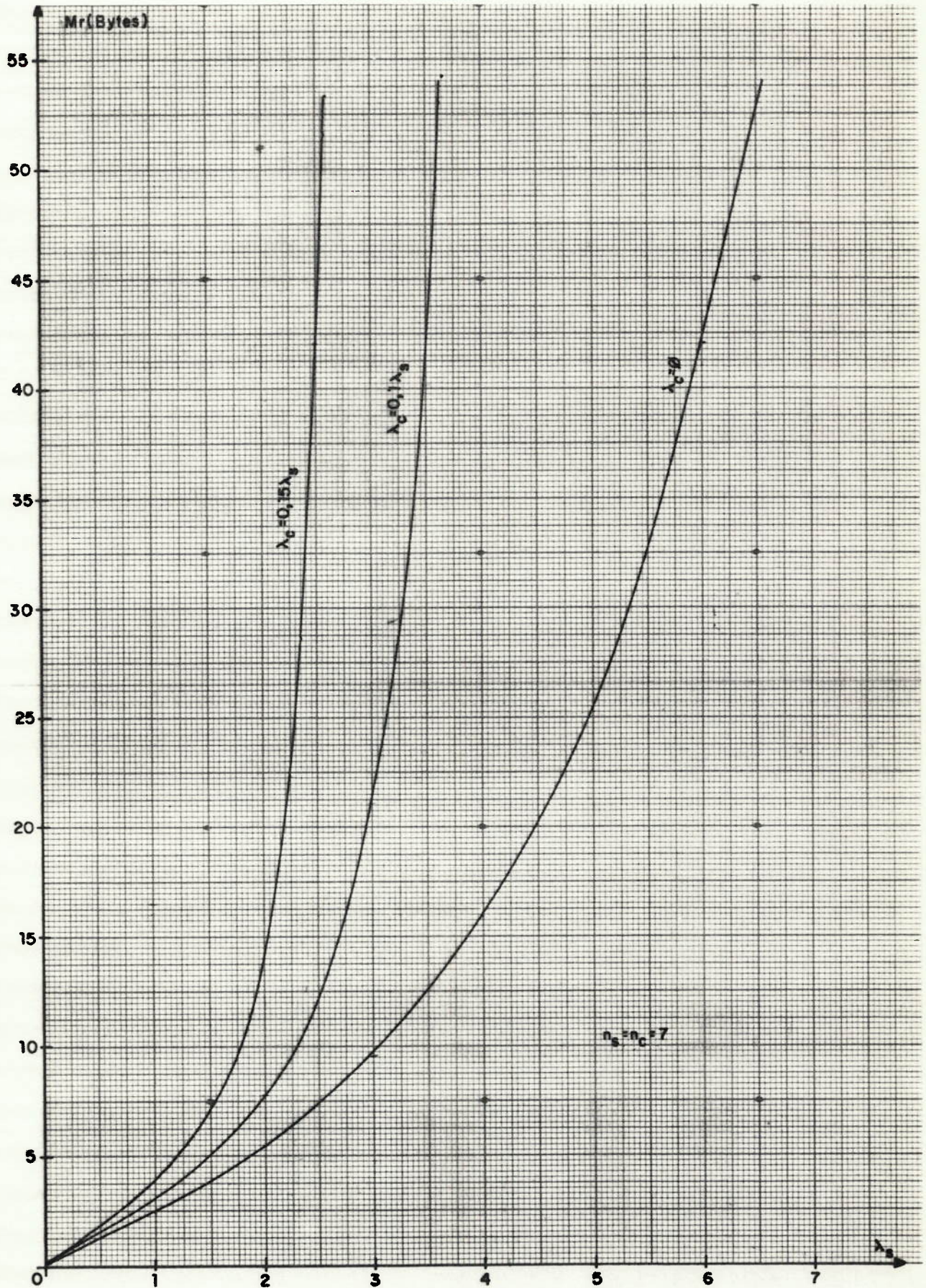


FIGURA 4.4 - GRÁFICO DA EQUAÇÃO (4.16)

simultaneamente, no máximo 72 eventos para uma dada remota. Sendo assim, a memória da remota, no caso particular estudado, deve ser considerado o mínimo. Portanto, tem-se:

$$M_r = M_r \text{ mínimo} = 144 \text{ bytes.}$$

4.2 - STD Proposto

4.2.1 - Tempo de Resposta

Nas redes ponto a ponto, o tempo de resposta para uma informação ir de uma estação até outra, após percorrer a rede, é calculado pela somatória dos tempos dispendidos em cada enlace percorrido.

Na topologia adotada, árvore hierárquica, o tempo de resposta para uma informação de supervisão ir da remota até a central é a soma dos tempos de resposta em cada nível; assim sendo, o tempo de resposta depende do nível em que a remota se encontra.

A figura 4.5 esquematiza a topologia utilizada. Pode-se identificar, nesta figura, que os enlaces de números 2,4,5,6 e 7, somente possuem remotas como estações secundárias. Nesses casos, o tempo de resposta é a metade do tempo de varredura, calculado através da equação (4.11).

Entretanto, nos enlaces de números 1 e 3, existem também concentradores como estações secundárias. Nesses

