

C.P.G.

RUB. *Maraes*

MOACYR MARTUCCI JUNIOR

Eng. Eletricista, Escola Politécnica da USP, 1973
Mestre em Engenharia, Escola Politécnica da USP, 1979

ESPECIFICA O DA ARQUITETURA DE UM SISTEMA
DISTRIBUÍDO PARA CONTROLE DE PROCESSOS

Tese apresentada   Escola Politécnica da USP para a obten o do Título de Doutor em Engenharia.

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

São Paulo, 1982



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

*A minha esposa, meus filhos
e meus pais.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Lucas Antonio Moscato pela orientação constante.

À Profa. Dra. Edith Ranzini pela colaboração.

Ao Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola pelo incentivo constante.

Aos engenheiros e pesquisadores José Diaulas Palazzo Rolim, Nelson Zuarella, Egmont Yuzuru Shimizu, Flávio Matsuyama, Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho, Osvaldo Yukio Kashino e Wallace Tonussi pelo apoio.

À estagiária Lilian Harada pelo auxílio em diversas fases do trabalho.

Às secretárias Maria do Carmo Pereira Netto Fidêncio, Regina Izarelli, Lina Teresinha Rodrigues Tuccilo e Sueli Maria Soave Vasconcelos e à desenhista Sonia Maria Gonçalves Duarte pelos serviços executados.

Aos professores, pesquisadores e funcionários do Laboratório de Sistemas Digitais e da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho,

obrigado

R E S U M O

Apresenta-se a especificação de um sistema para controle de processos, que deve ser encarado como uma ferramenta poderosa para a implantação de algoritmos de supervisão, controle e automação de operações produtivas.

Para a definição da estrutura do sistema é estabelecido um conjunto de especificações ditado pelas características desejáveis em futuros sistemas de controle de processos e nos anseios dos seus usuários em potencial.

Apresenta-se uma proposta para a definição global do sistema com a utilização de conceitos de arquitetura distribuída e hierarquização operacional e estrutural, obtendo-se assim, um sistema com alta disponibilidade, alta modularidade e de fácil manutenção. Nessa proposta é ressaltado o esquema de interconexão.

A definição do hardware do sistema leva em consideração a possível utilização de circuitos integrados projetados sob encomenda e de escala de integração "muito grande" (Custom Made Very Large Scale of Integration Integrated Circuits).

A B S T R A C T

The specification of a process control system is presented; this system can be viewed as a powerful tool for installing the supervisory, control and automation algorithms for productive operations.

In order to define the system structure, a set of specifications is established, according to the user needs and to the desirable characteristics of process control systems.

The global structure solution is presented; this solution is based on distributed architecture concepts. The result is a system presenting an hierarchical hardware structure, with hierarchical operation procedure facilities, high availability, high modularity and easy maintenance. In the proposed solution the interconexion scheme is shown in detail.

In the definition of the system hardware the possibility of its future implementation using Custom Made Very Large Scale of Integration Integrated Circuits is considered.

I N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1.1
1.1. Considerações Iniciais	1.1
1.2. Motivação do Trabalho	1.2
1.3. Objetivos do Trabalho	1.7
1.4. Organização do Trabalho	1.10
1.5. Abrangência do Trabalho	1.12
2. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE PRO- CESSOS	2.1
2.1. Primeiros Sistemas de Controle e Automação de Processos	2.1
2.2. Sistemas Atuais de Controle e Automação de Pro- cessos	2.6
2.3. Tendências para o Futuro	2.14
3. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA	3.1
3.1. Funções a Serem Executadas	3.2
3.1.1. Nível de Processo	3.2
3.1.2. Nível de Coordenação	3.6
3.1.3. Nível de Otimização	3.11
3.1.4. Nível de Gerenciamento	3.12
3.2. Características Exigidas para a Arquitetura do Sistema	3.13

	<u>Página</u>
3.3. Operação do Sistema	3.26
3.4. Interfaceamento Homem-Máquina	3.32
3.4.1. Interfaceamento Homem-Máquina nos Contro- ladores de Processos	3.32
3.4.2. Interfaceamento Homem-Máquina no Nível de Coordenação	3.39
4. ARQUITETURA PROPOSTA	4.1
4.1. Caracterização dos Macroprocessos	4.5
4.1.1. Macroprocessos de Supervisão e Controle de Processos Físicos - MPCP	4.7
4.1.2. Macroprocessos de Supervisão - MPSUP	4.8
4.1.3. Macroprocessos de Comunicação de Dados - MPCD	4.9
4.1.4. Macroprocessos de Otimização - MPO	4.9
4.1.5. Macroprocessos de Gerenciamento - MPG	4.10
4.1.6. Fluxo de Informações	4.10
4.2. Definição da Estrutura de Interconexão	4.11
4.2.1. Sistema de Transmissão de Dados dos CPs- STD-CP	4.14
4.3. Protocolo de Comunicações	4.26
4.4. Protocolo de Comunicações Interno ao STD-CP	4.26
4.4.1. Regras de Intercâmbio	4.27
4.4.2. Tipos de Mensagens	4.32
4.4.3. Formato das Mensagens	4.41
4.4.4. Detalhamento do Campo de Informações	4.49

	<u>Página</u>
4.5. Protocolo de Comunicação entre o STD-CP e os Ele mentos a ele Conectados	4.60
4.5.1. Organização dos Dados	4.62
4.5.2. Regras de Acesso aos Elementos Compartilha dos	4.73
4.6. Mecanismos Geradores das Mensagens	4.74
4.6.1. Geração das Mensagens de Informação de Da dos	4.74
4.6.2. Geração das Mensagens de Informação de Es tados	4.77
4.6.3. Geração das Mensagens de Requisição de In formações	4.78
4.6.4. Geração das Mensagens de Configuração	4.78
4.6.5. Geração de Mensagens de Sincronismo de Re lógio de Tempo Real	4.79
5. ESTRUTURA DO HARDWARE DO SISTEMA	5.1
5.1. Sistema de Transmissão de Dados dos CPs-STD-CP ..	5.1
5.1.1. Interface com o Anel - IA	5.3
5.1.2. Controle do IVC	5.15
5.1.3. Interface com o Equipamento	5.38
5.2. Controladores de Processos	5.38
5.3. Centros de Supervisão	5.46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	6.1
APÊNDICE 1 - Diagrama de Blocos das Operações Realizadas pelas IAs.	A1.1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	R.1

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura 2.1 - Níveis Hierárquicos de um SCAP	2.11
Figura 3.1 - Tipos de Chaveamento entre Modos de Operação	3.31
Figura 4.1 - Macroprocessos	4.6
Figura 4.2 - Estrutura Simplificada do Hardware do Sistema	4.13
Figura 4.3 - Taxionomia de Anderson e Jensen	4.15
Figura 4.4 - Esquema de Memória Compartilhada "Multiport"	4.18
Figura 4.5 - Estrutura de Interconexão do Sistema	4.25
Figura 4.6 - Mecanismo de Aceite de Mensagens Caso Geral	4.33
Figura 4.7 - Mecanismo de Aceite de Mensagens - Sequências	4.34
Figura 4.8 - Mecanismo de Aceite de Mensagens - Multidestinatários	4.35
Figura 4.9 - Mecanismo da Função de Fornecimento de Informações sob Requisição	4.38
Figura 4.10 - Formato do Campo de Endereçamento	4.45
Figura 4.11 - Campo de Controle	4.48

	<u>Página</u>
Figura 4.12 - Campo de Informação	4.49
Figura 4.13 - Formato das Mensagens	4.59
Figura 4.14 - Organização para a Memória Compartilhada - Classe de Dados do Processo Físico	4.14
Figura 4.15 - Esquema da Estrutura para a Classe de Estados	4.67
Figura 4.16 - Organização da Memória Compartilhada para a Classe de Dados de Controle e Calibração	4.71
Figura 5.1 - Diagrama de Blocos do IVC	5.4
Figura 5.2 - Configuração das Filas nas IAs	5.5
Figura 5.3 - Diagrama Simplificado da IA	5.14
Figura 5.4 - Desconexão da IA	5.16
Figura 5.5 - Estrutura de Dados Descritiva das Mensagens Transmitidas	5.18
Figura 5.6 - Registradores de Transmissão e Fila de Transmissão	5.19
Figura 5.7 - Tabelas Associadas aos Estímulos de Geração de Mensagens	5.22
Figura 5.8 - Fila de Espera de Atendimento dos Estímulos	5.24
Figura 5.9 - Diagrama Esquemático do Controle do IVC	5.37

	<u>Página</u>
Figura 5.10 - Hardware do Módulo Processador do Controlador de Processos	5.39
Figura 5.11 - Esquema do Controlador de Processos	5.47
Figura 5.12 - Núcleo de Processamento Distribuído - NPD	5.50
Figura A.1 - Diagrama em Blocos da Operação de Recepção de Mensagens da Linha de Comunicação	A1.3
Figura A.2 - Detalhamento do Bloco "Espera Flag"	A1.4
Figura A.3 - Detalhamento do Bloco "Lê e Testa Contador"	A1.5
Figura A.4 - Detalhamento do Bloco "Lê e Analisa Endereço de Destino"	A1.6
Figura A.5 - Detalhamento do Bloco "Trata End. Sincronismo de Relógio"	A1.7
Figura A.6 - Detalhamento do Bloco "Trata Endereçamento Local"	A1.8
Figura A.7 - Detalhamento do Bloco "Trata Endereçamento Não Local"	A1.9
Figura A.8 - Detalhamento do Bloco "Trata Recepção Local"	A1.10
Figura A.9 - Detalhamento do Bloco "Trata Recepção Não Local"	A1.11
Figura A.10 - Detalhamento do Bloco "Trata Endereçamento Broad Cast"	A1.12

	<u>Página</u>
Figura A.11 - Detalhamento do Bloco "Trata Erro 1"	A1.13
Figura A.12 - Detalhamento do Bloco "Trata Erro 2"	A1.14
Figura A.13 - Detalhamento do Bloco "Trata Recepção com Fila Livre"	A1.15
Figura A.14 - Detalhamento do Bloco "Trata Recepção com Fila Não Livre"	A1.16
Figura A.15 - Diagrama em Blocos da Operação de Transmissão de Mensagens para a Linha de Comunicação	A1.16
Figura A.16 - Detalhamento do Bloco "Elege Fila a Transmitir"	A1.17
Figura A.17 - Detalhe dos Blocos "Executa Transmissão da Fila de Linha" e "Executa Transmissão da Fila de Transmissão"	A1.18
Figura A.18 - Diagrama de Blocos da Operação de Geração de Mensagens	A1.19
Figura A.19 - Detalhamento do Bloco "Elege um Estímulo entre os Pendentes"	A1.20
Figura A.20 - Detalhamento dos Blocos "Gera Mensagem de Informação de Dados" e "Gera Mensagem de Configuração"	A1.21
Figura A.21 - Detalhamento do Bloco "Gera Mensagem de Informação de Estados" e "Gera Mensagem de Requisição de Informação"	A1.22

Figura A.22 - Detalhamento do Bloco "Pesquisa Bits E da Fila de Espera"	A1.23
Figura A.23 - Detalhamento do Bloco "Prepara Campo de Controle"	A1.23
Figura A.24 - Detalhamento do Bloco "Atualiza Campo de Controle"	A1.24
Figura A.25 - Detalhamento do Bloco "Gera Mensagem de Sincronismo de Relógio"	A1.25
Figura A.26 - Detalhamento dos Blocos "Gera Mensagem ACK" e "Gera Mensagem NACK"	A1.25
Figura A.27 - Detalhamento do Bloco "Transfere para Reg. de Transmissão"	A1.26
Figura A.28 - Detalhamento do Bloco "Transfere Dado para Registrador de Transmissão"	A1.27
Figura A.29 - Detalhamento do Bloco "Executa Roteamento"	A1.28
Figura A.30 - Diagrama de Blocos de Operação de Recepção de Mensagens	A1.29
Figura A.31 - Detalhamento do Bloco "Transfere Mensagem para Registrador de Recepção"	A1.30
Figura A.32 - Detalhamento do Bloco "Recebe Mensagem de Sincronismo"	A1.31
Figura A.33 - Detalhamento do Bloco "Testa Tempo Esgotado para Mensagem de Sincronismo"	A1.31

	<u>Página</u>
Figura A.34 - Detalhamento do Bloco "Recebe Mensagem e Gera ACK ou NACK"	A1.32
Figura A.35 - Detalhamento do Bloco "Elege Primeiro da Fila de Pedidos de Recepção"	A1.33
Figura A.36 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem de Informação de Dados e Trata Mensagem de Informação de Estados"	A1.33
Figura A.37 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem de Requisição de Informação"	A1.34
Figura A.38 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem ACK"	A1.34
Figura A.39 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem de Configuração"	A1.35
Figura A.40 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem NACK"	A1.36
Figura A.41 - Detalhamento do Bloco "Trata Mensagem de Sincronismo de Relógio de Tempo Real"	A1.37
Figura A.42 - Detalhamento do Bloco "Trata Tempo Esgotado de ACK"	A1.37

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Hã muitos anos os tēnicos vēm aprimorando os sistemas de aquisição de dados, controle e automação das operações produtivas [49], com os objetivos de obter um melhor desempenho dos equipamentos instalados, de aumentar a segurança (tanto das pessoas quanto dos equipamentos) e de diminuir os custos, através da racionalização do trabalho, da redução dos tempos envolvidos e da manutenção eficiente dos equipamentos. Um outro objetivo visado nesse aprimoramento é o de colecionar dados sobre as operações produtivas e sobre os próprios sistemas a elas acoplados, de forma a permitir um estudo detalhado sobre ambos, objetivando a criação de algoritmos de controle mais eficientes e a construção de sistemas mais abrangentes e melhores.

Convém ressaltar que, neste contexto, as operações produtivas referem-se tanto àquelas que envolvem a obtenção e transformação de matérias primas ou a obtenção de bens materiais, quanto àquelas que envolvem a geração de insumos ou mesmo o transporte de pessoas ou materiais. As operações produtivas são realizadas em unidades organizacionais ou físicas, nas quais recursos específicos para a sua realização são combinados de forma eficiente para essa finalidade. A toda operação produtiva estão associados processos, onde os equipamentos de aquisição de dados e de controle atuarão diretamente.

Por controle entende-se o conjunto de procedimentos ou atuações que produzem em um processo a ação e o desempenho desejado, visando atingir uma estratégia global determinada para a operação produtiva como um todo [5].

Atualmente, a necessidade de sistemas de aquisição de dados, controle e automação das operações produtivas, neste tex

to denominados Sistemas de Controle de Automação de Processos - SCAP, vem crescendo com uma velocidade muito maior que até há alguns anos atrás. Este crescimento é motivado pela escassez de energia e de matérias primas, pelo aumento brutal da concorrência, pelas pressões sociais, orientadas à proteção ambiental e à existência de melhores condições de trabalho para os operadores dos equipamentos de transformação, e pelo desenvolvimento tecnológico que vem proporcionando a criação de processos e instalações, portanto, de operações produtivas cada vez mais complexas [9] [75].

Do ponto de vista do projetista e, portanto, da indústria, esses fatores têm gerado a necessidade de SCAPs por um lado cada vez mais poderosos mas, por outro lado, também flexíveis, confiáveis e de baixo custo, além de exigirem que a responsabilidade efetiva no controle dos processos em andamento seja dividida entre os operadores e o sistema propriamente dito, divisão esta que deve depender da particular aplicação [4]. Esses fatores têm levado à busca de soluções adotando-se sistemas com arquitetura hierarquizada, onde o usuário configura o sistema até o nível hierárquico correspondente à automação desejada, conforme será exposto no capítulo 2.

1.2. Motivação do Trabalho

Este trabalho de pesquisa foi motivado pela verificação da necessidade crescente de sistemas de controle e de automação de processos aplicáveis a operações produtivas, sejam elas fabris, de transporte de bens materiais ou pessoas, de comunicação ou de produção de energia e outros bens.

O interesse por esse assunto e, em particular, por sistemas de controle de processos com estrutura hierárquica, deve-se também ao fato de existir, no Brasil, pouca tecnologia firmada na área, aliado à preocupação das autoridades em promo

ver a independência tecnológica do país no que se refere a sistemas de controle de processos.

A implementação de sistemas com estrutura hierárquica pode ser feita utilizando arquiteturas distribuídas; esta técnica de projeto de arquitetura de sistemas baseia-se na distribuição das tarefas de controle entre vários processadores ou equipamentos, que podem ser iguais ou diferentes, operando em paralelo e concorrentemente, todos contribuindo para a realização da tarefa global [21].

A implementação de sistemas de controle de processos com arquiteturas distribuídas tornou-se economicamente viável graças à evolução surpreendente das tecnologias de microeletrônica nos últimos anos da década passada e, especialmente, ao aparecimento dos microprocessadores, que permitiram a construção de sistemas com arquiteturas não orientadas a aplicações específicas e compostas de pequenos processadores semi-autônomos que, dependendo da aplicação, são configurados para compor os sistemas de controle. Dessa forma, foi encaminhada a solução de um problema antigo de controle de processos para aplicações em controle digital direto, que era a obtenção de um sistema de uso geral [38] [48] [69] [70].

A implementação de sistemas de controle de processos de uso geral não foi possível antes do aparecimento e difusão dos microprocessadores por razões de ordem puramente econômica, uma vez que um ou mais computadores de grande porte poderiam resolver o problema. Entretanto, os custos envolvidos eram elevados pois, de aplicação para aplicação, existem grandes variações nas velocidades e precisões requeridas pelos processos e o sistema de uso geral deveria obedecer às especificações mais rígidas; dessa forma, aplicações com requisitos menos rígidos teriam seus custos penalizados pela universalidade do sistema de controle. Além disso, a grande diversificação dos tipos de variáveis envolvidas e dos ambientes de operação exigiria uma grande gama de equipamentos de interfaceamento e de proteção [38].

Ao lado do fator econômico, uma série de outros fatores importantes também está influenciando fortemente as soluções adotadas para a implementação de sistemas de controle de processos, fazendo com que se opte, cada vez mais, por sistemas distribuídos. Esses fatores, que de forma geral são características intrínsecas de qualquer sistema com arquitetura distribuída, são os seguintes:

- . Flexibilidade: proporcionada pela capacidade do sistema facilmente adaptar-se ao grau de centralização e automação exigido pela aplicação ou pelo usuário. Além disso, da flexibilidade resulta a facilidade de adaptação do sistema às alterações que por ventura venham a ser necessárias nos processos que estão sendo controlados; essa adaptação, via de regra, pode ser feita pela modificação do software aplicativo que é executado nos microprocessadores, sem que seja necessário modificar-se o hardware e as instalações |28| |61|;
- . Disponibilidade: que é facilmente obtida pela possibilidade de reconfiguração oferecida pelos sistemas distribuídos. A reconfiguração permite que falhas em elementos não essenciais ao funcionamento do sistema sejam detectadas, que tais elementos sejam isolados e que o sistema continue, nessa situação, operando normalmente (sof-fail system). Além disso, a reconfiguração permite o chaveamento da operação automática para normal, quando da falha de elementos que dotam o sistema dos graus de automação; neste caso, haverá degradação no desempenho do sistema como um todo. Convém salientar que a arquitetura distribuída possibilita a criação de mecanismos de detecção e diagnóstico de falhas facilmente implementáveis nos microprocessadores atualmente existentes, e possibilita uma implementação bem estruturada simplificando a inclusão de redundâncias no sistema |6| |9| |11| |61| |66| |75| |89|;

- . Desempenho: em comparação com os sistemas centralizados, os sistemas distribuídos apresentam melhor desempenho pois, devido a suas características, as tarefas são executadas concorrentemente e seus módulos são projetados e implementados para a realização de classes bem determinadas de tarefas, diminuindo-se, portanto, os tempos de resposta do sistema. Além disso, é possível a construção de sistemas mais poderosos, com maior grau de automação e eficiente esquema de interfaceamento homem-máquina, que são outros parâmetros importantes que cooperam para o aprimoramento do desempenho da operação produtiva como um todo [13] [20] [89];
- . Facilidade de manutenção: os sistemas distribuídos implementados com microprocessadores, apesar da grande capacidade de processamento, são de fácil manutenção, quando comparados com os sistemas centralizados. Essa característica deriva da própria arquitetura dos sistemas, uma vez que os distribuídos são compostos de módulos simples e com certo grau de padronização entre si, o que facilita sobremaneira os procedimentos de manutenção corretiva. Além disso, nos sistemas distribuídos, especialmente nos implementados com microprocessadores, a utilização de procedimentos de detecção e diagnóstico de falhas auxiliam muito a manutenção corretiva, pois esses procedimentos devem sempre indicar aos operadores quais os módulos que estão em falha e o trabalho do pessoal de manutenção resumir-se-á na troca desses módulos [11] [50];
- . Modularidade: os sistemas distribuídos são intrinsecamente modulares, permitindo, portanto, expansões bem estruturadas e crescimento modular. O planejamento do sistema a ser instalado e a sua entrada em operação, depois da instalação (start-up), também são facilitados, graças à existência de módulos que executam

funções específicas, os quais são interconectados para compor o sistema completo [11] [50] [89];

- . Custos de instalação: finalmente, os custos de instalação dos sistemas distribuídos são menores que os dos convencionais, pois, nos primeiros, a quantidade de cabos é reduzida pelo fato dos módulos de controle ficarem próximos dos equipamentos de atuação e aquisição de dados e a troca de informações entre o posto central e os controladores remotos ser feita serialmente, através de um único cabo coaxial. Outro fator responsável pela redução dos custos de instalação é o próprio tamanho físico dos equipamentos, que se torna cada vez menor, diminuindo com isso a área das salas de controle e o espaço necessário para a instalação dos controladores remotos [4] [10].

As vantagens que os sistemas distribuídos apresentam sobre os outros, e o conseqüente aumento de popularidade desse tipo de sistema com implementação a microprocessadores, estão causando uma transição muito rápida nos equipamentos de controle, sem precedentes na história, como será melhor visto no capítulo 2 deste trabalho. Esse comportamento peculiar leva a crer que a demanda desses sistemas deverá crescer muito nos próximos anos, principalmente pelos atrativos de se automatizar completamente uma operação produtiva e pela viabilidade econômica da utilização de automação em pequenos processos que atualmente requerem operadores, muitas vezes trabalhando em condições adversas e perigosas, e com baixa eficiência.

Todos os pontos acima abordados, aliados ao interesse da equipe do Laboratório de Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP em sistemas distribuídos, motivaram a realização deste trabalho, cujos objetivos são expostos no próximo item.

Finalmente, deve-se salientar que, apesar de todas as vantagens econômicas e técnicas que justificam a implementação de sistemas de controle de processos com arquitetura dis

tribuída utilizando microprocessadores, a introdução dessa solução, em grande parte das aplicações práticas, ainda está em estágio embrionário. Esse fato é motivado pelo grande número de conceitos e componentes relativamente novos que a solução envolve, associado ao tradicionalismo que se verifica entre os usuários de sistemas de controle de processos, que muitas vezes relutam em absorver inovações tecnológicas.

1.3. Objetivos do Trabalho

O trabalho realizado tem por objetivos detalhar a especificação de um sistema com estrutura hierarquizada para controle e automação de processos e propor a arquitetura distribuída que melhor se adapte à sua implementação, enfatizando-se, nessa proposta, a definição do esquema de conexão e de comunicação entre os elementos constituintes da arquitetura obtida.

Apesar do detalhamento da especificação ter constituído uma atividade anterior à da definição da arquitetura do sistema, ele foi elaborado já considerando as características inerentes às arquiteturas distribuídas, uma vez que se verificou que sua adoção, aliada à utilização de microprocessadores, poderia levar as soluções que contornariam os principais problemas encontrados atualmente para a implementação de sistemas de controle de processos. Tais problemas são basicamente os seguintes:

- . Complexidade do software, ocasionada pela necessidade de projetarem-se sistemas operacionais em tempo real, programas especiais aplicados em controle (algoritmos PID e outros) com grandes restrições de tempo e programas de gerenciamento, com todas as suas interligações, em um único computador de grande porte, o que em geral resulta em um software muito grande e estruturalmente complexo, demandando, por isso,

muito tempo de projeto e depuração, o que implica diretamente no custo total do sistema;

- . Necessidade de redundância, ocasionada pela baixa confiabilidade apresentada pelos computadores, em comparação com a exigida pela maioria das aplicações, o que obrigava a utilização de redundância em configurações duais ou através de um sistema analógico em paralelo ao digital para ser acionado nos casos de falhas deste último;
- . Custo de instalação elevado, ocasionado pela necessidade de instalação de grande quantidade de cabos para transmissão dos sinais para os centros de controle e do condicionamento ambiental para abrigar os equipamentos de processamento de dados.

Além disso, considerou-se a evolução de equipamentos de interfaceamento homem-máquina, como os terminais de vídeo coloridos e os traçadores gráficos, com os quais é possível o projeto e a implementação de esquemas de comunicação homem-máquina eficientes e baratos, onde as informações são apresentadas de forma simples, com muita clareza, funcional e estruturalmente bem organizadas, proporcionando maior precisão e rapidez para as ações do operador, além do aumento de conforto propiciado.

Entretanto, a principal meta visada na especificação do sistema foi a obtenção de um sistema de uso geral, ou seja, aplicável aos mais variados tipos de operações produtivas. Para tal, ele deve apresentar as seguintes características:

- . Facilidade de programação, para que seja rápida a adaptação do sistema aos mais variados tipos de aplicação, viabilizada pelo uso de linguagens de alto nível especializadas (PEARL, CORAL);

- . Flexibilidade e padronização na comunicação de dados entre os diversos módulos que compõem o sistema, ou seja, qualquer módulo do sistema tem sempre acesso a qualquer outro módulo do mesmo, desde que em área não protegida, com a mesma prioridade que seus concorrentes;
- . Versatilidade na comunicação homem-máquina, de forma a atender às especificações de usuários com anseios diferentes; a versatilidade é possível graças à utilização de terminais de vídeo coloridos semigráficos ou gráficos e do armazenamento das imagens fixas em memórias não voláteis (um exemplo de imagens fixas são os diagramas das instalações fabris e seus detalhes). Outro ponto que coopera com essa versatilidade é a existência de dois níveis de interfaceamento homem-máquina, respectivamente os painéis locais e a sala de controle central;
- . Padronização do interfaceamento entre o sistema e os equipamentos de atuação e sensores ligados ao processo, apoiada na disponibilidade de uma família de controladores cujos componentes são escolhidos pelo usuário, quando da configuração do sistema;
- . Versatilidade suficiente para possibilitar a conexão a outros sistemas de controle e automação para operações integradas e a computadores digitais para outros processamentos (por exemplo: administrativos) associados ao processo em questão.

Além disso, o sistema proposto deve apresentar alta disponibilidade, com capacidade de reconfiguração em caso de falha, imunidade a ruídos no sistema de transmissão de dados, alcançada com a utilização de fibras ópticas como meio de transmissão, e baixo custo para qualquer configuração, desde a mais simples até a mais complexa, para que seja viável a aplicação prática do sistema.

Para a definição da arquitetura do sistema, que é o segundo objetivo desse trabalho, a principal meta visada foi a elaboração de uma solução compatível com a evolução tecnológica da microeletrônica, dos meios e técnicas de comunicação de dados e dos conceitos de arquitetura de sistemas digitais.

A solução adotada recaiu numa arquitetura distribuída, conforme já salientado. Vários aspectos da solução alcançada são apresentados neste trabalho. Entretanto, julgou-se importante dar maior ênfase ao esquema de conexão e de comunicação entre os diversos elementos que constituem o sistema pois, via de regra, o componente mais importante de uma arquitetura distribuída é o subsistema de interconexão entre seus módulos^[43] | 88 |.

1.4. Organização do Trabalho

Considerando-se os objetivos e os interesses apresentados no item anterior, este trabalho está estruturado conforme brevemente descrito a seguir:

- Capítulo 1: nesse capítulo apresentaram-se os objetivos deste trabalho e a motivação para a realização das pesquisas que levaram à preparação do mesmo, além tecerem-se comentários sobre a problemática dos sistemas de controle e automação de processos, levando-se em conta as necessidades dos usuários, as exigências técnicas para o projeto e implementação de um sistema que proporcione uma melhoria no desempenho da operação produtiva e a influência do desenvolvimento tecnológico nas áreas de microeletrônica e arquitetura de sistemas digitais, mais especificamente com relação à associação de microprocessadores com arquiteturas distribuídas;

- . Capítulo 2: nesse capítulo mostra-se a evolução dos sistemas de controle e automação de processos desde o início do século até os dias de hoje, destacando-se as inovações tecnológicas que trouxeram grandes benefícios ao desenvolvimento desses sistemas; são também feitos comentários sobre as tendências de evolução para os sistemas futuros, baseando-se principalmente no desenvolvimento da microeletrônica;
- . Capítulo 3: nesse capítulo é apresentada a especificação do sistema a ser projetado, caracterizando-se o interfaceamento homem-máquina, as funções de controle e supervisão específicas que serão implementadas e os mecanismos de expansão e conexão a outros sistemas de controle e automação ou computadores;
- . Capítulo 4: nesse capítulo é apresentada a arquitetura do sistema proposto, tecendo-se comentários sobre o porquê da utilização de arquitetura distribuída e da configuração adotada; descrevem-se também, em detalhes, o protocolo de comunicações adotado para o sistema de transmissão de dados e as estruturas de dados envolvidas;
- . Capítulo 5: apresentam-se nesse capítulo detalhes de projeto do sistema de transmissão de dados, da família de controladores de processos e do centro de supervisão, conforme ditado pela arquitetura proposta e pelas características de interfaceamento homem-máquina, apresentadas nos capítulos 4 e 3, respectivamente;
- . Capítulo 6: finalmente nesse capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, relativas à arquitetura escolhida e sua evolução.

- . Apêndice 1; nesse apêndice são apresentados os diagramas de blocos relativos às operações que são realizadas pelo IVC (Interface com a Via de Controladores), que, em conjunto com o capítulo 5, permitem ao leitor uma melhor compreensão dessas operações.

1.5 Abrangência do Trabalho

Este trabalho limita-se apenas aos aspectos relacionados com sistemas digitais aplicados a controle e automação de processos e à escolha de uma arquitetura adequada para implementar um sistema de controle e automação de processos de uso geral.

Não é intenção estudar, criticar ou propor soluções, mecanismos, modelos ou algoritmos relacionados diretamente com os processos, pois tais atividades serão realizadas por engenheiros especializados em controle de processos, que fornecerão os dados necessários para a programação dos módulos controladores de processos e demais subsistemas programáveis.

A preocupação básica durante a pesquisa e na elaboração deste trabalho foi, portanto, fornecer ao engenheiro de controle uma ferramenta programável que execute os seus algoritmos e modelos de forma segura e eficiente, colaborando assim para a obtenção de um melhor desempenho na operação produtiva.

CAPÍTULO 2

EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

2. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

A finalidade deste capítulo é apresentar uma descrição da evolução dos sistemas de controle e automação de processos, desde o início da era industrial até os dias atuais e abordar brevemente as tendências que se vislumbram com relação à implementação desses sistemas num futuro próximo. A descrição aqui apresentada foi baseada em pesquisa bibliográfica realizada em publicações especializadas da área, sendo alguns dos artigos utilizados referenciados diretamente no texto e os restantes apenas citados na bibliografia do trabalho.

2.1. Primeiros Sistemas de Controle e Automação de Processos

No início do século, as medidas de temperatura, pressão, fluxo e nível já eram freqüentes nas instalações industriais; por motivos técnicos, os instrumentos que tomavam essas medidas eram posicionados diretamente sobre o ponto de medida e qualquer sistema de controle automático para processos contínuos era pneumático e totalmente descentralizado, obrigando os operadores a percorrer toda a instalação, indo de instrumento a instrumento, verificando as medidas e realizando as devidas correções no processo em andamento [49].

Para reduzir o número de operadores e ainda assim permitir a monitoração global e constante de todos os processos, os medidores eram dotados de registradores gráficos mecânicos; tais registradores eram um recurso importante para a verificação e análise posterior do funcionamento do controlador e o andamento do processo. Depois de retirados dos traçadores, os gráficos forneciam, através de um estudo comparativo, dados sobre o estado de ajuste dos equipamentos e sobre seu desempenho.

O crescimento das fábricas, todavia, tornou impraticável o controle totalmente distribuído e sem nenhuma integração, tendo sido necessária a introdução das salas de controle central, de onde e para onde os dados eram transmitidos atra

vês de linhas de pressão. Entretanto, como a construção de linhas de pressão que transportem dados confiavelmente não é tecnologicamente fácil, as linhas utilizadas causavam, com muita frequência, medidas falsas nos aparelhos, ocasionando operações corretivas desnecessárias e muitas vezes prejudiciais ao andamento do processo. À medida que as instalações fabris foram sendo ampliadas, as linhas de pressão utilizadas chegaram a extensões inaceitáveis, e a solução adotada foi criarem-se novas salas de controle central, que não mantinham conexão entre si.

Esse problema perdurou até o fim dos anos 40, quando duas inovações tecnológicas introduzidas revolucionaram a área de controle e automação de processos; tais inovações referem-se à introdução de:

- . Transmissores de medidas que geravam um sinal de pressão proporcional à da entrada, o que eliminava os problemas encontrados para a transmissão de sinais através de linhas de pressão, e criava, como subproduto, a norma para transmissão de sinais em baixa pressão (3 e 15 psi). Essa normalização proporcionou um grande desenvolvimento e, conseqüentemente, uma grande proliferação de controladores com transmissão pneumática, repercutindo ainda nos dias de hoje, pois esse tipo de controlador ainda liderava o mercado em 1980 [40];
- . Instrumentos miniaturizados que diminuíram sensivelmente a área necessária para a instalação dos painéis de instrumentos das salas de controle.

Do ponto de vista operacional, a centralização das operações de supervisão e controle das operações produtivas é essencial para o aumento da eficiência das instalações como um todo, e foi possível graças à evolução da transmissão pneumática e da miniaturização que ocorreram durante os anos 40, sendo praticamente abandonada a distribuição do controle nos moldes

em que era realizada durante as quatro primeiras décadas do século.

As linhas de pressão que proporcionaram a centralização apresentavam um grande problema, que era o atraso excessivamente grande entre o sensoramento e a exposição do valor medido ao operador central. Esse atraso, que em certas aplicações tendia a comprometer a evolução da centralização das operações de supervisão e controle, foi praticamente eliminado quando, no início da década de 1950, foram produzidos equipamentos de controle e instrumentação possuindo entradas e saídas elétricas e permitindo, portanto, a comunicação por sinais eletrônicos com as salas de controle.

Com a introdução da eletrônica em controle de processos resolvia-se o grande problema do atraso no transporte das medidas realizadas no próprio processo, mas ainda perdurava a necessidade de salas de controle excessivamente grandes, e tendendo a aumentar cada vez mais. Devido a isso, a idéia de dividirem-se as operações em diversas salas de controle independentes e sem nenhuma interação foi novamente aplicada, mesmo já sendo utilizados instrumentos miniaturizados e transmissão eletrônica de sinais, que permitiam a instalação dessas salas a distâncias apreciáveis dos pontos de medidas, e com um grande número de instrumentos.

Ainda, com a introdução da eletrônica nas aplicações de controle de processos, os controladores eram simplesmente análogos aos seus similares pneumáticos, possuindo apenas a vantagem de serem muito mais rápidos; entretanto, essa introdução trouxe o grande problema do ruído elétrico que perturba consideravelmente as transmissões de sinais nos ambientes industriais.

A grande aceitação de controladores eletrônicos motivou o estabelecimento da norma de transmissão eletrônica de sinais de controle (com correntes de 4 mA a 20 mA), a exemplo da criada para transmissão pneumática [40].

No início dos anos 60, houve um grande progresso relacionado à ergonomia das salas de operação, pois foi possível compactar os painéis de supervisão e controle. Esse fato deve-se à introdução de equipamentos de processamento de dados nas operações de supervisão e controle, em substituição a alguns dos instrumentos dos painéis das salas de operação e, principalmente à separação da eletrônica dos instrumentos de seus mostradores associada à miniaturização dos mostradores e registradores gráficos.

Essa miniaturização permitiu que os painéis de controle contivessem uma grande quantidade de instrumentos, com as mais variadas funções e conduziu a procedimentos de monitoração e controle das instalações muito complexos, exigindo novamente a separação da operação em várias salas de controle, interligadas por canais de comunicação, cada uma responsável por um setor bem definido das instalações. Esse foi o primeiro passo para o estabelecimento dos sistemas com níveis de hierarquia e, também, o início dos sistemas distribuídos de controle, com operação hierarquizada [9].

No início da década de 60 foram implantados os primeiros sistemas computarizados de supervisão e controle de processos, nos quais o computador recebia as medidas, processava-as, gerava alarmes, apresentava relatórios e realizava algumas funções simples de controle. Esses sistemas, entretanto, não conseguiram grande sucesso comercial pois, além de representarem um alto investimento, eram cópias digitais dos sistemas analógicos e não apresentavam nenhuma vantagem ao usuário que compensasse o investimento e os custos operacionais, relacionados à climatização da sala do computador, à sua manutenção sofisticada e cara, e ao risco ligado às perdas pelas falhas frequentes do computador.

A evolução da eletrônica digital, permitindo a fabricação de computadores cada vez mais confiáveis e robustos, associada à adaptação gradativa dos usuários à nova ideia do processamento de dados e ao aparecimento dos minicomputadores, no fim

da década de 1960, permitiu a introdução, na indústria, de pequenos e médios controladores de processos baseados em minicomputadores, usando a técnica de Controle Digital Direto - DDC (Direct Digital Control), onde o controle das malhas mais críticas era feito por controladores analógicos convencionais com os seus valores de pontos de operação supervisionados pelo computador.

O problema da confiabilidade do computador ainda era grave e a solução adotada para contorná-lo e, assim, poder-se usufruir das funções e facilidades que o mesmo estava introduzindo nos novos sistemas, foi a utilização de controladores analógicos em paralelo com o sistema digital, que seriam acionados quando sobreviesse uma falha que impedisse o computador de operar. Outra solução foi a utilização de computadores em configurações duais ou ternárias que eram chaveados entre si, em caso de falhas.

Os avanços da microeletrônica, que conduziam a circuitos integrados mais confiáveis e densos, refletiram diretamente na confiabilidade dos processadores, que ganharam cada vez maior confiança dos usuários de sistemas de controle de processos, permitindo a construção de sistemas cada vez maiores e mais complexos. Esse fato conduziu a um novo gargalo no desenvolvimento desses sistemas, que aceleraria a volta aos sistemas distribuídos e a evolução de hierarquização; esse gargalo é a complexidade e o tamanho de software necessário para executar as funções desejadas pelos usuários.

O crescimento das instalações e a distribuição das funções de controle, associados à hierarquização das operações e dos equipamentos, fazem com que os grandes sistemas de controle e automação tornem-se mais disponíveis, ou seja, sistemas onde as falhas, ao ocorrerem, não causam a parada total dos mesmos, permitindo que uma parte das instalações ainda opere sob controle parcial do sistema, não paralisando completamente as atividades produtivas.

Com o aparecimento dos conversores analógico-digital e digital - analógico — que permitiram a transmissão de sinais digitais, resolvendo em parte os problemas de erros de comunicação e da manutenção da precisão dos dados durante a transmissão, e permitindo a conexão direta aos computadores — e com o advento dos microprocessadores, chegou-se aos atuais sistemas distribuídos de automação e controle de operações produtivas.

2.2. Sistemas Atuais de Controle e Automação de Processos

Os sistemas atuais de controle e automação das operações produtivas são distribuídos e hierarquizados, os controladores de processos, digitais ou analógicos, são instalados nas proximidades do processo e se encarregam do seu controle propriamente dito, comunicando-se com os centros de supervisão através de cabos coaxiais, com os dados sendo transmitidos seriamente.

Nas salas de operação, a monitoração e o controle dos processos são realizadas por intermédio de terminais de vídeo coloridos, que simulam os painéis de instrumentos analógicos utilizados nos sistemas convencionais, oferecendo a vantagem de que as imagens mostradas aos operadores não são estáticas, melhorando o desempenho destes últimos e conseqüentemente da operação produtiva.

Os controladores de processos que compõem os sistemas atuais são implementados com microprocessadores, o que os torna flexíveis e baratos, podendo adaptar-se aos procedimentos de controle das aplicações através de pequenas mudanças nos módulos de software já desenvolvidos, além de serem facilmente expansíveis. A existência de microprocessadores nos controladores permitiu que fossem criadas linguagens simples para a programação e parametrização desses controladores, facilitando sobremaneira a operação do sistema, principalmente se for considerado que as linguagens são voltadas para as aplicações específicas, dispensando o uso de técnicos de alto nível para as tarefas de programação | 30 | | 52 | | 53 | | 51 |.

Além disso, a necessidade dos fabricantes de sistemas de possuírem produtos que se adaptassem às mais diversas classes de aplicações e a necessidade dos usuários de possuírem sistemas cujo grau de serviço e automação pudesse crescer harmoniosamente, levaram à adoção de estruturas hierarquizadas, onde cada nível hierárquico é autônomo e responde por uma determinada parcela da automação global, projetada para o sistema completo. As características das aplicações de controle de processos, associadas à utilização de sistemas distribuídos implementados com microprocessadores, levam a sistemas com os seguintes níveis hierárquicos [9] [61]:

a. Primeiro Nível - Nível de Processo

Este nível é responsável pelo controle propriamente dito do processo, controle esse executado pelas operações de aquisição de dados e geração de variáveis de controle, pela aplicação de algoritmos especiais, objetivando manter as variáveis do processo dentro de limites aceitáveis em torno do ponto de operação (set point) estabelecido pelos níveis hierárquicos superiores ou pelo operador local.

Neste nível estão presentes os painéis locais de operação, que permitem o estabelecimento de pontos de operação e a monitoração de um pequeno número de variáveis do processo. Esses painéis, que geralmente estão fisicamente próximos ao processo, são utilizados pelos operadores locais, em sistemas complexos, nos casos de falha dos níveis hierárquicos superiores, ou nos sistemas simples, onde esses níveis superiores não existem.

b. Segundo Nível - Nível de Coordenação

Este nível é responsável pela coordenação e alocação de recursos para os controladores do primeiro nível, além de permitir a monitoração das variáveis e

o estabelecimento de pontos de operação de todos os processos conectados ao sistema. A monitoração das variáveis e o estabelecimento dos pontos de operação são realizados por operadores centrais, através de painéis centrais de operação, localizados em salas de controle, normalmente situadas distantes dos pontos onde estão sendo controlados os processos. Convém ressaltar que, neste nível, os valores dos pontos de operação podem ser recebidos do nível hierárquico superior, cabendo ao operador, portanto apenas monitorar os valores recebidos.

Dadas essas características, nota-se que a principal função do segundo nível é a supervisão de todos os processos associados ao sistema, devendo fornecer, centralizadamente, as informações sobre toda a instalação, para que seja possível a decisão correta do operador central sobre as políticas a serem adotadas e os valores de pontos de operação a serem estabelecidos.

Essa responsabilidade do operador é aliviada quando o sistema possui o terceiro nível hierárquico, pois a determinação das políticas e o estabelecimento dos pontos de operação será atribuído desse nível e não mais do operador que, entretanto, deverá estar apto para assumir tais funções, nos casos de falha dos equipamentos do terceiro nível.

c. Terceiro Nível - Nível de Otimização

Neste nível são gerados os valores dos pontos de operação e demais parâmetros necessários para que se obtenha o melhor rendimento possível das instalações. Os cálculos são realizados aplicando-se os valores reais das variáveis nos modelos matemáticos dos respectivos processos, de forma a se prever o comportamento futuro dessas variáveis. Esse comportamento fu

turo é, por sua vez, aplicado a algoritmos de otimização, os quais fornecerão os valores que teoricamente produzirão o desempenho desejado para o processo em questão.

Deve-se comentar que, neste nível, as soluções a serem adotadas dependerão em todos os aspectos da particular aplicação, exceção feita, ao tipo de computador que será usado para o processamento dos modelos e dos algoritmos e a algum tipo de linguagem de programação de alto nível, que venha a auxiliar o usuário ou os próprios fabricantes na programação dos modelos e algoritmos.

Caso o sistema em questão possua o quarto nível hierárquico, será verificado se os valores gerados pelos algoritmos de otimização obedecem às políticas globais determinadas por esse nível e, se porventura não obedecerem, deverão ser recalculados ou submetidos à apreciação dos operadores centrais para que estes decidam o procedimento a ser adotado.

d. Quarto Nível - Nível de Gerenciamento

Este nível é responsável pela determinação da política global para a operação produtiva levando em conta os recursos físicos instalados e disponíveis, a disponibilidade de matérias primas e energia, os recursos humanos, a demanda do mercado e a política da empresa para o setor sob jurisdição do sistema.

Além da determinação da política global, que será enviada para o nível hierárquico inferior, este nível deve gerar relatórios que serão analisados pelos técnicos de planejamento da empresa, em conjunto com os produzidos nos outros níveis, para que seja avaliado o desempenho da operação produtiva, sejam melhorados os modelos e algoritmos e sejam realizados acertos

no SCAP, para que se obtenha um desempenho global melhor e para que se atinja o objetivo final que é a produção ao menor custo possível [9] [33] [61].

A figura 2.1 ilustra os quatro níveis hierárquicos de um SCAP para aplicação em grandes complexos produtivos.