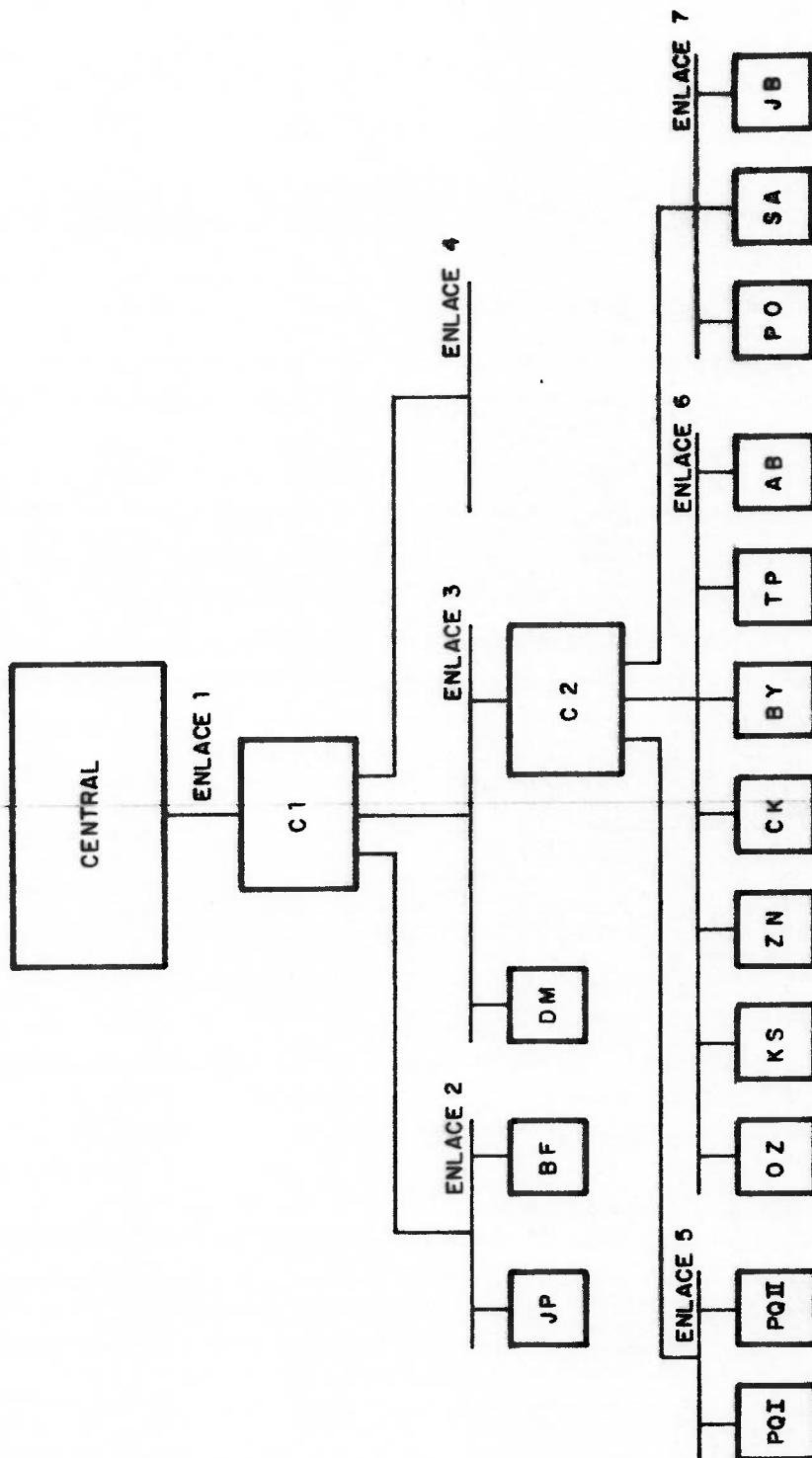


FIGURA 4.5 - ESQUEMA DO STD

casos, o cálculo do tempo de varredura deve ser executado levando-se em conta este novo elemento. A seguir é apresentada a metodologia para este novo cálculo.

Seja:

- T'_v - tempo para executar a comunicação com todas as remotas do enlace durante uma varredura,
- T'_c - tempo dispendido nas mensagens de controle enviadas ao concentrador,
- T'_s - tempo dispendido para o concentrador enviar os dados de supervisão,

tem-se:

$$T_v = T'_v + T'_c + T'_s \quad (4.17)$$

As informações de supervisão que o concentrador envia, referem-se às informações coletadas de todas as remotas de sua sub-árvore. Considerando-se:

- n'_s - número de remotas de supervisão da sub-árvore,
- n'_c - número de remotas de controle da sub-árvore,
- t'_p - tempo dispendido na comunicação primária/concentrador por remota de supervisão da sub-árvore, para enviar apenas os bytes de controle de comunicação,
- t'_c - tempo para a primária enviar ao concentrador uma mensagem de con-

trole a uma remota de controle da sub-árvore,

tem-se, então:

$$T'_s = n'_s t'_p + T_v \frac{k}{v} \sum_{i=1}^{n'_s} \lambda'_{s_i} \quad (4.18)$$

$$T'_c = t'_c \cdot T_v \sum_{i=1}^{n'_c} \lambda'_{c_i} \quad (4.19)$$

Considerando-se a equação (4.11) para T'_v , obtém-se que o tempo de varredura em enlaces que contêm concentrador é:

$$T_v = \frac{n'_s t'_p + n_s t_p}{1 - \frac{k}{v} \left(\sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} + \sum_{i=1}^{n'_s} \lambda'_{s_i} \right) - t_c \sum_{i=1}^{n_c} \lambda_c - t'_c \sum_{i=1}^{n'_c} \lambda'_{c_i}} \quad (4.20)$$

Considerando-se os valores de:

$$\lambda_s = 0,76 \text{ indicações/s,}$$

$$\lambda_c = 0.066 \text{ comandos/s,}$$

e aplicando-se a equação (4.20) nos enlaces 1 e 3 e a equação (4.13) nos enlaces 2, 4, 5, 6 e 7, obtém-se o tempo de resposta de todos os enlaces, conforme mostrado na tabela 4.1, e o tempo de resposta de cada remota de supervisão, conforme mostrado na tabela 4.2.