Pela sua própria configuração, um SCAP com estrutura hierarquizada é intrinsecamente modular e permite o acoplamento de novos níveis hierárquicos, à medida que maiores índices de automação vão sendo exigidos. Em outras palavras, essa modularidade permite que se tenha um sistema onde a participação dos operadores no controle dos processos é variável, dependendo de até que nível hierárquico a aplicação específica exija.

A adoção da estrutura hierarquizada permite que se projete e implemente cada nível com seus próprios requisitos de confiabilidade e de processamento tendo-se, com isso, projetos de custo mais baixo e com estruturas mais uniformes e sistemas mais eficientes e confiáveis, pois, com o agrupamento de funções da mesma categoria no mesmo nível hierárquico, é possível projetar-se o SCAP de forma que os requisitos de confiabilidade e de capacidade de processamento sejam dosados de acordo com as necessidades reais de cada nível hierárquico.

Com a utilização de estruturas hierarquizadas obtêm-se também sistemas com maior disponibilidade, pois quando ocorrem falhas nos níveis superiores (normalmente com requisitos de confiabilidade menos rígidos) os operadores centrais ou locais, dependendo do caso, podem assumir o controle dos processos admitindo-se uma certa degradação no desempenho do sistema, mas não sendo, portanto, necessária a parada completa dos processos controlados pelo sistema que apresentou a falha.

A utilização de sistemas hierarquizados implementados com vias de dados compartilhadas (onde vários equipamentos disputam o uso de um mesmo canal de comunicação), associadas à existência de equipamentos do nível de processo que processam as informações

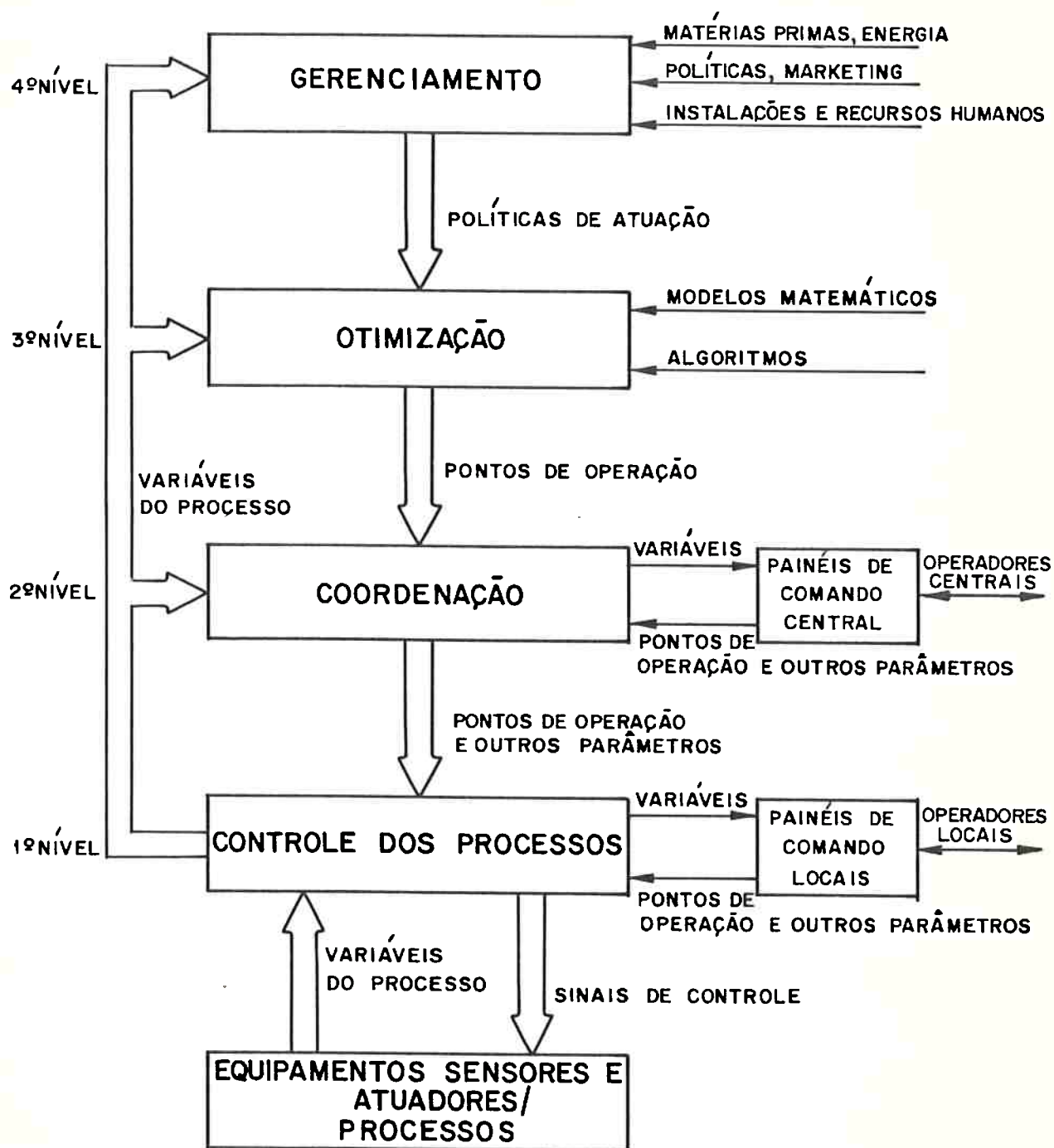


FIGURA 2.1_ NÍVEIS HIERÁRQUICOS DE UM SCAP .

e enviam dados compactados aos centros de supervisão e controle através de transmissão serial, propiciou a diminuição dos custos de instalação, pois é possível grande economia de cabos de transmissão [29].

As vias de dados, entretanto, ainda não resolveram o problema dos erros de comunicação ocasionados pelos ruídos eletromagnéticos presentes nas instalações onde sistemas de controle e automação são implantados; com o uso de sistemas distribuídos esse problema foi diminuído, pois a inteligência presente nos controladores permite que se utilizem métodos de detecção e recuperação de erros de transmissão bastante eficientes. Mas, com o desenvolvimento das técnicas de transmissão óptica de sinais, esses problemas serão sanados; e os primeiros sistemas que utilizam fibras ópticas como meio de transmissão de dados já estão disponíveis no mercado [34] [56] [57] [75] [86].

Com relação à sala de controle, a grande inovação dos equipamentos atuais é a substituição dos instrumentos clássicos com mostradores de ponteiro pelos terminais de vídeo coloridos, onde diversos tipos de imagens podem ser selecionados pelos operadores, para execução da operação mais adequada, melhorando o conforto do operador, que agora permanece sentado em frente à tela do terminal de vídeo e não mais percorrendo a sala de controle a fim de ler os instrumentos, e diminuindo apreciavelmente a necessidade de espaço físico para a instalação dos centros de supervisão.

A existência de computadores mais poderosos permite que se projetem linguagens de programação voltadas para aplicações de controle de processos em tempo real, como é o caso da linguagem PEARL (Process and Experiment Automation Real Time Language) desenvolvida por empresas e universidades da Alemanha e já utilizada em sistemas disponíveis comercialmente [75] [91].

Um fato importante que comprova a aceitação dos sistemas distribuídos para controle de processos é que o chaveamento para essa tecnologia está acontecendo muito mais rapidamente

que nos casos anteriores, onde a passagem da transmissão pneumática de sinais para a eletrônica ou a de controle local para central levou pelo menos uma década. Essa maior velocidade se justifica também pela conjuntura atual, que apresenta os seguintes pontos favoráveis à utilização de sistemas de controle e automação de processos mais sofisticados e poderosos, do tipo distribuído [37]:

- . Necessidade de aprimorar o rendimento dos processos para melhorar a rentabilidade e a competitividade dos produtos, o que é conseguido através da utilização de controladores mais sofisticados e precisos;
- . Necessidade de melhorar as condições de trabalho dos operadores para aumentar sua eficiência e seu conforto;
- . Necessidade de diminuir os custos relativos à manutenção e à instalação dos sistemas;
- . Aceitação quase irrestrita dos sistemas baseados em microprocessadores pela comunidade em geral.

Esse comportamento, apesar de favorável aos usuários, levou os fabricantes a projetarem e colocarem seus produtos no mercado sem que se houvessem preocupado com as normalizações necessárias, como a dos protocolos de comunicação nas vias de dados compartilhadas e a da estruturação básica dos sistemas, causando uma grande dificuldade para os usuários classificarem e entenderem os sistemas, dentre os quais será escolhido o mais adequado para a particular aplicação, de forma a fornecer as melhores condições de desempenho aos menores custos, atendendo completamente aos seus anseios.

Concluindo, os sistemas mais modernos existentes atualmente são do tipo distribuído, com os elementos de processamento comunicando se através de vias compartilhadas de dados digitais, podendo ser adquiridos em sua configuração mínima com um

controlador apenas, e expandidos através de módulos, incluindo-se o grau de redundância que se deseja nas vias de dados e nos demais elementos. Além disso, a comunicação homem-máquina é realizada através de terminais de vídeo coloridos, impressoras, traçadores gráficos e outros equipamentos de entrada e saída acopláveis a computadores digitais, de maneira a fornecer todo e qualquer tipo de informação que um usuário venha a necessitar.

E, tudo isso foi possível graças à disponibilidade de microprocessadores, que possibilitaram a implementação de equipamentos com elevado grau de confiabilidade e disponibilidade, alterando o conceito formado pelos primeiros sistemas a computador quanto à ocorrência de falhas e à dificuldade de manutenção.

2.3. Tendências para o Futuro

Para os próximos anos deverão continuar sendo utilizados sistemas distribuídos hierarquizados, dotados de sistemas de transmissão de dados mais gerais evoluindo para o conceito de redes de computadores, com maior flexibilidade no que se refere à distância física, à disponibilidade e ao desempenho do sistema, pois as trocas de informações entre seus diversos módulos tornar-se-ão mais eficientes. Além disso, os protocolos de comunicação deverão ser padronizados, trazendo incontestáveis benefícios não só aos usuários, que poderão utilizar módulos de fabricantes distintos para compor o sistema que melhor se adapte às suas necessidades, mas também aos fabricantes, que ampliarão suas faixas de mercado e produzirão equipamentos com módulos padronizados.

Apesar da estrutura permanecer a mesma, os futuros sistemas deverão ser mais complexos, possuir características de interfaceamento homem-máquina que possibilitem maior interação entre operadores e processo e que forneçam as informações de forma simples, compreensível e concisa, e deverão também ser mais flexí-

veis para atender ao maior número possível de aplicações. Mas apesar da complexidade que lhes será inerente, os futuros sistemas não deverão exigir que os operadores locais ou das salas de controle possuam conhecimentos de linguagens de programação, software ou hardware de computadores.

A especificação e o projeto de futuros sistemas de controle e automação deverão obedecer aos seguintes quesitos básicos:

- . Estrutura global hierarquizada e arquitetura distribuída, com implementação baseada em microprocessadores e circuitos integrados dedicados (Custom-Made);
- . Função custo otimizada, no que tange aos custos relacionados com a instalação (cabeação, salas de controle e o próprio sistema) e com a operação (manutenção fácil, barata e rápida, facilidade de operação e durabilidade) do sistema;
- . Realização de funções de controle necessárias aos processos como aquisição de dados, controle em malha fechada e aberta, processamento da informação e documentação, utilizando o número mínimo de dispositivos;
- . Flexibilidade no sentido de atenderem às pequenas, médias e grandes instalações, contendo algoritmos que possibilitem facilmente a adaptação às condições específicas de cada usuário;
- . Segurança, disponibilidade e confiabilidade bastante elevadas com a utilização de redundâncias parciais e máquinas reconfiguráveis para recuperação de erros e falhas, em níveis que o próprio usuário venha a especificar, dependendo das suas reais necessidades;
- . Sistemas de transmissão de dados bastante eficientes, onde um volume muito grande de informações deverá

transitar livre de interferências, com o emprego de meios de transmissão ópticos, cuja tecnologia tem experimentado grande avanço nos últimos anos e tem se mostrado muito promissora na área de controle de processos, onde os ambientes são geralmente muito hostis devido à existência de ruídos eletromagnéticos;

- . Compatibilidade com as tecnologias antigas de forma a serem aproveitadas partes ou sistemas inteiros, como módulos do novo sistema a ser instalado;
- . Atribuição cada vez maior das atividades de supervisão e controle aos computadores, permanecendo os operadores apenas como supervisores das ações dos computadores.

Concluindo, o desenvolvimento dos próximos sistemas de controle e automação de processos estará intimamente relacionado com o desenvolvimento da tecnologia de microeletrônica, de novos meios de comunicação, de projeto e de implementação de hardware e software.

Entretanto, nos próximos anos o software será o grande problema dos novos sistemas, assim como as linhas de pressão o foram no passado. A crise de complexidade do software já pode ser sentida nos dias de hoje, onde o custo e o tempo envolvido para o desenvolvimento do software de um sistema são muito maiores que os envolvidos para a definição da arquitetura e desenvolvimento do hardware, apesar das ferramentas poderosas que existem para auxiliar a produção do software.

CAPÍTULO 3

ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

3. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

As operações produtivas são normalmente constituídas de uma variedade de processos independentes ou não; o controle e a automação dessas operações estão fundamentalmente baseados na supervisão e no controle de cada um desses processos e devem ser realizados de forma coordenada e eficiente. A coordenação é particularmente importante nos casos onde um processo deve ser subdividido em vários outros subprocessos, dependentes entre si, para que seja possível supervisioná-lo sem que seja necessário projetar-se um equipamento grande e complexo para esse fim, prejudicando a confiabilidade e os custos.

Sendo assim, o sistema aqui proposto para controle e automação de operações produtivas deve proporcionar condições para que os processos envolvidos em tais operações sejam coordenados e controlados eficientemente. Nesse sentido, o sistema deve ser encarado como uma ferramenta de hardware, onde os engenheiros de controle de processos implantam seus algoritmos de controle, de aquisição de dados, de coordenação, de otimização e de gerenciamento para que, no conjunto, forneçam o grau desejado de automação e de desempenho para a operação produtiva envolvida.

A função básica do sistema é, então, a de executar os algoritmos e outros programas que os engenheiros de processos, que aqui serão considerados como usuários, venham a implantar no sistema. Esses algoritmos e demais programas que, em conjunto, constituirão o software da particular aplicação do sistema, devem ser reunidos de acordo com os níveis de hierarquia comentados no capítulo anterior.

A imposição de que o projeto do software aplicativo seja subdividido de acordo com níveis de hierarquia, não particulariza o sistema nem dificulta a implantação desse software; pelo contrário, dota o sistema de características de modularidade e flexibilidade, além de reduzir a fase de desenvolvimento de software, pois é possível projetá-lo, testá-lo e implementá-lo em paralelo, considerando os níveis de hierarquia como independentes entre si.

3.1. Funções a Serem Executadas

Como se propõe que o sistema seja uma ferramenta aplicável à maioria das operações produtivas, ele deve ter potencialidade para executar as funções relativas aos mais diversos tipos de operações produtivas. Essas funções foram determinadas não só de acordo com os requisitos atuais de usuários em potencial de sistemas de controle de operações produtivas, desde as mais simples, nas quais existe apenas um processo de pequeno porte a supervisionar, até aquelas complexas, nas quais instalações fabris inteiras estão envolvidas, mas também de acordo com as funções apresentadas pelos produtos que estão sendo comercializados e as tendências de sua evolução | 9 | | 10 | | 75 | | 78 | | 79 | | 81 | | 82 |.

As funções determinadas obedecem claramente aos níveis de hierarquia, como poderá ser depreendido mais adiante, obedecendo, portanto, à imposição de que o software seja hierarquizado e praticamente impondo que o hardware também seja estruturado hierarquicamente, onde cada nível hospeda software correspondente. Essas funções são descritas a seguir, já relacionadas de acordo com o nível hierárquico em que se encontram.

3.1.1. Nível de Processo

Como já comentado no capítulo anterior, este nível é o responsável direto pela supervisão e controle dos processos, tendo, portanto, como funções básicas, a aquisição dos valores das variáveis do processo, o cálculo das variáveis de controle e o envio das mesmas para os equipamentos que efetivamente atuam no processo em questão; essas funções básicas são realizadas no caso geral; entretanto, para cada caso particular, um conjunto específico de funções adicionais pode ser utilizado, configurando-se o equipamento de controle para as necessidades do processo. Para tanto, deve ser possível a implementação das seguintes funções específicas nos equipamentos deste nível:

- . Controle digital em malha fechada de processos analógicos multivariáveis, através de algoritmos de Controle Proporcional, Derivativo e Integral (PID) discreto e suas derivações, para processos que possuam até dezesseis variáveis analógicas de controle, dezesseis variáveis analógicas de saída e 256 variáveis digitais de atuação ou supervisão;
- . Controle digital em malha aberta de processos analógicos multivariáveis para processos que possuam até dezesseis variáveis analógicas de controle, dezesseis variáveis analógicas de saída e 256 variáveis digitais de controle ou supervisão;
- . Aquisição de dados digitais em processos de até 256 variáveis;
- . Comunicação com outros equipamentos de controle do mesmo nível hierárquico, utilizada nos casos onde é necessária a troca de informações sobre as variáveis coletadas ou calculadas para o controle correto dos processos; esta capacidade é particularmente importante quando um processo único ou processos interdependentes são controlados por mais de um equipamento de controle e que, por esse motivo, podem vir a necessitar de informações coletadas ou calculadas por algum dos outros;
- . Interfaceamento local entre o operador e o processo de forma a permitir que as operações de controle em malha fechada e malha aberta sejam realizadas, possibilitando a entrada dos parâmetros e valores de ponto de operação e de limites de erro, bem como a alteração ou substituição fácil e rápida dos algoritmos utilizados;

- . Geração de testes para detecção de variáveis fora dos limites de segurança especificados e para detecção de variações bruscas não compatíveis com o comportamento do particular processo que está sendo controlado; geração dos respectivos alarmes ao serem detectadas as situações acima citadas, para evitar danos nos equipamentos ou perda de controle dos processos;
- . Seqüencialização e intertravamento de operações que, por sua natureza, exijam uma seqüência bem determinada de ações, cuja violação pode pôr em risco a integridade dos equipamentos ou a segurança física dos operadores (estas funções são muito importantes em controle de distribuição de energia elétrica e controle de tráfego);
- . Funções auxiliares comumente utilizadas em controle analógico, como a somatória, a raiz quadrada, a produtória e a porcentagem, que devem ser utilizadas como ferramentas para implementação dos algoritmos;
- . Armazenamento local de dados, previsto para os casos onde não é possível a utilização dos equipamentos existentes no nível de coordenação, ou pela ausência desse nível, ou por motivos de segurança dos dados ou por falhas do sistema nos níveis hierárquicos superiores;
- . Comunicação com o nível de coordenação de forma que seja possível o envio das informações necessárias às tarefas desse nível e o recebimento das informações de dados relativos aos valores de pontos de operação, aos valores de limites de segurança das variáveis, aos parâmetros dos algoritmos e às variáveis de contro

- . le, impostos manualmente pelos operadores centrais ou automaticamente pelo próprio sistema. Além disso, o nível de coordenação deve também poder enviar programas inteiros, determinando os novos algoritmos e procedimentos a serem executados pelo particular controlador e comandos de controle que devem ser decodificados e executados, para alterar o modo de operação do mesmo;
- . Possibilitar a instalação de equipamentos em configuração redundante (hot stand-by), na medida do necessário para a particular aplicação, permitindo a implantação de mecanismos de chaveamento entre os equipamentos acionados localmente ou pelo nível hierárquico superior. Essa redundância poderá ser total ou parcial, onde apenas parte do equipamento é duplicada (por exemplo os dispositivos de comunicação com o nível de coordenação);
- . Possibilidade de conversão analógica-digital e digital-analógica com a precisão e velocidade requeridas pelo processo; além disso, o sistema deve possibilitar que se verifique a calibração dos conversores, através de funções auxiliares pré-programadas nos controladores dos processos;
- . Finalmente, quando necessário, as variáveis do processo enviadas para outros elementos devem ser acompanhadas de uma informação que indique o instante em que foram coletadas; isso deve ser realizado através da leitura simultânea das variáveis em questão e do valor de um relógio de tempo real e, sempre que necessário, do envio desses dados em conjunto. A existência de um relógio de tempo real em cada contro

lador de processos praticamente obriga que seu sincronismo seja periodicamente testado pelo nível de coordenação.

Cabe observar que os equipamentos deste nível hierárquico, a exemplo dos centros de supervisão, devem ter capacidade de exercer as funções de controle e supervisão dos processos a eles acoplados somente com o auxílio dos operadores locais, ou seja, esses equipamentos devem ser auto-suficientes, com todas as informações necessárias fornecidas pelos seus operadores, sem que haja necessidade do nível de coordenação. Nos casos onde não existem os centros de supervisão, ou quando os mesmos não estão disponíveis por motivos de falhas, os processos ficam sob supervisão de operadores locais, que devem ter capacidade de fornecer todos os dados necessários para o controle correto das partes dos processos sob sua responsabilidade. Nessa situação, entretanto, não é possível uma visão global do andamento da operação produtiva; e, conseqüentemente, a coordenação necessária entre os processos e subprocessos, fator importante, na maioria dos casos, para que se obtenha um bom desempenho, será seriamente prejudicada.

3.1.2. Nível de Coordenação

O hardware deste nível deve possibilitar a implantação do software que realiza a coordenação entre os diversos processos em andamento, com o grau de automação necessário para cada particular aplicação. Esse hardware constituirá o centro de supervisão da operação produtiva, o qual, em conjunto com seu software, deverá proporcionar, no caso geral, as funções relacionadas a seguir, características deste nível hierárquico; algumas dessas funções poderão ser eliminadas ou alteradas, dependendo da aplicação específica.

a. Interfaceamento homem-operação produtiva

O interfaceamento deve ser realizado através de dispositivos de entrada e saída especiais, que devem permitir a monitoração, em tempo real, de cada uma das variáveis dos processos em andamento, e a sua comparação com os valores dos pontos de operação que estavam em vigor, quando da aquisição das mesmas, e com os limites aceitáveis do erro para o processo em questão. Caso os valores das variáveis do processo ultrapassem os limites de erro especificados, alarmes devem ser gerados de forma audível e visual, para que os operadores do sistema intervenham.

Além disso, é importante que o operador possa inserir no sistema novas curvas de pontos de operação e parâmetros para os algoritmos de controle dos processos, independentemente da conexão existente com o nível de otimização, que deverão ser enviados automaticamente aos equipamentos que compõem o nível de processo. É importante também a existência de tabelas que possibilitem a comparação entre valores históricos obtidos em equipamentos similares e valores atuais das variáveis dos processos, para que os operadores tenham subsídios para determinar novos procedimentos de controle ou para realizar uma rápida análise comparativa do desempenho atual dos processos.

O interfaceamento homem-operação produtiva será tratado com todos os detalhes pertinentes na seção 3.4.2., onde os pormenores deste caso serão analisados.

b. Capacidade de armazenamento das variáveis

Os operadores podem requerer que variáveis sejam armazenadas em meios não voláteis para uso futuro (data logging). O meio de armazenamento deve ser escolhido de acordo com o destino que se propõe dar aos dados; por exemplo, pode-se utilizar fitas magnéticas para futuros processamentos "off-line" para determinação de parâmetros ou procedimentos mais adequados para o controle do processo, ou pode-se utilizar traçadores gráficos ou impressoras, para uma análise superficial, porém imediata, do comportamento do processo.

Sendo assim e pensando-se no caso geral, o centro de supervisão deve ter capacidade para permitir acoplar qualquer dispositivo de armazenamento e respectivo software de gerenciamento que fornecerá os formatos, buscará os dados na base de dados e controlará o dispositivo em questão. Devem ser previstos os seguintes equipamentos para armazenamento de dados, podendo utilizar-se, em cada aplicação particular, apenas o subconjunto necessário:

- . Unidades de discos magnéticos rígidos;
- . Unidades de discos flexíveis;
- . Unidades de fitas magnéticas convencionais;
- . Unidades de fitas cassette;
- . Impressoras seriais e paralelas;
- . Traçadores gráficos digitais e analógicos.

Além desses dispositivos, que são utilizados pelos operadores do sistema e da operação produtiva, no centro de supervisão poderão ser conectados, se necessário, outros discos mag

néticos, onde o sistema manterá uma base de dados que conterà o estado atual dos processos físicos a cargo do sistema, o estado do próprio sistema e os valores históricos das variáveis do processo, dos pontos de operação e de outras variáveis de interesse. Essa base de dados é usada em operações de configuração e reconfiguração, armazenamento de variáveis e outras que venham a ser requisitadas pelos operadores, ou impostas automaticamente pelo próprio sistema. Convém ressaltar que a manutenção dessa base de dados é automática e independente da atuação dos operadores, o que distingue completamente esse tipo de base de dados do armazenamento mencionado anteriormente.

c. Outras funções

Além das funções de interfaceamento homem-máquina e armazenamento de dados, que são as mais importantes em termos operacionais, o centro de supervisão deve ainda realizar as seguintes:

- . Gerenciamento dos equipamentos do nível hierárquico inferior, de forma a possibilitar sua desconexão e substituição (reconfiguração) nos casos de detecção de falhas ou de ordem dos operadores, sua configuração e a carga de novos algoritmos ou procedimentos de controle, quando solicitado pelos operadores, e a troca de informações entre eles e o próprio centro de supervisão;
- . Gerenciamento dos equipamentos e dispositivos do próprio centro de supervisão, provendo auto-teste e reconfiguração em caso de detecção de falha e provendo ainda o interfaceamento entre o centro de supervisão e os níveis superiores;

- . Geração, quando solicitada, do relatório de operações do sistema em ordem cronológica de eventos, que deverá conter todos os dados relacionados com a operação do sistema, sejam eles relativos a procedimentos dos operadores do sistema ou relativos a procedimentos do próprio sistema, que foram disparados e realizados automaticamente, sem a interveniência dos operadores;
- . Provedimento dos dados necessários e gerenciamento dos dispositivos remotos de alarme e supervisão, que porventura venham a ser conectados ao centro de supervisão; como exemplo, têm-se os dispositivos de alarmes de emergência, que devem ser localizados em pontos estratégicos das instalações para melhor observação, e os terminais meramente informativos, que podem estar localizados em qualquer dependência da instalação fabril;
- . Provedimento das proteções necessárias contra comandos emitidos pelos operadores, ou automaticamente pelo sistema, que possam causar danos aos equipamentos instalados, bem como verificação da integridade dos dados recebidos e a serem enviados aos outros níveis hierárquicos, de forma que variações anormais nos mesmos sejam detectadas e sinalizadas (por exemplo verificação de alterações muito bruscas em variáveis do processo ou valores de pontos de operação).

Pelas funções especificadas para este nível hierárquico, pode-se notar que ele opera independentemente dos níveis superiores, pois as tarefas de gerenciamento da operação produtiva e a determinação dos melhores valores de pontos de operação e da seqüencialização podem ser executadas pelos operado

res; entretanto, é óbvio que, se os níveis de otimização e gerenciamento não estão presentes, o desempenho total esperado para a operação produtiva deverá ser pior, pois dificilmente o operador terá tempo disponível para realizar cálculos e analisar todos os parâmetros da operação produtiva de forma a fornecer dados tão precisos e corretos como os gerados automaticamente pelos níveis superiores.

3.1.3. Nível de Otimização

Neste nível o hardware deve permitir a execução dos algoritmos de otimização para cada particular processo envolvido na operação produtiva; esses algoritmos devem fornecer, aos níveis hierárquicos inferiores, os novos dados paramétricos de pontos de operação, calculados a partir das variáveis do processo, que, aplicados ao mesmo, conduzirão ao desempenho desejado. É conveniente observar-se que os algoritmos de otimização são muito dependentes do processo e, geralmente, para seu projeto é necessário conhecer profundamente o comportamento do processo a se otimizar; como esse comportamento pode ser muito complexo tem-se, conseqüentemente, um software bastante complexo, que deve ser projetado e implementado por pessoal altamente qualificado.

A necessidade do conhecimento do comportamento dos processos, aliada à complexidade do software, faz com que os custos de desenvolvimento desse tipo de software sejam elevados e, portanto, tornam proibitiva a duplicação de esforços no sentido de se transportarem os algoritmos de otimização desenvolvidos para um determinado computador para um outro diferente. Esta pode ser uma tarefa bastante árdua, uma vez que os algoritmos, geralmente, são elaborados utilizando ao máximo todos os recursos e características do particular computador que favoreçam à implantação dos mesmos, de forma a se obter o melhor desempenho do software. Esses pontos levam a concluir que algoritmos desenvolvidos para uma determinada máquina não devem ser transportados para outra, o que implica diretamente em especificar que

o hardware hospedeiro do software deste nível hierárquico pode ser, em termos gerais, qualquer computador, que por ventura tenha recebido algoritmos de otimização.

Torna-se óbvio, entretanto, que o cumprimento de uma especificação tão geral poderá ser não trivial, o que obriga, desde já, a que pelo menos uma restrição seja feita quanto a essa generalidade, qual seja, a obrigatoriedade de que o computador em questão possua interfaces de comunicação de dados padronizadas e ofereça possibilidade de desenvolvimento e de implantação do software de comunicação correspondente. Essa restrição não prejudica as características de aplicabilidade, a custo baixo, dos algoritmos já implantados pois, desde o início da década passada, os computadores, e especialmente os minicomputadores, onde os algoritmos são via de regra implantados, vêm sendo equipados com interfaces de comunicação de dados padronizadas.

3.1.4. Nível de Gerenciamento

A função principal a ser realizada neste nível é a determinação da política global de controle da operação produtiva envolvida, determinando os fatores de mérito para os diversos processos que compõem essa operação, os quais serão utilizados pelos algoritmos de otimização ou pelos próprios operadores do sistema para acelerar ou retardar os processos, controlando dessa forma a produção de acordo com a sua programação.

Para que haja possibilidade de cálculo dos níveis de produção essa função deve receber, como entradas, dados relativos à disponibilidade das matérias primas necessárias aos processos, às condições de operacionalidade dos equipamentos utilizados para a execução propriamente dita dos processos, à situação da demanda dos produtos objeto da operação produtiva sob análise, à disponibilidade de recursos humanos e de energia, outras variáveis particulares para cada caso, tais como, as relativas à progressão do processo no período imediatamente anterior.

Pode-se estimar que o software envolvido para execução das funções de análise dos dados, que resultarão na geração dos fatores de mérito para os processos, pode se tornar bastante extenso e complexo, mas certamente recairá em um tipo de software tradicional, onde as técnicas de processamento de dados da área comercial poderão ser utilizadas para o projeto e para sua implementação.

3.2. Características Exigidas para a Arquitetura do Sistema

Como já deve ter ficado patente, a arquitetura do sistema deve ser hierarquizada. Considerando-se as funções de cada nível hierárquico, descritas na seção anterior, a capacidade de processamento deve crescer do nível de processo até o de gerenciamento, ou seja, conforme o nível vai crescendo, são necessários processadores com maior potencialidade para a execução de instruções, e com maior capacidade de armazenamento e de interfaciamento com periféricos de entrada e saída. Comportamento inverso, entretanto, deve apresentar a confiabilidade, que deve ser a maior possível no nível de processo, sendo aceitáveis de gradações à medida que se consideram os níveis superiores. Esse comportamento e a estrutura hierarquizada proposta justificar-se-ão à medida que forem apresentadas as características desejadas para o sistema.

De acordo, principalmente, com os requisitos dos usuários, com os requisitos de segurança e de custo e com as possibilidades tecnológicas, o sistema deve apresentar as seguintes características:

a. Independência dos níveis hierárquicos

Deve ser considerado, como regra geral, que os níveis hierárquicos inferiores devem operar independentemente dos superiores, sendo que, na ausência destes, os operadores fornecerão as informações necessárias pa

ra a operação correta do sistema. A implicação mais importante que esta especificação acarreta é que os equipamentos do nível mais baixo, chamados controladores de processos, devem ter capacidade de controlar, automaticamente e somente com o auxílio de operadores locais, o processo ou a parte dele que esteja sob sua jurisdição, além de fornecer a esses operadores as informações necessárias para que, de alguma forma, seja feita a coordenação entre os diversos controladores.

b. Desempenho

O fator de mérito mais comumente utilizado e o que melhor se aplica para as medidas de desempenho de um sistema de controle de processos é o tempo de resposta. Esse tempo, para o caso do sistema em questão, deve ser considerado independentemente para cada um dos níveis hierárquicos, sendo que o nível de processo é o mais crítico, seguido pelo de coordenação.

Para o primeiro nível, se for considerado o caso mais geral que é o controle em malha fechada realizado pelo próprio equipamento desse nível, pode-se adotar como tempo de resposta aquele que o controlador leva para calcular as variáveis de controle e enviá-las aos atuadores, a partir da aquisição dos dados necessários. Esse tempo de resposta, que teoricamente deve ser o menor possível, depende em grande parte do algoritmo utilizado e do software desenvolvido para implantá-lo; entretanto, caberá ao hardware fornecer a infra-estrutura necessária para que seja possível o processamento rápido dos algoritmos. Para implementar o hardware deste nível devem ser escolhidos processadores e periféricos adequados ao tipo de software a ser implantado, ou seja, deverá haver recursos para processamento de palavras de comprimento compatível com a precisão dos conversores A/D e D/A

e para cálculos aritméticos como divisão, multiplicação, radiciação, etc. que são comumente utilizados nos algoritmos de controle de processos analógicos.

Para o nível de coordenação, o tempo de resposta pode ser considerado como sendo o tempo gasto desde a coleta da informação no processo até a apresentação da mesma aos operadores centrais e vice-versa. Como no nível anterior, é desejável que esse tempo seja o menor possível; entretanto, atrasos maiores já podem ser tolerados, considerando-se que o controle propriamente dito estará, via de regra, a cargo dos equipamentos do nível inferior. Apenas a título ilustrativo, pode-se considerar que apresentam bom desempenho os sistemas cujos tempos de resposta são da ordem de dezenas de segundos para o nível de coordenação e de frações de segundos para o nível de processo.

Para os dois níveis superiores, o desempenho está inteiramente sob controle dos usuários pois, como já foi mencionado, existe total liberdade na escolha dos computadores a serem utilizados, de forma a obter-se o grau de serviço desejado.

c. Disponibilidade e confiabilidade

Considerando que, na grande maioria dos casos, o controle propriamente dito dos processos não deve ser interrompido, a disponibilidade do sistema, a nível de processos, deve ser praticamente igual a um; isto é, a geração de variáveis de controle não deve ser interrompida, pois, se isso vier a ocorrer, pode-se perder o controle dos processos o que, conseqüentemente, acarreta grandes prejuízos materiais.

Para garantir a alta disponibilidade desejável para o sistema, deve sempre existir a possibilidade de inse

rirem-se redundâncias nos diversos níveis, associando-se mecanismos de detecção de falhas e chaveamento. Sempre que for possível, os elementos redundantes devem permanecer em operação com as saídas inibidas (hot stand-by), para que, quando da entrada efetiva em ação, não apresentem problemas que já poderiam ter sido detectados e corrigidos, não prejudicando a disponibilidade do sistema. O chaveamento para os elementos redundantes também se torna bastante importante nos casos onde é necessário executarem-se manutenções preventivas sem que as funções do sistema sejam paralisadas.

Outra característica ligada à disponibilidade e à confiabilidades do sistema como um todo é que o mesmo não deve parar completamente em casos de falhas em seus elementos, ou seja, sempre que houver uma falha deve-se admitir no máximo a degradação no desempenho do sistema no que tange ao controle da operação produtiva como um todo. Com relação às falhas, à redundância e ao seu relacionamento com o desempenho do sistema podem ser feitos os seguintes comentários:

- . Falha nos computadores do nível de gerenciamento: se houver configuração redundante deve ocorrer o chaveamento; caso contrário, os operadores dos centros de supervisão (nível de coordenação) assumem as funções de gerenciamento, ocasionando, portanto, queda do desempenho do sistema. É perfeitamente aceitável, devido aos custos envolvidos, que, neste caso, não se tenha outro computador em configuração redundante, pois as funções de gerenciamento não são vitais para o andamento da operação produtiva, que, via de regra, pode admitir a queda no desempenho causada pela falta dos dados de gerenciamento gerados automaticamente, até que o computador em falha seja novamente colocado em operação;

- . Falha nos computadores do nível de otimização: novamente, neste caso, se existirem computadores de reserva, deve haver o chaveamento; caso contrário, os operadores dos centros de supervisão ficarão com a incumbência de fornecer os novos valores de pontos de operação e as alterações de seqüenciamento que vierem a ser necessárias para garantir o desempenho dos processos. Neste caso, apesar da operação produtiva continuar, é esperada uma queda bem maior no desempenho global, pois será praticamente impossível aos operadores fornecerem os dados necessários dentro da mesma ordem de precisão que os computadores do nível de otimização forneciam. Portanto, tratando-se do nível de otimização, a instalação ou não de computadores ou periféricos em configuração redundante deverá ser analisada caso a caso, e o fator decisivo será a relação entre o custo adicional acarretado pela redundância e o custo relativo à degradação do desempenho, levando-se em conta os devidos pesos que estarão relacionados com a confiabilidade do computador em questão e do restante das instalações, e outros fatores, às vezes meramente subjetivos, pertinentes a cada caso particular;
- . Perda da comunicação de dados entre os computadores dos níveis de gerenciamento e otimização e o nível de coordenação: esta falha tem as mesmas implicações comentadas nos itens anteriores, com o agravante de que, se os computadores forem remotos e as linhas de comunicação não possuírem redundâncias, não existe outra forma de operação do sistema que não seja a ação dos operadores centrais até que a comunicação seja restabelecida. Isso leva a que se dedique atenção especial à confiabilidade das linhas, que deve sempre ser garantida, mesmo se pertencentes a concessionárias de serviços públicos de comunicações, caso em que se deve sempre prever caminhos alternativos;

- . Falhas nos centros de supervisão: as falhas que ocasionam a perda total dos centros de supervisão são catastróficas pois, entre outras coisas, toda a visão de conjunto dos processos envolvidos na operação produtiva é perdida. Neste caso, a operação produtiva ainda não deve parar, pois os operadores locais entrarão em ação e fornecerão os dados necessários diretamente aos controladores de processos; porém é certo que o desempenho será seriamente comprometido e, por isso, deve-se tomar todas as precauções necessárias para que não ocorra a paralisação dos centros de supervisão.

Os centros de supervisão devem, por esse motivo, apresentar altíssima disponibilidade, possuindo intrinsecamente redundâncias e mecanismos de detecção de falhas que disparam processos de reconfiguração automática de recursos, de modo a isolá-las, evitando-se a parada de funcionamento dos mesmos. A opção de redundância completa dos centros de supervisão não deve ser eliminada, mas seria sem dúvida mais interessante que, havendo mais de um subcentro controlando partes ou operações produtivas distintas, existam também as condições para que cada subcentro absorva as funções de outros, quando houver uma falha que impossibilite um deles de funcionar.

Finalmente, deve-se levar em conta, no projeto dos equipamentos do nível de coordenação, que é muito importante que estes apresentem características de disponibilidade tais que não sejam necessárias as redundâncias completas dos centros de supervisão, trazendo com isso benefícios nos custos de instalação;

- . Falhas nos controladores de processos: uma falha em um controlador de processos que obrigue a sua reti

rada de operação é realmente catastrófica, se o mesmo não for rapidamente substituído por outro; caso não exista outro controlador disponível para a substituição, parte da operação produtiva pára. Portanto, para se garantir a continuidade de controle dos processos, é necessária a duplicação dos controladores, uma vez que, por mais confiáveis que sejam, sempre existe a possibilidade de que falhem e, conseqüentemente, de que interrompam suas funções de controle e supervisão.

Além disso, caso venha a ocorrer uma falha, as saídas de controle devem permanecer em níveis tais que não causem perturbação sensível ao processo em andamento, até que o chaveamento se verifique, requisito esse que também deve ser aplicado durante o chaveamento e a entrada em operação normal do controlador de reserva.

Perda de comunicação entre os centros de supervisão e os controladores de processo: este tipo de falha traz as mesmas conseqüências da perda dos centros de supervisão, comentada nos itens anteriores, e deve ser prevenida através da redundância pura e simples dos meios de transmissão de dados, sempre garantindo um caminho alternativo para as informações. Além disso, deve ser garantida a proteção necessária contra os ruídos elétricos e magnéticos, comumente presentes nos ambientes onde sistemas de controle de processos são aplicados, para que seja assegurada a recepção dos dados, tal qual foram enviados.

Se o equipamento de comunicação de dados o permitir, o estabelecimento de caminhos de dados redundantes está relacionado única e exclusivamente ao custo dos cabos, pois seu lançamento ocorrerá dentro das instalações do usuário, não apresentando,

dessa forma, grandes dificuldades técnicas, e ainda, na maioria dos casos, toda a infra-estrutura necessária para o lançamento dos mesmos já foi preparada quando da construção dos prédios. Quanto à imunidade a ruídos, os problemas já são bem conhecidos e existem tecnologias especiais e também cabos especialmente desenvolvidos para ambientes ruidosos, que são atualmente utilizados e certamente serão perfeitamente aplicáveis para o sistema aqui especificado.

Considerando o exposto nos diversos itens, pode-se concluir que a confiabilidade e a disponibilidade exigidas para os equipamentos de cada um dos níveis hierárquicos vão crescendo à medida que o nível de processos é atingido, e ainda, que o grau de disponibilidade em cada um dos níveis poderá ser programado de acordo com as necessidades da particular aplicação, com a utilização ou não de redundâncias totais ou parciais, o que significa que a disponibilidade do sistema pode ser moldada às necessidades dos usuários, refletindo diretamente em uma relação custo desempenho menor.

d. Modularidade, flexibilidade e crescimento

O sistema deverá ser intrinsecamente modular, sendo que os equipamentos de cada nível hierárquico deverão constituir um módulo, que será composto de outros módulos menores, que serão os elementos que comporão esses equipamentos. Para os dois níveis hierárquicos superiores, cada um dos computadores escolhidos pelo usuário será considerado com um módulo completo, pois não há interesse algum em particularizar essas máquinas ou dirigir sua escolha; mas, para os níveis de coordenação e de processo, a modularidade deve ser a maior possível.

O sistema deve comportar a configuração desejada pelos usuários de acordo com suas necessidades momentâneas.

tâneas e ainda atender às suas necessidades de expansão, através de um crescimento harmonioso, tanto no que se refere à configuração quanto ao custo. O sistema mínimo deverá ser constituído de apenas um controlador de processos com operação local, podendo ser expandido no sentido de instalarem-se vários controladores autônomos sem capacidade de comunicação entre si (instalação apenas do nível de processo), implantando-se, quando necessários, a comunicação entre eles (embrião do nível de coordenação) e os centros de supervisão para a coordenação centralizada e mais eficiente dos diversos processos, dispensando-se o operador local.

A modularidade, que é a principal característica responsável pelo crescimento organizado e incremental do sistema, deve também contribuir para a flexibilidade do mesmo, no que tange à adaptação do sistema às mais diversas classes de operações produtivas. Dessa forma, é importante que os controladores de processos constituam uma família completa de equipamentos, onde a caracterização de cada um e a sua adaptação às funções exigidas para cada processo são dadas pela particular configuração de seus elementos de hardware e pela particular configuração de seus elementos de hardware e pela implantação dos algoritmos adequados. Além dos controladores, também os equipamentos do nível de coordenação devem adaptar-se perfeitamente às condições dos usuários, permitindo a instalação de elementos com funções particulares de aplicação e do software aplicativo.

Resumindo, o sistema deve ter um hardware modular em todos os seus níveis de hierarquia, sendo composto de uma família de controladores de processos modulares, de um conjunto de equipamentos também com alta modularidade, que executam as tarefas relacionadas com o nível de coordenação, e de computado

res convencionais para a realização da otimização e do gerenciamento; nesse hardware deverá ser possível a implantação dos algoritmos que melhor se aplicam a cada particular caso.

e. Manutenibilidade

O sistema deve propiciar manutenção fácil e rápida, sendo que no nível de coordenação ela deve poder ser realizada com o sistema em operação normal. É aconselhável que se implementem rotinas de teste e de diagnóstico que facilitem a manutenção corretiva e indiquem o módulo que está apresentando falha, para que este possa ser substituído rapidamente pelos técnicos de manutenção, de forma a não comprometer a disponibilidade do sistema como um todo. Toda manutenção corretiva deve poder ser realizada através da simples substituição do elemento ou do módulo em falha; quanto à manutenção dos circuitos eletrônicos do módulo retirado, dever-se-á realizá-la nos laboratórios.

A modularidade do sistema permite a sobrevivência do mesmo, apesar de obsolescência de seus componentes, e da conseqüente dificuldade de aquisição de peças de reposição para manutenção (a obsolescência de componentes eletrônicos e conseqüentemente, a descontinuação de sua produção, é um fato comum na indústria). Essa sobrevivência é assegurada pela possibilidade de substituição de módulos de hardware com as mesmas características de interfaceamento e especificação funcional, porém implementados com os novos componentes eletrônicos disponíveis no mercado, garantindo-se, dessa forma a longevidade do sistema.

f. Dispersão física

As características de propósito geral impostas ao sistema praticamente exigem que os controladores de processos não sofram restrições quanto à dispersão geo

gráfica, podendo estar a poucas dezenas de metros dos centros de supervisão ou a quilômetros desses centros (considerando por exemplo as aplicações típicas em pequenas indústrias e em ferrovias de longo percurso, respectivamente).