ENLACE	T_v (s)	T_r (s)
1	2,16	1,08
2	0,32	0,16
3	1,84	0,92
4	-	-
5	0,32	0,16
6	1,26	0,63
7	0,48	0,24

Tabela 4.1 - Tempo de Resposta dos Enlaces

REMOTA	JP,BF	DM	PQI,PQII	OZ - AB	PO,SA,JB
T_r (s)	1,24	2,05	2,16	2,63	2,24

Tabela 4.2 - Tempo de Resposta por Enlace

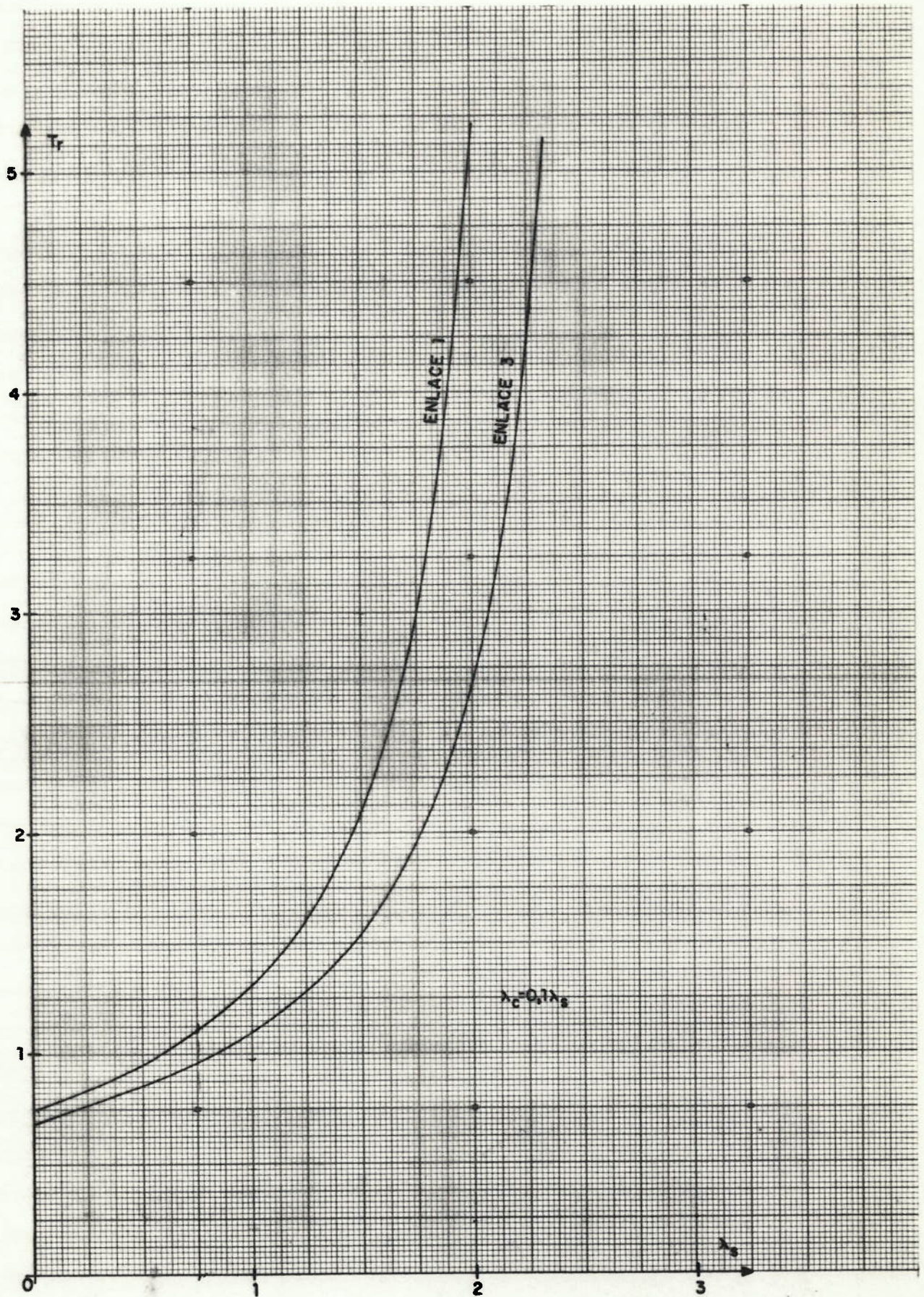


FIGURA 4.6 - GRÁFICO DE EQUAÇÃO (4.20)

O gráfico da figura 4.6 mostra o tempo de resposta, nos enlaces 1 e 3, em função da taxa de indicações do campo. Para o cálculo do tempo de resposta do enlace número 1, considerou-se que não existe chaveamento de portadora.

4.2.2 - Memória do Concentrador

Uma das considerações feitas para o concentrador, é que ele deve continuamente iniciar uma nova varredura, após ter encerrado a varredura anterior. Para garantir esta condição, é necessário que o concentrador tenha uma área de memória ("buffer"), suficiente para armazenar temporariamente todas as informações coletadas das remotas de supervisão da sua sub-árvore, até o instante em que são solicitadas pela estação primária.

Essa memória, portanto, é calculado com base na quantidade de informação coletada, das remotas que compõem a sua sub-árvore, desde a última comunicação com a primária.

Seja T_e o tempo que o concentrador permaneceu aguardando a requisição da primária, e considerando k_2 como o fator que expressa o número de bytes necessários para armazenar cada informação, tem-se que a memória do concentrador (M_c) é:

$$M_c = T_e \cdot k_2 \sum_{i=1}^{n_s} \lambda_{s_i} \quad (4.21)$$

onde n_s é o número de remotas da sub-árvore do concentrador

em questão.

Para o dimensionamento da área, deve-se considerar os valores extremos para todos os parâmetros da equação.

No caso analisado, existe na central um mecanismo de reconfiguração, para recuperação de falhas, que interrompe, durante 60 segundos, as comunicações com o campo. Esta condição representa o valor extremo de T_e .

Considerando:

$$\begin{aligned}k_2 &= 2 \\n &= 23 \quad (\text{prevendo expansão de } 50\%), \\ \lambda_s &= 0.76 \quad \text{indicação/segundo,} \\ \lambda_c &= 0.066 \quad \text{comandos/segundo,}\end{aligned}$$

obtém-se, assim, o valor para a memória do concentrador:

$$M_c = 2 \quad \text{k bytes.}$$

4.3 - Considerações sobre o Desempenho

Os resultados obtidos na análise anterior permitem concluir que o STD projetado não opera nas condições de saturação, sendo, portanto, adequado à aplicação.