Nos grandes sistemas onde são necessários dois ou mais centros de supervisão ou outros equipamentos do nível de coordenação, também não devem existir restrições de distância entre os centros ou entre estes e os controladores de processos e computadores dos níveis hierárquicos superiores. Resumindo, o sistema deve permitir grande dispersão física não só dentro do mesmo nível mas também relativa à interligação entre níveis hierárquicos.

g. Custos

É desejável que os custos relacionados ao sistema de controle e automação sejam os menores possíveis. Esses custos podem ser divididos nas seguintes classes:

- Custos de desenvolvimento relativos ao desenvolvimento do sistema propriamente dito e à sua adaptação às necessidades do usuário. Estes custos influenciam diretamente o custo de aquisição do sistema e sua minimização dependerá da previsão do número de sistemas que serão produzidos e comercializados.
- Custos de aquisição e instalação: a maior parte destes custos está relacionada com a aquisição e instalação dos cabos de comunicação de dados responsáveis pela interligação dos controladores de processos, centros de supervisão e demais equipamentos do sistema, e com a construção e ambientação das salas onde residirão os centros de supervisão e demais computadores. Estes custos podem ser minimizados através da utilização de sistemas de transmissão de dados que

compartilhem os canais de comunicação (diminuindo a necessidade de cabos), do projeto e implementação dos equipamentos do nível de coordenação, que dispensem salas grandes e requisitos especiais de climatização e através da utilização das salas de computadores, já existentes na empresa.

Os custos de aquisição e instalação do sistema são geralmente uma pequena parcela do investimento total necessário para a implantação da operação produtiva, pois grande parte está relacionada com a aquisição e instalação dos equipamentos que executarão os processos responsáveis pela produção propriamente dita, sendo mais importantes os custos de operação e manutenção do sistema, os quais influem diretamente no custo final dos produtos;

- . Custo da manutenção: este custo, presente durante toda a vida do sistema, deve ser minimizado através da implementação de esquemas de auxílio à manutenção, tais como a possibilidade de realização de auto-teste, a possibilidade de substituição de módulos completos, a utilização de componentes de alta confiabilidade, operando sempre dentro das faixas de trabalho especificadas pelos seus fabricantes, a facilidade de acesso a todos os módulos e demais elementos do sistema e, finalmente, o planejamento e a implementação de procedimentos eficientes de manutenção preventiva. Toda a manutenção preventiva e, em primeira instância, a corretiva, devem ser realizadas por técnicos de nível médio e a utilização de técnicos altamente especializados deve ser limitada à solução de problemas graves, restrita, via de regra, à manutenção corretiva dos módulos no laboratório. Dessa forma, o custo da equipe encarregada da manutenção do sistema fica minimizado;
- . Custos de operação: os custos de operação do sistema, como no caso anterior, estão também presentes

durante toda a vida do sistema e podem ser minimizados através da utilização de uma equipe de operação composta de elementos não especializados, graças a esquemas de interfaceamento homem-máquina que proporcionem facilidade e simplicidade de operação do sistema e dos processos propriamente ditos.

Além dos custos relacionados nos itens expostos, deve-se ainda considerar como fator importante a vida útil do sistema, que deve ser a maior possível, de forma a preservar os investimentos relativos às fases de pré-operação do sistema; sendo assim, é importante que o hardware do sistema seja robusto e durável quanto aos procedimentos de manutenção e aos avanços da tecnologia de controle de processos e de componentes eletrônicos (conforme especificado anteriormente quando se tratou da manutenibilidade e da flexibilidade, respectivamente).

h. Fatores de forma

Neste trabalho entende-se por fatores de forma o volume, o peso e a potência consumida, fatores esses de finidos por Weitzman em [88]; no caso da classe dos sistemas aqui propostos, estas características não são consideradas como de suma importância. Entretanto é aconselhável que a potência consumida seja baixa, principalmente, nos controladores de processos que precisam operar com fonte de alimentação a prova de interrupções, além disso, é conveniente que o tamanho exigido para as salas dos centros de supervisão seja o menor possível.

A partir das características desejáveis para o sistema, expostas neste item, deverá ser projetada a arquitetura e proposto o hardware do sistema; além disso, elas também serão utilizadas na definição dos métodos operacionais do sistema e do seu interfaceamento homem-máquina, descritos nos próximos itens.

3.3. Operação do Sistema

Nos sistemas com, no mínimo, os níveis de processo e de coordenação, a operação deve ser baseada na figura dos operadores centrais, os quais têm, à sua disposição, os equipamentos de interfaceamento do nível hierárquico de coordenação; entretanto não se deve deixar de considerar que a ocorrência de falhas pode ocasionar a perda dos centros de supervisão e, conseqüentemente, a perda da ação dos operadores centrais, sendo necessária, portanto, a operação direta sobre os controladores de processos para que se mantenha a operação produtiva em andamento e não se perca o controle sobre os processos. Dessa forma, é necessário prover-se o sistema de duas classes de procedimentos operacionais, que serão denominados de operação local e central; a denominação da primeira advém do fato de que as operações são exercidas diretamente sobre os controladores de processos, portanto, em local próximo aos processos, e a da segunda do fato de que as operações são realizadas remotamente, a partir das salas centrais de operação. Uma terceira classe será definida para os casos onde se utiliza também o nível hierárquico de otimização ou de gerenciamento. A seguir serão detalhadas cada uma das três classes de operação aqui mencionadas.

a. Operação local

A operação local será exercida através de dispositivos de comunicação homem-máquina acoplados diretamente aos controladores de processos, portanto, localizados nas proximidades dos mesmos. Este tipo de operação deve ser utilizado em sistemas onde apenas os equipamentos do nível de processo se encontram instalados ou nos casos em que é impossível a operação central.

Neste caso, deve ser possível ao operador local supervisionar completamente o processo em andamento e ter condições de controlá-lo através da entrada ma

nual das variáveis de controle, dos pontos de operação e de outras variáveis que venham a ser necessárias, dentro de graus satisfatórios de segurança e qualidade. Essa entrada manual é feita por intermédio de painéis de controle, que deverão ser projetados de acordo com o tipo dos processos envolvidos, de forma a simplificar e tornar mais eficiente sua supervisão e controle.

b. Operação manual centralizada

A operação manual centralizada será exercida pelos operadores centrais através dos dispositivos de interfaceamento homem-máquina do nível de coordenação, localizados nos centros de supervisão, sendo que, no caso da monitoração de alarmes de operação, deve ser possível a instalação de painéis indicativos de alarmes em pontos estratégicos da instalação, para que os técnicos sejam rapidamente alertados sobre as situações anormais e possam rapidamente tomar as devidas providências.

Este tipo de operação deve ser utilizado quando não existe comunicação de dados estabelecida com os níveis hierárquicos de otimização e gerenciamento, ficando os operadores centrais obrigados a fornecer todos os dados necessários ao controle dos processos, cuja quantidade e complexidade dependerá da operação produtiva sob controle e do grau de automação fornecido pelo software aplicativo e implantado no nível de coordenação. Neste caso, os equipamentos de interfaceamento homem-máquina devem ser mais flexíveis do que os painéis de supervisão e controle locais utilizados para a operação local, dado que em uma operação produtiva pode-se ter vários tipos diferentes de processos e que o sistema deve se adaptar a qualquer classe de operação produtiva; podem ser utilizados, então, terminais de vídeo coloridos, que são equipa

mentos eficientes, versáteis e modernos, onde os operadores atuam diretamente sobre as informações presentes nas telas.

c. Operação automática centralizada

A operação automática somente é possível quando se utilizam os níveis de otimização ou de gerenciamento, que fornecem todos os dados necessários ao andamento normal dos processos para os equipamentos do nível de coordenação que, por sua vez, transferir-los-ão aos controladores de processos, ou seja, todos os dados que os operadores centrais eram obrigados a fornecer no caso anterior agora são calculados e automaticamente transferidos para o nível de coordenação, ficando os operadores responsáveis apenas pelas operações relacionadas com a aceitação de alarmes e o disparo das operações corretivas que não forem disparadas automaticamente pelo sistema, pela supervisão dos dados gerados pelos níveis de otimização e gerenciamento e pela análise de sua influência real nos processos envolvidos.

A passagem de uma classe de operação para outra poderá ser realizada manualmente ou automaticamente e, sempre que ocorrer, deverá ser gerado o alarme indicativo de chaveamento. O chaveamento automático verifica-se somente nos casos onde a ocorrência de falhas impossibilita a operação dos níveis de gerenciamento e otimização ou de coordenação, causando consequentemente a degradação operacional do sistema (chaveamento da operação automática centralizada para a manual centralizada e desta para a local, respectivamente); o chaveamento realizado automaticamente pelo sistema é efetivado somente quando os operadores centrais ou locais o autorizarem.

A passagem manual de uma classe de operação para outra é realizada através de requisição dos próprios operadores, onde os seguintes procedimentos devem ser adotados, no sentido de aumentar a segurança e prevenir mal entendimentos entre os operadores e acidentes que possam prejudicar a produção:

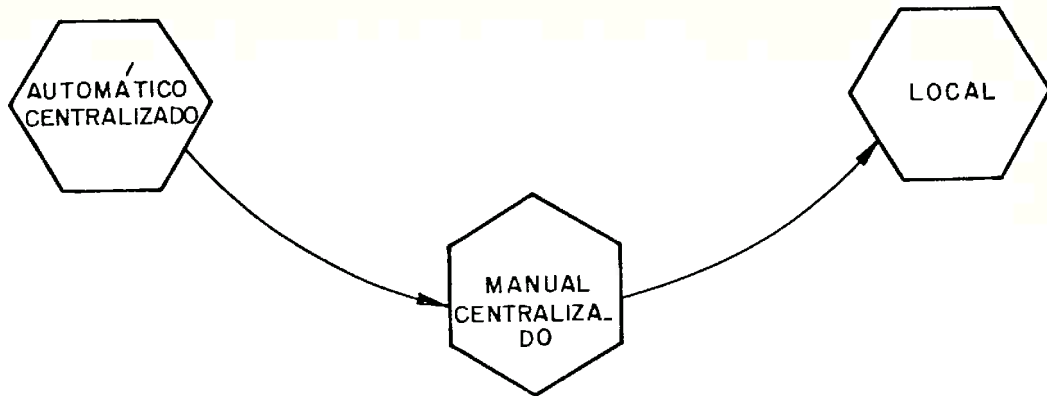
- . Passagem de operação automática centralizada para manual centralizada e vice-versa: é realizada através de comando de controle expedido pelos operadores centrais, sendo gerado o alarme correspondente quando da efetivação da transferência;
- . Passagem de operação manual centralizada para local: este chaveamento pode ocorrer através de pedidos gerados pelos operadores locais ou pelos centrais, sendo em ambos os casos adotado o mesmo tipo de protocolo, o que garantirá que tanto os operadores locais quanto os centrais estarão de acordo com a transferência. Segundo esse protocolo, quando um operador expede um comando de chaveamento para operação local, automaticamente são gerados os alarmes correspondentes nos centros de supervisão e nos controladores de processos envolvidos; ao receber esse tipo de alarme, o outro operador envia um comando aceitando a transferência, que em seguida é implementada.
- . Passagem de operação local para manual centralizada: o procedimento é semelhante ao exposto no caso anterior; neste caso, o pedido pode ser expedido somente pelo operador local, uma vez que os operadores centrais não têm conhecimento das particulares condições dos processos e dos controladores de processos que se encontram em operação local, não podendo, portanto, discernir sobre a viabilidade ou não da transferência;

Passagem de operação local para automática centralizada e vice-versa: este chaveamento não é permitido, sendo obrigatória, portanto, inicialmente a passagem para a operação manual centralizada e posteriormente para a classe desejada.

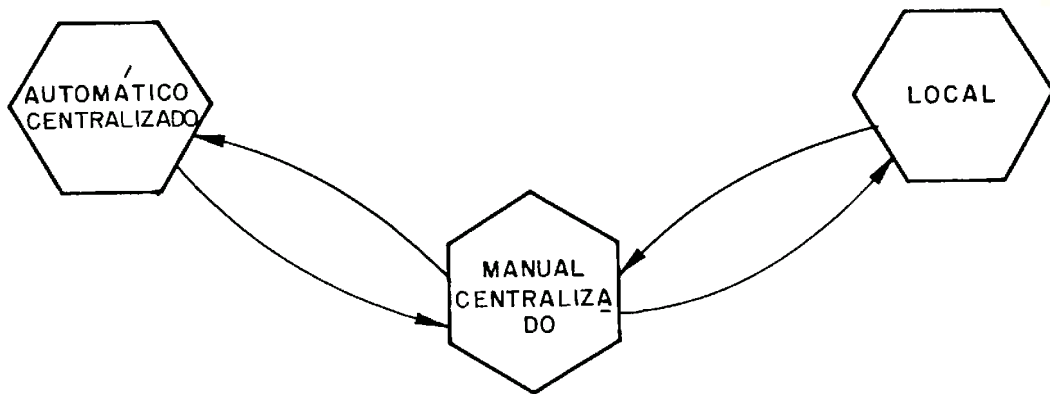
Além das situações acima analisadas, podem ocorrer ainda os seguintes chaveamentos, em condições excepcionais:

- . Passagem de operação manual centralizada para local, quando os centros de supervisão estão fora do ar: nesse caso, se por algum motivo não ocorreu o chaveamento automático, o controlador de processos, ao não receber os sinais de aceitação depois de um intervalo de tempo pré-determinado, considerará o nível superior desconectado e realizará a transferência para a operação local, sem a anuência dos operadores centrais;
- . Passagem de operação automática centralizada para operação local, quando os centros de supervisão estão fora do ar: neste caso, se por algum motivo não for realizado o chaveamento automático para operação local, os operadores locais poderão providenciar o chaveamento manual para operação local, sem que seja observada a seqüência de transferência através de classe de operação manual centralizada.

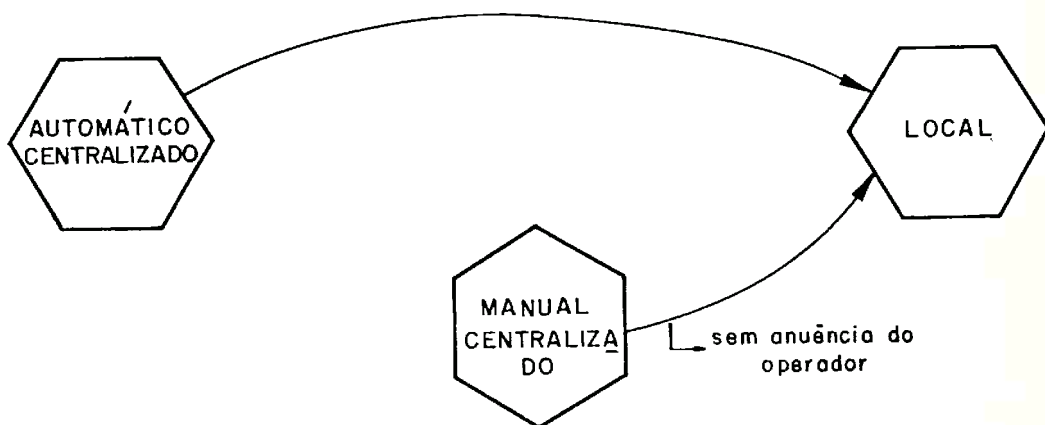
A figura 3.1 resume os tipos de chaveamento permitidos.



a) Chaveamento Automático



b) Chaveamento Manual



c) Chaveamento em casos excepcionais

FIGURA 3.1. TIPOS DE CHAVEAMENTO ENTRE MODOS DE OPERAÇÃO

3.4. Interfaceamento Homem-Máquina

O interfaceamento homem-máquina deve possuir características que proporcionem facilidade de visualização e interpretação das variáveis e demais informações dos processos em andamento, flexibilidade para adaptação às diversas classes de operações produtivas, especialmente nos centros de supervisão, disponibilidade de métodos rápidos, precisos e simples de inserção das variáveis necessárias ao controle e supervisão dos processos e, também, conforto físico e segurança para os operadores do sistema.

Dadas as diferenças marcantes que existem entre as funções exercidas pelos operadores locais e centrais, quando executam as tarefas com as classes de operação local e centralizada, respectivamente, é conveniente que se analise separadamente a interface homem-máquina no contexto dos controladores de processos e dos centros de supervisão, onde estarão presentes os operadores locais e os centrais, respectivamente.

3.4.1. Interfaceamento Homem-Máquina nos Controladores de Processos

A família de controladores de processos deve permitir a utilização de dois tipos de dispositivos de interfaceamento com os operadores, que poderão ser escolhidos pelo usuário de acordo com o nível que se deseja implementar e deixar à disposição dos operadores locais; esses dois tipos de dispositivos são os painéis de controle convencionais e os terminais de vídeo, cujas características básicas e tipos de informação que devem fornecer aos operadores são descritos a seguir:

a. Painéis convencionais

Estes painéis acoplados aos controladores de processos poderão ser projetados de acordo com

o processo que se está controlando, ou podem ser padronizados, englobando os instrumentos necessários para a supervisão e o controle local do processo em questão.

O primeiro tipo deverá ser utilizado em casos onde é primordial a utilização de painéis mímicos para a rápida visualização das condições e pronta atuação sobre o processo (um exemplo freqüente é o controle local de ferrovias, onde através de pequenos painéis mímicos, que contêm o traçado local da via férrea, os operadores monitoram a progressão dos trens e o estado dos equipamentos associados à via, cujas condições podem ser alteradas por intermédio de botoeiras existentes no próprio painel), ou em casos onde os processos a supervisionar e controlar envolvem apenas sinais cuja variação não é contínua, e possuem no máximo três estados, ou seja, variáveis binárias ou ternárias.

Nesses painéis mímicos deverão estar presentes as informações necessárias para a supervisão do processo, tais como as variáveis coletadas e, as situações de alarme, informações suficientes para que os operadores locais decidam a melhor política de controle e a implementem através dos comandos disponíveis no próprio painel; a organização da informação e das botoeiras dependerá única e exclusivamente do tipo de processo envolvido.

O segundo tipo deve ser utilizado nas aplicações onde existem variáveis analógicas a supervisionar e controlar; neste caso, devido aos equipamentos analógicos tradicionais já existentes no mercado, não é conveniente que

os painéis dos controladores de processos do sistema proposto exijam um procedimento muito diverso do tradicional, para que não haja maiores dificuldades no treinamento e adaptação dos operadores ao novo sistema. Sendo assim, os painéis locais, que deverão ser modulares, quando completos possuirão os seguintes dispositivos de monitoração e controle do processo.

- Galvanômetros analógicos de zero centrado para indicação das discrepâncias existentes entre os valores das variáveis de saída do processo e o correspondente valor de ponto de operação, contendo ainda indicadores dos limites de tolerância máxima e mínima, que poderão ser ajustados aos valores desejados, manualmente, pelos operadores locais;
- Galvanômetros analógicos de zero à esquerda para indicação dos valores das variáveis analógicas de saída e de controle do processo. Estes galvanômetros também poderão conter indicações sobre os valores máximos permitidos para as variáveis, cujo ajuste deve ficar a cargo dos operadores locais; convém lembrar que a normalização existente para equipamentos de controle de processos analógicos limita a faixa de atuação dos sinais analógicos entre zero e quatro miliamperes, o que fornece o fundo de escala dos galvanômetros a serem utilizados neste caso;
- Barras luminosas podem ser utilizadas em conjunto ou em substituição aos galvanômetros analógicos de zero centrado ou à esquerda, exercendo as mesmas funções a eles destinadas, com as vantagens de poderem ser pro

gramadas digitalmente quanto ao fundo de escala, à escala propriamente dita e aos valores limites de variação, favorecendo a operação e fornecendo maior flexibilidade, além de uma melhor visualização;

- . Lâmpadas ou LEDs para a indicação do estado das variáveis digitais envolvidas no processo e para a sinalização de alarmes ocasionados pela ultrapassagem dos limites máximos e mínimos estabelecidos para o erro e para as variáveis de saída do processo; no caso dos alarmes deve também haver uma saída digital para acionamento de dispositivos de alerta remotos, independentemente das sinalizações que por ventura venham a ser disparadas pelos equipamentos do nível de coordenação;
- . Botões monoestáveis para alterações passo a passo dos valores dos pontos de operação e para acionamento direto de dispositivos de controle do processo ou quaisquer outros (como algum tipo de equipamento de segurança que venha a ser necessário) acionáveis através de sinais digitais;
- . Potenciômetros deslizantes para imposição direta de valores às variáveis de controle analógicas, quando houver necessidade de operação sobre o processo, desprezando-se os algoritmos de controle (via de regra este recurso não deverá ser utilizado pelos operadores locais);

- . Teclado numérico para a entrada de dados numéricos relativos aos parâmetros dos algoritmos de controle, ou relativos à alteração ou inserção de novos algoritmos ou procedimentos a serem executados pelos controladores de processos, ou relativos à entrada ou alteração dos valores dos limites de segurança ou ainda relativos à configuração e reconfiguração dos módulos que compõem o controlador de processos nos casos de falhas de hardware ou chaveamento de classe de operações; esse teclado também possibilita a realização de outras funções que venham a ser exigidas em aplicações particulares do sistema;
- . Teclado de funções para a seleção das funções a serem executadas pelo controlador, sendo o conjunto de funções mais apropriado para cada aplicação escolhido pelo usuário. Este teclado é também utilizado para a indicação do tipo de dados a serem digitados no teclado numérico;
- . "Displays" de uma linha (contendo caracteres hexadecimais, alfanuméricos e simbólicos) para visualização das funções e seus correspondentes dados numéricos digitados nos teclados de funções e numérico e para a informação ao operador local dos códigos dos alarmes gerados;
- . Conjunto de LEDs para indicação do estado do hardware do controlador, colocando à disposição dos operadores locais informações como a classe de operação (local ou centralizada), o estado do sistema de transmissão

de dados (recepção, transmissão ou erros presentes) e o estado de operação dos diversos elementos e dispositivos que compõem o controlador de processos, indicando quais estão em operação efetiva, quais estão disponíveis para entrar em operação, quais estão desconectados (por estarem apresentando falhas de hardware) e em quais está sendo executado o auto-teste;

- . Conjunto de botões e chaves de controle para a implementação de funções especificamente dirigidas ao hardware do sistema como "resét", disparo de procedimento de testes, chaveamento manual para elementos ou dispositivos disponíveis (por motivos operacionais ou nos casos de falhas dos que estão em operação) e chaveamento de classe de operação.

b. Terminais de vídeo:

Os terminais de vídeo conferem aos controladores de processos maior flexibilidade do que os painéis convencionais, no que se refere à adaptabilidade aos diversos tipos de processos e às suas características operacionais particulares. Isso ocorre devido ao fato de que a alteração do formato de apresentação das informações não requer necessariamente modificações mecânicas e de hardware como no caso dos painéis. Outro ponto importante é que, através do mesmo dispositivo, é possível apresentarem-se as informações de formas distintas e adequadas para cada situação ou para cada tipo de informação que se deseja monitorar; por exemplo, através do terminal de vídeo é

possível, em um certo instante, verificar os estados dos dispositivos de atuação da instalação que comporta o processo através de um esquema gráfico simplificado e, no instante seguinte, monitorar o comportamento das variáveis de saída e os respectivos erros com relação aos pontos de operação, através de barras que simulam os galvanômetros analógicos.

Os terminais de vídeo devem no mínimo fornecer as mesmas opções de operação que os painéis convencionais, possuindo para tanto um teclado alfanumérico para entrada de constantes e edição das informações presentes na tela, um teclado opcional de funções para que a seleção de funções específicas seja rápida e um dispositivo para acionamento de comandos diretamente na tela ("light-pen", "tracking ball" ou "tablet"). Os dispositivos de atuação direta na tela do terminal são particularmente interessantes nos casos onde esquemas gráficos da instalação são utilizados e deseja-se atuar sobre esses esquemas para efetuar operações de controle diretamente nos dispositivos, simplificando muito a visualização e a ação dos operadores.

Como, em geral, quando se utilizam os terminais de vídeo em sua potencialidade plena, a quantidade de software e de dados em forma de tabelas para a montagem dos esquemas da instalação e das demais vistas (como os diagramas de barras) é grande, convém que o software e as tabelas sejam geradas em sistemas de apoio e somente depois de testados sejam incorporados ao controlador de processos ou ao próprio terminal, através de transferências por meios

magnéticos; isto faz com que seja essencial a existência de interfaces com periféricos de armazenamento magnético nos controladores de processo.

Apesar da maior densidade de informações e das características fundamentalmente diferentes dos terminais de vídeo com relação aos painéis de controle dos controladores de processos implementados com tecnologia analógica, os procedimentos operacionais e a visualização das informações não devem diferir significativamente quando se utiliza um ou outro.

3.4.2. Interfaceamento Homem-Máquina no Nível de Coordenação

O interfaceamento homem-máquina no nível de coordenação deve ser feito através de terminais de vídeo coloridos, cuja quantidade deverá ser determinada de acordo com o volume de informações a serem monitoradas em cada caso, exemplo do número de operadores e de centros de supervisão. O número de centros de supervisão está relacionado com a necessidade ou não de criarem-se vários níveis de monitoração; existindo essa necessidade, haverá vários centros de supervisão, cada um responsável por um conjunto de controladores de processo. Conjunto desses centros, por sua vez, são supervisionados por centros de nível superior, obtendo-se assim uma visão global e centralizada de todos os processos envolvidos na operação produtiva.

Os terminais de vídeo devem oferecer possibilidade de de operação direta na tela através de dispositivos de atuação especiais (como "light-pen", "tracking ball" ou "tablet"), e devem possuir teclados alfanuméricos e de funções para entrada de dados e seleção das funções específicas dos terminais e dos equipamentos do nível de coordenação, respectivamente. Os modos de representa

ção das informações a serem monitoradas são os seguintes:

- . Diagramas de barras coloridas: meio de informar as alterações das variáveis de saída e de controle do processo e o erro existente entre as variáveis de saída e o valor dos respectivos pontos de operação. Os valores limites máximos e mínimos permitidos deverão ser marcados com traços vermelhos, de acordo com a escala previamente programada. As cores verde, amarela e vermelha serão utilizadas em cada barra para a indicação de que o erro ou a variável em questão está dentro da faixa de segurança, nas proximidades dos limites e fora dos limites estabelecidos, respectivamente; o limite entre o verde e o amarelo deve ser programado pelos operadores de acordo com a velocidade dos processos envolvidos e entre o amarelo e o vermelho é dado pelo valor dos limites pré-estabelecidos, cuja ultrapassagem gera um alarme que deve ser reconhecido pelo operador e que será também impresso no relatório de operações;
- . Representações gráficas esquemáticas (lay outs): meio de informar o estado dos dispositivos de controle e de coleta de dados do equipamento onde reside o processo, indicando-se esquematicamente a posição de cada um dentro da instalação como um todo. Na medida do possível, os dispositivos deverão ser representados com seus símbolos padronizados para a classe de processos que estão sendo supervisionados e controlados sendo, entretanto, toleradas aproximações nos símbolos de forma a ser possível a utilização de terminais de vídeo semigráficos, que são significativamente mais baratos que os gráficos.

Os dispositivos que apresentarem situações anômalas deverão ter sua cor alterada para vermelha e devem permanecer piscando até que o operador os identifique perfeitamente e avise ao sistema que a situação já foi observada, quando a informação parará de piscar e permanecerá na cor vermelha até que seja sanado o problema detectado.

Quando o porte do diagrama esquemático da instalação física não for compatível com a dimensão da tela do terminal de vídeo, deve ser possível particioná-lo em vários terminais diferentes, ou em várias vistas consecutivas na tela do mesmo terminal, que deverão ser facilmente chaveadas, enfatizando os pontos onde as várias partes do diagrama se encaixam. Caso não seja possível a partição, devem ser utilizados esquemas de aproximação (zoom), onde somente a região selecionada da instalação ocuparia a tela toda do terminal, aumentando-se o grau de detalhe, mas perdendo-se a visão de conjunto da instalação. Esse problema pode ser contornado quando há disponibilidade de vários terminais de vídeo, pois o diagrama geral poderá ser mostrado em alguns dos outros.

Convém observar que os diagramas esquemáticos são excelentes para a monitoração de variáveis discretas; em processos onde a grande maioria das variáveis de controle e de saída são digitais se torna imprescindível a sua utilização (por exemplo, em sistemas de controle ferroviário e de tráfego urbano);

- . Tabelas: são um meio complementar de informar a situação das variáveis monitoradas, com a vantagem de permitirem a análise histórica dos va

lores e até a previsão da alteração futura das variáveis, visando determinar os melhores pontos de operação a serem adotados para ajustar o comportamento dos processos;

- . Gráficos: são, como as tabelas, um meio complementar de representar as variáveis monitoradas, fornecendo, entretanto, uma característica importante e praticamente impossível de ser obtida com o uso exclusivo das tabelas, que é a comparação entre os valores de variáveis monitoradas, de erros e de pontos de operação, implementada através do traçado dos respectivos gráficos em cores distintas. As tabelas e gráficos podem também ser utilizados para fornecerem aos operadores centrais as informações sobre os valores de pontos de operação e de outras variáveis calculadas pelos computadores dos níveis hierárquicos de otimização e gerenciamento antes que sejam enviadas aos controladores de processos;
- . Campos alfanuméricos: localizados nas primeiras e nas últimas linhas dos terminais de vídeo e utilizados para troca de informações entre o sistema e os operadores, sendo os superiores utilizados para as mensagens do sistema, como códigos de alarmes e respostas a perguntas efetuadas, e os inferiores utilizados para a chamada de funções especiais através de dispositivos de atuação direta na tela; essas funções são, via de regra, aquelas que não possuem símbolos ou áreas de atuação nas figuras que estão sendo mostradas na tela.

Como já foi exposto deve ser possível a atuação direta na tela dos terminais, através de dispositivos especiais. Entretanto, no caso de falha destes, ou por opção dos operadores, os teclados alfanuméricos e de funções devem ter condições de assumir todas as operações que seriam realizadas por esses dispositivos, através do posicionamento manual do cursor e do pressionamento de um botão de ativação da função (operação análoga à realizada pelos dispositivos especiais, cuja única diferença é o posicionamento direto do cursor na posição desejada).

O procedimento para escolha e efetivação de uma determinada função ou comando utilizando a tela dos terminais de vídeo é o seguinte:

- 1º - Posicionar a vista adequada na tela do terminal de vídeo;
- 2º - Posicionar o cursor sobre o dispositivo a que se refere o comando, ou na região determinada para a função desejada;
- 3º - Pressionar o dispositivo de ativação, que deve acarretar o aparecimento das opções de comando existentes para o dispositivo em questão no campo alfanumérico da tela, ou então redundar na execução da função desejada;
- 4º - Para os casos de comandos, posicionar o cursor sobre a opção desejada e pressionar o dispositivo de ativação, acarretando o disparo das tarefas de execução do comando desejado; a efetivação do comando deverá então ser verificada pelo operador através da monitoração das alterações que o comando deveria acarretar.

O conjunto mais adequado de funções e, especialmente, de comandos, deve ser especificado para cada particular aplicação do sistema; entretanto, o conjunto mais freqüentemente utilizado é o seguinte:

- . Alteração dos limites máximos e mínimos: a seleção do limite a ser alterado é realizada através do procedimento indicado anteriormente no diagrama de barras luminosas correspondente e o novo valor do mesmo, digitado no teclado alfanumérico; a sua efetivação causa a alteração dos limites no centro de controle e nos controladores de processos que manipulam a variável em questão;
- . Alteração de escala ou fundo de escala nos diagramas barras: após a seleção da variável cuja escala se deseja alterar, a nova escala é digitada no teclado alfanumérico; esta função, ao ser efetivada, altera apenas a escala no centro de supervisão, deixando a escala dos painéis locais inalteradas;
- . Alteração de pontos de operação: as variáveis cujos pontos de operação devem ser alterados devem ser relacionados a partir dos diagramas esquemáticos da instalação ou de barras, entrando-se a seguir com os novos valores através do teclado alfanumérico; quando da efetivação da função, os novos valores serão utilizados para atualização das informações presentes nos centros de supervisão e, também, enviados aos controladores de processos envolvidos, para a devida atualização dos seus algoritmos e mostradores;

- . Alteração de parâmetros de algoritmos de controle ou supervisão residentes nos controladores de processos: a seleção deve ser feita da mesma forma que no caso anterior, sendo que os novos parâmetros fornecidos atualizarão as tabelas necessárias nos centros de supervisão e serão enviados para os controladores de processos envolvidos;
- . Imposição de valores em variáveis de controle: feita a seleção da mesma forma que nos dois últimos casos, os novos valores devem ser digitados no teclado alfanumérico e enviados aos controladores de processos; entretanto, nos casos de variáveis digitais, deve haver a opção de que o novo estado seja determinado por operações com os dispositivos de atuação direta na tela, selecionando a condição desejada pelas informações que são apresentadas no campo alfanumérico inferior, condição essa que será apresentada aos operadores após a seleção do comando e apagada depois de sua ativação;
- . Chamada de novas telas: novas telas poderão ser chamadas em substituição às existentes nos terminais de vídeo, através do acionamento de teclas de função ou diretamente acionando o dispositivo de atuação sobre as janelas correspondentes existentes no campo alfanumérico inferior;
- . Armazenamento, impressão ou traçado de gráficos de variáveis (data logging): através de teclado de funções ou de operação com o dispositivo de atuação nas telas deve ser possível o início ou a suspensão do armazenamento, impressão ou traçado de gráficos em tempo real de variáveis selecionadas.

A partir das características, funções e particularidades descritas neste capítulo serão definidas a arquitetura e as características do hardware para a implementação do sistema, de modo a se obter um sistema que atenda às exigências dos usuários e à evolução dos conceitos operacionais e de sistemas digitais aplicados a controle de processos.

CAPÍTULO 4

ARQUITETURA PROPOSTA

4. ARQUITETURA PROPOSTA

A definição da arquitetura do sistema aqui proposto foi elaborada considerando-se principalmente as características, as funções e o interfaceamento homem-máquina detalhados no capítulo anterior. Entretanto, fatores como a compatibilidade com relação à evolução tecnológica de componentes eletrônicos na área de microeletrônica, com relação à evolução dos meios e das técnicas de comunicação de dados e os avanços da área de arquitetura de sistemas digitais também foram considerados.

Analisando-se a evolução histórica dos sistemas de controle e automação de processos, apresentada no capítulo 2 deste trabalho, aliada aos novos conceitos de arquitetura de sistemas digitais e à evolução da microeletrônica e, ainda, considerando especialmente o fato de que o sistema como um todo deve ser hierarquizado, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema com arquitetura distribuída, com ênfase na utilização de microprocessadores.

Esta opção é justificada principalmente porque grande parte das características de especificação do sistema, apresentadas no capítulo anterior, são também características dos sistemas distribuídos. Essas características são as seguintes:

- a. Níveis de hierarquia: utilizando arquitetura distribuída é possível projetar e implementar sistemas de controle e automação complexos claramente organizados de acordo com estágios de hierarquia bem definidos [9] [43] [61];
- b. Disponibilidade: a utilização de arquiteturas distribuídas leva a sistemas de alta disponibilidade, através da possibilidade de uso, a custo relativamente baixo, de esquemas de reconfiguração e de redundâncias totais ou parciais, em partes críticas do sistema; esses esquemas permitem que se obtenha sistemas onde a ocorrência de falhas no hardware não impliquem em perda total do sistema, mas sim em

degradação do seu desempenho, ou seja, que se obtenha sistemas transparentes a falhas (fail-soft systems). Para ilustrar esse ponto, pode-se considerar um sistema contendo os quatro níveis de hierarquia: se ocorrer uma falha nos equipamentos do quarto nível (nível de gerenciamento) e não houver outros em configuração redundante para substituí-los, o operador deverá assumir as tarefas que anteriormente eram executadas automaticamente pelo equipamento em pane, ficando o sistema operando com apenas três níveis e portanto com desempenho pior, porém ainda executando parte de suas funções [6] [31] [66] [88] [89];

- c. Confiabilidade: sistemas com arquitetura distribuída permitem que cada módulo seja projetado com a confiabilidade requerida, conseguindo-se com isso a confiabilidade desejada para o sistema completo a um custo menor [4] [6] [13] [43] [50] [88] [89];
- d. Modularidade: a implementação de um sistema de arquitetura distribuída leva obrigatoriamente a sistemas modulares, onde cada subsistema autônomo, dotado de capacidade de processamento, pode, por exemplo, ser considerado um módulo do sistema [43] [88];
- e. Flexibilidade: a modularidade intrínseca dos sistemas de arquitetura distribuída leva facilmente à possibilidade de substituição de módulos inteiros ou alteração do software de módulos existentes, a fim de adaptar o sistema, a custos mais baixos, a novos usuários e condições [4] [43] [50] [61] [89];
- f. Expansibilidade: a arquitetura distribuída possibilita o projeto de sistemas que comportam um crescimento modular e organizado, partindo-se de sistemas mínimos e chegando-se ao máximo previsto com custos incrementais que dependem do porte da expansão desejada [43] [50] [88] [89];

- g. Manutenibilidade: a manutenção corretiva em um sistema de arquitetura distribuída é bastante simples e rápida, pois o defeito pode ser sanado com a troca de módulos completos; além disso, a implementação de procedimento de teste dos recursos de cada módulo é, via de regra, fácil e barata. A facilidade e rapidez das manutenções corretivas aliadas à possibilidade da realização das mesmas com o sistema em operação e à existência de módulos redundantes, são os fatores que mais colaboram para a alta disponibilidade proporcionada pelos sistemas com arquitetura distribuída [6] [50];
- h. Custo: apesar do custo de desenvolvimento de um sistema de arquitetura distribuída ser mais elevado que o de sistemas convencionais, para o usuário final, normalmente, o custo do primeiro é mais baixo, devido aos seguintes fatos [20] [37] [43] [50] [61] [66] [73]:
- . custo de instalação menor, pois com o aumento da capacidade de processamento remoto e necessária uma menor quantidade de cabos para transmissão de sinais, as salas de controle são menores e não necessitam de sofisticados equipamentos de aclimatação, como os necessários para os sistemas implementados com grandes computadores convencionais;
 - . custo de desenvolvimento maior, sendo entretanto amortizado rapidamente, pois um maior número de sistemas serão implantados em um tempo menor, principalmente pelo fato de que sistemas com arquitetura distribuída podem ser projetados para uma grande gama de aplicações, devido à flexibilidade que lhes é inerente;
 - . o custo das expansões é incremental, possibilitando ao usuário investimentos iniciais de acordo com o estágio de automação que deseja e novos investimentos ao longo

da vida do sistema, à medida que for necessário aumento da automação das suas instalações.

Mas além dessas características que justificam plenamente a adoção da arquitetura distribuída, foi também considerado que a tendência para os próximos anos é utilizar cada vez mais sistemas com esse tipo de arquitetura e, também, que é possível obter-se grande independência com relação à evolução tecnológica da microeletrônica e a conseqüente obsolescência dos componentes, pela definição completa da interface entre os módulos do sistema, durante a fase de projeto do mesmo, e pela substituição por novos módulos projetados com componentes atuais, quando da obsolescência dos antigos [9] [11] [43] [49].

Uma vez definida a utilização da arquitetura distribuída, o projeto do sistema foi realizado utilizando-se uma metodologia adequada a esse tipo de arquitetura, e para tanto foi aplicada uma simplificação na metodologia de projeto de sistemas distribuídos, baseada na caracterização de processos, descrita no capítulo 5 da referência [88]. O projeto, então, teve as fases de definição do problema, seguida da especificação funcional e de desempenho do sistema (descrita no capítulo 3 deste trabalho); a essas duas fases seguiu-se a de projeto da arquitetura onde foram realizadas tarefas como a determinação dos macroprocessos necessários, a partição do sistema em macroblocos, a definição da estrutura de interconexão, o estabelecimento dos protocolos de transferências de dados e controles e, finalmente, o detalhamento de cada um dos blocos definidos nas fases anteriores.

A seguir, neste capítulo, será descrita a arquitetura proposta para o sistema, onde para evitarem-se dúvidas, os processos supervisionados e controlados serão chamados de processos físicos e os processos lógicos simplesmente de processos.

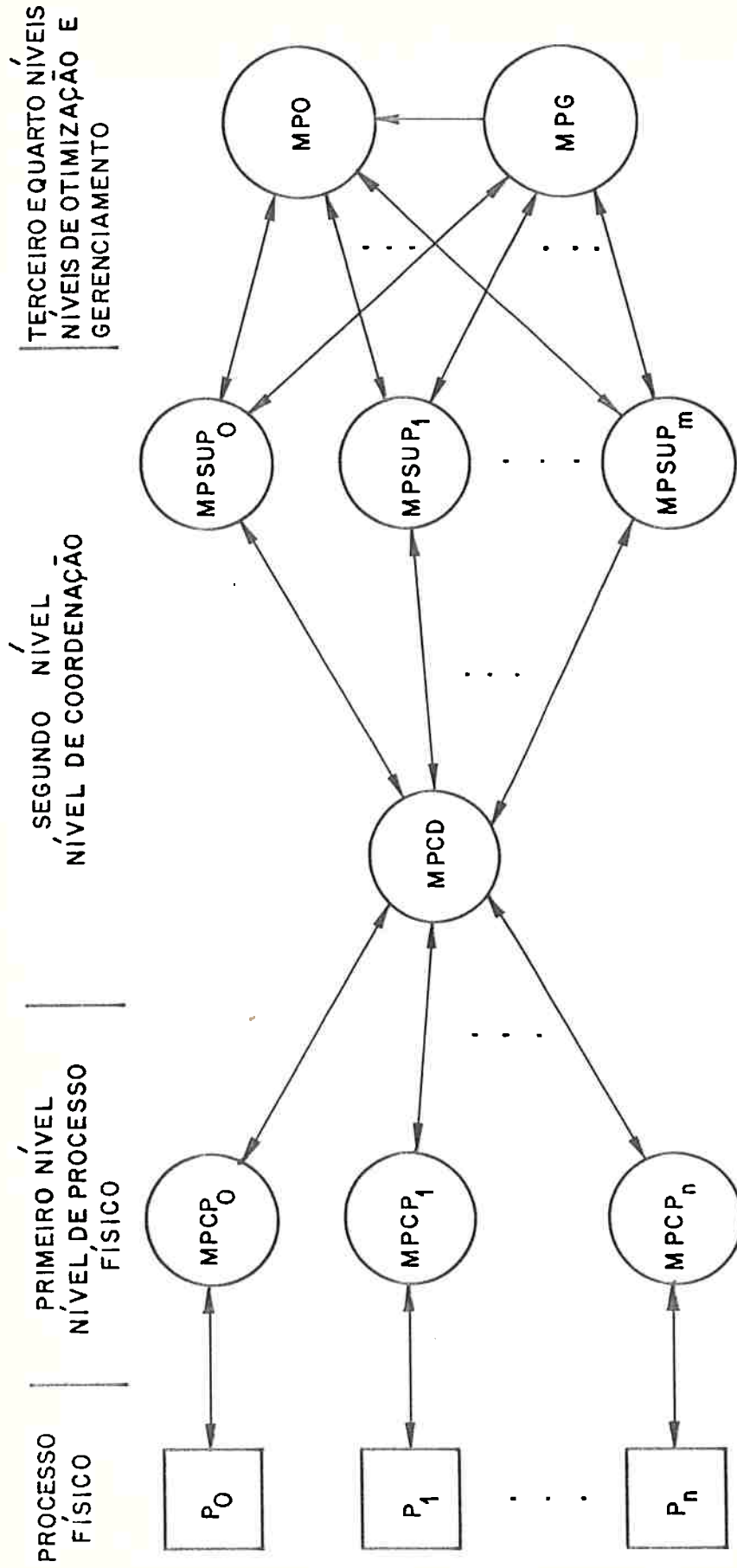
4.1. Caracterização dos Macroprocessos

Considerando os comentários dos capítulos anteriores e baseando-se na especificação apresentada, o sistema deve possuir uma estrutura hierarquizada, onde cada nível de hierarquia corresponde a um macroprocesso. Ter-se-iam, então, os macroprocessos de supervisão e controle de processos físicos, de coordenação (ou de supervisão central) dos processos físicos, de otimização e de gerenciamento, correspondentes ao primeiro, segundo, terceiro e quarto níveis de hierarquia respectivamente.

De um modo geral, haverá nas aplicações do sistema não apenas um, mas uma série de macroprocessos de supervisão e controle de processos físicos, com capacidade de trocar informações referentes à parte ou ao processo físico que controlam. A existência de uma série de macroprocessos é motivada ou pela necessidade de incrementar-se a disponibilidade, ou por imposições práticas da instalação onde o sistema será implantado, ou devido à existência de vários pequenos processos físicos independentes ou ainda porque é aconselhável a partição de um grande processo físico (com um grande número de variáveis manipuladas) em uma série de pequenos.

O mesmo tipo de consideração é aplicável ao macroprocesso de supervisão central onde, por necessidade de implantação de esquemas de operação hierarquizada ou de incremento da disponibilidade, ou ainda por outras exigências, é necessário prever-se vários macroprocessos de supervisão central com capacidade de se comunicarem entre si.