Através do tempo de resposta calculado, juntamente com parâmetros do processo, do sistema de intertravamento e do tempo de processamento da estação central e remotas, é possível efetuar-se a análise global do sistema. Essa análise fornecerá dados para que se possa avaliar se os retardos inseridos pelo STD e demais elementos que compõem o sistema são compatíveis às tarefas de controle centralizado. Conforme já salientado no capítulo 1 essa análise não faz parte deste trabalho.

No caso da análise global constatar que o retardo introduzido pelo STD está elevado, existem soluções alternativas elaboradas a partir dos resultados obtidos anteriormente, que possibilitam diminuir o tempo de resposta, sem alterar a configuração adotada. Essas soluções são:

- aumentar a velocidade de comunicação do enlace entre a central e o concentrador (enlace 1 da figura 4.2);
- estabelecer comunicação ponto a ponto entre os concentradores (enlace 3 da figura 4.2).

A primeira solução é de simples implementação, pois o enlace é ponto a ponto e o concentrador se encontra fisicamente próximo à central, o que permite a conexão sem a necessidade de MODEM.

Na segunda solução é necessário retirar a remota que se encontra no enlace. Essa remota, removida do enlace poderá ser conectada ao concentrador 1 através do enlace 4 (vide figura 4.2). Neste caso haverá a necessidade da instalação de um novo cabo (uma quadra) para permitir esta conexão.

C A P Í T U L O 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho descrito nesta dissertação desenvolveu-se através de três atividades de pesquisa, executadas em um sistema de transmissão de dados utilizado no controle centralizado de um sistema ferroviário. Estas atividades foram:

- projeto do concentrador;
- definição do protocolo de comunicação;
- análise de desempenho do STD.

O andamento da pesquisa foi tal, que o projeto do STD (concentrador e protocolo) ocorreu em paralelo com a análise.

Essa análise permitiu concluir que o STD projetado irá operar dentro de uma faixa adequada à sua aplicação. Também permitiu focalizar quais os elementos que poderiam ser alterados, no projeto do STD, para melhorar o desempenho, caso isso se torne necessário futuramente.

Na atual fase da pesquisa já foi concluído o projeto do hardware e do software dos concentradores, o que permitiu a sua instalação no campo. Isso permitiu a validação do protocolo de comunicação, através de testes de comunicação entre estação central, concentrador e remotas.

Devido ao sistema não estar totalmente implantado, ainda não foi possível executar medidas reais do tempo de resposta do STD. Estas medidas, quando efetuadas, permitirão validar os valores obtidos no cálculo do tempo de resposta.

Entretanto, este trabalho, apesar de não incluir as medidas reais, pode ser considerado como completo, pois apresenta o método de análise para sistemas de transmissão de dados, aplicado em controle de processo.

A continuação deste trabalho será o desenvolvimento de procedimentos para se executar as medidas do tempo de resposta do STD. Para isso, preve-se a elaboração de um sistema que simule, em laboratório, o sistema global. Também preve-se a instalação de dispositivos, na estação central, para medir o tempo decorrido entre o instante em que é enviado o comando até o instante em que é recebida a respectiva indicação do campo.

Como próximo trabalho, é possível analisar o desempenho do sistema global, utilizando-se os dados obtidos da análise efetuada neste trabalho, juntamente com parâmetros do processo, do sistema de intertravamento e do tempo de resposta (processamento) da estação central e remotas. Essa análise tem por objetivo avaliar o comportamento do processo quando o sistema de controle está defasado no tempo, devido aos retardos introduzidos pelo STD. Isso permitirá concluir qual é o tempo de resposta máximo que o STD pode ter, sem que ocorram interferências nas atividades de controle.

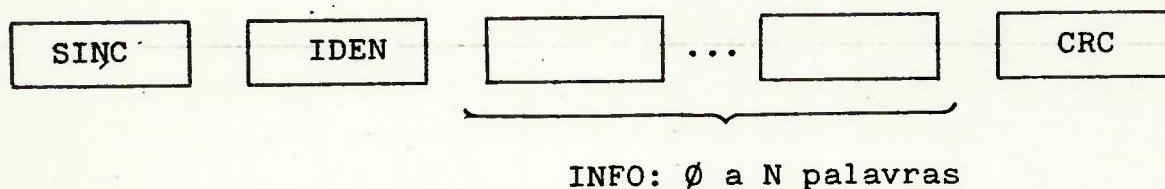
A P Ê N D I C E I

DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO STD

APÊNDICE IDESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃOSTD1. INTRODUÇÃO

Cada mensagem é composta por:

- Uma palavra de sincronismo (SINC);
- Uma palavra de identificação (IDEN);
- De \emptyset a N palavras de informação (INFO);
- Uma palavra de código de detecção de erro (CRC).



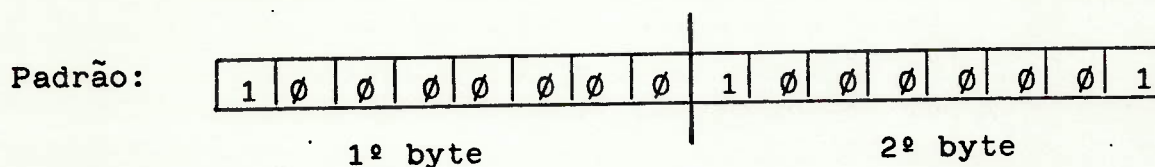
onde: $N \leq 5\emptyset$ palavras.

As mensagens são transmitidas byte a byte, de modo serial e assíncrono.

As palavras de sincronismo (SINC) e do código de detecção de erro (CRC) têm os seus bits mais significativos sempre com o valor lógico "1". O bit mais significativo das demais palavras terá sempre o valor lógico " \emptyset ". Entende-se como bit mais significativo de uma palavra o bit mais à esquerda do primeiro byte (esquerdo) da palavra.

2. PALAVRA DE SINCRONISMO (SINC)

Indica o início da mensagem contendo o padrão 8081H.