A figura 4.1 mostra os macroprocessos citados e o fluxo de informações entre eles. Nessa figura pode-se notar, no nível de coordenação, a existência do Macroprocesso de Comunicação de Dados - MPCD, cuja principal responsabilidade é o gerenciamento do fluxo de informações entre os Macroprocessos de Supervisão e Controle de Processos Físicos - MPCP e entre esses últimos e os Macroprocessos de Supervisão Central-MPSUP.



P_i - PROCESSO OU SUBPROCESSO FÍSICO
 $MPCP_i$ - MACROPROCESSO DE CONTROLE E SUPERVISÃO DE PROCESSOS FÍSICOS
 $MPCD$ - MACROPROCESSO DE COMUNICAÇÃO DE DADOS
 $MPSUP_i$ - MACROPROCESSOS DE SUPERVISÃO CENTRAL
 MPO - MACROPROCESSO DE OTIMIZAÇÃO
 MPG - MACROPROCESSO DE GERENCIAMENTO

FIGURA 4.1 - MACROPROCESSOS

4.1.1. Macroprocessos de Supervisão e Controle de Processos Físicos - MPCP

Estes processos são responsáveis pela supervisão e controle dos processos físicos e pelo gerenciamento dos recursos necessários para a execução dessas tarefas, ou seja, no caso geral, são responsáveis pela aquisição das variáveis do processo físico, pelo cálculo das variáveis de controle, baseado nos valores de pontos de operação e de outros parâmetros pertinentes, e pela monitoração das condições de alarme.

Cada MPCP se comporta como uma entidade autônoma dentro do sistema como um todo, sendo perfeitamente capaz de exercer suas funções sem necessitar de informações provenientes de outros processos dos níveis hierárquicos superiores, sendo que, nesse caso, as informações e parâmetros necessários são fornecidos por operadores locais, que suprem esses dados por intermédio dos painéis de controle locais, dedicados a esse fim. Esse comportamento é interessante devido aos seguintes aspectos:

- . O sistema mínimo é composto de apenas um MPCP, podendo crescer a partir daí tanto horizontalmente com a utilização de mais MPCPs quanto verticalmente com a incorporação dos processos relativos aos níveis hierárquicos superiores. Com esse tipo de crescimento, a implantação do sistema pode ser feita de forma gradual, adaptando-se perfeitamente às necessidades iniciais do usuário e às expansões que porventura venham a ser necessárias posteriormente, com um baixo custo inicial e custos incrementais à medida que as expansões forem sendo necessárias;
- . Nos sistemas compostos de mais de um nível hierárquico, a existência de falhas que impedem a operação normal dos processos do nível superior causando, conseqüentemente, a interrupção do fluxo de informações para os MPCPs, não impede o andamento da operação

produtiva, com os operadores locais fornecendo as informações necessárias, ou seja, com a falha o desempenho do sistema degrada, mas a operação produtiva não para, minimizando-se portanto as suas consequências.

Um MPCP pode ser responsável por um processo físico completo ou apenas por parte dele, sendo que neste caso, se houver necessidade de troca de informações entre os diversos MPCPs, que em conjunto tratam do processo físico como um todo, o intercâmbio será de responsabilidade do MPCD que o executará de forma transparente aos MPCPs; isto é, para os MPCPs tudo se passa como se cada um deles tivesse sob sua responsabilidade um processo físico completo, permanecendo portanto independentes e autônomos.

4.1.2. Macroprocessos de Supervisão - MPSUP

Estes macroprocessos são responsáveis pelo gerenciamento dos MPCPs, pela manutenção da base de dados do sistema, pela interpretação e execução dos comandos recebidos dos operadores centrais ou dos níveis hierárquicos superiores, relativos à configuração e parametrização dos MPCPs, e pela execução das funções correspondentes à monitoração pelos operadores centrais das variáveis dos processos físicos sob jurisdição do sistema, ao registro dessas variáveis (data logging) quando requisitado e ao interfaceamento com os níveis hierárquicos superiores.

Assim como nos MPCPs, cada MPSUP é completamente autônomo no que tange aos outros MPSUPs que porventura existam, e aos processos existentes nos níveis superiores. Quando existem vários MPSUPs que compartilham recursos, os problemas de possíveis comandos conflitantes gerados externamente ao sistema (pelo operador, por exemplo) são resolvidos através de algoritmos de proteção e intertravamento em cada MPSUP, independentemente.

4.1.3. Macroprocesso de Comunicação de Dados - MPCD

Como já foi citado anteriormente, a principal função deste processo é o gerenciamento do fluxo de informações entre processos dos dois primeiros níveis de hierarquia. Além disso, este macroprocesso deve realizar o intercâmbio de mensagens de forma transparente aos MPCPs e MPSUPs, sendo que no caso dos MPCPs ele deve inclusive executar as funções de geração das mensagens necessárias, como será detalhado nas próximas seções deste capítulo.

O MPCD é responsável, também, pelo transporte eficiente e seguro das mensagens no meio de comunicação, que é feito através de um protocolo de comunicações, especialmente projetado para o sistema, e pelo gerenciamento e uso efetivo de recursos de transmissão de dados que por ventura sejam redundantes.

Na realidade, o MPCD é distribuído, sendo que a cada MPCP e MPSUP é acoplado um mesmo conjunto de processos que gerenciam e executam a geração, a transmissão e a recepção de mensagens de forma transparente aos macroprocessos a que estão acoplados.

4.1.4. Macroprocesso de Otimização - MPO

Este macroprocesso é responsável pelo gerenciamento e execução dos algoritmos de otimização. Para a execução dos algoritmos, o MPO recebe mensagens dos MPSUPs, contendo as informações necessárias sobre o andamento dos processos físicos, e do macroprocesso de gerenciamento, contendo as políticas a serem adotadas; como resultado são enviadas mensagens aos MPSUPs, contendo os novos valores de pontos de operação e as possíveis alterações nas funções de seqüenciamento.

4.1.5. Macroprocesso de Gerenciamento - MPG

Este macroprocesso é responsável pela política global de gerenciamento da operação produtiva, gerando parâmetros que serão utilizados pelo MPO, pelos MPSUPs e pelos operadores centrais, de forma que seja implementada a política determinada, ajustando a produção de acordo com as restrições da demanda, com a disponibilidade de matéria prima e de equipamentos e com as necessidades aventadas pelo departamento de "marketing" da empresa, onde o sistema está sendo aplicado.

Convém ressaltar, que tanto o MPG quanto o MPO são macroprocessos que, geralmente, são executados em computadores de médio ou grande porte e possuem altos custos de desenvolvimento; por essa razão, o sistema aqui proposto deve permitir que os processos MPG e MPO já desenvolvidos e sendo executados em qualquer tipo de computador possam ser utilizados, devendo-se apenas implementar os processos de interfaceamento entre eles e os MPSUPs.

4.1.6. Fluxo de Informações

O fluxo de informações entre os diversos macroprocessos, comentado resumidamente nos itens anteriores e mostrada na figura 4.1., através de setas interligando os macroprocessos, é descrito a seguir.

O MPCP se comunica diretamente com o processo ou subprocesso físico que está sob sua jurisdição, de onde são lidas todas as variáveis necessárias ao controle e à supervisão desse processo ou subprocesso físico e ainda de outros que dependam de informações desse primeiro, e para onde são enviadas as variáveis de controle que atuarão sobre o processo físico, a fim de controlá-lo. Resumidamente, entre o MPCP e os processos físicos circulam informações sobre esses processos físicos e sobre as variáveis que os controlam.

A troca de mensagens entre os MPCPs, entre os MPSUPs, e entre estes últimos e os MPCPs é realizada através do MPCD que, a partir das informações de um MPCP, gera mensagens contendo informações de dados, de estados e de alarmes e as envia para os macroprocessos envolvidos com o processo físico em questão; no sentido inverso, mensagens de configuração ou reconfiguração das unidades físicas que comportam os MPCPs e o MPCD e de requisição de informações sobre o estado dos processos físicos e das unidades de hardware do sistema são requisitadas pelos MPSUPs ao MPCD, que as gera e envia aos macroprocessos envolvidos.

Entre os MPSUPs e os níveis hierárquicos superiores são trocadas mensagens contendo, em um sentido, informações sobre o andamento dos processos físicos e sobre o estado geral do sistema (apenas para o MPG) e no outro informações sobre pontos de operação e funções de seqüenciamento. Estas últimas, após serem processadas pelo MPSUP envolvido, poderão gerar mensagens de configuração que afetarão os MPCPs de forma a atualizar os seus parâmetros de controle de acordo com as novas políticas ditadas pelos níveis superiores.

Convém notar que, uma vez definidos os macroprocessos e o fluxo de informações, é possível implementar o sistema modularmente, dosando-se a capacidade de processamento de acordo com a necessária para cada macroprocesso e a confiabilidade requerida para o seu hardware. Essa adequação de cada módulo de hardware à sua função, aliada ao fato de que as falhas que paralizam macroprocessos não ocasionam a paralização de outros do mesmo nível ou de níveis hierárquicos inferiores, conduz ao projeto de um sistema com custo menor para uma disponibilidade maior.

4.2. Definição da Estrutura de Interconexão

Uma vez definidos e caracterizados os macroprocessos e o fluxo de informações entre eles, o próximo passo é definir a estrutura da interconexão entre os módulos de hardware que abrigam os macroprocessos, através da qual é possível a troca de mensagens entre eles.

Como já apresentado, cada um dos macroprocessos deve possuir um hardware hospedeiro, um mecanismo de troca de mensagens e um meio de comunicação pelo qual transmite essas mensagens; nesse sentido foi projetada a estrutura de hardware mostrada na figura 4.2., onde a cada macroprocesso associam-se um módulo de hardware e os caminhos para transferências de mensagens; os mecanismos de troca de mensagens, que devido às características particulares dos módulos variam de acordo com os níveis de hierarquia envolvidos, serão detalhados no decorrer do texto. A figura 4.2 apresenta os seguintes blocos:

- . Controlador de Processos - CP: este bloco abriga o MPCP, responsável pela supervisão e controle do processo ou subprocesso físico a que está acoplado, enviando e recebendo informações através de sinais analógicos e digitais, e também contém a infraestrutura necessária para a troca de mensagens com o MPCD;
- . Centro de Supervisão - CSUP: este bloco abriga o MPSUP e compõem-se basicamente dos equipamentos que implementam o interfaceamento homem-máquina, dos processadores onde são executados os processos do MPSUP e da infraestrutura necessária para viabilizar a troca de mensagens entre este e os demais processos dos níveis inferiores e superiores;
- . Centro de Computação - CCOMP: este bloco abriga os MPO e MPG e corresponde a computadores que se comunicam com os CSUPs através de canais de comunicação seriais;
- . Sistema de Transmissão de Dados dos CPs - STD-CP : este bloco representado esquematicamente pela Via de Comunicações Interprocessos - VCP, abriga, distribuída ao longo dessa via, o MPCD.

No que tange à estrutura de interconexão propriamente dita, o ponto que gerou o maior volume de projeto foi a inter-

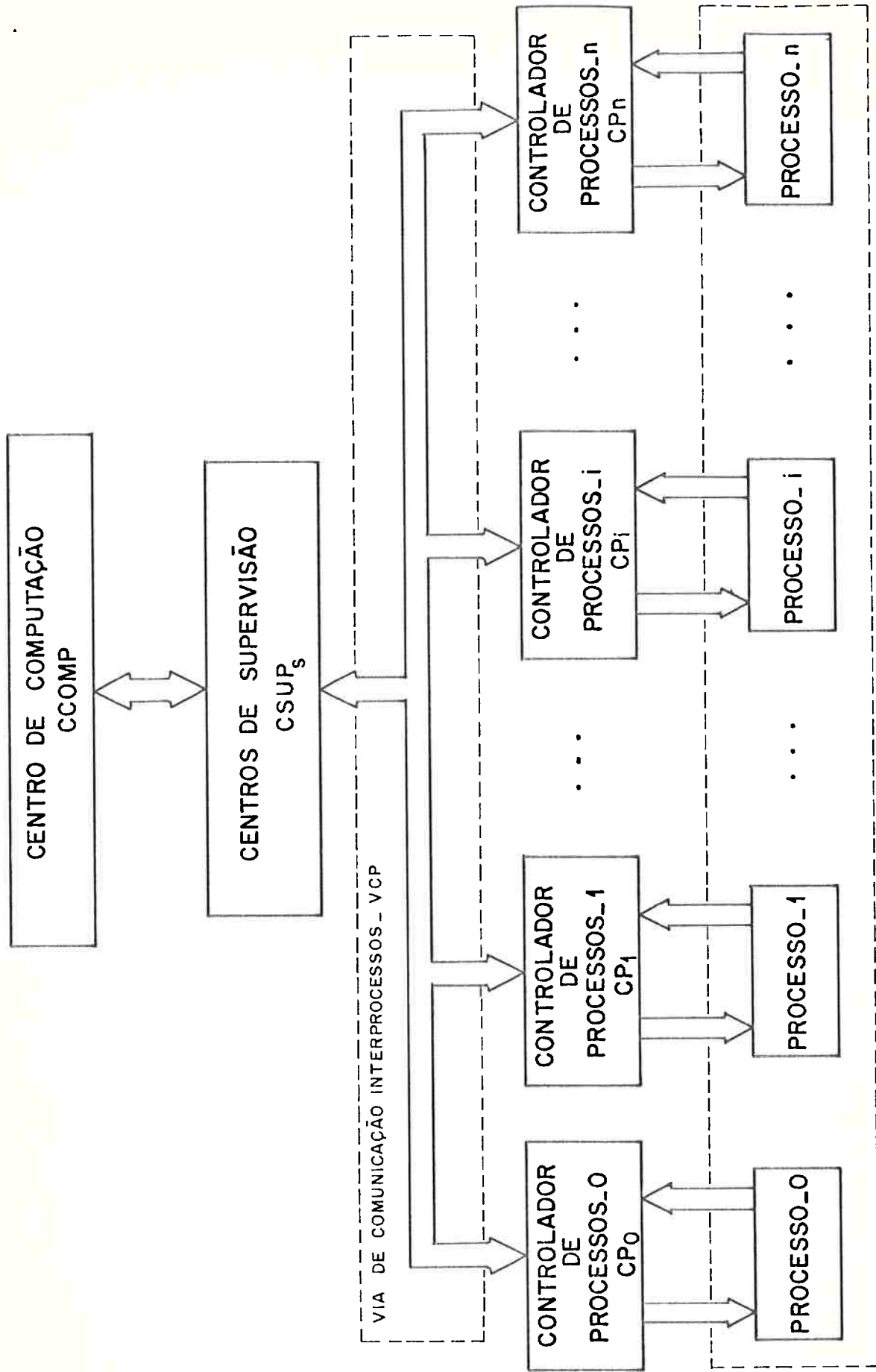


FIGURA 4.2. ESTRUTURA SIMPLIFICADA DO HARDWARE DO SISTEMA

ligação entre os CPs e entre estes e os CSUPs, isso porque a conexão entre os CPs e os processos físicos é, via de regra, ponto a ponto e possui normalização internacional quanto aos níveis de corrente e tensão; ainda mais, a conexão entre os CSUPs e os níveis superiores também é simples, sendo realizada através de canais seriais. Foram escolhidos canais seriais para que o acoplamento de computadores convencionais fosse facilitado, uma vez que tais computadores geralmente possuem canais seriais disponíveis em seus multiplexadores de comunicação e também porque é muito comum encontrarem-se computadores com aplicações que englobam os processos de otimização e gerenciamento, já implantados, e cujo custo de transferência para outra máquina diferente é elevado.

A seguir será descrita a estrutura e o mecanismo utilizados para a interconexão dos CPs e CSUPs que por simplicidade, são chamados de Sistema de Transmissão de Dados dos CPs.

4.2.1. Sistema de Transmissão de Dados dos CPs-STD-CP

Para a determinação da estrutura de interconexão a ser usada no STD-CP foi utilizada, como ferramenta de projeto, a taxonomia definida por George A. Anderson e E. Douglas Jensen na referência [3] e citada em [83] e [88], cujo esquema é mostrado na figura 4.3, onde em cada um dos pontos de decisão foram considerados fatores como modularidade de custo e de alocação de novos elementos, flexibilidade de conexão, tolerância a falhas, complexidade de implementação e projeto e possibilidade de congestionamento.

O primeiro ponto a se considerar está relacionado com a estratégia a ser adotada para a transferência de mensagens entre os diversos elementos conectados ao STD-CP. Graças, principalmente ao pequeno número de elementos que, via de regra, serão conectados ao STD-CP, às distâncias relativamente pequenas entre os pontos receptores e geradores de mensagens, ao fluxo de

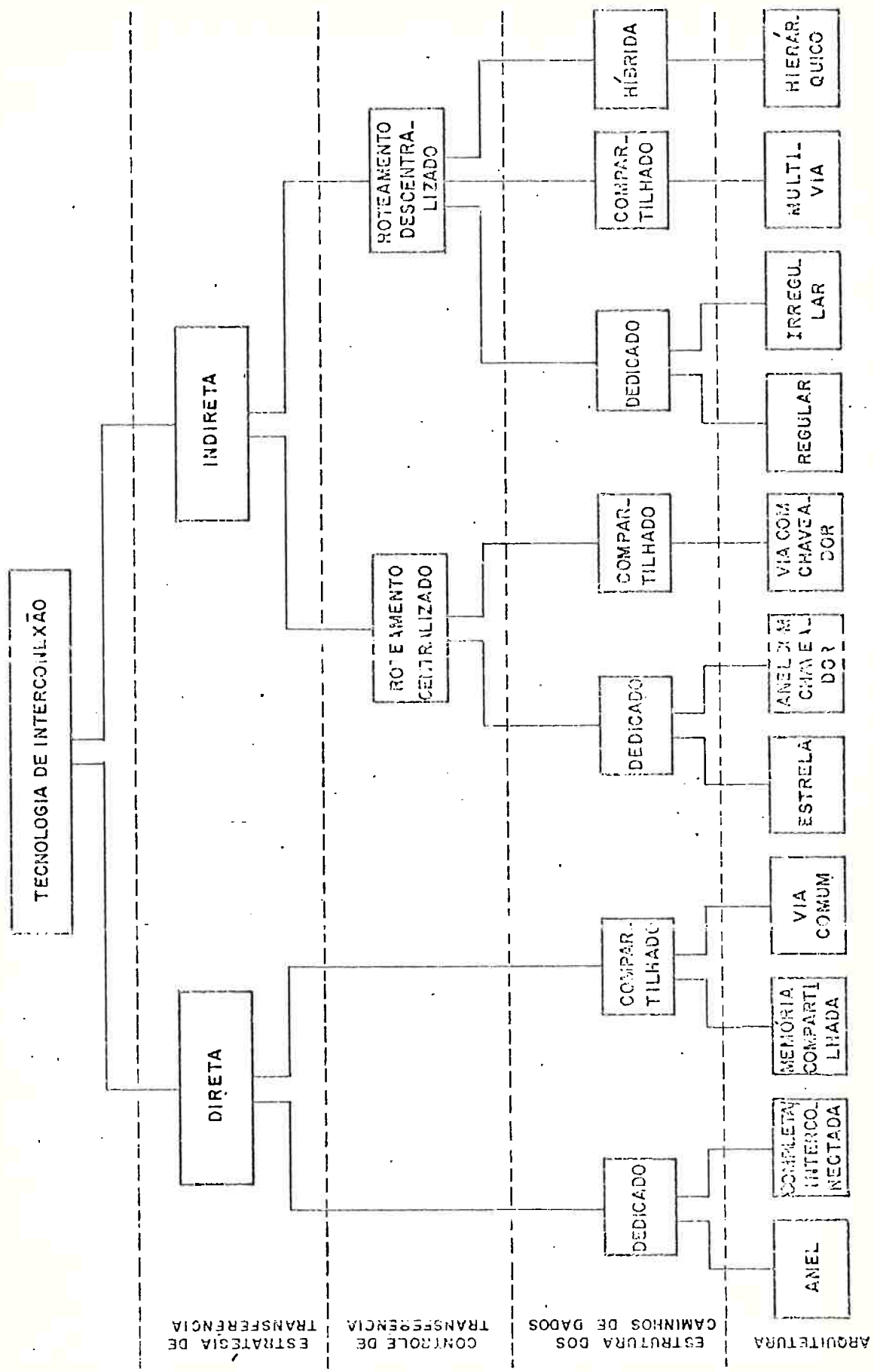


FIGURA 4.3. TAXIONOMIA DE A. N. ERSON E JENSEN

mensagens relativamente baixo e a existência de um grande número de mensagens curtas (como será mostrado na seção 4.3, quando for tratado do protocolo de mensagens entre os macroprocessos), e a sua simplicidade foi escolhida a técnica de transferência direta, eliminando-se dessa forma a necessidade de chaveadores e algoritmos de roteamento que, via de regra, são complexos e caros.

Uma vez escolhida a estratégia de transferência direta, os próximos pontos de decisão são a determinação dos meios de transferência, ou seja, se serão utilizados caminhos (paths) dedicados ou compartilhados para a transferência das mensagens e a determinação do esquema de conexão que melhor se aplica.

Os requisitos necessários para a troca de mensagens que devem ser supridos pelo STD-CP incluem o intercâmbio de informações entre os diversos CPs, entre eles e os CSUPs, entre os próprios CSUPs e entre os elementos internos do próprio STD-CP, uma vez que este está fisicamente distribuído. Analisando esse último intercâmbio comparativamente com os anteriores, nota-se que se deve ter pelo menos duas classes de troca de mensagens: uma onde é provido o intercâmbio de informações entre o STD-CP e os elementos a ele conectados e outra onde informações fluem através de elementos internos ao STD-CP para chegarem a um destino fisicamente distante da origem. É, portanto, interessante considerar-se separadamente cada uma das duas classes de troca de mensagens sugeridas, como mostrado nos próximos itens.

4.2.1.1. Troca de Mensagens entre o STD-CP e os Elementos a ele Conectados

As especificações funcionais do sistema determinam que os CPs devem ser unidades autônomas que têm sob sua responsabilidade apenas o controle e a supervisão local dos processos físicos, devendo, portanto ser transparente a eles qualquer procedimento de transferência de informações para elementos externos; além disso, os requisitos de tolerância a falhas podem obri

gar que determinados CPs possuam mais de um acesso ao STD-CP; este múltiplo acesso também deve permanecer transparente aos CPs.

A transparência exigida pelas especificações somente pode ser conseguida se os CPs se comportarem como módulos completamente passivos perante o STD-CP, ou seja, sempre que for necessária alguma troca de mensagens entre os CPs ou entre estes e os CSUP, com exceção de mensagens geradas pelo CSUP, o STD-CP deverá tomar a iniciativa e todas as providências necessárias para a geração das mensagens pertinentes. Neste caso o STD-CP, através do MPCD deve executar as seguintes tarefas:

- . Resolver as disputas que porventura venham a ocorrer devido à existência dos múltiplos acessos ao CP em questão, implementados por questões de disponibilidade;
- . Determinar os destinatários das mensagens;
- . Buscar as informações nos elementos do CP em questão ou alterar seus parâmetros de forma transparente às suas operações normais;
- . Gerar as mensagens, de acordo com os formatos estabelecidos pelo protocolo de transferência intra STD-CP, e deixá-las disponíveis para essa transferência.

Considerando que os recursos dos CPs devem ser acessados por mais de um elemento do STD-CP, devido à existência dos múltiplos acessos, a escolha do meio de transferência recai em um meio compartilhado, onde todo o controle é executado pelo MPCD.

As condições de passividade e de transparência, quanto à necessidade de transmissão de dados impostas indiretamente aos CPs pelas especificações, aliadas ao fato dos CPs serem os elementos básicos do sistema e que devem possuir o mínimo pos-

sível de módulos de hardware, levaram à escolha da técnica de memória compartilhada para a troca de mensagens entre os CPs e o STD-CP, implementada com estrutura "multiport", onde o CP utiliza um dos "ports" e os elementos de acesso ao STD-CP utilizam os outros "ports". A figura 4.4 ilustra através de um diagrama simplificado, o esquema escolhido para três elementos de acesso ao STD-CP, destacando os "ports" de acesso à memória através das letras A a D.

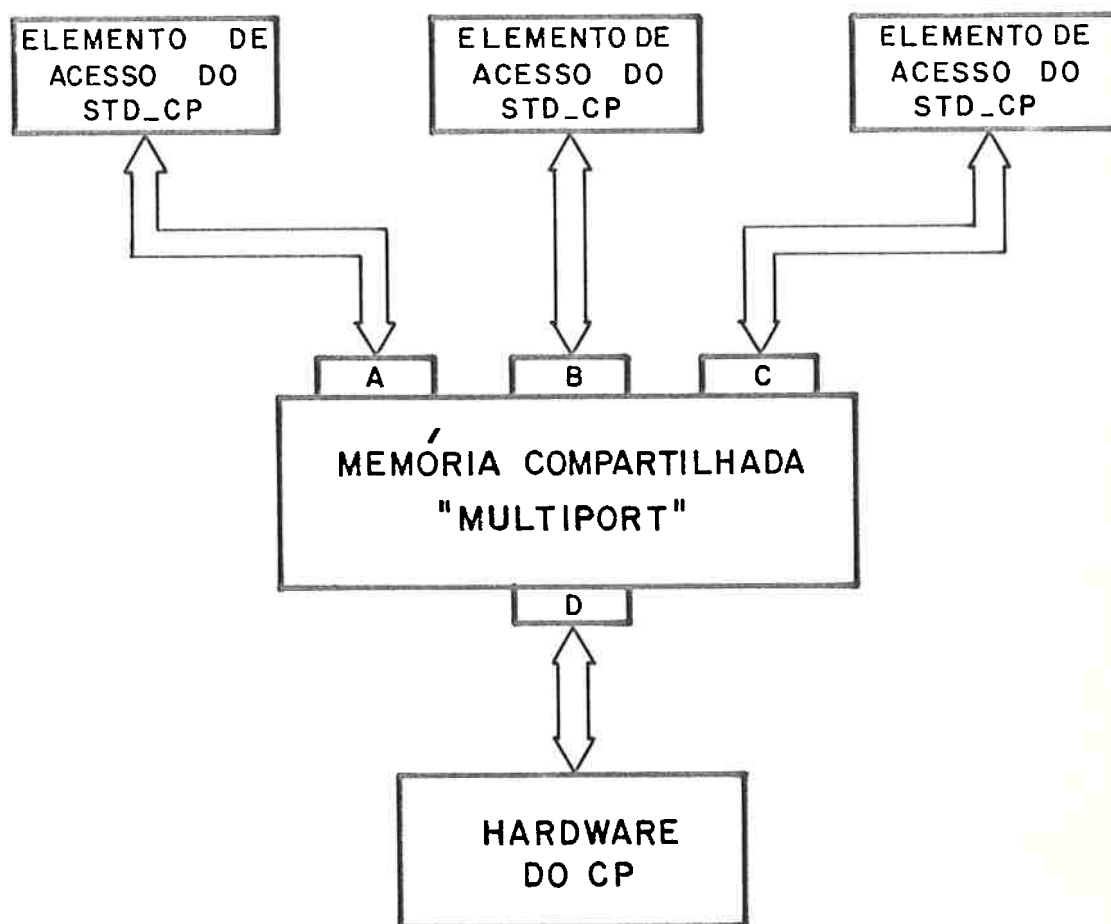


FIGURA 4.4 - ESQUEMA DE MEMÓRIA COMPARTILHADA "MULTIPORT"

A existência de uma memória compartilhada "multiport" nos CPs, para troca de informações com o STD-CP, não interfere na operação normal dos mesmos nem aumenta apreciavelmente seu hardware pois, de qualquer forma, os dados tratados pelos CPs

devem ser armazenados temporariamente em memórias, durante a execução dos algoritmos. A memória compartilhada, portanto, pode ser conseguida apenas duplicando a memória de dados; convém lembrar que, no caso de alteração de parâmetros, pode-se usar o mesmo esquema, pois estes também são armazenados em memória de dados e consultados pelo MPCP, quando da execução dos algoritmos de supervisão e controle. Conclui-se, assim, que a utilização de memória compartilhada permite a troca de informações a um custo relativamente baixo, e dentro dos requisitos de transparência e autonomia especificados.

Com a escolha do esquema de memória compartilhada, a disponibilidade do sistema completo pode ficar comprometida, pois ocorrendo falhas nessa memória é impossível a comunicação entre o CP e os níveis superiores. Esse comprometimento pode ser minimizado pela duplicação dos CPs; dessa forma, a falha da memória compartilhada pode ser considerada pelos níveis superiores como falha do próprio CP, provocando como consequência o chaveamento para o CP de reserva.

Além disso, o esquema escolhido impõe ao sistema os seguintes vínculos:

- . As operações de troca de mensagens executadas na memória compartilhada, tanto pelos CP quanto pelo STD-CP, devem ser atômicas, ou seja, uma vez iniciada a operação ela não deve ser interrompida até o seu término; isto é necessário para garantir a consistência das informações trocadas, o que é assegurado pelo fato de não ser possível a alteração de nenhum elemento de um conjunto de dados que esteja sendo lido por algum dos elementos conectados à memória;
- . O CP deve ficar fisicamente próximo aos elementos de acesso ao STD-CP, devido à necessidade da comunicação paralela com a memória compartilhada, imposta pela simplicidade de conexão e pela veloci

dade envolvida. Além disso, a proximidade física elimina os custos elevados dos cabos blindados que seriam necessários para evitar que a presença dos ruídos eletro-magnéticos, que normalmente existem nos ambientes onde o sistema será aplicado, interfiram na comunicação causando erros;

- . Expansão no número de elementos conectados à memória compartilhada além do máximo previsto no projeto original, é praticamente impossível, dadas as grandes alterações de hardware que seriam necessárias para o aumento do número de "ports" da mesma; este vínculo, entretanto, não acarreta problemas sérios na expansibilidade do sistema pois o número de elementos conectados à memória depende apenas do grau de redundância que se deseja dar a determinados elementos do STD-CP, que, via de regra, pode ser fixado em dois.

Entretanto, os vínculos citados são perfeitamente contornáveis e a utilização do esquema de memória compartilhada com estrutura "multiport" é justificada pela transparência que oferece ao CP no que tange às trocas de informações, pela facilidade de implementação, pela não existência de elementos de controle de troca de mensagens no CP, pela alta velocidade na transferência dos dados e pelo baixo custo relativo.

Com a definição do mecanismo de troca de mensagens para o CP, que se apresenta como o mais crítico dos elementos conectados ao STD-CP em termos de restrições impostas pelas especificações do sistema, seria muito interessante que o CSUP utilizasse o mesmo esquema. Como o esquema de memória compartilhada para troca de informações entre o STD-CP e o CSUP não causa desobservância em nenhum dos itens da especificação do sistema, ele também foi adotado para o CSUP, padronizando, conseqüentemente o mecanismo de troca de informações com o STD-CP.

Dada a padronização atingida, se houver posteriormente a necessidade de acoplamento de outros tipos de elementos

ao STD-CP, que não sejam os CPs e CSUPs já definidos, o esquema para troca de mensagens com o STD-CP deverá ser o definido para os CPs e CSUPs.

4.2.1.2. Troca de Mensagens entre os Próprios Elementos do STD-CP

Uma vez obtidas as informações pertinentes nos elementos conectados ao STD-CP da forma descrita anteriormente, elas devem ser dirigidas aos seus respectivos destinos, geograficamente dispersos, através do meio de comunicação interna ao STD-CP.

Para a escolha do esquema de interconexão a ser usado foram analisadas várias configurações que permitem a implementação de sistemas com controle distribuído [43] [83] [88]. Essa análise levou à escolha da configuração em anel, dados os pontos apresentados a seguir para cada uma das configurações analisadas:

- . Completamente Conectada: esta configuração apresenta altíssima confiabilidade, no que se refere à disponibilidade de caminhos entre dois elementos do sistema apesar das falhas que venham a ocorrer no meio de transmissão. O projeto dos elementos de controle deste tipo de rede é relativamente simples, e a capacidade de distribuição geográfica é ótima. Entretanto, a modularidade fica comprometida e a expansibilidade limitada pelo número máximo de conexões permitidas pelo projeto original; além disso, a grande quantidade de cabos necessária para as interligações penaliza forte e diretamente o custo de instalação do sistema, uma vez que os cabos utilizados nos ambientes onde o sistema será aplicado são demasiadamente caros. As

duas primeiras desvantagens mencionadas e, principalmente, o custo, foram os responsáveis pela não adoção desta configuração;

- . Regular: esta configuração, apesar de apresentar alta confiabilidade no que se refere à disponibilidade de caminhos alternativos quando ocorrem falhas no meio de transmissão, limita, via de regra, a dispersão geográfica, impossibilita, na prática, a expansibilidade e, dependendo do número de elementos, chega-se a redes muito complexas com o mesmo problema de custo apresentado pela configuração anterior, dado que ainda é necessária uma grande quantidade de cabos. Esta configuração foi descartada pelos pontos mencionados;
- . Irregular: esta configuração possui boa confiabilidade quanto aos canais de comunicação uma vez que podem ser inseridas redundâncias à medida do necessário, ótima capacidade de dispersão geográfica e expansibilidade, limitada apenas pela capacidade de endereçamento determinada pelo protocolo utilizado, e baixo custo relativo à utilização de cabos para a interligação. Entretanto, a necessidade de implementação de algoritmos e de protocolos de comunicação mais sofisticados, que implicam diretamente elementos de controle da rede complexos, de projeto difícil e dispendioso, levaram à não adoção desta configuração;
- . Via Comum com Controle Distribuído: esta configuração apresenta ótima modularidade, expansibilidade limitada apenas pela capacidade de endereçamento das mensagens e baixo custo correspondente à utilização de cabos para interligação dos módulos; mas características como a necessidade de implementarem-se esquemas de alocação da via para os geradores de mensagens e de arbitragem para os pos

síveis pedidos conflitantes de utilização da via, e ainda características como a baixa confiabilidade inerente de uma via comum, aliada às dificuldades de reconfiguração do sistema em caso de falhas, e o baixo desempenho, ocasionado pela impossibilidade de trânsito de mais de uma mensagem ao mesmo tempo pela via, levaram à desconsideração deste tipo de configuração, e, conseqüentemente, de todas as outras configurações baseadas em vias comuns;

- . Anel: esta configuração apresenta ótima modularidade, distribuição geográfica relativamente flexível, comprometida apenas pela distância máxima permitida entre dois nós adjacentes do anel, expansibilidade limitada apenas pela capacidade de endereçamento das mensagens, boa confiabilidade na comunicação, desde que o anel de comunicação seja pelo menos duplicado, e estrutura muito simples, implicando diretamente em protocolos de comunicação e elementos de controle da rede simples, além de ser facilmente reconfigurável em casos de falhas de seus elementos e de permitir a detecção de falhas e erros de maneira relativamente simples. Entretanto, a quantidade de cabos necessária não é menor possível, ainda mais se houver redundância no anel; mas o custo dos cabos (que no pior caso é apenas o dobro do que seria utilizado na configuração em via comum, onde se tem a menor quantidade possível de cabo instalado) é altamente compensado pelas demais características apresentadas por esta configuração, justificando dessa forma a sua escolha.

Além das características apresentadas anteriormente, existe a possibilidade de impasses na transferência de mensagens (dead-lock), mas é possível evitá-los adotando-se estratégias de

controle adequadas para o anel. Outro ponto favorável à adoção da configuração em anel é a possibilidade de que várias mensagens transitem simultaneamente pelo mesmo, diminuindo-se dessa forma o tempo de atraso entre a geração e a recepção das mensagens, obtendo-se, conseqüentemente, um melhor desempenho do sistema como um todo $|4^3| |8^3| |8^8|$.

Escolhida a configuração em anel para a estrutura que comportará o intercâmbio de informações entre os elementos internos do STD-CP, chegou-se à sua arquitetura final onde, por motivos de disponibilidade, o anel pode possuir redundância múltipla, determinada de acordo com a aplicação. Cada elemento conectado ao STD-CP corresponde a um nó da estrutura em anel, ao qual estão associadas interfaces de comunicações com os anéis, chamadas Interfaces com a Via dos Controladores - IVC, via de regra, uma para cada anel, compostas de um elemento de acesso ao CP e dos demais circuitos de controle necessários para a operação do anel. As IVCs serão detalhadas no capítulo 5 deste trabalho.

Com a definição da estrutura de interconexão do STD-CP e assumindo que a comunicação entre os CSUPs e os computadores, que comportam os processos MPO e MPG, serão seriais e de acordo com os protocolos padronizados utilizados pelos diversos fabricantes, e que entre os CPs e os processos físicos a comunicação é paralela de acordo com as normas adotadas para controle de processos industriais, tem-se a estrutura de interconexão do sistema completo conforme esquematicamente mostrada na figura 4.5.

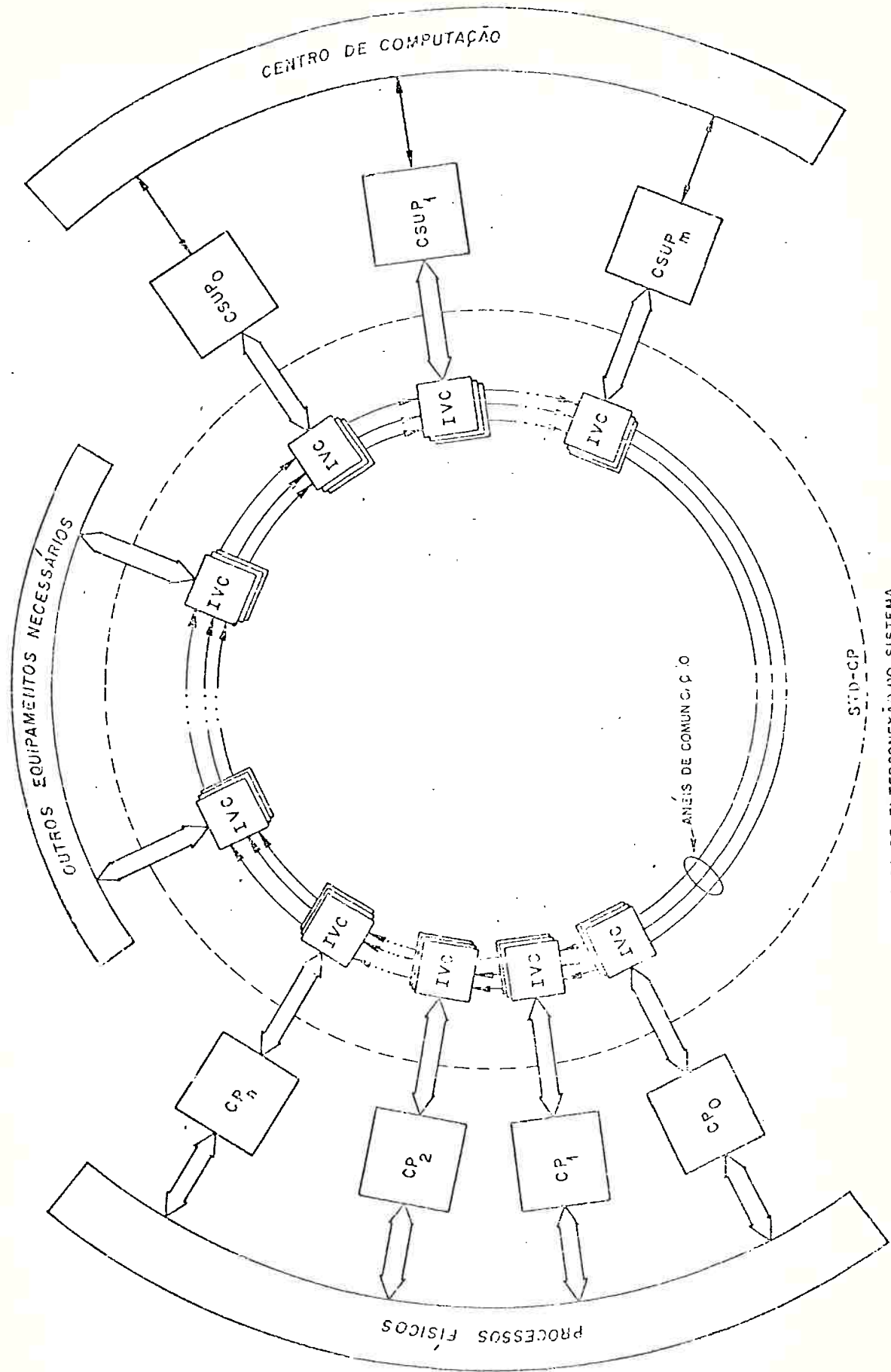


FIGURA 4.5 - ESTRUTURA DE INTERCONEXÃO DO SISTEMA

4.3. Protocolo de Comunicações

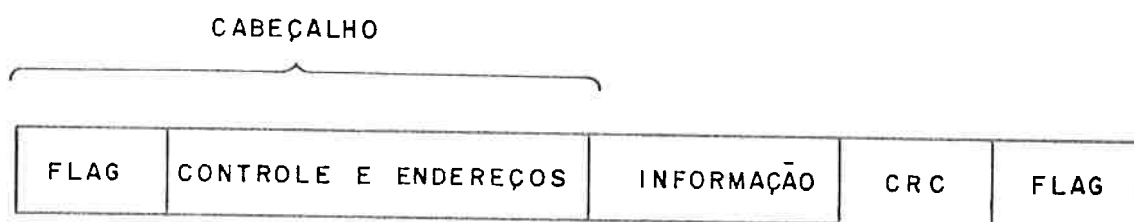
Uma vez estabelecida a estrutura de interconexão completa, o próximo passo do projeto é a definição do protocolo de comunicações que regerá a troca de mensagens através da estrutura definida.

A troca de mensagens entre os diversos elementos conectados ao STD-CP deve obedecer a um determinado protocolo de comunicações que define as regras de intercâmbio, os tipos e os formatos das mensagens e alguns mecanismos de detecção de erros. Como já mencionado anteriormente, tem-se duas classes de trocas de mensagens, dadas pelo intercâmbio de informações entre o STD-CP e os elementos a ele conectados e pelo fluxo de mensagens internas ao STD-CP. Essas duas classes possuem, inclusive, estruturas de interconexão diferentes; sendo assim, é necessário que se definam dois tipos de protocolos de comunicações, cada um dedicado a uma das classes de troca de mensagens.

4.4. Protocolo de Comunicações Interno ao STD-CP

Existem, basicamente, duas categorias de mensagens que circulam pelos anéis de comunicações do STD-CP: as mensagens de dados e as mensagens de controle. As mensagens de dados são utilizadas para transferências de dados propriamente ditos e informações sobre o estado interno do hardware dos elementos conectados ao STD-CP e dos próprios elementos constituintes deste último, e as mensagens de controle são utilizadas para requisição de informações de dados e de estado, para controle do mecanismo de troca de mensagens, para testes de sincronismo dos relógios de tempo real distribuídos pelos nós do sistema e para configuração ou reconfiguração de elementos do STD-CP ou de elementos a ele conectados.

Genericamente, as informações de dados estado ou controle são precedidas de um cabeçalho, onde existem campos de início de mensagem, de endereçamento e de controle, e seguidas de um campo de teste de redundância cíclica e de um de fim de mensagem; os campos de início e fim de mensagem serão denominados, deste ponto do trabalho em diante de campos "flag". O formato geral das mensagens que transitam pelos anéis de comunicações do STD-CP é, portanto, o seguinte:



Convém ressaltar que podem existir mensagens onde alguns campos são dispensáveis, não sendo portanto utilizados. O CRC é usado apenas para teste de consistência do conteúdo do campo de informações e não da mensagem como um todo, por esse motivo não aparece nas mensagens de controle, onde o campo de informações não é utilizado.

4.4.1. Regras de Intercâmbio

Existem mecanismos nos IVCs que detectam a necessidade de transferência das mensagens através dos anéis do STD-CP, e fornecem todas as informações necessárias para a composição das mesmas, tais como, os endereços dos destinatários, o tipo de mensagem e a informação a ser transmitida. A mensagem é então montada segundo o particular formato dado pelo seu tipo e, em seguida, transmitida por um dos anéis de comunicação para o próximo IVC.

Quando uma mensagem, que está circulando por um anel, chega a um IVC, e o seu início é detectado pelo "flag" inicial, o IVC verifica se é um dos destinatários; como resultado dessa verificação tem-se um dos três seguintes casos:

a. O IVC em questão não é um dos Destinatários

Neste caso, ele procede à verificação da consistência dos campos de controle e de endereçamento. Se não for detectado nenhum erro a mensagem seguirá pelo mesmo anel até o próximo IVC; mas se for detectado algum erro, o IVC retirará a mensagem do anel. Convém notar que não são realizados testes no CRC, o que significa que, neste caso, não é verificada a consistência do campo de informações;

b. O IVC em questão é o Único Destinatário

Neste caso, após a verificação da consistência dos campos de controle e de endereçamento, se não for detectado nada de anormal, a mensagem é absorvida e retirada do anel, sendo então decodificado o campo de controle e, de acordo com o tipo de mensagem, o processamento é realizado; caso os testes mencionados anteriormente acusem alguma inconsistência a mensagem é retirada do anel e apenas apagada, não sendo realizada nenhuma outra ação. O teste de consistência do campo de informação, através do CRC, neste caso, é realizado após a decodificação do campo de controle;

c. O IVC em questão é um dos Destinatários

Neste caso, o procedimento adotado é uma composição dos dois anteriores, ou seja, após a verificação da consistência dos campos de controle e de endereçamento, a mensagem é absorvida e ao mesmo

tempo transmitida para próximo IVC, sendo que o endereço correspondente ao IVC em questão é retirado do campo de endereçamento; a mensagem absorvida pelo IVC tem, então, o seu campo de controle decodificado e são realizadas as ações especificadas para cada tipo de mensagem. Entretanto, se houver alguma inconsistência na verificação realizada nos campos de controle e de endereçamento, a mensagem não é absorvida pelo IVC em questão e, é retirada do anel. Neste caso, o teste do conteúdo do campo de informações, realizado através do CRC, não interferirá na progressão da mensagem pelo anel, ou seja, a mensagem seguirá para o próximo IVC mesmo que apresente erros no campo de informações.

Levando-se em conta os dois últimos casos, considera-se uma mensagem como recebida pelo IVC se a mesma for por ele absorvida, se ele era um destinatário e se não foi detectada nenhuma inconsistência nos campos de endereçamento e de controle da mensagem.

Cada IVC, quando recebe uma mensagem, deve avisar ao que lhe enviou se a recepção do campo de informações foi ou não bem sucedida. Esse aviso é implementado através do envio de uma mensagem de controle acusando ou não o aceite da informação; essas mensagens são chamadas abreviadamente de ACK e NACK, respectivamente.

Com a utilização das mensagens ACK e NACK é possível garantir, com relativa segurança, que a mensagem requisitada por um determinado processo cheque até ele corretamente, considerando-se os limites do polinômio utilizado pelo CRC e dos testes de consistência dos campos de controle e de endereçamento e, ainda, as possíveis retransmissões das mensagens. Retransmissões, então, poderão ocorrer nos casos em que o teste do CRC acusar erro no campo de informações, sinalizado através de um NACK, e ainda nos casos de perda de mensagens.

As mensagens são consideradas perdidas quando não chegam ao seu destino final. Isto é ocasionado, normalmente, por terem apresentado alguma inconsistência nos campos de controle ou de endereçamento e por esse motivo foram retiradas do anel. Esse tipo de erro é detectado e recuperado pelo IVC que organizou a mensagem perdida, através de mecanismos de "tempo esgotado" (time-out) e retransmissão do pacote, se o respectivo ACK ou NACK não chegarem dentro do período de tempo estipulado para o mecanismo de "tempo esgotado".

Com relação aos mecanismos de aceite, implementados a través das mensagens ACK e NACK, existem três casos particulares a se considerar:

- a. Quantidade de Dados a se Transmitir maior que o Tamanho Máximo do Campo de Informações

Como será detalhado no decorrer desta seção, o campo de informações possui um tamanho máximo permitido; quando o volume de dados a se transmitir exceder esse máximo, é necessária a partição da informação e sua transmissão pelo anel em uma seqüência de mensagens, que, para garantir a consistência da informação, deve ser ordenada.

Considerando que o atraso total para que a informação completa chegue ao seu destinatário deve ser o menor possível e que o fluxo de mensagens circulando pelo anel deve ser minimizado, a seqüência de mensagens resultante da partição da informação requererá apenas um ACK, que será gerado quando a seqüência for recebida completa e com sucesso pelo destinatário. Entretanto, se alguma mensagem da seqüência apresentar erro no campo de informações (detectado pelo teste do CRC) será gerado um NACK, indicando o número de seqüência da mensagem que está com erro e o IVC da origem a retransmitirá.

O seqüenciamento das mensagens é garantido por um número de seqüência presente no campo de controle das mesmas e a perda de uma delas resultará na retransmissão de toda a seqüência, pois não será gerado o ACK correspondente e os mecanismos de "tempo esgotado" entrarão em ação. Convém ainda ressaltar que todo o procedimento de partição da informação e sua transferência sob a forma de uma seqüência de mensagens é totalmente transparente ao processo que requisitou a informação, ficando todo o mecanismo citado a cargo dos IVCs envolvidos;

b. Mensagens com Múltiplos Destinatários

As mensagens dirigidas a mais de um destinatário, designação esta codificada no campo de endereçamento, requerem de cada particular destinatário um ACK. Caso não sejam recebidos ACKs, ou sejam recebidos NACKs de alguns dos destinatários, será providenciada a retransmissão da mensagem, dirigida individualmente para cada um dos destinatários que não sinalizou o recebimento correto da informação transportada pela mensagem.

Se a mensagem foi perdida, ou seja, nenhum ACK ou NACK foi recebido após o esgotamento do tempo de espera, o mesmo procedimento anterior de retransmissão de mensagens individuais será adotado;

c. Individualidade dos ACKs e NACKs

Um ponto importante para a operação correta do mecanismo de aceite das informações trocadas é a existência de uma relação biunívoca entre a informação e o respectivo ACK ou NACK. Essa relação é garantida pela imposição de que cada origem pode ter, no máximo, um ACK pendente para cada destinatário,

ou seja, uma determinada origem sô poderã enviar mensagens para os elementos dos quais não estão sendo esperados mensagens de aceite; exceção é feita para o caso das seqüências de mensagens discutidas no item a., onde a seqüência como um todo é considerada, em termos de individualidade dos ACKs, como uma única mensagem.

Este mecanismo foi criado devido aos atrasos inerentes, por vezes muito variáveis, que ocorrem durante a transferência de mensagens pelos anéis, possibilitando que a seqüência de mensagens fosse sempre mantida. Ele também é totalmente transparente para os processos que requisitam o envio de informações pelo anel e, caso não seja possível a transferência imediata das informações, elas aguardarão em uma fila de espera.

Os casos apresentados nos itens a e b podem ocorrer simultaneamente, tendo-se mensagens destinadas a mais de um usuário com quantidade de informação a ser transferida que excede à capacidade máxima do campo de informações; nesse caso os dois procedimentos são adotados concomitantemente. As figuras 4.6, 4.7 e 4.8 ilustram os procedimentos para o caso geral, para o caso onde a informação é particionada em uma seqüência de mensagens e para o caso de vários destinatários, respectivamente.

4.4.2. Tipos de Mensagens

Como foi citado anteriormente, existem duas categorias de mensagens a se considerar: a das mensagens de controle e a das mensagens de dados. Em cada uma, vários tipos particulares de mensagens são implementados para cumprir funções específicas. A seguir serão detalhados cada um desses tipos, iniciando-se pela categoria das mensagens de dados.

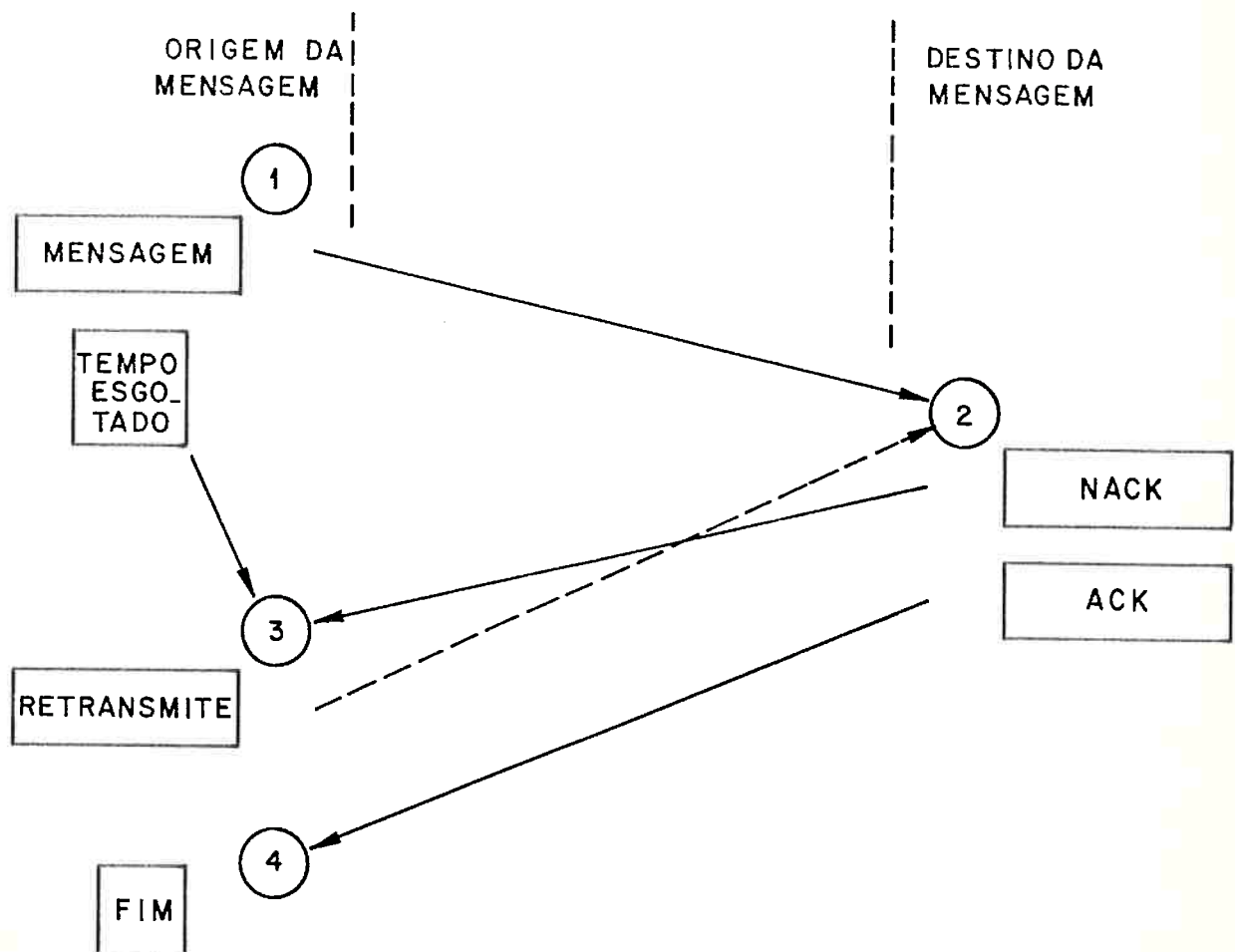


FIGURA 4.6 - MECANISMO DE ACEITE DE MENSAGENS CASO GERAL

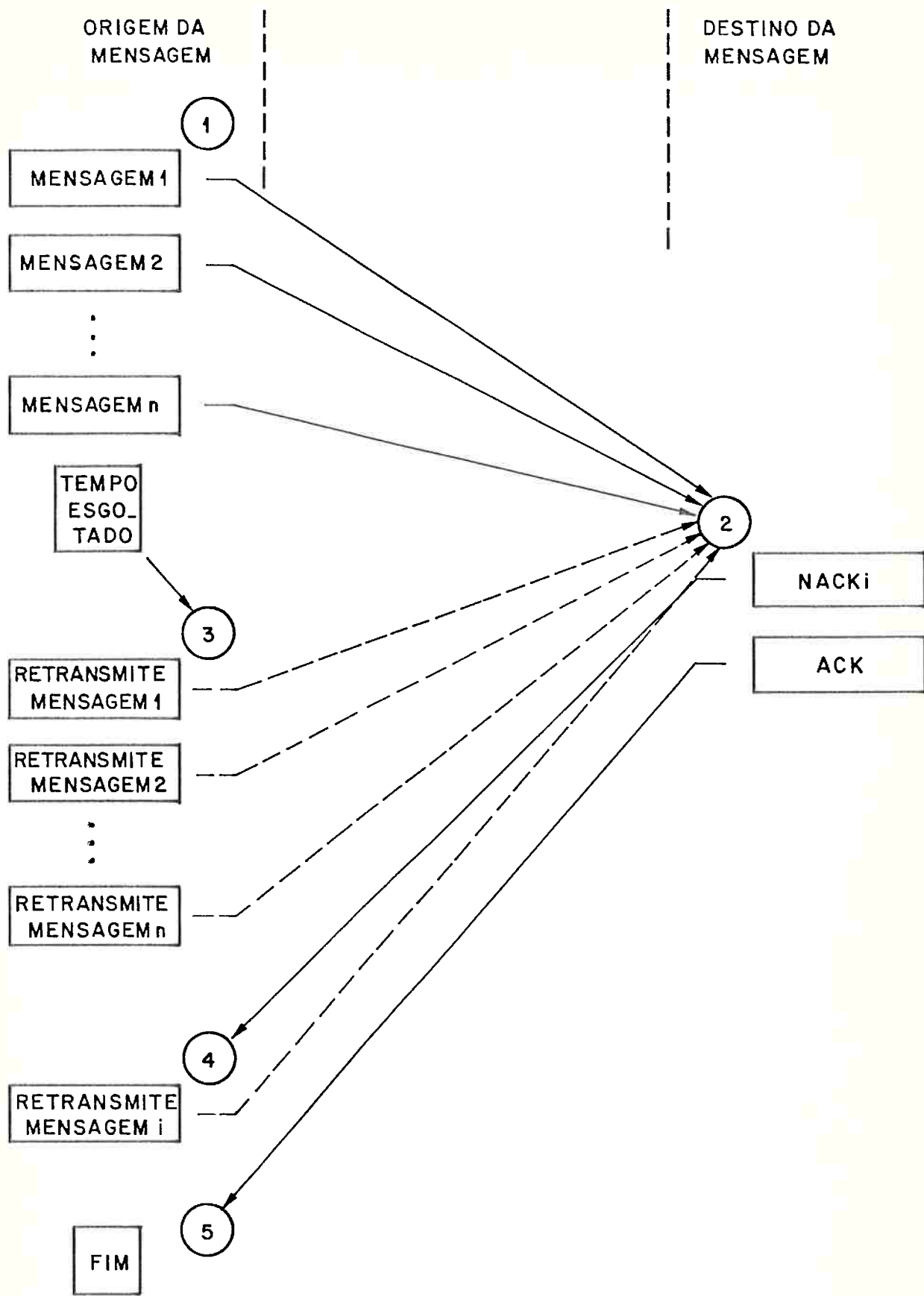


FIGURA 4.7. MECANISMO DE ACEITE DE MENSAGENS. SEQUÊNCIAS

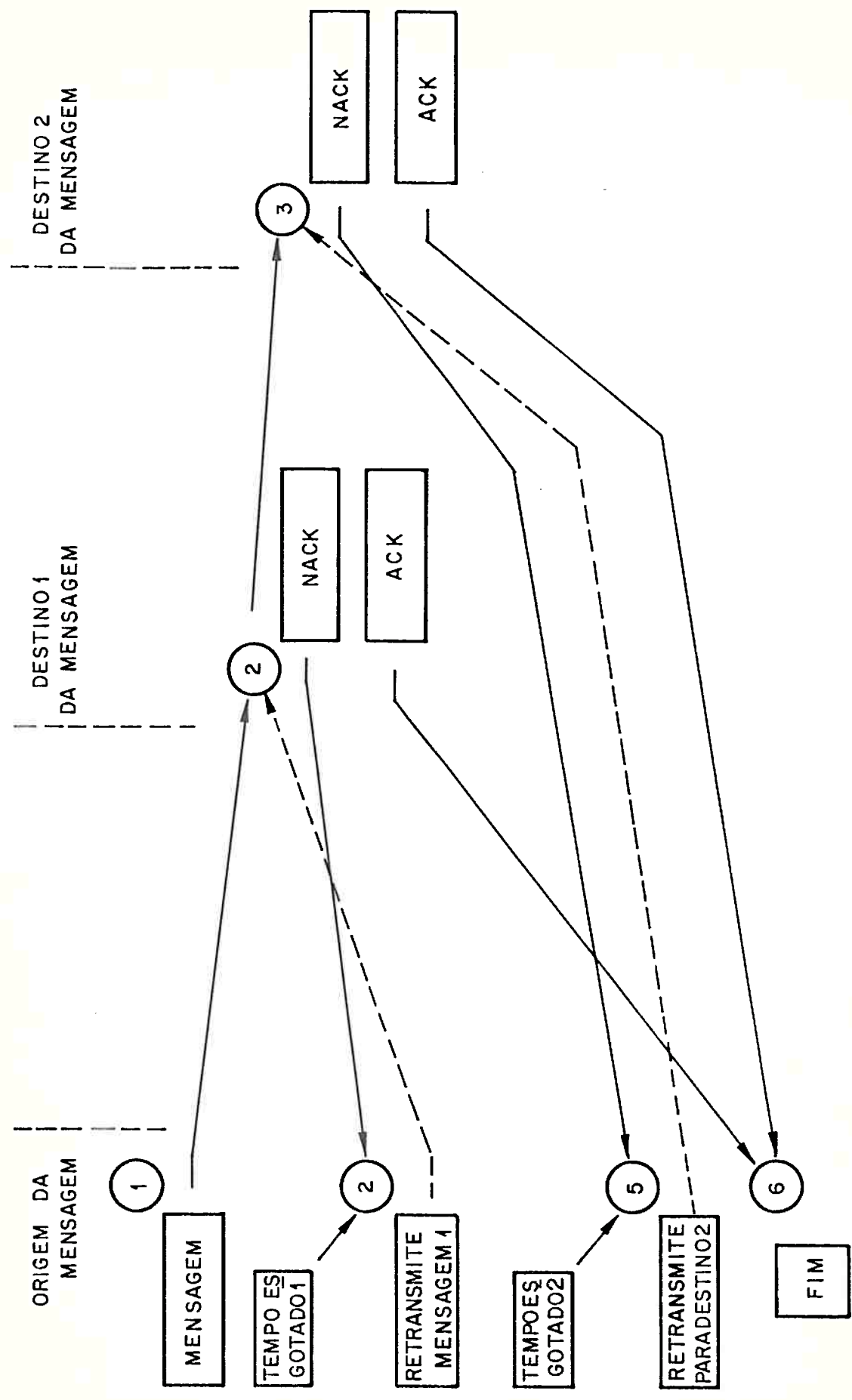


FIGURA 4.8 - MECANISMO DE ACEITE DE MENSAGENS - MULTIDESTINATÁRIOS

a. Mensagens de Informação de Dados

Esta mensagem tem como função transportar dados relativos aos processos físicos; no caso geral são constituídas das variáveis desses processos, lidas pelos CPs, das variáveis de controle calculadas pelos CPs e impostas a esses processos e de valores do relógio de tempo real associados às mesmas.

Como a quantidade de dados pode exceder ao tamanho máximo permitido para o campo de informações, se for necessário o IVC particionará o bloco de dados em partes compatíveis com o máximo permitido pelo campo de informações e enviará a mensagem através de uma seqüência de pacotes, de forma transparente ao processo que requisitou a transferência da mensagem.

Este tipo de mensagem, dada a sua característica, pode ser gerado em qualquer nó do anel e destinado a quaisquer outros nós, indicando um ou mais destinatários;

b. Mensagens de Informação de Estados

Esta mensagem tem como função o transporte de informações de estado do hardware e do estado lógico dos elementos do sistema; essas informações são colhidas nos registradores de estado existentes em todos os módulos de hardware do sistema e são utilizadas pelo MPSUP no tratamento de falhas apresentadas pelo hardware do sistema e nas conseqüentes operações de reconfiguração para o isolamento das falhas.

Uma mensagem de informação de estados é gerada quando um erro é detetado em algum módulo do sistema,

quando algum processo requisita informações de estado ou, ainda, periodicamente quando não ocorre nenhum dos dois casos anteriores.

O mesmo procedimento adotado para as mensagens de informação de dados é adotado para este tipo de mensagem, quando a quantidade de informações excede o espaço disponível no campo de informações; como no caso anterior este tipo de mensagem pode ser gerado em qualquer nó e destinado a quaisquer outros, podendo inclusive ser endereçado a vários destinatários;

c. Mensagens de Requisição de Informações

Este tipo de mensagem, da categoria das mensagens de controle, é gerado quando processos residentes em um determinado nó (geralmente pertencentes a MPSUP e portanto residentes nos CSUP) necessitam informações de processos residentes em outros nós do sistema; esta mensagem é, portanto, responsável pelo transporte dos pedidos de informações de dados ou de estados necessários para a execução normal do processo requisitante. A troca de mensagens entre o nó que originou a mensagem de requisição e o de destino é mostrado na figura 4.9, onde se ilustra o mecanismo adotado para a execução da função de fornecimento de informações mediante requisição.

A requisição pode se referenciar a vários nós simultaneamente, podendo, inclusive, ser do tipo "broad cast", ou seja, dirigida a todos os nós conectados ao anel. A resposta por ela gerada, entretanto, é dirigida única e exclusivamente ao nó que originou a requisição.

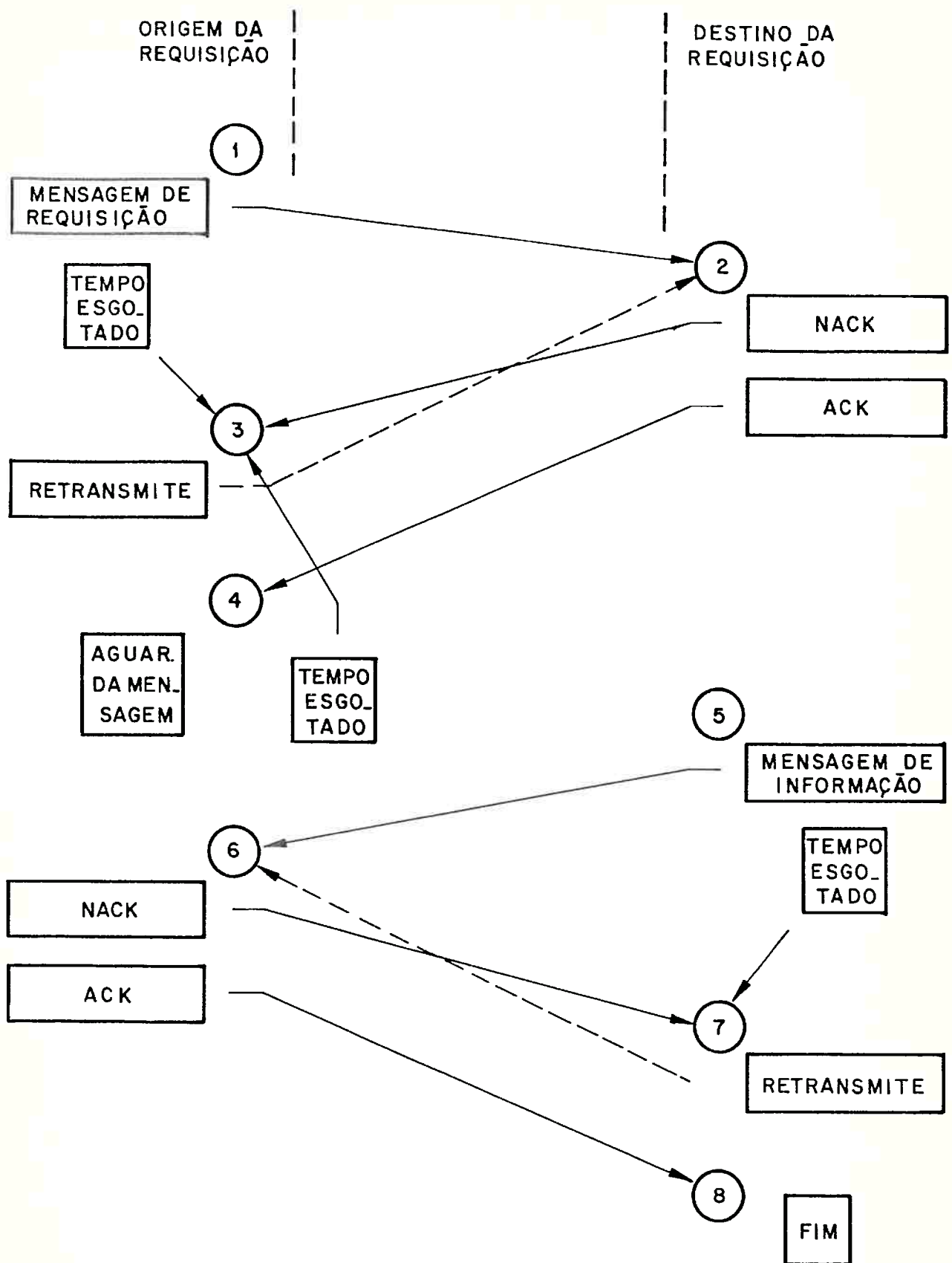


FIGURA 4.9.-MECANISMO DA FUNÇÃO DE FORNECIMENTO DE INFORMAÇÕES SOB REQUISIÇÃO

Neste tipo de mensagem não haverá necessidade da partição em pacotes, porque o tamanho do campo de informações é suficiente para a codificação do tipo de informação requisitada;

d. Mensagens de Aceite

As mensagens de aceite, enquadradas na categoria das mensagens de controle, são os ACKs e os NACKs já discutidos anteriormente. Nestas mensagens não é necessário o campo de informações e, conseqüentemente, não existe o CRC; além disso, são dirigidas sempre ao nó que originou a mensagem objeto do ACK ou NACK em questão, ou seja, possuem sempre um único destinatário;

e. Mensagens de Sincronismo de Relógio

Estas mensagens transportam como informação o valor do relógio de tempo real do nó origem, e possuem sempre um único destinatário que é o nó imediatamente seguinte. Elas constituem uma exceção à regra, no sentido de que elas não geram mensagens de aceite, sendo os erros de consistência do campo de informações sinalizados através de um bit de estado.

O valor do relógio que estas mensagens transportam é utilizado apenas para uma verificação grosseira do sincronismo entre os relógios de tempo real; se os relógios apresentarem defasagem maior que um valor máximo, estipulado de acordo com a aplicação em questão, é gerada uma mensagem de estado informando o fato. Devido às características de sua formação, este tipo de mensagem deve ter máxima prioridade na transmissão e no tratamento, para que o atraso entre a leitura do valor do relógio no nó

anterior e a sua comparação com o valor do relógio no seguinte seja o menor possível, proporcionando melhor acurácia ao sistema.

As mensagens de sincronismo são geradas assíncrona e periodicamente por todos os nós do sistema; a periodicidade é determinada pela precisão dos sinais de tempo padrões, gerados a cristal para acionar os relógios;

f. Mensagens de Configuração

Estas mensagens, caracterizadas como de controle, transportam como informação algoritmos a serem utilizados pelos diversos nós do sistema, dados de parametrização e informações relativas à configuração ou reconfiguração dos nós a que se destinam. Apesar da tarefa de implantação de novos algoritmos nos CPs ou CSUPs ser, geralmente, realizada localmente nesses equipamentos, através de equipamentos especiais para implantação de programas, o sistema fornece a possibilidade de se realizar parte dos trabalhos (a carga dos programas) remotamente a partir de um centro de supervisão, sendo o código objeto dos programas que implementam o algoritmo transportado ao nó envolvido através destas mensagens; entretanto se os programas forem extensos, esse procedimento será bastante ineficiente, pois um número muito grande de mensagens deverá ser gerado.

Ao contrário das mensagens que transportam os dados de programação de novos algoritmos, as que transportam dados paramétricos e de configuração ou reconfiguração, via de regra, não fazem parte de seqüências, pois as informações não excedem o máximo permitido em cada mensagem.

4.4.3. Formatos das Mensagens

Como já abordado neste capítulo, as mensagens que transitam pelo anel possuem os campos de "flag", de controle, de endereçamento, de informações e de CRC da informação. A seguir serão detalhados cada um desses campos e depois apresentados os formatos gerais dos seis tipos de mensagens existentes.

4.4.3.1. Campos de "Flag"

Os campos de "flag" constituem, na realidade, os delimitadores de início de mensagem e de fim de mensagem, os quais são usados pelo hardware do IVC para determinar o início e fim das mesmas, sendo usados, portanto, como palavras de sincronismo lógico, para os módulos de recepção de mensagens.

É obrigatória a utilização dos campos de "flag" no início e no fim de todas as mensagens que circulam pelos anéis, e, caso falte um deles, a mensagem é retirada do anel. O conteúdo desses campos é fixo e composto de uma seqüência de seis bits em nível lógico UM precedido e seguido de um bit em nível ZERO (01111110), perfazendo um total de oito bits.

O uso dessa particular seqüência como delimitador de início e de fim de mensagem, torna, conseqüentemente, proibido o seu aparecimento em qualquer outro campo da mensagem; mas, como para os outros campos, deve ser transparente a existência dos "flags", a técnica de "bit stuffing" (que consiste na inserção de um bit zero após uma seqüência de cinco bits em nível UM), foi utilizada para garantir a transparência necessária [23] [88].

4.4.3.2. Campo de Endereçamento

O campo de endereçamento foi projetado levando-se em conta que são necessários dois conjuntos de endereços, indicando, respectivamente, os destinatários e a origem da mensagem, e ainda que uma mensagem pode ser dirigida a mais de um destinatário, podendo inclusive ser utilizada a transmissão tipo "broadcast". Além disso, considerou-se que o número de elementos conectados ao STD-CP (número de nós do anel) não é muito grande; face às aplicações típicas do sistema e à capacidade de processamento proposto para os nós que será descrito no capítulo 5 |28| |48| |61| |69| |81| |82|.

De acordo com a última assertiva, considerou-se que uma capacidade de endereçamento de até trinta e dois elementos era suficiente (considerando que dos 32 nós, quatro sejam utilizados pelo nível de coordenação, os 28 restantes possibilitariam o controle e a supervisão de uma operação produtiva com mais de 300 malhas de controle e 7000 sinais digitais) sendo, então, estipulados cinco bits para endereçamento dos elementos (chamados bits E). Associados a esses cinco bits foram utilizados mais três, com as seguintes funções:

- . Seqüenciamento - F: utilizado para proporcionar o endereçamento múltiplo especificado; quando o bit F se encontra em nível UM indica que existem mais endereços no conjunto sob análise e quando em ZERO indica que o endereço em questão é o último da seqüência;
- . Indicação de Endereço Físico - L: considerando que, por motivos de disponibilidade, pode-se ter elementos redundantes no sistema, um deles normalmente em operação e o outro apenas para uso eventual (hot stand-by), é interessante que essa redundância seja transparente aos nós que estão em operação efetiva

no STD-CP, pois, caso contrário, cada processo deveria possuir uma tabela indicando quais são os elementos que se encontram efetivamente ativos; esta tabela deveria ser atualizada constantemente, e este procedimento não é adequado pois geraria maior tráfego nos anéis e maior volume de processamento nos nós. Entretanto, também é necessário que os elementos que não estão em operação normal sejam individualmente endereçados para que seja possível operações de iniciação, configuração e reconfiguração.

Com o intuito de manter a transparência das redundâncias e a possibilidade de endereçamento de todos os elementos conectados ao STD-CP, independentemente de estarem ou não em operação normal ou apenas disponíveis, optou-se pelo uso de dois modos de endereçamento para cada nó do anel, quais sejam, o modo de endereçamento físico, que está relacionado apenas com a posição física do nó no anel, e o modo de endereçamento lógico, que está relacionado com a função que esse nó executa dentro do sistema como um todo. A diferenciação entre os dois modos é feita pelo bit L que, se está em nível lógico ZERO indica endereçamento lógico e se está em UM, físico.

Convém ressaltar que, durante a operação normal do sistema, todo o endereçamento é realizado pelo modo lógico, sendo o modo físico utilizado apenas durante as operações de iniciação, configuração e reconfiguração do STD-CP.

- . Consistência - P; o teste de consistência dos endereços é um fator muito importante, dadas as consequências desastrosas de uma mensagem ser recebida e interpretada por um elemento que não foi endereçado pelo nó origem; para minimizar a probabilidade de um evento desse tipo, é inserido um bit de paridade

para o conjunto de sete bits já definidos. Foi escolhida paridade ímpar para que não fosse permitida a ocorrência de mais de sete ZEROS ou UNS consecutivos no campo de endereçamento, evitando-se dessa forma que falhas que ocasionam curtos-circuitos nas linhas possibilitem a interpretação dos endereços errados como corretos.

Concluindo, cada endereço é composto de um conjunto de oito bits e o campo de endereçamento é formado por um conjunto de palavras de oito bits, sendo as primeiras correspondentes aos endereços de destino e a última ao de origem. A razão que levou ao posicionamento dos destinatários na frente da origem é relacionada com a necessidade de detectar no início da recepção se a mensagem é dirigida ao nó que começou a recebê-la. Convém ainda ressaltar, que o endereço de origem possui obrigatoriamente o bit de seqüenciamento igual a ZERO, ou seja, não existe possibilidade de se ter mais de uma origem para a mesma mensagem.

Finalmente, cabe observar que dos trinta e dois endereços que teoricamente são disponíveis dois deles são reservados; um é usado para indicar se a mensagem é do tipo "broadcast" e outro usado, exclusivamente nas mensagens de sincronismo de relógio, como endereço lógico dos relógios de tempo real, e também utilizado pelo hardware do IVC para decodificação desse tipo de mensagens; as combinações utilizadas para indicar "broadcast" e endereçar os relógios são (POL00000) e (00011111), respectivamente. O formato geral do campo de endereçamento é mostrado na figura 4.10.

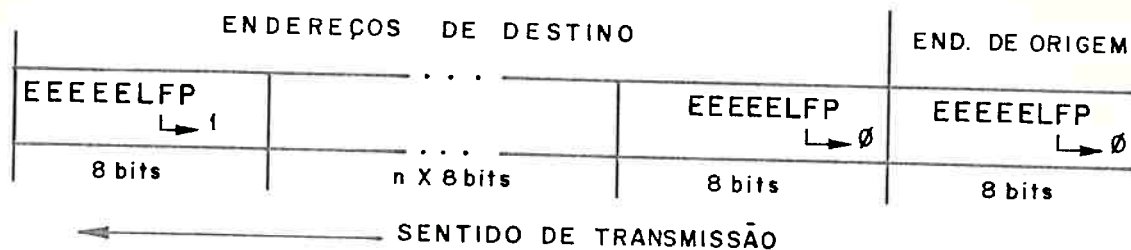


FIGURA 4.10. FORMATO DO CAMPO DE ENDEREÇAMENTO

4.4.3.3. Campo de Controle

O campo de controle é constituído de um conjunto de 16 bits, os quais fornecem informações sobre o tipo, o seqüenciamento e o tempo de permanência das mensagens no anel; essas informações são utilizadas pelos IVCs para o controle de recepção e a decodificação das mensagens. O campo de controle é subdividido nos seguintes campos:

- . Identificação da Mensagem - IDM: Tem comprimento de três bits e indica o tipo da mensagem de acordo com a seguinte codificação:

- 000 - Mensagem de ACK;
- 001 - Mensagem de NACK;
- 010 - Mensagem de Requisição de Informações;
- 011 - Mensagem de Configuração;
- 100 - Mensagem de Informação de Estado;
- 101 - Mensagem de Informação de Dados;
- 110 - Não utilizado;
- 111 - Não utilizado.

Convém observar que a mensagem de sincronismo de relógio não possui código de tipo porque ela já é identificada pelo campo de endereçamento que, como foi visto anteriormente, é suficiente para a identificação completa dessa mensagem;

- . Número de seqüência - SEQ; utilizado especialmente pelas seqüências de mensagens que são geradas quando o volume da informação a ser transmitida excede o tamanho máximo do campo de informações, para identificar a posição da mensagem dentro da seqüência em questão. O número de seqüência constante deste campo será utilizado para recompor a informação de modo consistente, quando todo conjunto de mensagens for recebido; para esse número são utilizados três bits, podendo portanto variar de zero a sete, ou seja, é permitido, um máximo de oito mensagens por seqüência;
- . Seqüenciamento - S: este campo, composto de apenas um bit, tem função semelhante ao bit utilizado no campo de endereçamento para indicar endereçamento múltiplo; neste caso, porém, ele indica se a mensagem possui continuação. Se ele tem valor lógico UM uma mensagem da seqüência deve ser esperada para a composição da informação que está sendo transmitida; se tem valor lógico ZERO não há continuação, isto é, essa mensagem é a última da seqüência.

Deve-se observar que, quando uma mensagem recebida possui número de seqüência diferente de zero e bit de seqüenciamento igual a zero, significa apenas que a origem já completou a transferência para os anéis de todas as mensagens da seqüência, e não necessariamente que todas já tenham sido recebidas; isso porque existem atrasos diferentes e aleatórios para os diversos anéis do STD-CP, atrasos que podem fazer com que mensagens enviadas por um determinado anel levem um tempo para chegar ao mesmo destino, diferente daquele levado por alguma outra enviada anteriormente por um outro anel. Por esse motivo não se pode concluir, a priori,

que ao se receber uma mensagem com bit de seqüenciamento zero e número de seqüência diferente de zero que não chegarão mais mensagens pertencentes à mesma seqüência.

As mensagens que não fazem parte de seqüências podem ser identificadas pela combinação dos valores zero do campo de seqüenciamento e zero do de número de seqüência.

- . Contador: este campo é utilizado para se controlar o tempo de permanência das mensagens no anel, controle esse necessário para a retirada das mensagens dos anéis, se elas já estão há muito tempo circulando sem serem absorvidas por nenhum destinatário; este fato pode ocorrer quando elementos falham e não mais reconhecem seus endereços nas mensagens.

Este campo é constituído basicamente de um contador que é incrementado a cada nó que a mensagem passa e que ao atingir o seu valor máximo, indica que a mensagem deve ser retirada do anel. Para o contador foram designados sete bits, o que significa que a mensagem dará várias voltas completas no anel antes de ser apagada. Associado a esses sete bits foi inserido um bit de paridade ímpar, para evitar-se que erros sistemáticos ocasionem que uma mensagem fique permanentemente circulando pelo anel; isto implica que o comprimento deste campo seja de oito bits (sete de informações e um de paridade).

Por motivos de velocidade o campo de controle foi fisicamente separado, ficando o contador entre o "flag" e o campo de endereçamento e os seus demais campos após este último, conforme mostrado na figura 4.11. Além disso, para segurança, foi

associado um bit de paridade ímpar aos campos de Identificação da Mensagem, Número de Seqüência e Seqüenciamento, compondo então um conjunto de oito bits para esse segmento do campo de controle.

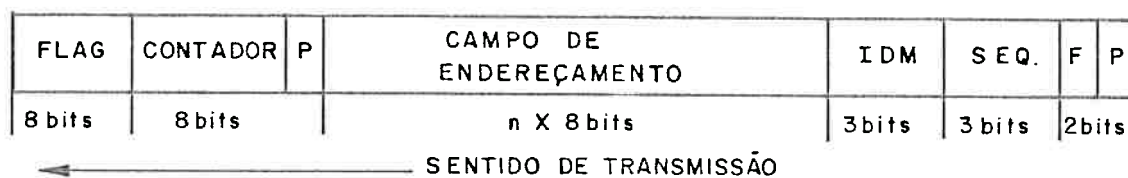


FIGURA 4.11- CAMPO DE CONTROLE

4.4.3.4. Campo de Informações

O campo de informações compõe a parte útil das mensagens e transporta as informações propriamente ditas, que serão utilizadas pelos diversos processos do sistema para a execução de suas funções específicas. A organização deste campo varia de acordo com o tipo de mensagem, ou seja, de acordo com o tipo da informação que está sendo transportada; as organizações para cada tipo de mensagem são apresentadas no item 4.4.4.

4.4.3.5. Campo de CRC

Este campo, como já mencionado anteriormente, contém o código de teste do campo de informações e é composto de um conjunto de 16 bits. Para o cálculo dos bits do CRC (Cyclic Redundancy Check) foi adotado o seguinte polinômio:

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1,$$

que é padronizado pela CCITT e utilizado em vários protocolos de comunicações [23] [38].

4.4.4. Detalhamento do Campo de Informações

4.4.4.1. Mensagens de Informação de Dados

Para que as informações fossem devidamente interpretadas pelos destinatários foi necessária a inclusão de dois campos: o primeiro identifica o tipo dos dados que são transmitidos e o segundo informa o número de bits que compõem esse tipo de informação. Dentro do campo de informações de uma mesma mensagem pode-se ter mais de um tipo de dados; entretanto, dados de um mesmo tipo sempre estarão agrupados após seus campos de identificação e comprimento, conforme mostrado na figura 4.12.

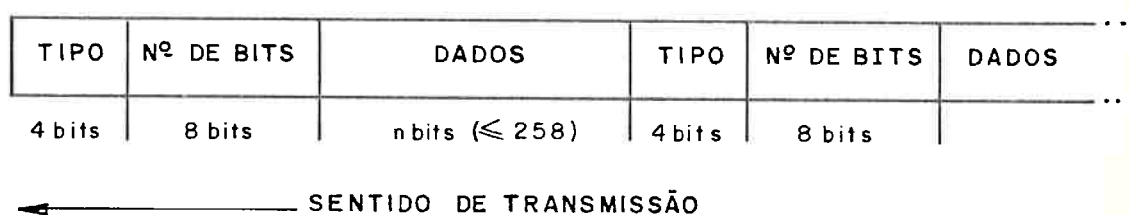


FIGURA 4.12 - CAMPO DE INFORMAÇÃO

São reservados doze bits para os campos de identificação e comprimento, sendo quatro para identificação do tipo de dados e oito para o número de bits que compõem esse tipo de informação permitindo-se, dessa forma, até 16 tipos de dados diferentes com comprimento máximo de 255 bits.

A codificação adotada para identificação do tipo de dados é a seguinte:

- 0000 - variáveis lidas dos processos físicos (supervisão);
- 0001 - variáveis de controle dos processos físicos (supervisão);

- 0010 - valores de pontos de operação (supervisão);
- 0011 - variáveis do processo físico em situação de alarme;
- 0100 - valores do relógio de tempo real;
- 0101 - variáveis de controle dos processos físicos (controle direto);
- 0110 - valores do ponto de operação (alteração de valores nos CPs);
- 0111 - valores de calibração;
- 1000 }
 a } reservado para uso futuro
 1111 }

Os dados obedecem a uma ordem prefixada e igual para todos os processos que utilizam as informações de um mesmo recurso do sistema. A ordem das informações é garantida pelo próprio hardware envolvido, e cada novo elemento que se conecta ao sistema deve estar ciente das ordens usadas e se enquadrar nos esquemas já definidos para os elementos que possuem funções iguais ou muito semelhantes.

4.4.4.2. Mensagens de Informação de Estado

Como no caso das mensagens de informação de dados, aqui também foram usados os campos de identificação e comprimento associados a cada tipo de informação de estado que se deseja transmitir (figura 4.12), sendo que, neste caso, o tipo indica qual é o registrador de estados que está sendo transmitido. A codificação utilizada, correspondente ao tipo, é a seguinte:

- 0000 - Tempo Esgotado: houve algum procedimento que não foi concluído dentro dos limites máximos de tempo especificados, e os conteúdos dos registradores de estado, que seguem como informação, indicam qual o motivo e fornecem

subsídios para os processos de teste e reconfiguração;

- 0001 - Falta Mensagem de Sincronismo: a mensagem de sincronismo de relógio de tempo real não chegou dentro do limite máximo de tempo estabelecido;
- 0010 - Falta de Sincronismo no Relógio de Tempo Real: o valor do relógio de tempo real recebido através de mensagem de sincronismo, quando comparado com o relógio local, indicou discrepância maior que o limite pré-estabelecido; como informação são enviados os valores dos relógios conflitantes para análise no CSUP;
- 0011 - Excesso em Campo de Contador: foi detectado valor máximo no campo de contador de uma mensagem, que foi, portanto, retirada do anel;
- 0100 - Destino não Responde 1: após várias tentativas, realizadas por um mesmo anel, não foram recebidos nem o ACK e nem NACK, dentro dos períodos de tempo máximos estabelecidos; como informação são enviados o número do anel por onde a comunicação foi tentada e o endereço do destinatário e, neste caso, é gerada também uma informação de estado por tempo esgotado (código 0000);
- 0101 - Destino não Responde 2: após várias tentativas por todos os anéis de comunicação do STD-CP a comunicação com o destinatário da mensagem não foi conseguida, isto é, não foram recebidos NACKs ou o ACK correspondente; como informação é enviado o endereço do desde

tinatário e, neste caso, também, é gerada uma informação de estado por tempo esgotado (código 0000);

0110 - Informação não Aceita: após várias tentativas de transferência da informação, sinalizada pelo recebimento de NACKs, não foi conseguida a transferência desejada; como informação é fornecido o endereço do destinatário;

0111 - Estado do Hardware: transmite como informação o conteúdo dos registradores de estado que espelham a operação do hardware;

1000 - Estado das Mensagens em Transferência: transfere como informação o conteúdo dos registradores de estado de transferências, que contêm o estado das filas e demais estruturas de dados envolvidos com as transferências de mensagens, podendo dessa forma obter-se informações completas sobre o desenvolvimento das transferências;

1001 - Estado do Nô: informa o estado de operação e dos elementos de hardware particulares do nô em questão;

1001 }
 a } São reservados para uso de particular aplicação
 1111 }

Também como no caso anterior, neste tipo de mensagem as informações dentro de cada uma das categorias citadas possuem posições pré-fixadas pelo hardware do elemento que gera a transferência de estado.

As mensagens de informação de estados podem também ser utilizadas para alimentar procedimentos e avaliação de desempenho do sistema, com a finalidade de se descobrir pontos onde existem gargalos para a transferência de mensagens e onde a confiabilidade está abaixo dos limites desejados. Obtêm-se, dessa forma, subsídios para eliminar esses pontos de degradação de desempenho; foi com este objetivo que alguns códigos foram criados e, se houver no futuro necessidade de outras informações de estados específicos, pode-se lançar mão dos códigos ainda não utilizados.