3. PALAVRA DE IDENTIFICAÇÃO (IDEN)

Varia dependendo do sentido da comunicação.

3.1. Sentido Primária para Secundária



onde:

- CN (1 bit): bit CONTADOR

É complementado a cada mensagem transmitida pela primária, exceto para as mensagens Silêncio. As mensagens-resposta da secundária deverão ter o bit CN idêntico ao das mensagens enviadas pela primária.

- COD (6 bits): CÓDIGO

Determina o tipo de operação a ser executada pela secundária:

COD = 00H - Silêncio;

COD = 01H - Configuração de Remota;

COD = 02H - Pedido de Mudanças;

COD = 03H - Configuração de Concentrador;

COD = 04H - Comando de Atuação.

- END (8 bits): ENDEREÇO

Identifica a secundária destinatária da mensagem.

3.2. Sentido secundária para primária



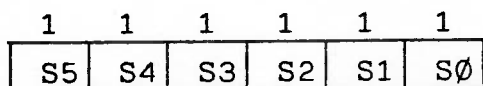
onde:

- CN (1 bit): CONTADOR

A secundária deve responder à primária com o mesmo valor recebido. A recepção de mensagem pela secundária, com o valor do bit CN igual ao da mensagem anteriormente recebida, caracteriza a necessidade de retransmitir a resposta à mensagem anterior vinda da primária. A exceção para este tratamento é a mensagem Silêncio, que não exige resposta da secundária.

- EST (6 bits): ESTADO

Indica o estado da secundária:



onde:

. S∅: indica falha de comunicação;

. S1: indica condição de falha. O significado da falha depende do tipo de secundária:

- Remota de supervisão: "overflow" na fila de sensores inoperantes;
- Remota de controle: porta aberta;
- Concentrador: sem significado.

. S2: indica secundária não configurada;

- . S3: indica condição de falha. O significado da falha depende do tipo de secundária:
 - Remota de supervisão: oscilador inoperante;
 - Remota de controle: sem significado;
 - Concentrador: sem significado;

- . S4: indica condição de falha. O significado da falha depende do tipo de secundária:
 - Remota de supervisão: aquisitor inoperante;
 - Remota de controle: fonte desligada;
 - Concentrador: sem significado.

- . S5: indica condição de falha:
 - Remota de supervisão: sobrecarga na fila de mudanças;
 - Remota de controle: sem significado;
 - Concentrador: sem significado.

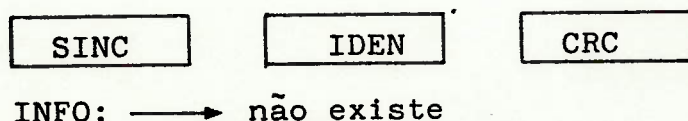
- END (8bits): ENDEREÇO
Identifica a secundária origem da mensagem.

4. PALAVRA DE INFORMAÇÃO (INFO)

Varia com o sentido e com o tipo da mensagem.

4.1. Sentido Primária para Secundária

a) Silêncio (COD = 00H)

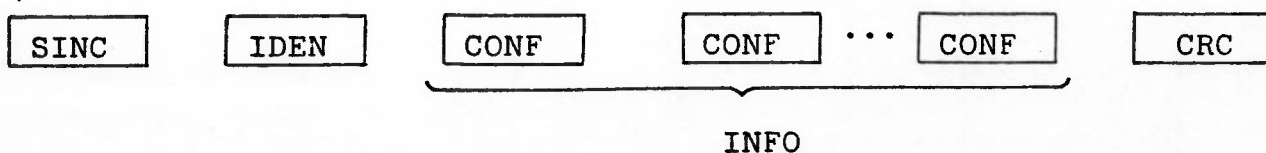


Esta mensagem faz com que a secundária especificada no END da palavra IDEN se cale, isto é, desconecte o seu circuito de transmissão.

Se no END vier $\emptyset FFH$, todas as secundárias deverão se calar.

As secundárias não deverão responder a esta mensagem e o bit CN não deverá ser considerado.

b) Configuração de remota (COD = $\emptyset 1H$)

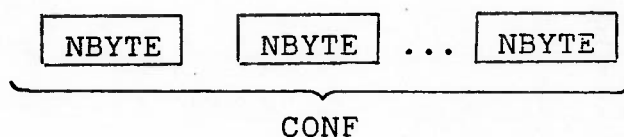


Esta mensagem é enviada à secundária toda vez que o sistema é iniciado.

As remotas ao receberem esta mensagem, copiam o bit CN da mesma.

A secundária responde com uma mensagem resposta sem o campo da informação.

- Remotas de Supervisão:



NBYTE:

1	1	1	3	2	2	2	2	2
\emptyset	F	\emptyset	P	C	C3	C2	C1	C \emptyset

Cn: indica o número de bytes de indicação da classe cujo número é fornecido pela expressão: $4 \times C + n$ onde:

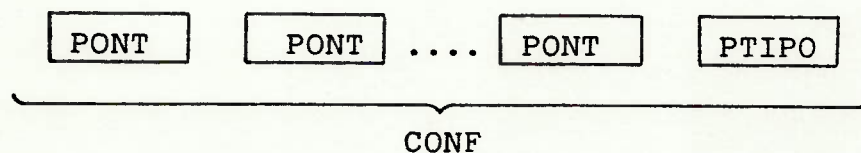
- 00 - indica um byte;
- 01 - indica dois bytes;
- 10 - indica três bytes;
- 11 - indica quatro bytes.

C : representa os dois bits mais significativos do número da classe;

P : número do painel;

F : Quando em 0 indica que existe mais uma palavra de informação no campo CONF. Na última palavra este bit tem valor 1.

- Remotas de Controle:



PONT



C: classe:

- 0 - desfaz botão;
- 1 - aperta botão;
- 2 - trava botão;
- 3 - chave.

R: indica o número do primeiro relé da classe.

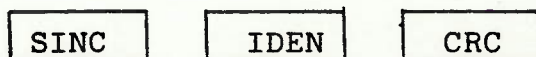
PTIPO:



X: sem significado;

P: número do painel para as informações do campo CONF.