4.4.4.3. Mensagem de Requisição de Informações

Neste tipo de mensagem, o campo de informação contém apenas o código das informações desejadas, não sendo necessária a informação de comprimento. Por questões de padronização, o tipo de informação também é codificado em quatro bits, permitindo requisições de até 16 tipos diferentes de informações, apesar de se utilizar geralmente apenas cinco delas. Podem ocorrer casos onde apenas uma informação específica de um todo é requisitada; nesses casos, o campo de informação da mensagem de requisição será composta de dois conjuntos de quatro bits, um identificando o geral e o outro o específico.

A codificação utilizada é a seguinte:

0000 - Requisição de informação completa de dados relativos ao processo físico, seguindo como resposta mensagens de informação de dados contendo os valores das variáveis supervisionadas, das variáveis de atuação e dos valores de pontos de operação e outras variáveis que sejam relacionadas com o processo físico;

- 0001 - |código| - Requisição de informação específica de dados relativos ao processo físico, seguindo como resposta mensagens de informação de dados contendo os valores das variáveis do processo físico, de acordo com o especificado em |código|, onde é obedecida a mesma codificação de tipo de informação das mensagens de informação de dados;
- 0010 - Requisição de informação completa de estados, seguindo como resposta mensagens de informação de estados com o conteúdo dos registradores de estado do hardware e de transferência como informação;
- 0011 - |código| - Requisição de informação específica de estados, seguindo como resposta mensagens de informação de estados, com o conteúdo do registrador de estado especificado em |código|, onde é obedecida a mesma codificação utilizada nas mensagens de informação de estados;
- 0100 - Requisição de Informação de Relógio de Tempo Real, seguindo como resposta uma mensagem de informação de dados contendo os valores do relógio de tempo real;

0101 }
a } Código não utilizados.
1111 }

4.4.4.4. Mensagens de Sincronismo de Relógio

O campo de informações destas mensagens contém hora, minuto, segundo e décimo de segundo, em formato fixo. O número total de bits usados para a informação completa do valor do relógio de tempo real é vinte e um, dividido da seguinte forma:

- . 5 bits para horas: 0 a 24;
- . 6 bits para minutos: 0 a 59;
- . 6 bits para segundos: 0 a 59;
- . 4 bits para décimos de segundos: 0 a 9.

Deve-se observar que nas mensagens de informação de dados e de estados, os valores do relógio são fornecidos nesse mesmo formato.

4.4.4.5. Mensagens de Configuração

As informações transportadas por estas mensagens, como no caso das de informações de dados e de estados, possuem dois campos associados que se incumbem de identificar a informação e indicar o seu comprimento; por motivos de padronização, neste caso também são usados quatro bits para o código de identificação e oito para o comprimento.

As mensagens de configuração, como as anteriormente analisadas, podem transportar na mesma mensagem vários tipos diferentes de dados e comandos de configuração, sendo sempre cada conjunto precedido dos dois campos citados.

A codificação utilizada para o código das informações e comandos de configuração é a seguinte:

- 0000 - Código de dados de programação: é usado nos casos de programação ou reprogramação de elementos conectados ao STD-CP. A informação transportada contém novos algoritmos ou procedimentos a serem executados, já codificados na linguagem de máquina dos processadores envolvidos;
- 0001 - Código de dados de parametrização: é usado nos casos onde é necessária a atuação de parâmetros relativos aos procedimentos ou algoritmos implementados nos elementos conectados ao STD-CP. O campo de informação transporta os parâmetros em formato fixo determinado pelo hardware de cada um dos elementos;
- 0010 - Código de dados de configuração geral: é utilizado nos casos onde há necessidade de configuração ou reconfiguração do hardware dos elementos conectados ao STD-CP. São transportadas informações sobre quantos anéis serão utilizados, quais IVCs, CPs ou outros blocos que estarão em operação normal ou estarão apenas disponíveis para uso eventual (hot stand-by), ou seja, mensagens de configuração com este tipo de dados são enviadas aos elementos do STD-CP antes de sua entrada em operação normal para a configuração de seu hardware e durante as operações de configuração, quando for necessário;

- 0011 - Código de ordem de desconexão: é utilizado quando há necessidade de desligar um ou mais elementos de hardware; o elemento em questão é identificado pelo código presente no campo de informação propriamente dito, ou seja, é utilizado nas operações de reconfiguração do hardware do sistema;
- 0100 - Código de ordem de conexão: possui a função inversa do código anterior, ou seja, ordena a entrada em operação dos elementos de hardware especificados. É também utilizado nas operações de reconfiguração; convém observar que esquemas de proteção por intertravamento não permitem a entrada em operação de elementos cujos parceiros meramente redundantes não tenham sido previamente desligados, precaução essa necessária para que não sejam enviados sinais conflitantes para os processos físicos;
- 0101 - Código de dados de programação dos IVCs; é utilizado quando da programação ou reprogramação dos elementos geradores de mensagens e dos dispositivos de "tempo esgotado" dos IVCs; o campo de informação transporta os dados em formato fixo e na seqüência pré-definida pelo hardware;
- 0110 } Códigos não utilizados na presente implemen
a } tação, podendo, entretanto, ser utilizados
1111 } em aplicações particulares, para funções es
pecíficas.

É interessante observar-se mais uma vez que, dadas as características das informações transportadas pelas mensagens de configuração, elas normalmente apresentam endereços físicos em seus campos de endereçamento.

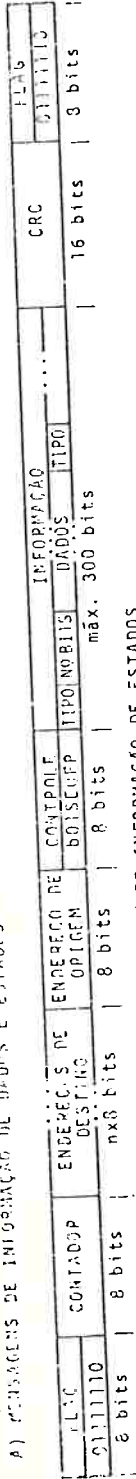
4.4.4.6. Resumo

Expostos em linhas gerais os formatos para o campo de informações com os códigos utilizados em cada tipo particular de mensagem, convém ainda relatar que foi especificado em 300 bits o máximo comprimento para o campo de informações, o que permite, por exemplo, enviar uma mensagem contendo dois tipos de dados com 128 bits de informação útil em cada um.

A limitação no comprimento do campo de informação foi imposta porque as mensagens muito longas poderiam bloquear as transmissões de novas mensagens para os anéis de comunicação por um tempo demasiadamente longo, causando atrasos que poderiam comprometer o desempenho do sistema. Durante a operação normal do sistema, o limite praticamente não será atingido, uma vez que, na maioria dos casos, a informação a ser transportada (normalmente pelas mensagens de informação de dados) não deverá exceder os 300 bits disponíveis. O mesmo não ocorrerá, entretanto, a fase de implantação ou configuração do sistema, devido à grande quantidade de informação transportada pelas mensagens de configuração.

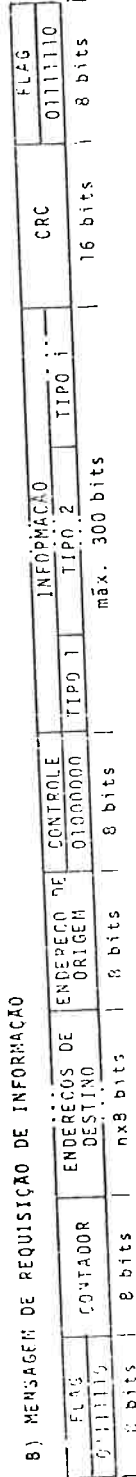
Os formatos particulares de cada tipo de mensagem são mostrados na figura 4.13, onde deve ser notado que a mensagem de sincronismo de relógio de tempo real não possui o campo de controle, pois ele é completamente dispensável.

A) MENSAGENS DE INFORMAÇÃO DE DADOS E ESTADOS



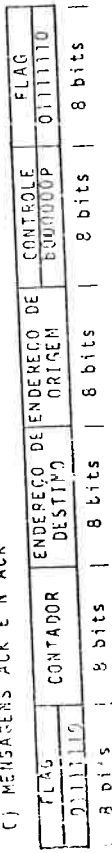
NO CAMPO DE CONTROLE: b=0 → MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE ESTADOS
 b=1 → MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE DADOS
 SEQ → NÚMERO DE SEQUÊNCIA
 F → BIT DE SEQUENCIAMENTO
 P → PARIDADE

B) MENSAGEM DE REQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO



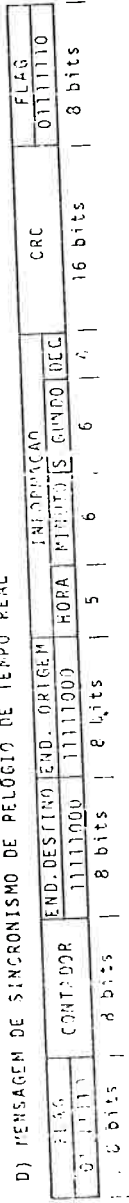
SENTIDO DE TRANSMISSÃO

C) MENSAGENS ACK E N ACK



NO CAMPO DE CONTROLE: b=0 → MENSAGEM ACK
 b=1 → MENSAGEM N ACK
 P → PARIDADE

D) MENSAGEM DE SINCRONISMO DE RELÓGIO DE TEMPO REAL



E) MENSAGEM DE CONFIGURAÇÃO

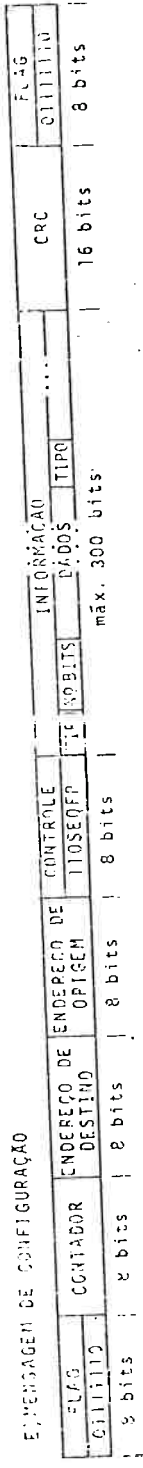


FIGURA 4.13 - FORMATO DAS MENSAGENS

4.5. Protocolo de Comunicações entre o STD-CP e os Elementos a ele Conectados

Dada a estrutura de interconexão definida no item 4.2.1.1, o protocolo de comunicações entre o STD-CP e os elementos a ele conectados se resume basicamente na organização dos dados na memória compartilhada, que é o meio de comunicação, e nas regras de acesso a essa memória, de forma a resolverem-se os possíveis conflitos que venham a ocorrer.

Entretanto, para a definição do protocolo, é necessário considerar-se que existem várias classes de informação a serem trocadas, relacionadas única e exclusivamente com o tipo de dados envolvidos em cada particular transação. Essas classes são as seguintes:

- . Classe de Dados Presentes no Processo Físico: envolve as variáveis do processo físico que estarão presentes nas mensagens de informação de dados geradas pelo nó em questão, ou seja, no caso geral, são as variáveis de supervisão, as variáveis de controle, os valores de pontos de operação e as variáveis em situação de alarme do processo físico sob jurisdição do CP em questão;
- . Classe de Estados: envolve os dados relativos ao estado de operação, do hardware e do software do nó em questão e os valores do relógio de tempo real. Ao estado estão relacionadas informações sobre a operação do CP, ou seja, se a operação está em modo local, central ou manual; se existem condições de alarme de operação do processo físico ou do elemento conectado ao STD-CP como um todo, ocasionadas por falhas ou inconsistências detectadas; se o CP está com operação bloqueada para carga de novos parâmetros ou algoritmos ou se está disponível para uso eventual mas não em operação normal (hot stand-by); etc;

- . Classe de Dados Paramétricos: envolve os parâmetros que por ventura sejam necessários aos algoritmos implementados no elemento em questão; convém observar que, para a alteração dos parâmetros, os algoritmos precisam ser interrompidos e somente reiniciados após a completa modificação dos mesmos, para que a consistência seja mantida;
- . Classe de Dados de Programação: envolve os códigos-objeto dos algoritmos a serem executados pelo elemento em questão; como no item anterior, para a carga de novos algoritmos a operação deve estar interrompida para que a consistência seja garantida;
- . Classe dos Comandos de Controle: envolve os comandos de controle remotos que são utilizados para ativar ou desativar o elemento conectado ao STD-CP em questão, ou parte dele, e para alterar ou permitir a mudança do modo de operação do CP;
- . Classe dos Dados de Controle e Calibração: envolve os valores de pontos de operação e das variáveis para atuação direta no processo físico, que são enviados aos CPs, e os valores de calibração para os elementos em geral.

A existência dessas classes de informação bastante distintas levou à necessidade de se considerar cada uma delas como um caso distinto e, portanto, tratar cada uma particularmente. A seguir então serão apresentadas a organização dos dados e as regras de acesso que compõem o protocolo de comunicações entre o STD-CP e os elementos a ele conectados.

4.5.1. Organização dos Dados

Conforme exposto anteriormente cada classe de informação será tratada distintamente, definindo-se a estrutura de dados e a organização do segmento da memória compartilhada envolvido em cada caso.

4.5.1.1. Classe dos Dados Presentes nos Processos Físicos

Esta classe é constituída dos dados necessários para a monitoração completa do processo físico, de onde são coletados através do CP. Tais dados são enviados apenas aos específicos elementos conectados ao STD-CP que os utilizam, através de mensagens de informações de dados. Em outras palavras pode-se afirmar que, neste caso, a comunicação se processa única e exclusivamente no sentido do CP para o STD-CP, pois os dados envolvidos referem-se apenas a dados de supervisão.

Como já mencionado anteriormente e de acordo com as especificações do sistema, a cada conjunto completo de variáveis do mesmo tipo, coletadas para os procedimentos de supervisão, deve estar associado o instante da coleta, dado pelo valor do relógio de tempo real acoplado ao CP em questão.

Considerando ainda as especificações e também o próprio hardware dos CPs, que será detalhado no próximo capítulo deste trabalho, tem-se que cada um desses conjuntos de variáveis é composto de, no máximo, dezesseis palavras de 16 bits, correspondendo à capacidade (máxima) de cada CP de controlar dezesseis malhas fechadas. Cada CP, portanto, trata de dezesseis variáveis analógicas de supervisão, e do mesmo número de variáveis analógicas de controle; para essas variáveis é imposta a precisão de 16 bits para a sua conversão em sinais digitais. Além das variáveis analógicas ainda é necessário preverem-se as

256 (máximo) variáveis digitais, que podem ser coletadas independentemente dos procedimentos de controle em malha fechada pelo CP.

Pode-se concluir, portanto, que cada conjunto de variáveis do mesmo tipo necessita de um bloco de memória de no máximo dezesseis palavras de 16 bits, considerando ainda o número de variáveis em estado de alerta também não ultrapassa esse limite, bem como o número de variáveis de pontos de operação, pois sempre nesses casos a relação é no máximo 1:1 em relação ao número de variáveis do processo físico supervisionado.

Dados esses parâmetros, para esta classe de dados, a organização da memória compartilhada resultou em janelas de dezesseis palavras de 16 bits, sendo uma para cada tipo de variável, intercaladas por duas palavras, também de 16 bits, onde é armazenado o valor do relógio de tempo real relativo ao instante da aquisição das variáveis envolvidas, conforme mostrado na figura 4.14. Convém ressaltar que, como o valor do relógio é o mesmo para cada conjunto de variáveis do mesmo tipo, é necessário que as mesmas sejam lidas dentro de um intervalo de tempo compatível com as precisões desejadas. Além disso, como o valor do relógio necessita de apenas 21 dos 32 bits disponíveis, os 9 restantes não são considerados, tendo sido escolhidos para esse caso palavras de 16 bits apenas por razões de homogeneidade da memória.

Com a organização mostrada na figura 4.14, projetada levando em conta a comunicação no sentido do CP para o STD-CP, também é possível a comunicação no sentido inverso, ou seja, do STD-CP para os elementos a ele conectados. Assim sendo, a estrutura geral para este caso é composta de dois conjuntos independentes com a organização mostrada, um para transmissão e outro para recepção de informações, podendo, um deles, obviamente ser suprimido, se não for necessária a comunicação em algum dos sentidos.

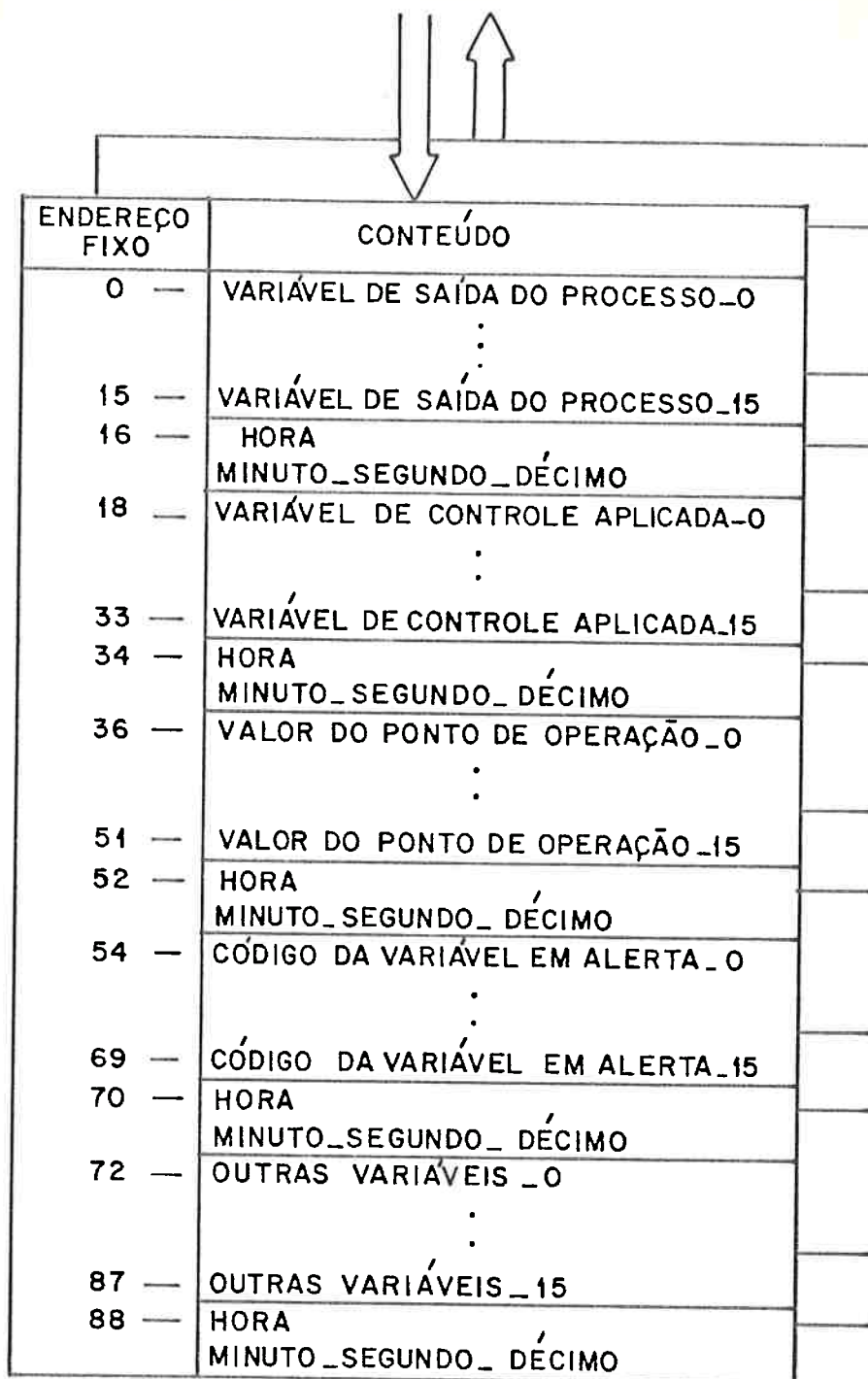


FIGURA 4.14_ORGANIZAÇÃO PARA A MEMÓRIA COMPARTILHADA
CLASSE DE DADOS DO PROCESSO FÍSICO

Finalmente, conforme mostrado na mesma figura, o endereço de cada variável dentro de um conjunto é fixo e estabelecido pela ordem de tratamento da mesma pelo CP que a tem sob sua jurisdição. Além disso, a posição dos valores do relógio de tempo real para cada conjunto e, conseqüentemente, o início de cada conjunto, também é fixo, independentemente do número de variáveis existentes em cada um; se esse número for menor que dezesseis, o espaço que sobra não será aproveitado.

4.5.1.2. Classe de Estados

Os dados desta classe são os relativos ao estado do elemento em questão, e estão armazenados em registradores especiais, cujo conteúdo espelha as condições instantâneas, de operação e do hardware; foi excepcionalmente colocado nesta categoria o valor do relógio de tempo real, isto porque a comunicação no sentido do STD-CP se processa da mesma forma que o estado, como será visto a seguir.

As características intrínsecas das informações de estados, dadas pela variação assíncrona e aleatória de seus dados, não permitem que elas sejam armazenadas em memórias e depois de um certo tempo transferidas, pois esse procedimento poderia causar atrasos irreparáveis no fornecimento das informações de estado aos centros supervisores, e, conseqüentemente, nas medidas corretivas que devam ser tomadas com rapidez para se evitar problemas operacionais e perda de controle dos processos físicos, acarretando sérios prejuízos. Considerando esse fato, aliado à economia de hardware proporcionada, decidiu-se que os próprios registradores de estados dos elementos seriam utilizados como meio de comunicação dos dados de estados, no sentido do elemento conectado no STD-CP para o STD-CP, e que seria utilizada uma estrutura semelhante à usada no item anterior (figura 4.14) para o caso inverso.

Da mesma forma que as informações de estado, os valores do relógio de tempo real, quando solicitados por intermédio das mensagens de requisição de informações, devem chegar ao requisitante o mais rápido possível, para que a informação não perca a validade; foi, basicamente, esta razão que levou a adotar-se para os valores do relógio a mesma política das informações de estado, ou seja, o próprio relógio seria o meio de comunicação para o envio de dados e uma estrutura semelhante à do item anterior para o recebimento da informação de relógio, proveniente das mensagens de informação de dados. Deve-se observar, entretanto, que para o caso das mensagens de sincronismo de relógio de tempo real, o valor por elas transportado é comparado diretamente pelo IVC, não sendo portanto, utilizada a estrutura de recepção. Esse procedimento foi adotado para economia de tempo e para não envolver o nó em questão nas tarefas de teste remoto do relógio.

Para a recepção de dados de estado foi reservado um conjunto de dezesseis palavras de 16 bits, onde cada um dos 256 bits corresponde sempre ao mesmo bit de estado para qualquer que seja o elemento do STD-CP, e um conjunto de duas palavras para o valor do relógio de tempo real, obedecendo o mesmo formato utilizado no item anterior, ou seja, também neste caso o formato é fixo, onde a posição de cada bit de estado é convencionalmente pelo hardware. A título ilustrativo a figura 4.15 mostra, esquematicamente, a estrutura utilizada para este caso.

4.5.1.3. Classe de Dados Paramétricos

Os dados paramétricos são utilizados para a alteração dos parâmetros dos algoritmos, implementados nos elementos conectados ao STD-CP, como por exemplo as constantes necessárias para os algoritmos PID ou a taxa de varredura de um aquiretor de dados digitais. Via de regra, este tipo de dado é gerado pelos CSUP e utilizado pelos CP; entretanto, a estrutura propos

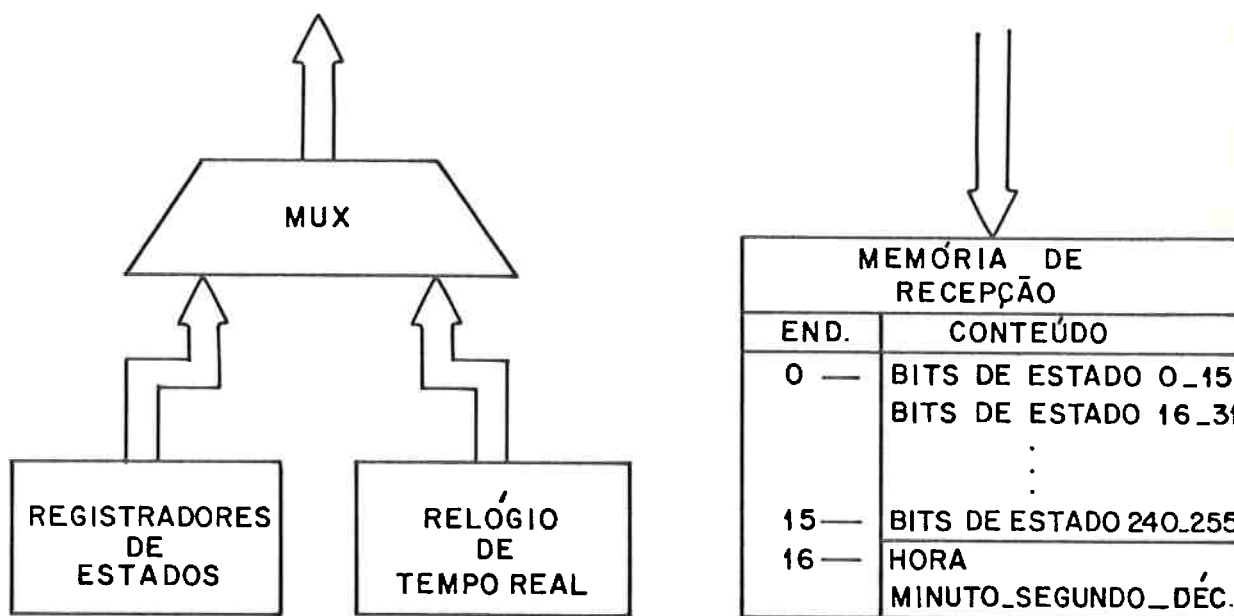


FIGURA 4.15_ ESQUEMA DA ESTRURA PARA A CLASSE DE ESTADOS

ta não impede que qualquer elemento seja tanto gerador quanto receptor de dados paramétricos.

Como as constantes utilizadas nos algoritmos de controle a malha fechada são dadas em ponto flutuante, para que se obtenha boa precisão, foi definido que os dados paramétricos utilizariam palavras de 32 bits de comprimento, mesmo para aqueles dados em ponto fixo. Foi definido, também, que o número máximo de parâmetros seria de dezesseis.

Para a estrutura de comunicação foi escolhido o mesmo esquema adotado para a classe de dados presentes nos processos físicos, ou seja, a comunicação é feita através da memória compartilhada, na qual uma área é reservada para a transmissão e outra para a recepção. Deve-se observar que, considerando-se a baixa frequência de troca de parâmetros nos algoritmos já implantados, que se verifica geralmente durante a operação normal, justificar-se-ia a utilização de uma mesma área da memória compartilhada, tanto para a recepção quanto para a transmissão. Entretanto, optou-se pela duplicação dessas áreas, pelos seguintes motivos:

- . Simplificação no projeto do hardware de controle, principalmente no que se refere à implementação de esquemas de segurança que garantam a integridade dos dados;
- . Uniformização dos vários esquemas de comunicação;
- . Redução no custo, resultante dos dois motivos anteriores.

A organização das memórias, de acordo com o exposto, é dezesseis palavras de 32 bits, onde a posição relativa de cada parâmetro não é fixada, a priori, dependendo apenas do software aplicativo de cada elemento receptor, cujas exigências devem ser conhecidas pelos geradores, sendo, entretanto, obriga

tório que o parâmetro seja fornecido em palavras com comprimento de 32 bits.

4.5.1.4. Classe dos Dados de Controle e de Calibração

Nesta classe estão presente os dados relativos às variáveis de controle enviadas para controle direto do processo físico, ignorando as calculadas pelos algoritmos (se existirem) presentes no CPs, aos valores dos pontos de operação, quando houver necessidade de alterá-los, e aos dados que por ventura venham a ser necessários para procedimentos de calibração ou verificação da regularidade dos equipamentos conectados aos diversos elementos do sistema. Com exceção dos de calibração, estes dados transitam em mensagens de informação de dados e são codificados em palavras de 16 bits; os dados de calibração, que dependendo do caso atuam como variáveis analógicas, são também codificados em 16 bits, mantendo-se dessa forma o padrão para as conversões analógico-digitais e vice-versa.

Sabendo-se que elementos conectados ao STD-CP, especialmente os CPs, podem calcular variáveis de controle e enviá-las para outro CP qualquer, para que atuem no processo físico e, também, receber de outros elementos do sistema variáveis de controle para atuação direta no processo físico sob sua jurisdição, justifica-se a utilização do mesmo esquema de comunicação adotado para a classe de dados do processo físico, onde são utilizadas memórias independentes para transmissão e recepção, com formatação interna fixa, nos mesmos moldes da figura 4.14.

Os dados a serem utilizados como pontos de operação e, principalmente, como valores de calibração, de uma forma geral são menos frequentes que os de variáveis de controle; mas, pelos mesmos motivos apresentados para o caso da classe de dados paramétricos, é conveniente que a estrutura adotada no item 4.5.1.1, que também se mostrou adequada para as variáveis de con

trole para atuação direta, seja a estrutura adotada para estes tipos de dados. Entretanto, nesse caso, não existe a necessidade dos valores do relógio de tempo real.

A figura 4.16 mostra a organização da memória compartilhada para este caso, onde pode-se notar que o número máximo permitido de variáveis do mesmo tipo é de dezesseis, pelos mesmos motivos expostos no item 4.5.1.1, onde também estavam envolvidas as variáveis de controle e os valores de ponto de operação, sendo para as variáveis de calibração definido também o máximo de dezesseis, pois dificilmente em algum elemento conectado ao STD-CP ter-se-ia tantos pontos que necessitem de calibração.

4.5.1.5. Classe de Dados de Programação

Os dados desta classe são códigos-objeto de novos algoritmos ou programas aplicativos, que terão como destino final a memória de programas do elemento que recebe esse tipo de dados. Geralmente, os programas em linguagem de máquina que são executados pelos elementos conectados ao STD-CP, excedem o máximo de 300 bits permitidos pelo campo de informações das mensagens, sendo portanto necessárias várias mensagens de configuração para que se obtenha o programa completo; sendo assim, é conveniente que se espere o programa completo para que, depois de realizados os testes de consistência pertinentes, ele seja transferido de uma única vez para a memória local do elemento em questão.

As operações de carga de novos algoritmos ou programas aplicativos são pouco utilizadas durante a operação normal do sistema, depois da sua instalação, implantação e partida (start-up). Essas operações, normalmente, envolvem grande quantidade de dados e são poucos os elementos que têm capacidade de gerar este tipo particular de dados (geralmente, apenas o CSUPS

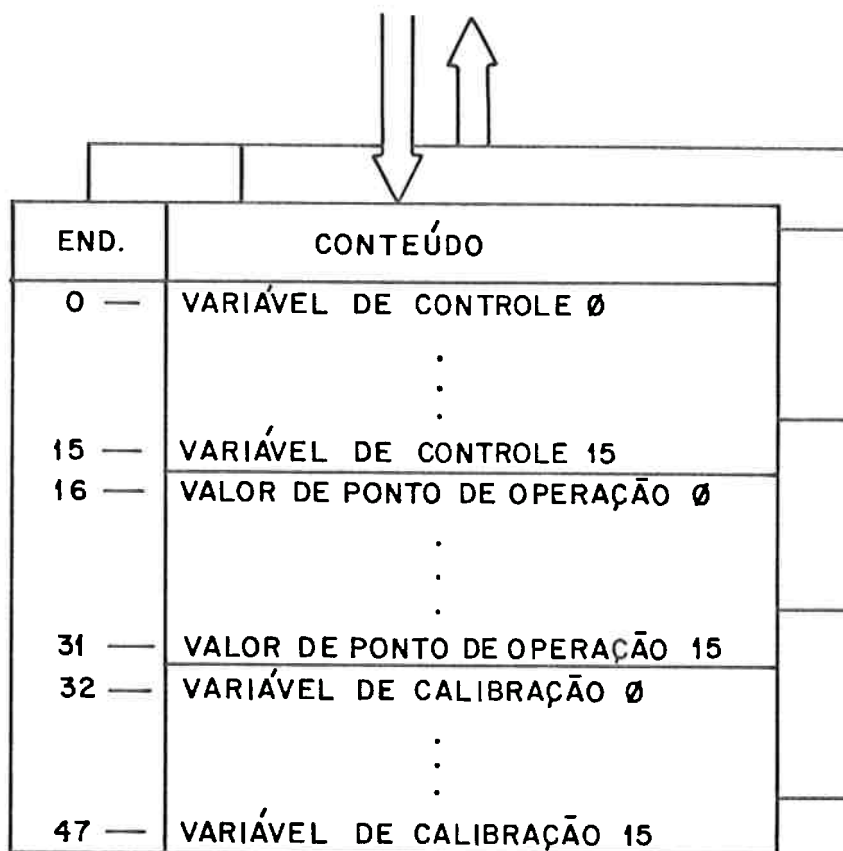


FIGURA 4.16 ORGANIZAÇÃO DA MEMÓRIA COMPARTILHADA PARA A CLASSE DE DADOS DE CONTROLE E CALIBRAÇÃO

têm essa capacidade, mas, em compensação, não recebem dados dessa categoria).

Considerando esses fatos optou-se pela utilização de um único banco de memória, que é usado tanto para as transmissões como para as recepções, associando-se a esse banco sinais de estado para indicar se o mesmo está sendo utilizado e em qual direção. O banco de memória utilizado, ao contrário dos casos anteriores, não tem tamanho nem formato fixos, sendo apenas o comprimento das palavras fixado em 16 bits; a flexibilidade de tamanho e formato foi necessária dada a grande diversidade de elementos que se pode conectar ao STD-CP, cada um deles possuindo sua arquitetura específica, implementada com um particular tipo de microprocessador e com seu carregador de programas projetado de acordo com as suas limitações.

Convém observar que o elemento gerador dos códigos-objeto deve enviar, no primeiro pacote de dados, as informações necessárias para a operação do carregador, cuja função é carregar o programa com o endereçamento correto na memória local, realizar os testes de consistência sobre os dados recebidos (por exemplo: check sum) e disparar a execução do mesmo. E, ainda, que o tamanho da memória, determinada para cada elemento deve ser observada pelo gerador dos programas-objeto, pois, se a capacidade máxima for excedida os dados poderão ser perdidos.

4.5.1.6. Classe dos Comandos de Controle

Este tipo de dados é transportado através das mensagens de configuração e deve atuar nos circuitos de controle dos elementos que os recebem, para que as ordens especificadas sejam executadas. Devido aos casos onde a execução dos comandos deve ser feita em uma determinada ordem, eles forçosamente serão executados na mesma ordem que aparecem no campo de informações da mensagem, ficando por conta do elemento gerador desses comandos ordená-los de acordo com a ordem de execução desejada.

Para a transferência dos comandos de controle, é utilizado o mesmo esquema adotado para a classe dos dados de controle e calibração, ou seja, dois bancos de memória independentes (um para transmissão e outro para recepção) com formato fixo, sendo que a ordenação dos comandos é estabelecida pela sequência dos endereços da memória, isto é, o primeiro comando a ser armazenado é o primeiro que aparece no campo de informações da mensagem e assim por diante, obedecendo-se à sequência do campo de informações.

O comprimento das palavras dessas memórias também será de 16 bits, sendo quatro utilizados para o código do comando e os doze restantes para a especificação dos parâmetros do mesmo.

4.5.2. Regras de Acesso aos Elementos Compartilhados

As regras de acesso são simples, e o acesso aos elementos é arbitrado por um esquema de prioridades, onde o nó em questão tem a maior prioridade e os demais elementos de acesso ao STD-CP possuem prioridades programáveis por hardware, de acordo com a aplicação específica. Convém observar, mais uma vez, que as operações de leitura ou escrita de blocos de dados nos elementos compartilhados devem constituir operações atômicas, de forma a se garantir a consistência das informações, o que implica diretamente no fato de que, uma vez iniciada uma operação, ela não deve ser interrompida, mesmo que pedidos de acesso de prioridades mais altas ocorram.

A seguir completar-se-á a descrição do protocolo de comunicações do sistema de transmissão de dados com a apresentação dos mecanismos utilizados para a geração dos diversos tipos de mensagens.

4.6. Mecanismos Geradores das Mensagens

Como já foi mencionado anteriormente, os CPs não participam efetivamente da geração e da transmissão das mensagens, tendo sob sua responsabilidade apenas o fornecimento dos dados necessários para a geração das mesmas; o mesmo ocorre na recepção de mensagens, quando o CP recebe os dados já prontos para serem utilizados. Resumidamente, todo o procedimento de geração recepção e transmissão das mensagens e o controle propriamente dito da comunicação são de responsabilidade dos IVCs, que são elementos pertencentes ao STD-CP. Esse procedimento adotado para os CPs foi então expandido para todos os elementos conectados ao STD-CP, em virtude, principalmente, da uniformidade e modularidade obtidas pela utilização do mesmo esquema de comunicação, independentemente do tipo do elemento.

Serão descritos, a seguir, os procedimentos envolvidos desde a captação até a recepção das informações pelos elementos que efetivamente as utilizarão, passando-se pela geração das mensagens que transportam os dados internamente ao STD-CP, para cada um dos tipos de mensagens, descritos na seção 4.4.2.

4.6.1. Geração das Mensagens de Informação de Dados

Uma mensagem de informação de dados é gerada pelo IVC quando este recebe uma excitação interna ou externa para tal. As excitações externas ocorrem, via de regra, quando existem dados correspondentes às variáveis de controle para atuação direta nos processos físicos sob jurisdição de outros elementos conectados ao STD-CP, e quando existem valores de pontos de operação a serem transmitidos; essas excitações externas são geradas pelos elementos que realizaram os cálculos para obter os valores das variáveis envolvidas, quando elas estiverem prontas para serem transmitidas.

As excitações internas ocorrem periodicamente, de acordo com a programação previamente carregada no IVC, e são utilizadas para a transmissão de informações de supervisão dos processos físicos, tais como, as variáveis de saída e outras supervisionadas, as variáveis de controle, os valores de pontos de operação, as variáveis que apresentam estado de alerta e os valores de relógio de tempo real associados a elas. Além das periódicas, outras excitações internas, provenientes da decodificação das mensagens de requisição de dados, podem disparar os processos de geração e de transmissão de mensagens contendo os dados requisitados.

Recebida uma excitação, seja ela interna ou externa, os procedimentos adotados para a coleta dos dados, a geração e a transmissão da mensagem e a recepção dos dados pelo destinatário final é sempre o mesmo, diferindo apenas no armazenamento final dos dados envolvidos, pois se estes forem valores para alteração de pontos de operação ou variáveis de controle para atuação direta nos processos físicos, sua busca e seu armazenamento final são feitos na estrutura definida no item 4.5.1.4 e, caso contrário, na definida no item 4.5.1.1.

Periodicamente, os aquisitores de dados do processo físico ou os geradores internos de dados armazenam nas memórias compartilhadas dados atualizados. Essas atualizações são realizadas mesmo que os dados envolvidos não sejam objeto de nenhuma transferência de informação.

Sempre que o IVC recebe uma solicitação de transmissão, receberá também, associada a ela, uma estrutura de dados que informará quais são os destinatários da mensagem a ser gerada e qual o número de variáveis de cada tipo a serem transmitidas. Utilizando as informações presentes nessa estrutura, que é programável e está armazenada nos IVCs, a mensagem começa a ser montada, pelo seu campo de endereçamento.

Depois de concluída a montagem do campo de endereçamento é composto o campo de controle, onde é considerado o tamanho da informação a ser transmitida. Se for menor que o máximo permitido para o campo de informações, é então providenciada a transferência direta dos dados da memória compartilhada para a área de memória do IVC, onde a mensagem está sendo preparada (convém observar que essa transferência é realizada em uma única operação atômica).

Entretanto, se a informação a ser transferida for maior que o máximo permitido para o campo de informações, a transferência de dados da memória compartilhada para o IVC ainda é realizada de uma só vez, mas agora os dados são armazenados em blocos auxiliares de memória, que serão utilizados à medida que as mensagens forem sendo montadas.

Transferida a informação e associados os devidos códigos, de tipo e respectivos números de bits, é calculado o CRC, completando a mensagem que está disponível para transmissão para os IVCs de destino através dos anéis de comunicação.

Quando um IVC recebe uma mensagem de informação de dados, ou seja, ele era um dos destinatários e os campos de endereçamento e controle passaram pelos respectivos testes de consistência, é verificada então a consistência do campo de informações através do teste do CRC; não sendo detectados erros, o IVC decodifica os códigos de tipo de informação e realiza sua transferência para as estruturas compartilhadas convenientes, levando em conta o número de bits de cada tipo de variável. Caso a informação completa esteja dividida em várias mensagens (não coube em apenas uma), o IVC esperará que todas elas sejam recebidas e, portanto, que a informação completa esteja armazenada no próprio IVC, para então decodificar os códigos de tipo e armazenar os dados nas estruturas compartilhadas; convém observar que essas operações de armazenamento também devem ser atômicas, de forma a garantir a consistência dos dados que estão sendo transferidos.

Após o término da operação de armazenamento nas devidas estruturas de dados, é sinalizado para elemento de destino que existem dados para serem utilizados, com dois objetivos básicos, que são: informar que existem dados e informar que a estrutura está ocupada, não podendo ser novamente utilizada pelo próprio IVC ou por outros dispositivos que a estão compartilhando, até que seja liberada, liberação esta promovida pelo elemento em questão, quando já utilizou ou transferiu os dados para alguma área de armazenamento local.

4.6.2. Geração das Mensagens de Informação de Estados

Essas mensagens, como no caso anterior, são geradas pelo IVC a partir de excitações externas ou internas; as externas são provenientes do nō que está conectado ao IVC em questão e são geradas quando ocorre alguma mudança importante no seu estado, tal como, alteração do modo de operação de um CP, ocasionado por comandos dos operadores locais, condições de alarme nas variáveis controladas e detecção de falhas de hardware, que comprometam a operação correta do nō, e sempre são relativas aos estados dos elementos conectados ao IVC que recebe a excitação.

As excitações internas são provenientes do próprio IVC e geradas ou periodicamente ou pela decodificação de uma mensagem de requisição de informações, como no caso anterior; além disso, elas podem ser geradas quando ocorrer falta de mensagem de sincronismo, esgotamento de tempo, falta de sincronismo entre os relógios de tempo real, e outros eventos que possam a vir ser programados para gerarem excitações internas. Convém observar, entretanto, que as mensagens geradas pelas excitações não periódicas, excetuando-se as causadas pelas mensagens de requisição de informações que pedem o estado completo, enviam apenas as informações de estado correspondentes à causa geradora da excitação.

Os procedimentos adotados para captação dos dados, geração de mensagens e entrega das informações aos destinatários é o mesmo explicado no item anterior, com exceção das estruturas compartilhadas que, neste caso, são os registradores de estados para a leitura das variáveis e a estrutura conveniente para a entrega das mesmas.

4.6.3. Geração das Mensagens de Requisição de Informações

Essas mensagens são geradas pelos IVCs somente através de excitações externas que determinam também o código da informação que está sendo requisitada e os endereços dos destinatários. Essas informações são suficientes para compor completamente a mensagem e enviá-la aos destinatários.

Convém notar que neste tipo de mensagem o destinatário não é o elemento conectado ao STD-CP, mas sim um elemento interno ao mesmo, que é o IVC, que irá decodificar a mensagem e tomar todas as providências para responder às requisições recebidas, sem que o CP ou outro elemento qualquer conectado ao STD-CP tome parte ativa nessas tarefas.

4.6.4. Geração das Mensagens de Configuração

As mensagens de configuração, como as de requisição de informações, são geradas somente por excitações externas e por nós pertencentes ao nível hierárquico de coordenação; as informações necessárias para composição da mensagem, como endereços de destino e campo de informações, são fornecidas também pelos nós interessados em enviar a mensagem. A transferência das informações para o destinatário é realizada, como nos casos anteriores, com a carga dos dados correspondentes nos meios compartilhados e com a sinalização de que existem dados disponíveis a serem tratados.

4.6.5. Geração de Mensagem de Sincronismo de Relógio de Tempo Real

Finalmente, as mensagens de sincronismo são geradas por excitações internas ao IVC, que ocorrem periodicamente; quando da geração da mensagem, os valores do relógio de tempo real são lidos diretamente desse relógio e quando da recepção os valores são comparados com o relógio local diretamente pelo IVC, de forma transparente ao não destinatário da mensagem e gerados os sinais de estado convenientes para cada caso.

A partir das informações presentes neste capítulo foi realizada a estruturação e o detalhamento do hardware dos equipamentos do nível de coordenação e de processo. Para o nível de coordenação é apresentada a estrutura de hardware dos IVCs e comentada a dos centros de controle, uma vez que essa última já se encontra documentada em várias referências bibliográficas citadas no próprio texto. Para o nível de processo é apresentada a estrutura dos controladores de processos que, na verdade, constituem uma família de equipamentos configuráveis através de módulos com funções específicas.

CAPÍTULO 5

ESTRUTURA DO HARDWARE DO SISTEMA

5. ESTRUTURA DO HARDWARE DO SISTEMA

De acordo com a arquitetura proposta no capítulo anterior e com a partição definida e mostrada na figura 4.2., o hardware do sistema é composto de uma família de controladores de processos físicos, de um sistema de transmissão de dados com estrutura em anel serial, de centros de supervisão e de computadores convencionais; neste capítulo serão apresentadas, em linhas gerais, as principais características de hardware de cada um desses elementos, executando-se, é claro, os computadores convencionais cujo hardware é completamente fornecido pelo fabricantes.