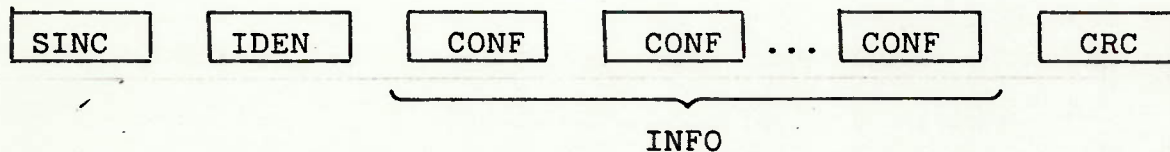
c) Pedido de Mudanças (COD = ∅2H)



INFO: —————> não existe

A secundária especificada no campo END deverá enviar mensagem resposta à primária, contendo as informações coletadas referentes às mudanças da via e alarmes.

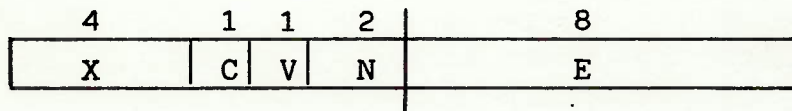
d) Configuração de Concentrador (COD = ∅3H)



Esta mensagem é enviada aos concentradores toda vez que o sistema é iniciado. Contém as ligações dos elementos na estrutura em árvore do STD.

O concentrador ao receber esta mensagem, copia o bit CN da mesma.

- CONF



X: sem significado;

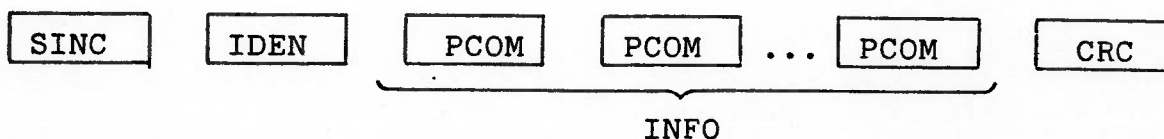
C: quando em 1 indica que a secundária especificada em E é um concentrador. Quando em ∅, indica que é uma remota;

V: quando em 1, indica que o elemento especificado em E está diretamente vinculado a um dos canais secundários do concentrador. Quando em \emptyset , indica o elemento não está diretamente vinculado;

N: especifica o número do canal secundário onde o elemento, especificado em E, está ligado;

E: endereço da secundária.

e) Comando de Atuação (COD = $\emptyset4H$)



Esta mensagem é destinada à remota de controle.

As remotas de controle respondem com mensagem de supervisão.

- PCOM



E: número do elemento.

Sem significado para o comando chamada de conservador e para o comando mudança de modo vale a seguinte convenção:

\emptyset - modo central;

1 - modo local.

P: número do painel;

C: tipo de comando:

\emptyset - aciona botão;

1 - desaciona botão;

2 - trava botão;

3 - destrava botão;

4 - trava chave na posição normal;

5 - trava chave na posição reversa;

6 - chave na posição neutra;

7 - chamada de conservador;

8 - mudança de modo.

N: Número do byte de indicação.

Sem significado para indicação do estado do centro de distribuição de energia (PTIPO, T=7).

I: Informação do byte de indicação.

- PTIPO

1	1	6	5	3
∅	1	X	T	P

X: Sem significado;

T: Tipo da indicação do campo INF:

∅ - mudanças;

1 - sensores;

2 - imagem dos sensores inoperantes;

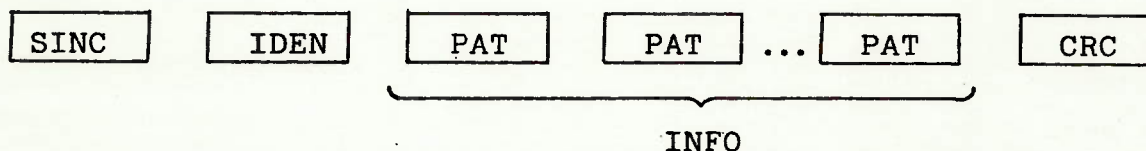
3 - imagem da via;

7 - estado do centro de distribuição de energia.

P: Número do painel na remota.

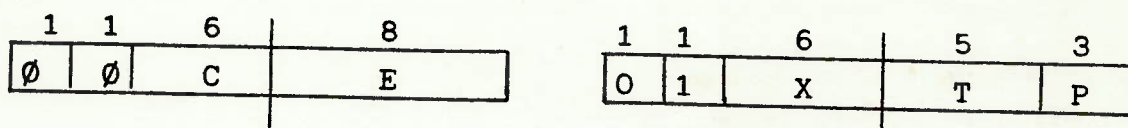
OBS.: as indicações de tipo 2 e 3 somente são enviadas após configuração da remota.

b) Remotas de Controle



O campo INFO somente é transmitido, quando existem dados presentes na remota para serem enviados à central.

- PAT



O significado de cada sub-campo depende do conteúdo do sub-campo T.

- Atuador inoperante (T=4)

C: classe :

- ∅ - desfaz botão;
- 1 - aperta botão;
- 2 - trava botão;
- 3 - chave.

E: número do elemento;

X: sem significado;

P: número do painel.

- Modo de operação (T=5)

C: classe :

- ∅ - modo central;
- 1 - modo local.

E: endereço da remota;

X: sem significado;

P: endereço da remota.

- ACK do conservador (T=6)

C: sem significado;

E: sem significado;

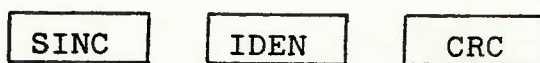
X: sem significado;

P: número do painel.

c) Concentrador

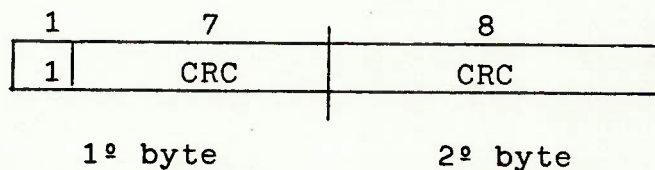
O concentrador transmite as mensagens recebidas dos elementos de níveis inferiores.