5.1. Sistema de Transmissão de Dados dos CPs-STD-CP

O STD-CP é constituído basicamente do meio de comunicação e das Interfaces com a Via dos Controladores-IVCs, responsáveis, respectivamente, pela transmissão propriamente dita das informações e pelo interfaceamento com os nós e geração das mensagens, conforme definido no capítulo anterior.

O primeiro ponto a ser definido no projeto do STD-CP foi o meio de comunicação a ser utilizado; para essa definição foram considerados, principalmente, o meio ambiente típico em que o sistema seria instalado e as tendências tecnológicas no que tange ao desenvolvimento dos meios de comunicação. O meio ambiente é bastante conhecido, uma vez que sistemas de controle de processos já são utilizados há várias décadas, e é comprovado que são muito freqüentes os ruídos elétricos e magnéticos gerados por motores e outros componentes de controle de potência (como por exemplo TRIACs); esses ruídos interferem nas comunicações realizadas através de condutores elétricos, pois sinais espúrios por eles induzidos podem causar erros nas informações transportadas.

As interferências provenientes de ruído, entretanto, podem ser contornadas pela utilização de cabos com blindagens es

pecialmente projetadas para a filtragem dos ruídos presentes e são, via de regra, bem conhecidas. Essa solução, entretanto, dependendo das características dos ruídos, pode implicar em ca bos de custo muito elevado e de difícil manipulação, encarecendo sobremaneira a implantação do sistema.

O problema dos ruídos pode ainda ser solucionado com a utilização do meio de transmissão óptica ao invés do elétrico, pois os ruídos elétricos e magnéticos, comumente presentes nas instalações das operações produtivas, não interferem na informa ção luminosa que está sendo transmitida, podendo-se nesses caso utilizar cabos com capas protetoras convencionais. Entretanto, os custos relacionados com os cabos de fibras ópticas e com os conectores necessários são elevados, e em muitos casos maiores que os custos dos cabos convencionais, desencorajando dessa for ma o uso do meio óptico para a transmissão de informações [34].

Analisando-se, por outro lado, o comportamento do custo dos cabos convencionais é muito clara sua tendência altista, en quanto que as fibras ópticas apresentam tendência inversa, com custos cada vez mais baixos, à medida que as tecnologias de fa bricação e conexão evoluem. Considerando esse fato e a grande evolução tecnológica dos meios ópticos de comunicação decidiu-se pela utilização desse meio para a implementação dos canais de comunicação entre os IVCs.

A transdução óptica-elétrica e vice-versa será realiza da por componentes comerciais que permitem as transmissões com taxas de até 2M bps entre pontos de transmissão e de recepção distantes de uma centena de metros a alguns quilômetros, depen dendo do tipo de cabo que se utiliza, distância e taxa estas bas tante compatíveis com as especificações e aplicações do siste ma [12] [24] [55] [56] [57] [86].

Após a definição do meio óptico de transmissão o próximo passo foi o projeto do IVC, cuja estrutura básica compreende três blocos que são as Interfaces com o Anel-IA, o Controle e a Interface com o Equipamento conectado a esse IVC, conforme

mostrado na figura 5.1.

As IAs são as responsáveis pela recepção e transmissão propriamente dita das mensagens para o meio de transmissão, o Controle é responsável pela geração das mensagens a serem transmitidas, pelo tratamento das mensagens recebidas e pelo controle geral das funções do IVC, e a Interface com o Equipamento é responsável pela troca de informações com o nó através da memória compartilhada e pelo gerenciamento dessa memória. Convém observar que, como os anéis de comunicação podem ser enuplicados, existe também, uma enuplicação de IAs, pois cada IA trata única e exclusivamente de um dos anéis.

5.1.1. Interface com o Anel - IA

A IA é composta basicamente de três filas (FIFO) que são responsáveis pelo armazenamento temporário das mensagens em recepção, em transmissão, ou em passagem pelo IVC. Essas três filas são denominadas filas de recepção, de transmissão e de linha, respectivamente, e se apresentam na configuração apresentada na figura 5.2. A principal função da IA é gerenciar essas filas, dirigindo para a fila da recepção as mensagens que possuem o IVC em questão como destinatário, para a fila de linha as mensagens que chegam e são destinadas a outros IVCs, as quais são posteriormente despachadas pela IA para o anel de comunicação e, finalmente, alocando espaço do anel e despachando as mensagens, geradas pelo bloco Controle, que foram armazenados na fila de transmissão.

As operações executadas pelas IAs, no caso de recepção de dados do canal de comunicações, são apresentadas sob a forma de diagrama de blocos no Apêndice I deste trabalho (figuras A1 até A14). Essas operações são descritas a seguir:

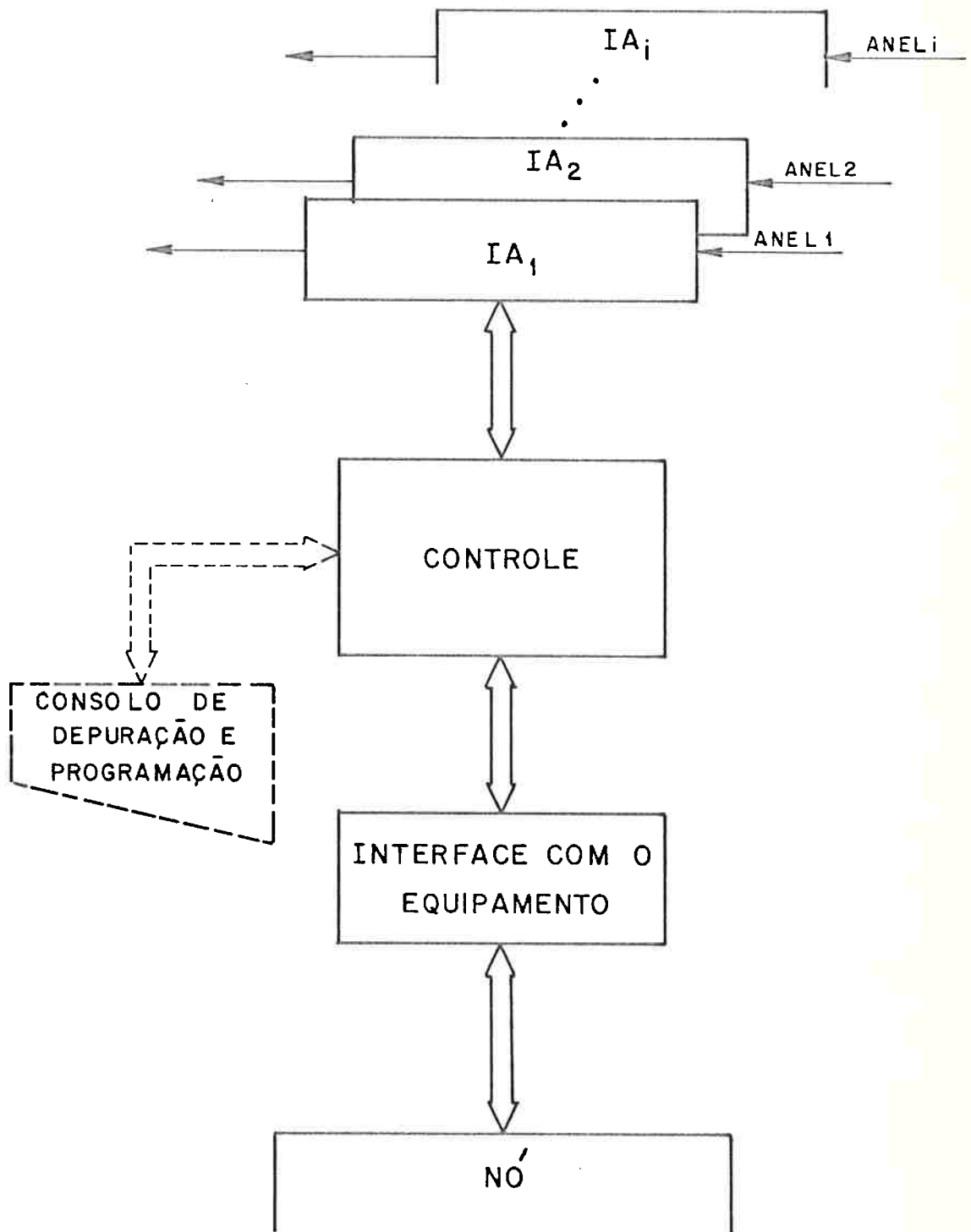


FIGURA 5.1 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO IVC

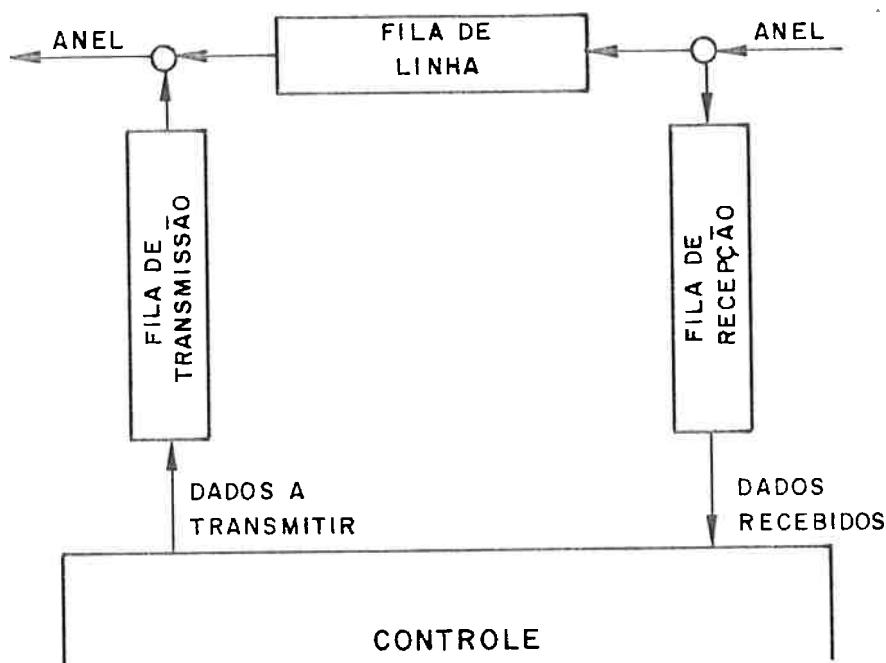


FIGURA 5.2 - CONFIGURAÇÃO DAS FILAS NAS IAs

- (i) - Verificação do dado presente na linha - se o dado corresponder a um "flag" (01111110), uma mensagem começa a ser recebida e todos os circuitos da IA devem ser preparados para recebê-la; caso o dado não seja um "flag", todos os bits que chegarem em seguida são desprezados, até novamente ser detectada a sequência do "flag". Esse procedimento foi adotado para que sejam eliminados possíveis ruídos nas linhas de comunicação e para que seja evitada a recepção de mensagens que, por algum motivo, tenham perdido o "flag" de início;
- (ii) - Inserção do "flag" recebido na fila de linha - este procedimento é adotado, pois, se a mensagem for dirigida a outros destinatários que não o IVC que a está recebendo, ela já estará sendo montada para a transmissão. Caso o IVC em questão seja o único, destina

tário, esse "flag" será apagado dessa fila no devido tempo;

- (iii) - Verificação do campo correspondente ao contador, teste de sua consistência e de seu valor — se não houve erro de paridade e o valor máximo do contador não foi atingido, o conteúdo presente no campo contador é armazenado na fila de linha acrescido de um; caso contrário, isto é, se foi detectado erro de paridade ou se foi atingido o valor máximo permitido, o "flag" previamente armazenado na fila de linha é retirado e são desprezados todos os bits que chegarem até que uma nova seqüência de "flag" seja detectada. Esse procedimento implementa a retirada do anel das mensagens que apresentam erro de paridade e valor máximo no contador, conforme exigido pelas especificações do sistema.

Convém observar que, se chegarem duas seqüências de "flag" consecutivas, a segunda será desprezada e a próxima seqüência de bits que chegar à IA será considerada como campo de contador; depois de aceito o campo contador, se em qualquer parte da mensagem for detectada uma seqüência de "flag" esta será considerada como um delimitador de fim da mesma e, portanto, serão desprezados todos os bits que a ela se seguirem, até que um novo delimitador seja recebido;

- (iv) - Verificação do destinatário — após aceitar o campo de contador, a IA verifica o campo de endereçamento, a fim de detectar se o IVC em questão é um dos destinatários; essa verificação é efetuada através da comparação do endereço de destino (comparação byte a byte) com o endereço lógico ou físico do IVC, ou com os códigos de "broadcast" e os da mensagem de verificação de sincronismo do relógio de tempo real. A análise do primeiro byte do campo de endereçamento, admitindo-se que o teste de paridade não

acusou inconsistência, pode resultar em um dos seguintes casos:

a. Endereço é Único e Local

Neste caso, o endereço de destino é o do IVC em questão e o bit de seqüenciamento (bit F) indica que não há outros endereços de destino ou, então, que o código detectado corresponde ao da mensagem de sincronismo de relógio de tempo real. Ao ser detectado esse último caso, os campos de "flag" e contador, inseridos na fila de linha, são retirados da mesma e o restante da mensagem é armazenado na fila de recepção, já com os bits, utilizados para assegurar a transparência da seqüência com relação a de "flag", retirados.

Após o armazenamento da mensagem completa na fila de recepção é sinalizado ao Controle do IVC que a mensagem completa se encontra nessa fila e está pronta para ser removida e tratada. Convém observar que, antes de serem executadas essas operações, é verificado se a fila de recepção está livre; caso esteja ocupada, tudo se passa como se o endereço não fosse local e a mensagem dará mais uma volta no anel; exceção é feita para o caso das mensagens de sincronismo de relógio, que são eliminadas. Se os testes de paridade acusarem inconsistência no endereço de origem ou no campo de controle, todo o restante da mensagem é desprezado e será aguardado novo "flag" de início de mensagem, reiniciando-se as operações.

Observe-se ainda que, ao receber uma mensagem, a IA testa apenas a paridade dos campos de endereçamento e de controle, além do valor do

contador, ficando a cargo do controle do IVC o teste de consistência do campo de informações, através do CRC, e a geração das respectivas mensagens de ACK ou NACK;

b. Endereço Único e não Local

Neste caso, o endereço de destino não é o do IVC em questão e o bit de seqüenciamento (bit F) indica que não existem outros endereços de destino. O endereço de destino é, então, inserido na fila da linha e é sinalizado ao processo gerenciador da transmissão de dados para o anel que existe mensagem a ser transmitida na fila de linha; em seguida, é transferido para essa fila o restante da mensagem, à medida que a mesma for sendo recebida do anel.

Entretanto, caso sejam detectados erros de paridade nos testes realizados nos campos de endereçamento e de controle e ainda, se a transmissão da mensagem sob análise já foi iniciada pelo gerenciador de transmissão, uma seqüência de "flag" é inserida, após a última posição ocupada da fila de linha, e o restante da mensagem é eliminado isso ocasiona o truncamento da mesma e sua retirada de circulação do anel no próximo IVC. Por outro lado, se a transmissão da mensagem ainda não tiver sido iniciada quando da detecção do erro de paridade, o pedido para essa operação é cancelado e a parte da mensagem já armazenada na fila de linha retirada da mesma.

Convém observar que não é realizado nenhum teste no campo de informações, pois a verificação deste é realizada através do campo de CRC no bloco de controle do IVC, e nos casos de ende

reço único e não local, a mensagem fica restrita à IA;

c. Endereçamento Múltiplo com Endereço Local

Neste caso, o endereço de destino é o do IVC em questão e o bit de seqüenciamento (bit F) indica que existem outros endereços de destino, sendo considerado como uma composição dos dois casos anteriores e, portanto, é adotada a composição dos procedimentos que individualmente lhes foram atribuídos.

O procedimento para este caso consta, então, do armazenamento nas filas de recepção e de linha da mensagem que está sendo recebida; é também sinalizado ao gerenciador de transmissão que existe mensagem a ser transmitida na fila de linha, após a detecção do endereçamento múltiplo, e ao controle do IVC que existe mensagem a ser transferida e tratada, quando a mensagem completa estiver armazenada na fila de recepção.

Convém observar que o endereço local não é inserido na fila de linha, sendo portanto retirado da mensagem. Os demais endereços de destino são analisados para se verificar o seqüenciamento (por motivos de controle do protocolo), a existência de endereço local duplicado e a consistência pelo teste de paridade; após os testes, são armazenados na fila de linha (e não são armazenados na fila de recepção) tal qual vão sendo recebidos, até que se detecte o bit F igual a ZERO, indicando que não existem mais endereços de destino.

Caso seja detectado um endereço local duplo, o último deles é simplesmente desprezado, podendo ocasionar alteração no valor do bit F do byte imediatamente anterior, se o endereço local duplicado foi o último da seqüência; e, finalmente, caso seja detectado algum erro de paridade o mesmo procedimento adotado para o caso anterior é adotado neste, retirando-se a mensagem completa do anel.

Após o término da análise e armazenamento na fila de linha dos endereços de destino, o restante da mensagem é armazenado nas filas de linha e de recepção; mas, se os testes de paridade realizados na seqüência do endereço de origem e no campo de controle acusarem erro, a parte da mensagem já armazenada nas filas será retirada e eliminado o restante da mensagem. Entretanto, se a transmissão para o próximo IVC, da mensagem em questão, já tiver sido iniciada, o mesmo procedimento do caso anterior é adotado;

d. Endereçamento Múltiplo com Endereço não Local

Neste caso, a análise do primeiro endereço de destino revelou um endereço não local com o bit F indicando que existem outros endereços de destino. Como até que seja detectado um endereço local entre os de destino, o objetivo da IA é transferir a mensagem para o próximo IVC é adotado o mesmo procedimento utilizado para o caso de endereço único e não local, apenas com a variante de que, enquanto o bit F for igual a UM, as seqüências são interpretadas como endereços de destino, e analisadas uma a uma para se verificar se não se trata de endereço local; caso não o seja é inserida na fila de linha.

Mas caso seja detectado o endereço local, o procedimento de recepção da mensagem é chaveado para o do caso de endereçamento múltiplo com endereço local;

Deve-se observar, mais uma vez, que, quando o endereço local é o último da seqüência de endereços de destino, o bit F do byte imediatamente anterior deve ser modificado para ZERO, de forma a indicar corretamente o último endereço de destino;

e. Código de Mensagem em "Broadcast"

Neste caso é adotado o mesmo procedimento utilizado no caso de múltiplo endereçamento com endereço local, ou seja, a mensagem em "broadcast" é armazenada nas filas de recepção e de linha ao mesmo tempo, para que seja transferida para o controle do IVC em questão e retransmitida ao próximo IVC, respectivamente; a única diferença em relação ao caso (c) é que o endereço de origem é analisado, para que a mensagem seja retirada do anel, no caso de ter sido gerada pelo IVC em questão. Essa operação é realizada automaticamente pela IA, através de comparação entre seu endereço com o de endereço de origem contido na mensagem. Também no caso (d), como nos outros, os erros de paridade causam a destruição da mensagem;

- (v) - Armazenamento da mensagem — após a análise dos endereços comentada em (iv), o restante da mensagem é armazenado ou na fila de linha ou na de recepção ou em ambas, se o IVC em questão não for um dos destinatários, ou for o único, ou for um entre vários, respectivamente; este armazenamento só é feito se não for detectada falta de consistência

nos testes de paridade realizados sobre o endereço de origem e sobre o campo de controle e, ainda, se não ocorrerem seqüências de "flag" indicando o aborto da mensagem pelo IVC anterior.

Além da recepção de mensagens do anel, a IA deve, também, providenciar o envio das mesmas para o canal de comunicações a ela conectado, ou seja, quando existirem mensagens nas filas de linha ou de transmissão elas devem ser despachadas o mais rápido possível, criando-se dessa forma uma espécie de competição entre as duas filas para a utilização do meio de comunicações.

Essa competição é facilmente resolvida pela IA através de um esquema de prioridades, onde as filas de linha e de recepção são atendidas alternadamente enquanto houver pedidos pendentes de ambas. Se não houver, entretanto, pedidos pendentes ou em execução, a fila de transmissão terá prioridade maior na solução do conflito ocasionado pela chegada de pedidos simultâneos das duas filas. A alternância, entretanto, pode ser sobedecida nos casos onde é ultrapassada a zona de segurança da fila de linha, havendo, portanto, perigo de transbordamento da mesma (overflow); nesse caso, a fila de transmissão é bloqueada até que seja recuperada a situação segura.

Os pedidos de transmissão para o anel de comunicações do conteúdo da fila de transmissão são gerados pelo controle do IVC, quando a mensagem completa já está armazenada na fila, o que difere dos pedidos de transmissão das mensagens da fila de linha onde, em virtude principalmente da exigência de que o tempo de trânsito da mensagem do anel deva ser o menor possível, a transmissão é requisitada pela própria IA no momento em que essa necessidade é detectada.

As operações executadas pela IAs para a transmissão de dados das filas de linha e de transmissão para o meio de comunicação são as seguintes (essas operações são mostradas em forma de diagrama de blocos nas figuras A.15 até A.17 do Apêndice 1):

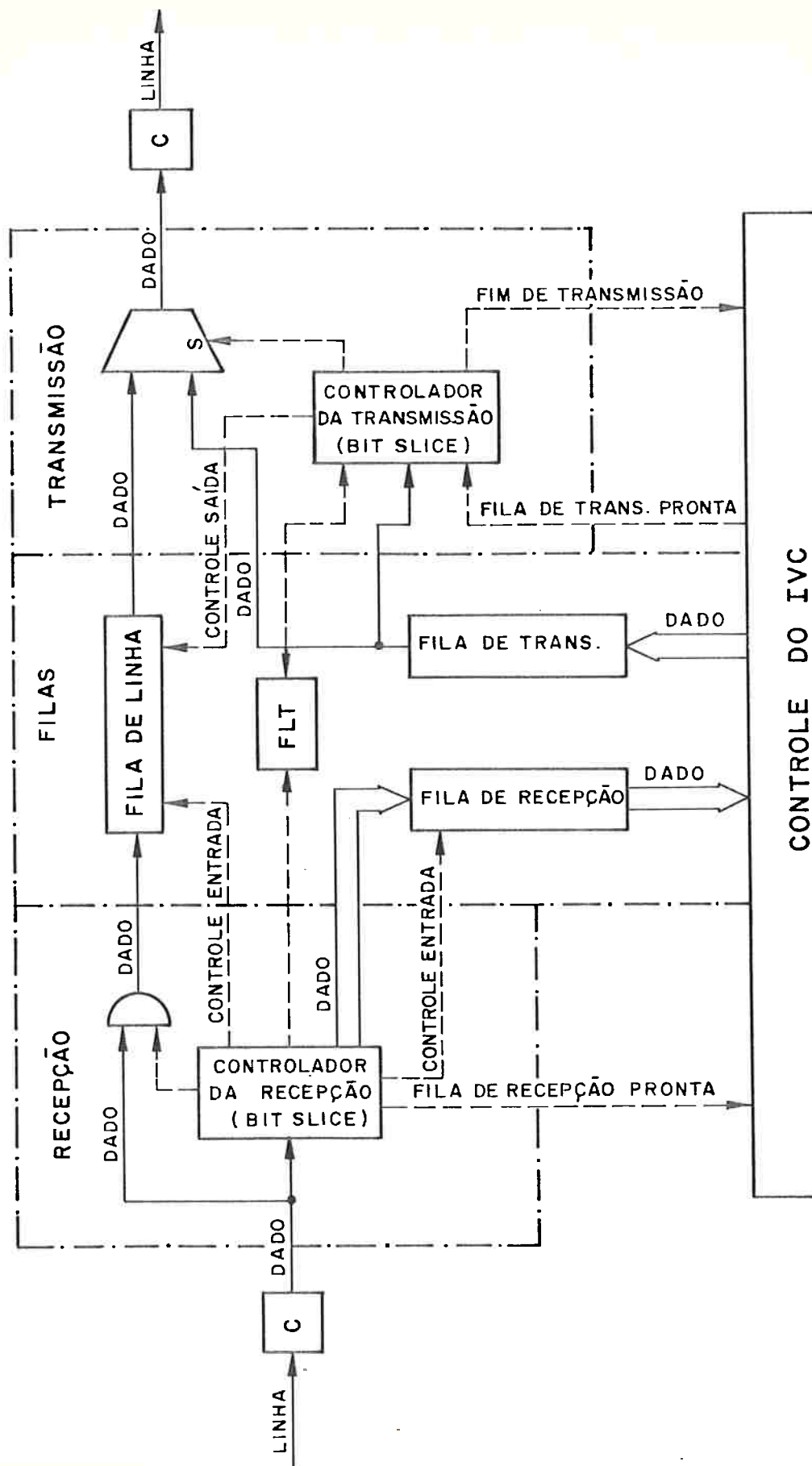
- (i) - Determinação da fila a ser transmitida – para essa determinação é seguido o esquema de prioridade e alternância, citado anteriormente, que é implementado através da análise da fila de pedidos de transmissão da fila de linha, dos pedidos de transmissão da fila de transmissão e da taxa de ocupação da fila de linha.

A fila de pedidos de transmissão da fila de linha abriga, na ordem de chegada, os pedidos de transmissão dessa fila, gerados pelos blocos SINALIZA FILA DE LINHA A TRANSMITIR (ver figuras A.6, A.7 e A.10) no momento em que é detectada a necessidade de transmissão; um pedido é retirado assim que inicia a transmissão da mensagem correspondente;

- (ii) - Transmissão dos dados da fila eleita para o meio de comunicação, sem interrupções;
- (iii) - Sinalização, para a própria IA ou para o bloco de controle do IVC, de que a fila foi transmitida com sucesso.

De acordo com as operações a serem executadas pelas IAs, o hardware que as implementa deve ser constituído de três partes básicas, que são os conectores, responsáveis pela produção dos sinais de luz presentes na fibra óptica em sinais elétricos digitais, o bloco de recepção e o de transmissão de mensagens. Esses dois últimos são implementados com fluxos de dados "bit-slice", independentes entre si, que manipulam a entrada de dados nas filas de recepção e de linha e a saída de dados das de transmissão e de linha, respectivamente. A figura 5.3. mostra o diagrama simplificado do hardware da IA.

Convém ressaltar que a estrutura de hardware da IA permite que as filas de linha, de recepção e de transmissão sejam



C: CONECTOR

FLT: FILA DE PEDIDOS DE TRANSMISSÃO DE FILA DA LINHA

FIGURA 5.3 - DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA IA

implementadas com o comprimento adequado para cada particular aplicação, uma vez que sua ampliação ou redução pode ser efetuada simplesmente pelo acréscimo ou retirada de pastilhas de memória e pelo acerto das devidas constantes no firmware dos controladores. Além disso, outro ponto a se observar é a possibilidade de eliminar do anel a IA que apresentar falhas, causando, como conseqüência, perturbações nas comunicações ou até mesmo a abertura do mesmo; a eliminação é realizada por chaveadores conectados em paralelo com as IAs os quais, uma vez acionados por comandos externos, bloqueiam seus sinais de saída, não permitindo que eles cheguem ao conector da fibra óptica, e ainda fornecendo um caminho paralelo à IA, curto-circuitando-a, conforme esquematizado na figura 5.4

5.1.2. Controle do IVC

A principal função dos circuitos que compõe o bloco controle do IVC é o tratamento das mensagens, tanto das que são recebidas das IAs, como das que devem ser geradas e enviadas para elas.

Esse tratamento consiste da geração, roteamento e envio das mensagens através das IAs, da recepção das mensagens e execução das tarefas relacionadas com as mesmas, e da busca das informações necessárias nos elementos que as armazenam para a composição das mensagens. As tarefas relacionadas com cada uma das três partes mencionadas serão discutidas nos próximos itens.

5.1.2.1. Geração, Roteamento e envio das Mensagens às IAS

Como já discutido no capítulo anterior, as mensagens são geradas em resposta a estímulos internos ou externos ao IVC. Os estímulos internos ocorrem periodicamente, em intervalos de tempo programáveis ou, então aperiodicamente, quando alguma re

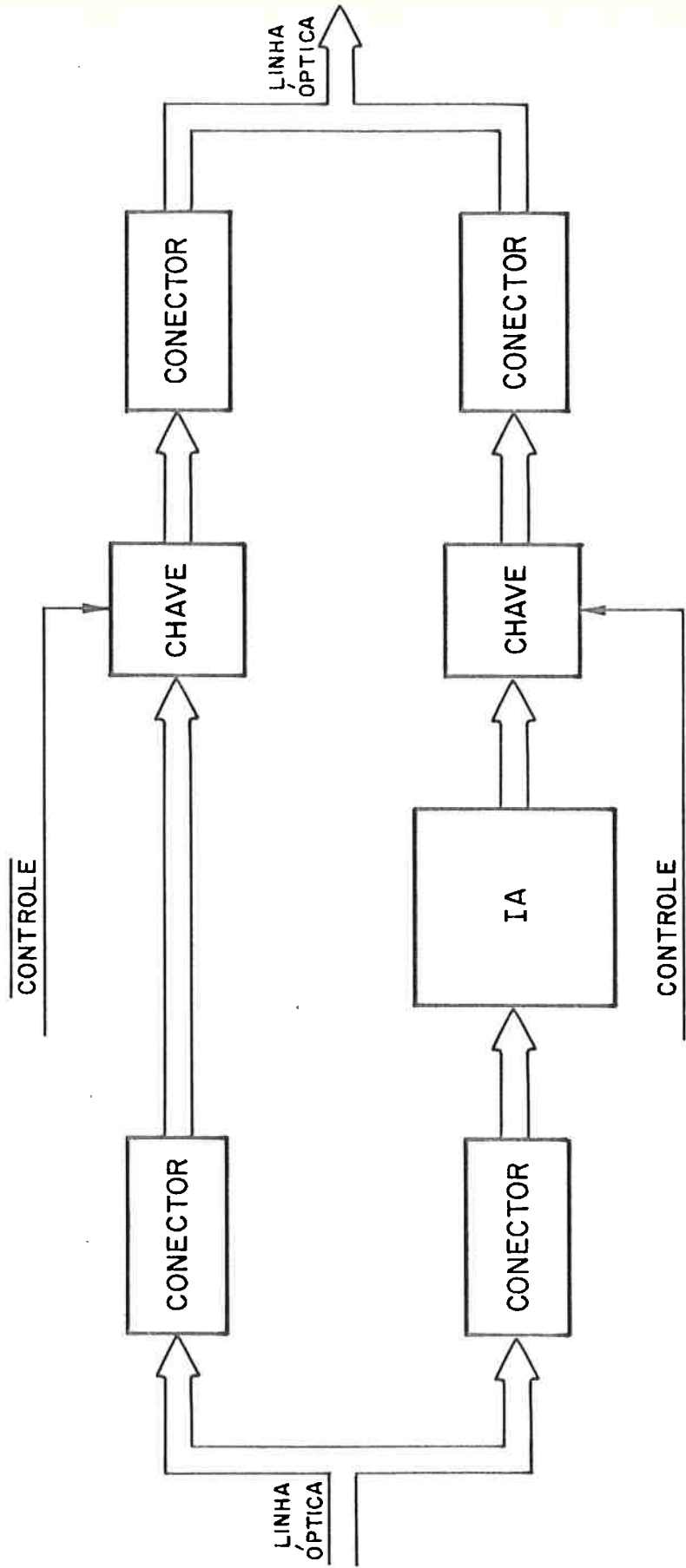


FIGURA 5.4.-DESCONEÇÃO DA IA

quisição de informação for efetuada. As excitações externas ocorrem aperiodicamente e são provenientes do nó a que o IVC em questão está acoplado.

A geração de uma mensagem é iniciada pelo recebimento do devido estímulo e, além da construção propriamente dita da mensagem, as seguintes ações são realizadas: criação de uma estrutura de dados descritiva da mesma, decisão de qual anel será utilizado para sua transmissão (roteamento) e, ainda, gerenciamento de um conjunto de blocos de memória que servirão como fila de transmissão para as diversas IAs conectadas ao Controle em questão.

A estrutura de dados descritiva da mensagem é utilizada para o controle de recebimento das mensagens pelos seus destinatários e para a recomposição das mesmas, nos casos onde são necessárias retransmissões. Essas estruturas de dados são armazenadas em bancos de memória próprios, onde cada estrutura ocupará endereços fixos e relacionados biunivocamente com os dos destinatários. Essa solução é devida à imposição de que somente sejam enviadas mensagens a destinatários dos quais não estão sendo esperadas mensagens de reconhecimento, conforme já comentado no capítulo 4, mas principalmente devido ao fato de simplificar o hardware.

O primeiro campo dessa estrutura indica se o destinatário correspondente está livre ou impedido de receber mensagens do IVC em questão (está ou não sendo aguardado ACK). O segundo campo é utilizado para controle das retransmissões da mensagem em questão e nele são armazenados dados contendo o número de retransmissões realizadas e quais as rotas (anéis) utilizadas para cada uma das transmissões; esses dados são necessários para a diagnose das falhas que impedem o sucesso de uma comunicação entre dois IVCs.

Finalmente, os dois campos seguintes são utilizados para a composição da mensagem a ser retransmitida, que deve possuir o mesmo conteúdo que a anteriormente enviada e não aceita;

com esse objetivo esses campos contêm o tipo da mensagem e uma tabela, particular para cada tipo de mensagem, onde existem todos os dados necessários para a reconstrução do seu campo de informações. A figura 5.5 mostra esquematicamente a estrutura de dados citada.

Convém observar que não são geradas estruturas de dados descritivas para as mensagens de sincronismo de relógio de tempo real e de aceite (ACK e NACK) pois essas mensagens não exigem retransmissões, nem tão pouco reconhecimento.

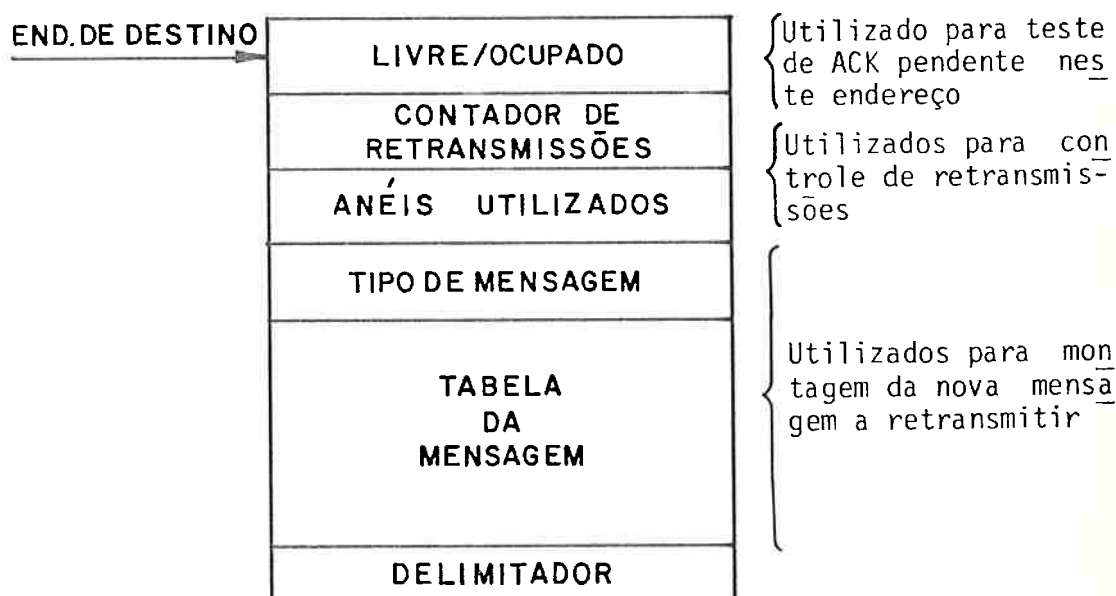


FIGURA 5.5. ESTRUTURA DE DADOS DESCRITIVA DAS MENSAGENS TRANSMITIDAS

O roteamento da mensagem, isto é, a escolha do anel pelo qual a mensagem será enviada, é realizado após a mesma estar montada e armazenada provisoriamente em bancos de memória; como consequência, provoca a transferência da mensagem da memória de armazenamento temporário para os registradores de transmissão, que futuramente serão utilizados como a fila de transmissão da IA eleita para transmitir a mensagem em questão. A transformação de um dos registradores de transmissão em fila de transmissão é realizada após a conclusão da transferência para o anel da fila de transmissão atual (sinalizada pelo sinal de fim de transmis

são da fila de transmissão); a escolha do próximo registrador a ser transformado em fila de transmissão é feita através de um escalonamento cíclico entre eles, gerenciado pelo controlador de transmissão, conforme mostrado esquematicamente na figura 5.6.

O esquema adotado de vários registradores de transmissão transformarem-se, ciclicamente, em fila de transmissão, foi utilizado para que o controle não ficasse bloqueado à espera da liberação da fila de transmissão. Além disso, sendo o número de registradores programável, pode-se adaptar o sistema perfeitamente aos casos onde "bursts" de mensagens são esperados, sem que o excesso de mensagens em períodos pequenos de tempo atrapalhe o desempenho do controle, pois mensagens são geradas

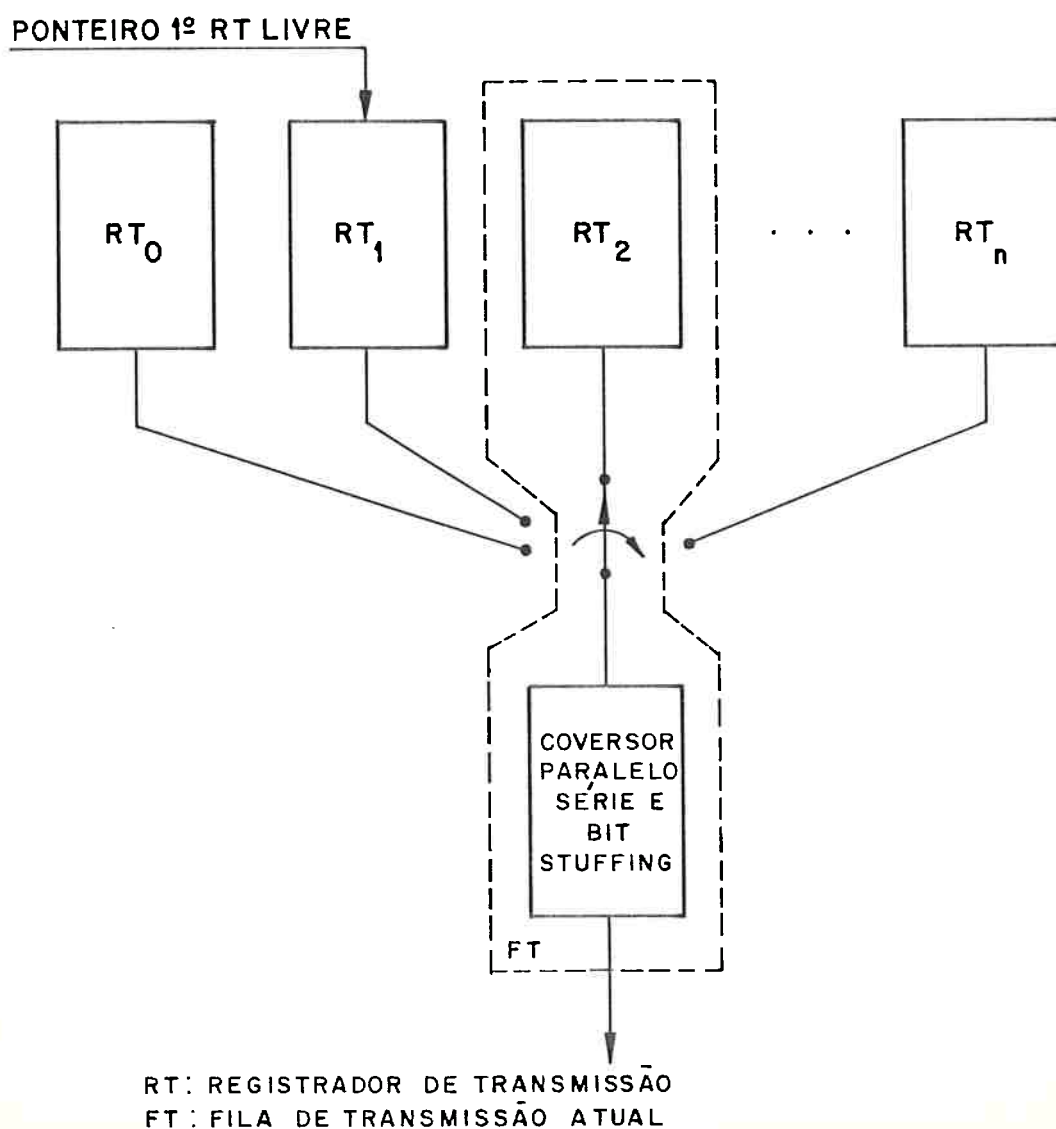


FIGURA 5.6. REGISTRADORES DE TRANSMISSÃO E FILA DE TRANSMISSÃO

e armazenadas, independentemente da transmissão das mesmas pelas IAs, que é geralmente um processo lento em comparação com a velocidade do controle na geração das mensagens. Apesar disso, ao se gerar uma mensagem, é necessário um teste para verificar se existem registradores livres, o que é feito através da palavra de estado dos mesmos, que indica se estão livres, ocupados ou bloqueados por motivos de falha de hardware; caso não haja nenhum registrador livre, o controle espera a liberação de um deles para transferir a mensagem.

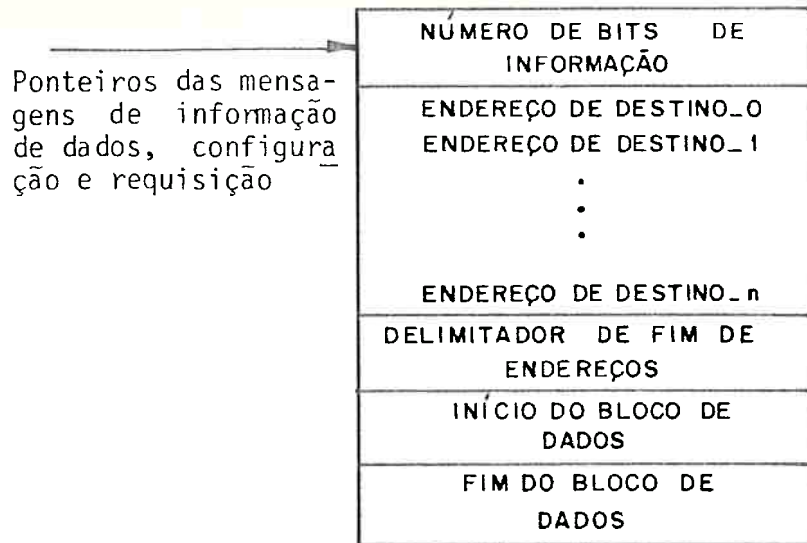
Para a geração propriamente das mensagens, o controle deve realizar as seguintes operações (detalhes podem ser encontrados nos diagramas de blocos apresentados nas figuras A.18 até A.29 do Apêndice 1):

- (i) - Elege um estímulo entre os pendentos — os estímulos para geração de mensagens são armazenados em uma fila de espera de atendimento, à medida que são gerados; quando do início da geração de uma nova mensagem, o controle escolherá nessa fila o mais prioritário, obedecendo, entretanto, a ordem de chegada, se houver dois com a mesma prioridade. A ordem de prioridades estabelecida não é rígida e em princípio é a seguinte (observando a ordem de maior para menor prioridade):
- . Mensagem de sincronismo de relógio de tempo real: é a de maior prioridade pois o atraso entre a geração e tratamento deve ser o menor possível;
 - . Mensagens de aceite (ACKs e NACKs): possuem prioridade alta porque o não recebimento dos ACKs bloqueia o envio de novas mensagens aos IVCs dos quais estão sendo aguardados; além disso, o pedido de retransmissão, ocasionado pela inconsistência no campo de informações da mensagem, sinalizado à origem da mesma pelo envio de um NACK, deve ser despachado rapidamente para que seja

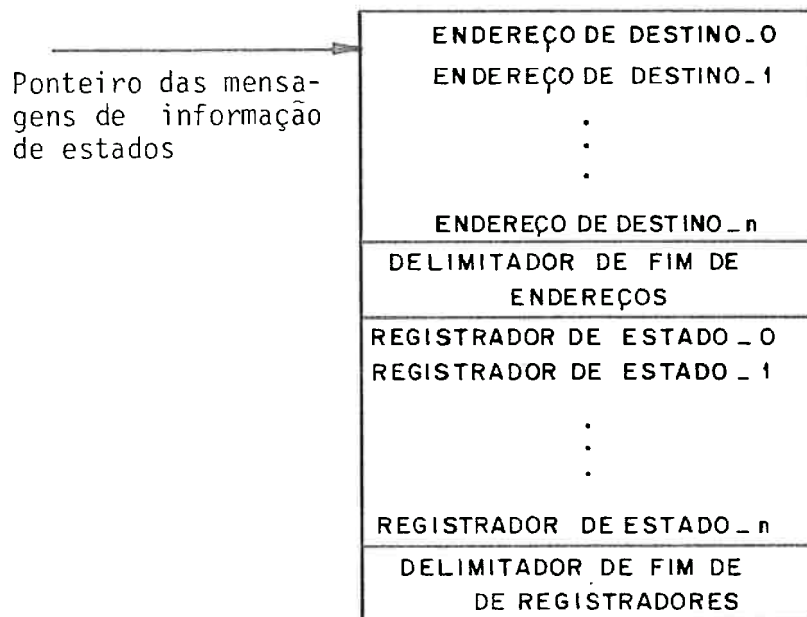
providenciada a retransmissão;

- . Mensagem de informação de estados: possui prioridade mais alta que a de informação de dados devido à característica da informação que transporta; em alguns casos (falhas por exemplo) devem chegar sem demora até aos destinatários, para que estes tomem as providências necessárias;
- . Mensagens de informação de dados, de requisição de informações e de configuração: entre estes três tipos de mensagens o único cuja informação pode sofrer desatualização, devido ao atraso entre a geração da mensagem e sua recepção, ocasionado pela sua baixa prioridade, é a de informação de dados; mas esse problema é contornado pela correlação da informação com o valor do relógio de tempo real relativo ao horário de sua coleta.