Quando não existe mensagem das remotas é transmitida a mensagem de identificação com o endereço do concentrador:

5. PALAVRA DO CÓDIGO DE DETECÇÃO DE ERROS (CRC)

Toda mensagem termina obrigatoriamente com a palavra CRC.

O bit mais significativo do primeiro byte é colocado no nível lógico "1" e os quinze bits restantes contêm o CRC.



Polinômio utilizado para o cálculo do CRC:

$$X^{15} + X^{14} + X^{13} + X^{12} + X^3 + 1$$

A P Ê N D I C E II

CÁLCULO DAS TAXAS DE INDICAÇÕES E DE COMANDOS

APÊNDICE IICÁLCULO DAS TAXAS DE INDICAÇÕES E DE COMANDOS1 - INTRODUÇÃO

Este apêndice se destina à avaliação da taxa de indicações recebidas e da taxa de comandos enviados, relativos a um sistema ferroviário.

A estimativa foi elaborada tendo-se como base o trecho de ferrovia do subúrbio da grande São Paulo, de abrangência da FEPASA, no qual foi instalado o sistema centralizado de supervisão e controle.

Neste sistema foram instaladas 15 remotas que estão conectadas ao processo através de um sistema de controle de tráfego ("Traffic Control System" - TCS). O TCS fornece as seguintes indicações e comandos:

- indicações do TCS

- TK - presença de trem nos circuitos de via;
- PBS - seleção de entrada de rota;
- XS - seleção de saída de rota;
- XLK - opção de rotas não disponíveis;
- LP - indicação de comando de máquina de chave;
- WK - posição de máquina de chave;
- SPK - rota selecionada;
- RGP - estado do sinal.

- comandos do TCS
 - seleção de entrada de rota;
 - seleção de saída de rota;
 - comando de máquina de chave;

2 - OPERAÇÃO DA VIA

Os trens são controlados pelas máquinas de chaves e pelos sinais da via.

O TCS permite controlar estes elementos através de seleção de rotas. As rotas são selecionadas pelos comandos de seleção de entrada de rota e seleção de saída de rota. Estes comandos são disponíveis em trechos da via (referenciados no texto como blocos), que correspondem aos trechos nas imediações das máquinas de chave.

Na passagem de um trem por um bloco ocorrem os seguintes eventos:

a) Seleção de entrada de rota:

- PBS;

b) Seleção de saída de rota:

- XS;
- NLP; (1)
- NWK; (1)

- NWK; (1)
- XLK;
- RGP;
- SPK; (2)

c) Entrada do trem na rota selecionada:

- TK;
- PBS;
- XS;
- RGP;
- NLP; (1)

d) Passagem do trem pela rota selecionada;

- TK (ocupação); (2)
- TK (desocupação); (2)
- SPK; (2)

e) Saída do trem da rota selecionada;

- TK; (2)
- XLK;
- SPK;

observações:

(1) - dependem do número de máquina de chave do bloco; (2) - dependem do número de circuitos de via do bloco;

3 - CÁLCULO DAS TAXAS

Considerando que:

- em média existem duas máquinas de chave por bloco,
- em média existem dois circuitos de via por bloco,

tem-se que o número de eventos que ocorrem em um bloco, a cada passagem de trem, é 21, pois:

a)	1	evento
b)	9	eventos
c)	5	eventos
d)	3	eventos
e)	<u>3</u>	eventos
total =		21

Considerando que:

- cada remota está conectada a 6 blocos;
- em média existem mais duas indicações, que correspondem à passagem do trem no circuito de via que interliga os blocos;
- intervalo mínimo entre trens de 3 minutos;

tem-se o valor médio por remota de:

$$\lambda_s = 0,76 \text{ indicações/segundo;}$$

$$\lambda_c = 0,066 \text{ comandos/segundo.}$$

É importante salientar que, apesar dos eventos

serem distribuídos no tempo, podem ocorrer simultaneamente até 9 indicações (ativação de rota) por bolco. Considerando-se que uma remota pode controlar até 8 blocos, tem-se que em um dado momento podem ocorrer simultaneamente, para esta remota, 72 indicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |1| - AUSLANDER, D. M. et al. - "Direct Digital Process Control, Praticce and Algorithms for Microprocessors Application". Proceeding of the IEEE, 66(2):199-208, fev. 1978.
- |2| - BACHER, F. - "Automation and Control of Networks: Review and Definitions". Brown Boveri Review, 6/7:232-35, 1981.
- |3| - BAZOVSKY, I. - "Reliability Theory and Practice". Englewoods Cliffs, Prentice Hall, 1961.
- |4| - BORSI, L.; PAVLIK, E. - "The Concept and Structures of Distributed Process Automation Systems". Process Automation, p. 63-70, 1980.
- |5| - BOUDREAU, P. E.; STEEN, R. F. - "Cyclic Redundacy Checking by Program". Fall Joint Computer Conference, 1971.
- |6| - BURTON, H. O.; SULLIVAN, D. D. - "Error and Error Control". Proceedings of the IEEE, 60(11):1293-1300, nov. 1972.
- |7| - BUSING, W. - "Distributed Process Automation Systems: Requirements and Interfacing". Process Automation, p.71-76, 1980
- |8| - CYSPER, R. J. - "Communication Architecture for Distributed Systems". Addison-Wesley Publishing Co., 1978.
- |9| - DAVEY, J. R. - "MODEMS". Proceedings of the IEEE,

60(11):1284,1292, nov. 1972.

- |10| - DAVIES, D. W. et al. - "Computer Networks and Their Protocols". Wiley Interscience, 1979.
- |11| - DAVIES, D. W. et al. - "Distributed Systems Architecture and Implementation". Spring-Verlag Berlin Herdelberg, 1981.
- |12| - DIJKSTRA, E. W. - "Cooperating Sequential Processes". Programming Languages, Academic Press, p.43-111, 1968.
- |13| - DOLL, D. R. - "Multiplexing and Concentration". Proceedings of the IEEE, 60(11):1313-1321, nov. 1971.
- |14| - DONMAN, R. A.; KERSEY, J. R. - "Synchronous Data Link Control: a perspective". IBM Systems Journal, maio 1974.
- |15| - ENSLOW Jr., R. H. et al - "What is a Distributed Data Processing System ?". Computer, 11(1):13-21, jan. 1978.
- |16| - HAYES, J. F. - "Local Distribution in Computer Communication". IEEE Communication Magazine, março 1981.
- |17| - GRAY, J. P. - "Line Control Procedure". Proceedings of the IEEE, 60(11):1301-1312, nov. 1972.
- |18| - KOMPASS, E. J. - "A Long Perspective on Integrated Process Control System". Control Engineering, 28(8):4-9, ago. 1981.

- |19| - KUO, F. F. - "Protocols & Technichs for Data Communication Networks". Prentice Hall, 1981.
- |20| - MANDNICK, S. E.; DONOVAN, J. J. - "Operating Systems". Mc Graw-Hill Book Co., 1974.
- |21| - MARTIN, J. - "Teleprocessing Networks Organization". Prentice Hall, 1971.
- |22| - MARTIN, J. - "System Analisis for Data Transmission". Prentice Hall, 1972.
- |23| - MARTUCCI Jr., M.; ZERBINI, R. C. - "Controle de Processos". Seminário sobre Automação na Indústria de Papel e Celulose, 1, São Paulo, abril 1983.
- |24| - MARTUCCI Jr., M. - "Especificação da Arquitetura de um Sistema Distribuído para Controle de Processo". Tese de doutorado pela Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1982.
- |25| - MARTUCCI Jr., M.; MOSCATO, L. A. - "Sistema Centralizado de Supervisão e Controle para Ferrovias". Simpósio em Controle de Processos por Computador, 1, Rio de Janeiro, 1981.
- |26| - MEDLOK, R. S. - "Future Trends in Measurement, Control and Automation". Brown Boveri Review (3/4):151-6, 1981.
- |27| - Mc KAY, D. B.; KARP, D. P. - "Protocol for a Computer Network". IBM Systems Journal, 1, 1973.
- |28| - MYRON Jr., T. - "Digital Technology in Process Control". Computer Design, 20(11):117-28, nov. 1981.

- |29| - PETERSON, W. W.; BROWN, D. - "Cyclic Codes for Error Detection". Proceedings of the IRE, 49(1):228,235, jan. 1961.
- |30| - PETERSON, W. W.; WELDON Jr., E. J. - "Error - Correcting Codes". Colonial Press, 1972.
- |31| - RENNELS, D. A. - "Fault-Tolerant Computing Concepts and Examples". IEEE Transactions on Computers, 33(12), dez. 1984.
- |32| - RUDIN Jr, H. - "Performance of Simple Multiplexer Concentrator for Data Communication". IEEE Transactions on Communication Technology, 19(2):178-187, abril 1971.
- |33| - RUGGIERO, W. V. - "Arquitetura de Sistemas Distribuídos para Controle de Processos". Simpósio em Controle de Processos por Computador, 1, Rio de Janeiro, maio 1981.
- |34| - RUGGIERO, W. V. e outros - "Implementação de um Sistema de Comunicação entre Processos através de uma Máquina de Arquitetua Distribuída". Seminário Integrado de Software e Hardware, 7, Campinas, 1980.
- |35| - SCHAFFA, F. A. - "Reconfiguração de uma Máquina de Arquitetura Distribuída". Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1980.
- |36| - SCHWARTZ, M. - "Computer Communication Network Design and Analysis". Prentice Hall, 1977.
- |37| - SHIMIZU, E. Y. e outros - "Componentes Básicos de uma Máquina de Arquitetura Distribuída: Identificação

e Implementação". Seminário Integrado de Software e Hardware, 7, Campinas, 1980.

- |39| - SCHWARTZ, M. - "Information Transmission Modulation and Noise". Mc Graw-Hill Book Co., 1980.
- |40| - STELMACH, E. N. - "Introduction to Minicomputer Networks". Digital, 1976.
- |41| - SYRBE, M. - "The Description of Fault Tolerant Systems". Process Automation, p.01-8, 1981.
- |42| - TANENBAUM, A. S. - "Computer Network". Prentice Hall, 1981.
- |43| - TONUSSI, W. e outros - "Sistema Distribuído de Aquisição de Dados". Simpósio em Controle de Processos por Computador, 1, Rio de Janeiro, maio 1981.
- |44| - WEISSBERGER, A. J. - "Data Link Control Chips: Bringing Order to Data Protocols". Electronics, jun. 1978.
- |45| - WEISSBERGER, A. J. - "Analysis of Multiple Microprocessor System Architecture". Computer design, 16(6):151-63, jun. 1979.
- |46| - WEISSBERGER, A. J. - "Start Data-Comm Design Right-Determine the Transmission Channel you'll need". Electronic Design, 9:66-73, abril 1979.
- |47| - WEISSBERGER, A. J. - "MODEMS: The Key to Interfacing Digital Data to Analog Telecomm Lines". Electronic Design, 10:82-89, maio 1979.

- |48| - WEISSBERGER, A. J. - "Orient Your Data-Link Protocols Toward Bits, Though Characters Still Count". Electronic Design, 15:86-92, julho 1979.
- |49| - WEISTMAN, C. - "Distributed Micro/Minicomputer Systems Structure Implementation and Application". Prentice Hall, 1980.
- |50| - WONG, J. et al. - "Software Error Checking Procedures for Data Communication Protocols". Computer Design, fev. 1979.
- |51| - ZERBINI, R. C. e outros - "Sistema de Transmissão de Dados Geograficamente Distribuídos". Simpósio em Controle de Processos por Computador, 1, Rio de Janeiro, maio 1981.