Antes de prosseguir, é conveniente comentar-se mais sobre os estímulos para geração das mensagens. Quando um desses estímulos é gerado, uma tabela associada a ele é automaticamente criada, contendo as informações necessárias para a composição da mensagem a ser gerada; para cada tipo de mensagem é utilizada uma estrutura diferente para a tabela, em virtude das diferenças existentes entre os diversos tipos de mensagens. A figura 5.7 mostra as estruturas das tabelas para os diversos tipos de mensagens; os campos da tabela são previamente programados nos IVCs através de mensagens de configuração para os estímulos internos, e fornecidos pelo nó para os externos. Essa programação prévia só não é usada para os endereços de destino das tabelas das mensagens ACK, NACK e de resposta à mensagens de requisição quando coincidem com os próprios endereços de origem das mensagens que geraram os respectivos estímulos.



a) Tabela do estímulo das mensagens de informação de dados configuração e requisição de informações



b) Tabela do estímulo das mensagens ACK e NACK

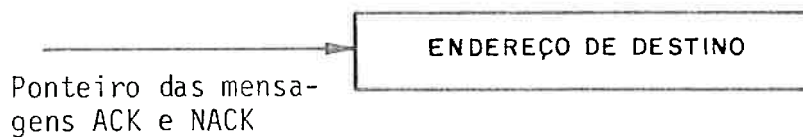
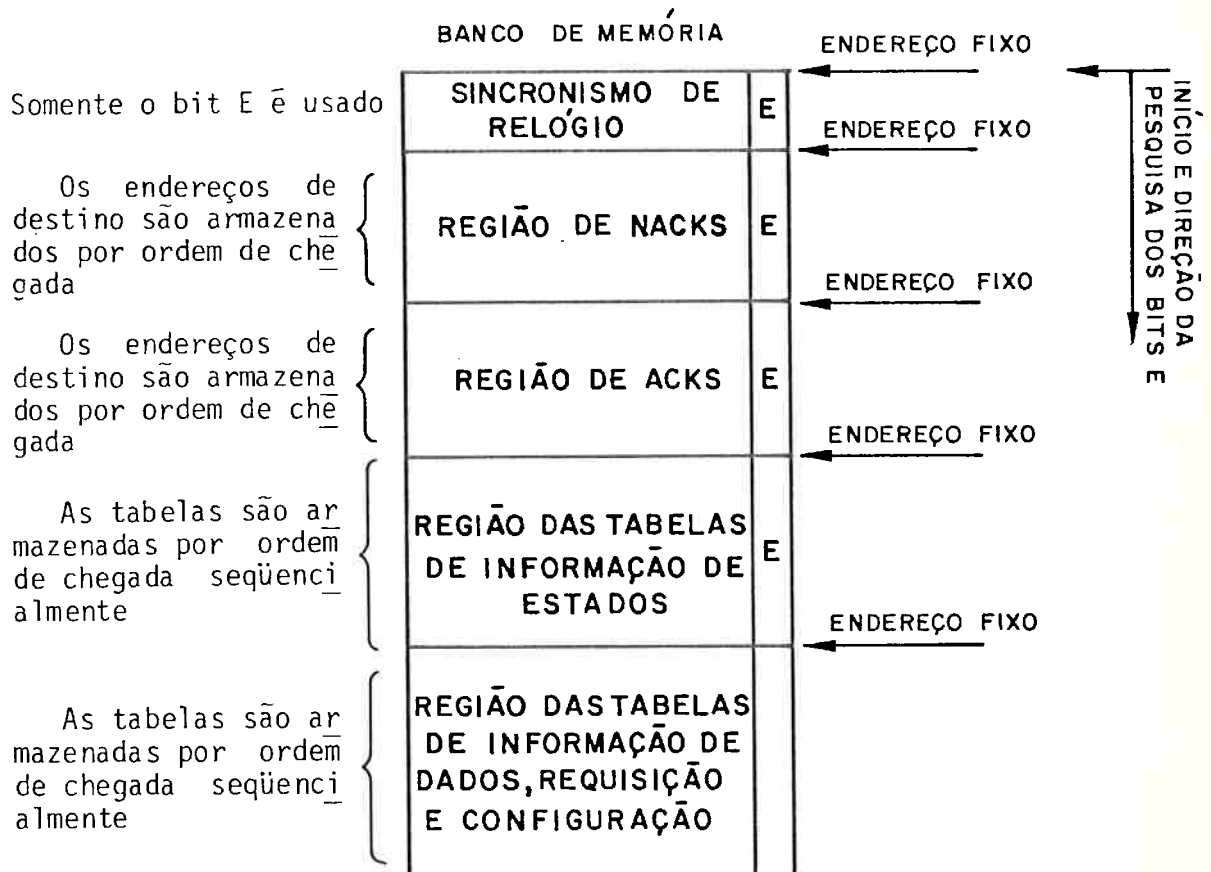


FIGURA 5.7. TABELAS ASSOCIADAS AOS ESTÍMULOS DE GERAÇÃO DE MENSAGENS

A fila de espera de atendimento de estímulos é implementada por um banco de memória, cujos endereços são varridos de acordo com a prioridade estipulada para a geração das mensagens, e cujo conteúdo é constituído das tabelas associadas aos estímulos, comentadas acima e organizado por tipo de mensagem, com início em endereços fixos. A fila de espera é mostrada esquematicamente na figura 5.8, onde, para cada tipo de mensagem, existe uma região bem determinada para as suas tabelas, um ponteiro indicando a próxima mensagem do mesmo tipo a ser gerada e o bit E indicativo da existência ou não de estímulo.

Após a pesquisa na fila de atendimento e a seleção do estímulo de maior prioridade, deve ser verificada a existência de mensagem ACK sendo esperada de algum dos destinatários da nova mensagem; se não existir, a mensagem será gerada e a tabela retirada da fila; caso contrário, existem as seguintes três possibilidades a se considerar:

- . A mensagem possui apenas um único destinatário, do qual está sendo aguardada uma mensagem ACK; neste caso, a seleção é cancelada e um novo estímulo, provavelmente com prioridade mais baixa, deverá ser selecionado; entretanto, se não houver outro pedido pendente, a geração da mensagem é suspensa, até que seja recebido o ACK ou até que o tempo de espera seja esgotado, sendo, portanto, gerado um novo estímulo para retransmissão da mensagem;
- . A mensagem possui multidestinatários e pelo menos de um deles está sendo aguardado ACK; neste caso, a seleção é confirmada, mas a mensagem será gerada apenas para os destinatários que não estão com impedimento, sendo a tabela correspondente alterada de forma a atualizar os endereços de destino. Quando esse estímulo for novamente seleciona



Obs: OS BITS E INDICAM A EXISTÊNCIA DE ESTÍMULOS

FIGURA 5.8. FILA DE ESPERA DE ATENDIMENTO DOS ESTÍMULOS

do e houver condições de transmissão, serão então geradas as mensagens para os destinatários que apresentaram impedimentos;

- . A mensagem possui múltiplos destinatários e de todos eles estão sendo aguardados ACKs; neste caso, como no primeiro, a seleção é cancelada e um outro estímulo, provavelmente de prioridade mais baixa, deverá ser escolhido, até que se recaia no caso anterior, quando algum dos destinatários for liberado;

- (ii) - Gera mensagem de informação de dados — essa mensagem será gerada a partir das informações presentes na tabela descritiva da mensagem (figura 5.7.a.), cuja posição inicial está endereçada pelo ponteiro da fila de espera de atendimento dos estímulos. O primeiro dado da tabela a ser utilizado é o número de bits de informação a serem transmitidos, o qual determinará se será gerada uma seqüência ou uma única mensagem para transportar toda a informação necessária; caso uma seqüência seja necessária, o mesmo procedimento utilizado para a geração de uma única mensagem é utilizado várias vezes, até que toda a informação seja transmitida para os registradores de transmissão e, conseqüentemente, completada a seqüência de mensagens.

Necessária ou não a partição da informação em várias mensagens, inicia-se a construção da primeira delas (que pode ser a única) com a transferência dos endereços de destino, diretamente da tabela descritiva da mensagem para um registrador de transmissão auxiliar, que terá o seu conteúdo transferido para o registrador de transmissão determinado pela operação de roteamento. Paralelamente, à medida que os endereços vão sendo transferidos, os campos LIVRE/OCUPADO e tipo de mensagem das estruturas de dados

correspondentes à mensagem em geração são preenchidos, para indicar a condição de mensagem em preparação, o que será também interpretado pelo controle como uma espera de mensagem de reconhecimento dos destinatários envolvidos.

Após o armazenamento dos endereços de destino, o endereço do IVC em questão (endereço de origem da mensagem) e o campo de controle (bits P, F, SEQ e 101, correspondendo à paridade, seqüenciamento, número de seqüência e código da mensagem, respectivamente) são também armazenados no registrador auxiliar, sendo, sem seguida, iniciada a transferência do bloco de dados (informação) para o registrador auxiliar e para a estrutura de dados correspondente à essa mensagem. Paralelamente, é calculado o CRC que será inserido no registrador auxiliar, após a conclusão da transferência da informação;

- (iii) - Gera mensagem de informação de estados - as operações executadas para a geração destas mensagens são muito semelhantes às executadas para as de informação de dados, com a simplificação de que o teste para determinar a necessidade de seqüenciamento de mensagens para o transporte da informação completa não é necessário, uma vez que, pela especificação, uma única mensagem sempre é suficiente;
- (iv) - Gera mensagem de sincronismo de relógio de tempo real - neste caso, o procedimento é o mesmo do caso anterior, não sendo necessária, entretanto, a construção da estrutura de dados de mensagens transmitidas, pois, como comentado anteriormente, este tipo de mensagem não exige reconhecimento;
- (v) - Gera mensagem de ACK e NACK - para a geração destas mensagens é necessário apenas compor os campos de endereçamento e de controle, sendo o endereço

de destino fornecido pela tabela de descrição dos estímulos. Como no caso anterior, estas mensagens também não requerem a construção de estrutura de dados descritiva das mensagens;

- (vi) - Gera mensagem, de configuração — as operações para a geração deste tipo de mensagem são idênticas às realizadas para a composição das mensagens de informação de dados, inclusive com a possibilidade de haver seqüências de mensagens, operações essas descritas no passo (ii) deste item;
- (vii) - Gera mensagem de requisição de informação — a exemplo do caso anterior, para a geração deste tipo de mensagem devem ser realizadas as mesmas operações que são executadas para a composição das mensagens de informação de estados, descritas em (iii) deste item, e mais o acionamento do relógio de tempo esgotado, que determinará o tempo máximo para que a mensagem resposta seja recebida;
- (viii) - Transfere a mensagem gerada para o registrador de transmissão — esta operação é realizada após a mensagem completa ser armazenada no registrador de transmissão auxiliar; antes de executá-la, entretanto, é necessário verificar se existe algum registrador de transmissão disponível; caso não exista nenhum livre, o controle aguardará a liberação de um deles para continuar a geração da mensagem.

O registrador de transmissão, que será utilizado pelas IAs como fila de transmissão, deve conter a mensagem completa nas condições que será transmitida; nesse sentido, nas suas duas primeiras posições, são automaticamente armazenados o "flag" de início de mensagem e a constante zero para o campo do contador; sendo em seguida colocados os dados provenientes do registrador auxiliar, dados esses que durante a trans

ferência sofrem as devidas adaptações para garantir a transparência do corpo da mensagem com relação ao código do "flag" (bit stuffing).

Os dados que compõem a mensagem são normalmente transferidos do registrador auxiliar para o de transmissão até que seja encontrado o delimitador de fim de mensagem, inserido no registrador auxiliar pelas operações de geração de mensagens, sendo no registrador de transmissão colocado, no seu lugar, o código de "flag" indicativo de fim de mensagem;

- (ix) - Executa o roteamento da mensagem — é atribuição de uma das IAs conectadas ao controle em questão a tarefa de transmitir para a linha a mensagem recém-criada; convém observar que a escolha de uma determinada IA implica diretamente na escolha de um determinado anel de comunicação, uma vez que cada IA está relacionada única e exclusivamente a um anel. Chamou-se de roteamento essa atribuição por facilidade de expressão.

Excetuando-se as mensagens de sincronismos de relógio, o primeiro passo para a escolha da IA que transmitirá a mensagem é a determinação da distância entre a origem e o destino, distância essa medida em número de IAs que deverão ser cruzadas até que a mensagem chegue ao destino. A escolha é feita consultando-se as tabelas de distâncias e de IAs fora de operação existentes no controle do IVC: é escolhida a IA em operação que apresentar a menor distância até o destino.

Após a escolha da IA que possui a menor distância até o destinatário, o próximo passo será a verificação do seu grau de ocupação, ou seja será verificado se sua fila de transmissão está ocupada; se estiver, serão pesquisadas todas as demais IAs e a transmissão da mensagem será atribuída à primeira que apresentar fila de transmissão livre e cuja fila de linha não

esteja na região de segurança. Entretanto, caso a fila de transmissão da IA escolhida esteja livre a ela será atribuída a responsabilidade de transmitir a mensagem para a linha. O mesmo ocorre quando, apesar da IA escolhida estar ocupada, a pesquisa nas demais IAs não revele nenhuma possibilidade de transmissão.

Atribuir a uma determinada IA a tarefa de transmitir uma mensagem significa inserir na fila de pedidos de transmissão dessa IA o número do registrador de transmissão que contém a mensagem. Essa fila é utilizada para ditar em que ordem os registradores de transmissão serão utilizados como fila de transmissão da IA em questão. Convém salientar que a transformação de um novo registrador em fila de transmissão ocorre quando o controle recebe o sinal "FIM DE TRANSMISSÃO", gerado pela IA, e o controle sinaliza para a mesma que já foi concretizada a transformação através do sinal "FILA DE TRANSMISSÃO PRONTA", para que ela providencie a transmissão.

A mensagem de sincronismo de relógio de tempo real, entretanto, é uma exceção à regra pois, devido à necessidade de fazê-la chegar sempre ao mesmo IVC, não são todas as IAs elegíveis para transmiti-la, uma vez que o sentido de transmissão dos anéis pode levá-la a IVCs que não são os que devam efetivamente recebê-la.

Esse problema foi solucionado pela fixação de uma determinada IA por IVC que se encarrega da transmissão desse tipo de mensagens; se essa IA, entretanto, ficar inoperante, por algum motivo, ela será automaticamente substituída por outra, desde que leve ao mesmo IVC. Se não existir outra IA nessas condições, a transmissão das mensagens de sincronismo ficará suspensa até que seja providenciada a manutenção.

Outra exceção é feita no sentido de minimizar o tempo entre a geração e o recebimento das mensagens de sincronismo de relógio, pois o número do registrador de transmissão que a contém é sempre posicionado em primeiro lugar na fila de pedidos de transmissão, independentemente de quais ou quantos pedidos existam nessa fila.

Para a simplificação dos mecanismos de detecção de falhas do STD-CP, foi necessário fazer com que as retransmissões de mensagens fossem sempre executadas pelas mesmas IAs que as haviam anteriormente transmitido, até que o número máximo de retransmissões para uma mesma mensagem, programado no IVC (particular para cada aplicação) seja atingido. Quando esse número é atingido, a opção de rota que contém essa IA será cancelada e procurada outra alternativa para a transferência da mensagem em questão. Nesse caso pressupõe-se que as IAs ou o anel de comunicação envolvidos estão apresentando defeito.

Para a determinação da IA a ser utilizada na retransmissão de uma mensagem são utilizadas as informações de rotas contidas nas estruturas de dados relativas às mensagens transmitidas (ver figura 5.5) e que devem ser atualizadas a cada retransmissão, para que seja possível a contabilização do número máximo de retransmissões e o bloqueio das IAs, quando esse número for alcançado;

- (x) - Retorna para gerar novas mensagens — durante a execução do roteamento é verificado se deve ser gerada uma nova mensagem como continuação de uma seqüência, ou se um novo estímulo deve ser escolhido para a geração da mensagem correspondente; caso haja necessária a geração de uma mensagem que é parte de uma seqüência, o controlador executará os procedimentos a partir das rotinas de geração de mensagens apropriadas.

5.1.2.2. Recepção e Tratamento das Mensagens

Ao receber da IA a sinalização de fila de recepção pronta, indicando que existe mensagem na sua fila de recepção, o controle transfere toda a fila para o seu registrador de recepção, deixando a mesma livre para a recepção de novas mensagens e, em seguida, determina o tipo de mensagem e executa as tarefas pertinentes a esse tipo de mensagem. As operações executadas pelos circuitos de recepção e tratamento das mensagens são descritas a seguir e os diagramas de blocos das mesmas são mostrados nas figuras A.30 até A.42 do Apêndice I deste trabalho.

- (i) - Transfere a mensagem da fila de recepção da IA para o registrador de recepção correspondente, existente no controle do IVC — como já mencionado anteriormente, esta é a primeira operação a ser realizada na recepção de uma mensagem; ela é disparada automaticamente, ao ser recebido o sinal "FILA DE RECEPÇÃO PRONTA", gerado pela própria IA, quando a mesma já possui a mensagem completa armazenada na sua fila de recepção. A transferência, entretanto, somente se efetivará se o registrador de recepção envolvido estiver livre, ou seja, se a mensagem anterior recebida dessa IA já tiver sido completamente tratada, e portanto liberado o registrador; caso não o esteja, será aguardada sua liberação.

Ao ser concluída a transferência para o registrador de recepção, um pedido de tratamento da mensagem em questão é colocado na fila de tratamento de mensagens recebidas; esta fila é implementada apenas para que as mensagens sejam tratadas pela ordem de chegada nos registradores de recepção do controle; os conflitos são solucionados através de um esquema de prioridade fixo, imposto às IAs. Exceção é feita às mensagens de sincronismo de relógio de tempo real que, quando detectadas pelo controle, são posicio-

nadas em primeiro lugar na fila de tratamento, para que seu atendimento ocorra o mais rápido possível.

Durante a transferência para os registradores de recepção são retirados os bits extras inseridos na operação de "bit stuffing", é verificado se a mensagem é sincronismo de relógio de tempo real e é feito o teste de consistência do campo de informação, se a mensagem o possuir, através do CRC. Após esse teste de consistência, são gerados os estímulos para que os circuitos de geração de mensagens do controle providenciem a criação e posteriormente o despacho das mensagens de ACK ou NACK correspondente. Convém ressaltar que essas operações são executadas à medida que as sinalizações vão sendo recebidas das IAs, assincronamente com o restante das operações de tratamento das mensagens executadas por este bloco do controle dos IVCs;

- (ii) - Gera mensagens de ACK ou NACK — a geração dos estímulos para criação das mensagens ACK e NACK é determinada, principalmente, pelo teste de consistência do campo de informação através do CRC, realizado durante a transferência do conteúdo desse campo da fila para o registrador de recepção. Considerando-se que, para uma seqüência de mensagens que transportam partes da informação completa, é necessária apenas uma mensagem ACK, tem-se, basicamente, dois casos distintos a serem tratados, que são a geração de estímulos correspondentes a seqüências e a mensagens únicas.

Para uma mensagem única, ou seja bit F e bits SEQ do campo de controle iguais a ZERO, o teste do CRC determina a geração dos estímulos de ACK ou NACK, correspondendo à aceitação ou não da mensagem, respectivamente; entretanto, para as seqüências, se o teste do CRC acusar erro, é gerado um estímulo de

NACK, contendo no campo de controle os bits SEQ da mensagem em erro; caso contrário, se não forem detectados erros, o estímulo de ACK é gerado apenas quando todas as mensagens forem recebidas com sucesso, o que é determinado através da contabilização dos bits SEQ e F do campo de controle das mensagens.

No caso das seqüências, o conteúdo do campo de informação das mensagens é armazenado em uma memória auxiliar, obedecendo à seqüência correta, permitindo que a informação esteja ordenada, completa e disponível nessa memória assim que a última mensagem da seqüência for recebida;

- (iii) - Determina o tipo de mensagem — paralelamente com as operações descritas anteriormente é realizado o tratamento propriamente dito das mensagens, iniciado com a busca, na fila de tratamento de mensagens recebidas, do endereço do registrador de recepção ou da memória auxiliar onde está armazenada a próxima mensagem a ser tratada, e que corresponderá ao primeiro elemento da fila. Determinado o registrador ou o bloco de memória é, em seguida, analisado o campo de controle da mensagem para que seja verificado qual é o tipo da mensagem e são acionadas as tarefas de tratamento particulares de cada caso;
- (iv) - Trata mensagem de informação de dados — este tipo de mensagem requer apenas a transferência dos dados do seu campo de informações para os devidos registradores ou bancos de memória do próprio IVC ou do nó a ele conectado e a correspondente sinalização de que dados estão sendo transferidos e devem ser tratados por quem os requisitou; esse tratamento dependerá do software residente no nó em questão;
- (v) - Trata mensagem de informação de estados — neste caso, o procedimento é semelhante ao adotado para a

mensagem de informação de dados, sendo os bits de estados transferidos para os registradores correspondentes, de acordo com o seu tipo; é sinalizado ao nō conectado ao IVC em questão que estão presentes novas informações de estado nos registradores. Para o IVC, a recepção de uma mensagem de informação de estados é equivalente à recepção de uma de informação de dados, uma vez que, neste caso, os primeiros são encarados como dados;

- (vi) - Trata mensagem de requisição de informações - neste caso, os códigos presentes no campo de informações da mensagem de requisição são decodificados, acionando a geração dos estímulos para geração das mensagens de informação requisitadas (de dados ou de estados). Concomitantemente com a geração do estímulo é criada a tabela a ele associada e o pedido de atendimento para geração da respectiva mensagem é inserido na fila de espera de atendimento (conforme figuras 5.7 e 5.8). O estímulo para geração da mensagem dispara também um relógio de tempo esgotado, para que seja detectado o não recebimento do ACK correspondente à mensagem resposta;
- (vii) - Trata mensagem de configuração - por motivos de segurança, as operações de configuração transportadas por estas mensagens somente podem ser executadas se provenientes de origens autorizadas a configurar ou reconfigurar o IVC ou o nō em questão; sendo assim, é realizado um teste comparativo entre o endereço de origem da mensagem e a tabela dos IVCs autorizados. Caso o endereço de origem da mensagem não esteja entre os autorizados, a mensagem toda é descartada, fato este sinalizado pelo bit de estado correspondente, que é ativado; convém observar que o teste desse bit indicará que a mensagem não foi executada, apesar de recebida corretamente e enviado o respectivo ACK à origem. Se, entretanto, a mensa

gem provier de uma origem autorizada, o conteúdo do seu campo de informações será decodificado e a operação estipulada pela origem será executada pelo próprio IVC ou não a ele conectado;

- (viii) - Trata mensagem NACK - estas mensagens, em princípio, provocam a geração de um novo estímulo para geração e conseqüente retransmissão da mensagem que não foi recebida com sucesso. Mas, como especificado, existe um número máximo de retransmissões permitidas para cada mensagem; se a comunicação não for bem sucedida até esse máximo ser atingido, novas transmissões não serão mais tentadas e um bit de estado será ligado para que esse fato seja sinalizado. Além disso, há também a limitação do número máximo de retransmissões pela mesma IA (que pode ser programado de acordo com a particular aplicação), que ao, ser alcançado, ocasiona o bloqueio da mesma, fazendo com que ela não mais seja considerada como candidata durante o processo de roteamento; este fato também, é sinalizado através da ativação do bit de estado que representa o bloqueio de uma IA.

Os valores correspondentes ao número total de transmissões e aos códigos das IAs utilizadas são obtidas na estrutura de dados descritiva da mensagem transmitida (figura 5.5), endereçada pelo endereço de origem presente na mensagem NACK recebida, que corresponde ao endereço de destino da mensagem que originou o NACK.

A estrutura de dados fornece também as informações necessárias para a geração de um novo estímulo e para a montagem da tabela a ele associada, para que uma nova tentativa de comunicação se realize. Finalmente, a estrutura de dados da mensagem transmitida é atualizada com o número de transmissões acrescido de um e, se foi o caso, com o código da IA bloqueada.

- (ix) - Trata mensagem ACK — o procedimento, neste caso, é bastante simples, constando apenas da parada e retorno a zero do relógio de tempo esgotado e da atualização da estrutura de dados da mensagem transmitida, colocando código livre no campo LIVRE/OCUPADO e limpando os demais campos;
- (x) - Trata mensagem de sincronismo de relógio de tempo real — esta operação consiste apenas da comparação do valor recebido no campo de informações da mensagem com o valor do relógio local; se a discrepância entre os valores estiver dentro do limite de tolerância, programado de acordo com a particular aplicação, o registrador de recepção é liberado uma nova mensagem é aguardada; se a discrepância não estiver dentro do limite o bit de estado correspondente é ligado para que o ocorrido seja sinalizado;
- (xi) - Testa e trata tempo esgotado de ACK — caso o tempo de espera de uma mensagem ACK se esgote, é provocada a geração de um novo estímulo e conseqüente retransmissão da mensagem, adotando-se o mesmo procedimento utilizado quando é recebida uma mensagem NACK. A implementação deste procedimento é realizada através da criação de uma pseudo mensagem NACK internamente ao controle do IVC, que, ao tratá-la, provocará a retransmissão contabilizando-a como se tivesse sido recebida uma mensagem NACK do destinatário.

Considerando as operações descritas nos itens 5.1.2.1 e 5.1.2.2, o paralelismo das operações e ainda a tendência atual de se produzir cada vez mais circuitos integrados especiais para cada usuário (Custom Integrated Circuits), optou-se pela implementação do controle com vários processadores constituídos com blocos padrões e cascadeáveis (bit slice) onde as diversas funções são microprogramadas. A figura 5.9 mostra esquematicamente como os processadores estão dispostos de modo a implementar as funções do IVC.

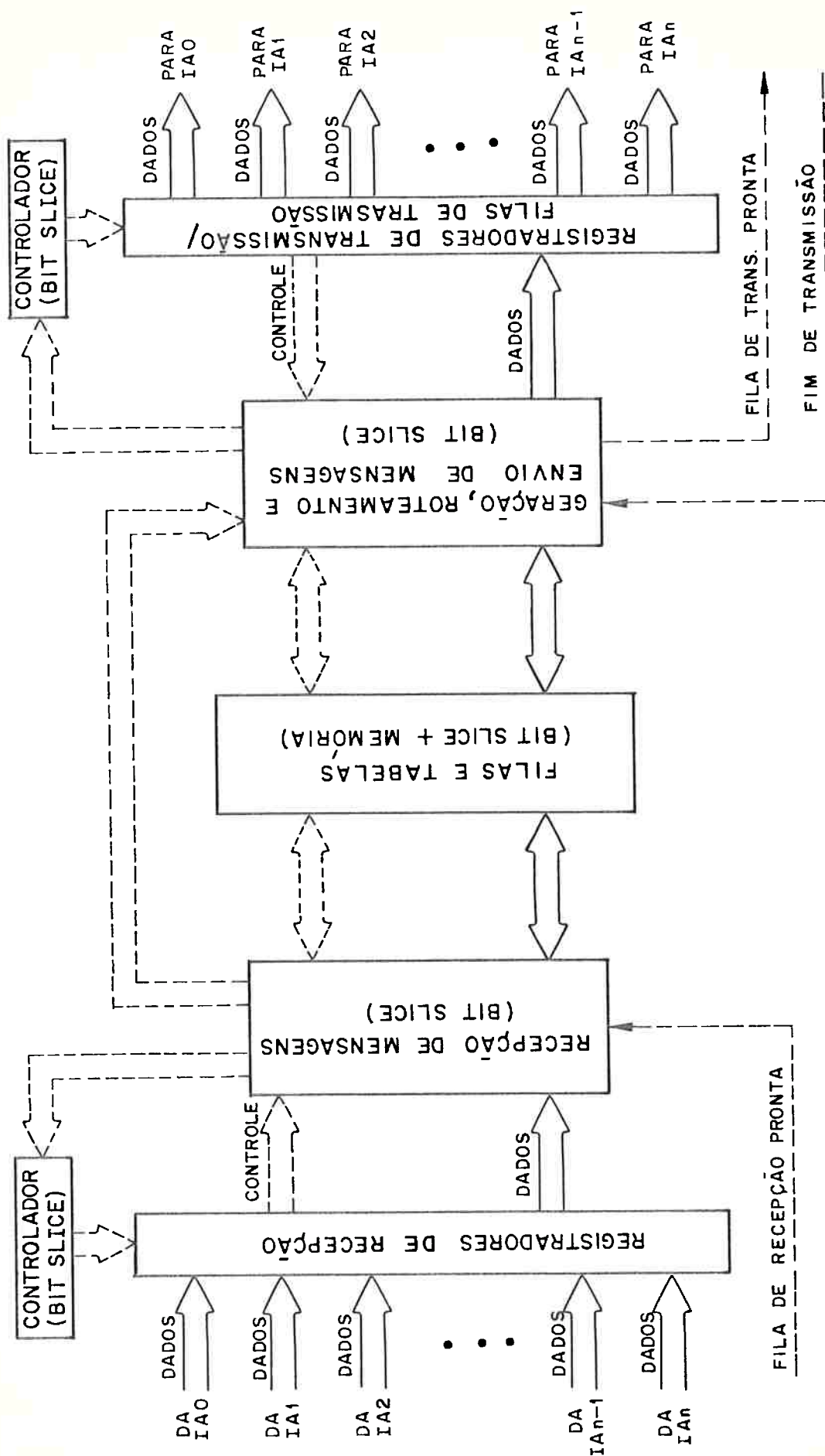


FIGURA 5.9.-DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CONTROLE DO IVC.

5.1.3 Interface com o Equipamento

Este bloco do IVC é responsável pela troca de informações com o nó a ele conectado, gerenciando os acessos aos meios de comunicação compartilhados (memória, registradores de estado e relógio de tempo real). Os circuitos que implementam este bloco são basicamente os de DMA (Direct Memory Access), os de adaptação de níveis de corrente e tensão e os de controle da memória compartilhada, implementados utilizando as técnicas convencionais de projeto digital.

5.2. Controladores de Processos

Para facilitar e, de certa forma, viabilizar a aplicação do sistema proposto neste trabalho aos mais variados tipos de processos físicos e adaptá-lo à estratégia de supervisão e controle que, melhor convier a cada usuário, os controladores de processos foram projetados de forma a constituírem uma família modular de equipamentos, onde cada controlador em particular pode ser composto por um conjunto de módulos-padrão, podendo ser expandido, quando necessário, pela simples adição de novos módulos.

O módulo básico em torno do qual deve ser configurado o controlador de processos desejado é o módulo processador, que será o responsável pelo gerenciamento dos demais módulos e pelo processamento dos algoritmos de supervisão e controle que serão implantados pelos próprios usuários, de forma a casar o controlador ao processo físico. O módulo processador mostrado esquematicamente na figura 5.10, é composto dos seguintes elementos de hardware:

- Microprocessador iAPX 86/20 [14]: microprocessador de 16 bits com possibilidade da expansão para realização de operações aritméticas, trigonométricas, loga

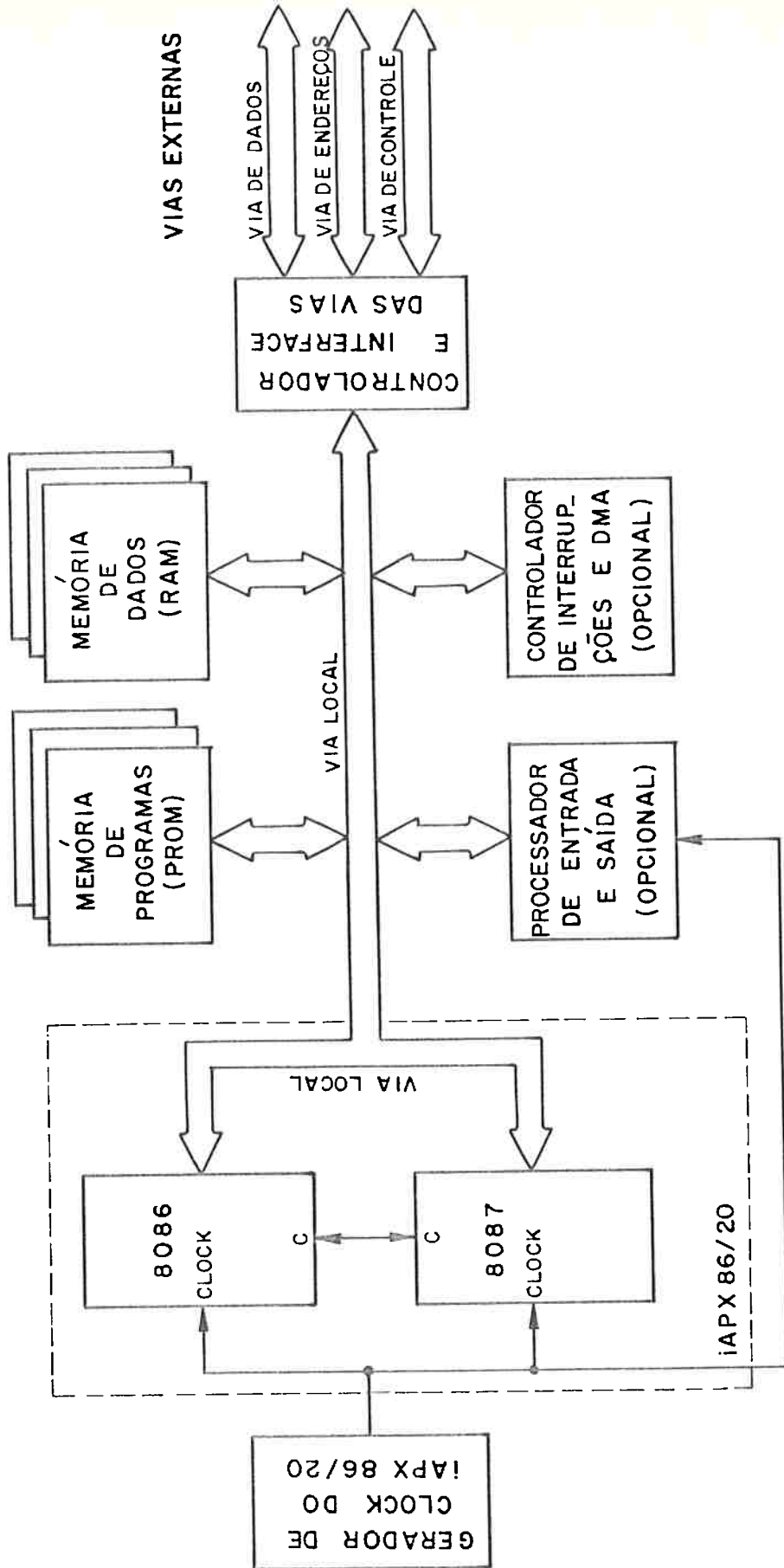


FIGURA 5.10 - HARDWARE DO MÓDULO PROCESSADOR DO CONTROLADOR DE PROCESSOS

rítmicas e exponenciais, fornecido pela INTEL Corporation em duas pastilhas de circuito integrado (tipo 8086 em conjunção com o 8087). Os algoritmos de supervisão e controle dos processos físicos associados ao controlador em questão, devem ser executados por este microprocessador, possibilitando a construção de controladores rápidos e que fornecem dados na precisão e exigida pelos equipamentos que suportam os processos físicos;

- . Banco de Memória PROM (Programmable Read Only Memory): memória de programas onde reside o software básico do processador, que é um pequeno sistema operacional, dedicado ao gerenciamento dos recursos à disposição do microprocessador e ao controle da entrada e da depuração dos programas aplicativos desenvolvidos pelos usuários, que, quando implantados, individualizarão o controlador;
- . Banco de Memória RAM de Escrita e Leitura (Read Write Random Access Memory): memória de dados para ser utilizada para o armazenamento temporário dos dados manipulados pelo sistema operacional ou, então, se for o caso, para o armazenamento do programa usuário, em depuração. Dadas essas características, o tamanho deste banco de memória é variável, sendo expandido à medida do necessário;
- . Circuitos de Controle: circuitos responsáveis pelo controle do microprocessador e adaptação dos sinais das vias de dados, endereços e controle às condições de carga que lhes serão impostas.

O hardware do controlador de processos é estruturado sobre as três vias fornecidas pelo módulo processador, onde são conectados os diversos módulos opcionais, a fim de compor o controlador desejado. Para que seja coberto o maior número possível de aplicações, foram previstos módulos para supervisão e

controle de processos analógicos e digitais, onde o interfaceamento com as vias do processador é padronizado, fazendo com que o instrumental já desenvolvido e existente possa ser utilizado neste controlador, desde que se construam os circuitos de interfaceamento necessários para adaptar suas entradas e saídas às vias e ao protocolo definido pelo sistema iAPX 86/20 [14].

Considerando as operações mais comumente utilizadas em controle de processos físicos sejam eles digitais ou analógicos, os módulos apresentados a seguir se incumbem de adaptar o controlador a essas operações, de acordo com os anseios e as necessidades dos usuários.

a. Controlador Autônomo de uma Malha para Processos Analógicos

O controlador de uma malha é um equipamento capaz de perfazer controle digital direto (DDC) sobre uma malha de controle, atuando como substituto digital para os controladores analógicos; para isso deve possuir as seguintes características básicas [17] [32] [74]:

- . Possuir uma entrada analógica, correspondente à variável monitorada do processo físico;
- . Possuir uma saída analógica, correspondente à variável de controle do processo físico;
- . Possuir entradas e saídas analógicas auxiliares para acionamento e sensoreamento de dispositivos ligados ao processo físico;
- . Possuir entradas e saídas digitais auxiliares para acionamento e sensoreamento de dispositivos digitais ligados ao processo físico;
- . Ter capacidade para alteração dos valores do ponto de operação, localmente, através de operações

manuais realizadas no próprio painel do equipamento, ou remotamente, através da recepção de comandos provenientes de equipamentos com hierarquia superior;

- . Ter capacidade de indicação, no painel, dos valores da variável supervisionada do processo físico, do valor do ponto de operação e do erro instantâneo;
- . Ter capacidade de programação para implantação ou modificação dos algoritmos de controle.

Utilizando-se vários destes controladores de uma malha, interligados através do módulo processador, pode-se construir um controlador multi-malhas simples, onde o algoritmo de controle e o gerenciamento dos vários controladores é realizado pelo software de aplicação, desenvolvido de acordo com as necessidades do particular processo físico, e executado pelo microprocessador iAPX 86/20. Controladores mais sofisticados e com as mais diversificadas funções auxiliares podem ser compostos utilizando também os demais módulos descritos nesta seção.

É importante notar que o embrião do sistema de automação e controle de operações produtivas proposto neste trabalho é o controlador autônomo de uma malha, pois ele é capaz de controlar um processo físico de uma malha de controle, sem que seja necessária a presença dos equipamentos de hierarquia superior (até mesmo o módulo processador). A partir desse embrião o sistema cresce modularmente, primeiro com um controlador multi-malhas e depois com os diversos níveis hierárquicos, comentados nos capítulos anteriores.

b. Painel de Controle Local

O painel de controle local implementa a interface homem-máquina do nível hierárquico de processo especificado no capítulo 3, sendo, no caso geral, constituído de um conjunto de instrumentos analógicos, do mesmo tipo dos utilizados nos controladores de uma malha, e, quando houver necessidade, constituído de painéis mímicos, configurados de acordo com o processo e com as determinações dos usuários.

Como este módulo é muito dependente do processo físico ao qual o particular controlador está sendo planejado, optou-se pela sua divisão em dois sub-módulos, o primeiro sendo o próprio painel, construído de acordo com a aplicação, e o segundo a interface entre esse último e as vias do módulo processador.

c. Equipamentos de Armazenamento e suas Interfaces

Os equipamentos de armazenamento ou impressão de dados são utilizados para obtenção de cópias permanentes dos dados colhidos no processo físico conectado ao controlador (data logging), e normalmente são usados dispositivos como gravadores de fita cassette, unidades de discos flexíveis, impressoras seriais e traçadores gráficos, que, em conjunto com suas respectivas interfaces com as vias do módulo processador, constituirão os módulos de armazenamento permanente dos controladores de processos.

d. Sensores de Sinais Digitais e Saídas Digitais

Os sensores digitais são utilizados nas aplicações onde as operações de supervisão dos processos físicos exigem a coleta de dados digitais; esses sensores são módulos especializados que coletam os dados

através de um processo de varredura e informa, quando requisitados, os estados de todas as variáveis digitais conectadas às suas entradas ou, então, apenas as alterações ocorridas nessas variáveis, desde a última requisição.

As saídas digitais são utilizadas para controle direto dos atuadores de dois estados acoplados ao processo físico propriamente dito, e serão acionadas sob comando dos algoritmos em execução no módulo processador. Estas saídas podem ser utilizadas independentemente ou em complementação às saídas digitais auxiliares existentes nos controladores de uma malha, se estes estiverem sendo utilizados; o mesmo conceito é aplicável às entradas digitais.

e. Conversores Analógico-Digital e Digital-Analógico

Estes conversores podem ser utilizados complementarmente às entradas e saídas analógicas auxiliares dos controladores de uma malha, nos casos de necessidade de utilizar-se um número maior dessas entradas e saídas que as disponíveis, ou ainda, podem ser utilizados independentemente para controle e supervisão de equipamentos analógicos associados aos processos físicos e comandados diretamente pelos algoritmos executados pelo iAPX 86/20 do módulo processador.

f. Relógio de Tempo Real

O módulo do relógio de tempo real contém um relógio digital preciso (implementado com cristal de quartzo) que é utilizado pelo IVC para a leitura dos valores de relógio de tempo real necessários para a composição correta das mensagens; é também utilizado para a geração da base de tempos para o controlador de processos, quando este necessitar da mesma para a execução de seus algoritmos.

f. Elementos de Apoio

São considerados elementos de apoio os módulos que fornecem ao controlador de processos capacidade de armazenamento de dados e algoritmos, de implantação de novos programas e de comunicação com os equipamentos do nível hierárquico superior. Para elementos de apoio tem-se, então, os seguintes módulos:

- . Banco de memória de escrita e leitura não voláteis (memórias com capacidade de reter a informação caso ocorram falhas na alimentação) para ser utilizado como meio de armazenamento temporário de dados;
- . Banco de memória EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) para ser utilizado como meio de armazenamento dos programas-objeto, que implementam os algoritmos de controle e demais funções aplicativos, a serem executadas pelo microprocessador iAPX 86/20 do módulo processador;
- . Memória compartilhada para ser utilizada como meio de comunicação com o STD-CP, conforme especificado nos capítulos anteriores, onde, quando necessário, os dados são lidos ou armazenados sob o comando do microprocessador do módulo processador, independentemente da operação que está sendo executada nos outros "ports" existentes nessa memória;
- . Dispositivos de entrada e saída para serem utilizados como suporte na implantação ou na depuração de novos algoritmos ou funções no controlador de processos, podendo ser utilizados desde um simples consolos para digitação e impressão de programas, até dispositivos de armazenamento, como discos flexíveis ou fitas cassete, associados a

ferramentas de auxílio à depuração e partida (start-up) dos programas.

A título ilustrativo, a figura 5.11 mostra um controlador de processos completo, onde existem, além do módulo processador, os módulos controladores autônomos de uma malha, entradas e saídas analógicas e digitais, painel de controle local, equipamentos de armazenamento de dados (data logging), relógio de tempo real, memórias de dados e de programas (RAM e EPROM), equipamentos de entrada e depuração de programas e memória compartilhada, que, em conjunto com o relógio de tempo real, fornece os dados necessários para a geração correta das mensagens necessárias à operação do sistema.

5.3. Centros de Supervisão

Para implementar os centros de supervisão foi escolhido o Núcleo de Processamento Distribuído - NPD, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo [47] [48] [67] [69] [70]. A escolha desse sistema de processamento, ao invés da utilização de computadores convencionais, justifica-se, apesar do desenvolvimento de software aplicativo ser menos dispendioso nos convencionais, pela existência de quantidade de software de suporte para desenvolvimento de programas, pelas seguintes razões:

- . Flexibilidade e Modularidade: sendo o sistema aqui proposto destinado a uma gama bastante ampla de aplicações é interessante que o hardware e o software básico do processador sejam facilmente configuráveis, de acordo com as necessidades de processamento de dados, de comunicação homem-máquina, de armazenamento de dados e de interfaceamento com outros sistemas apresentados em cada caso particular. Nesse sentido o NPD apresenta uma grande vantagem sobre as máquinas convencionais, pois sua capacidade de processamento não

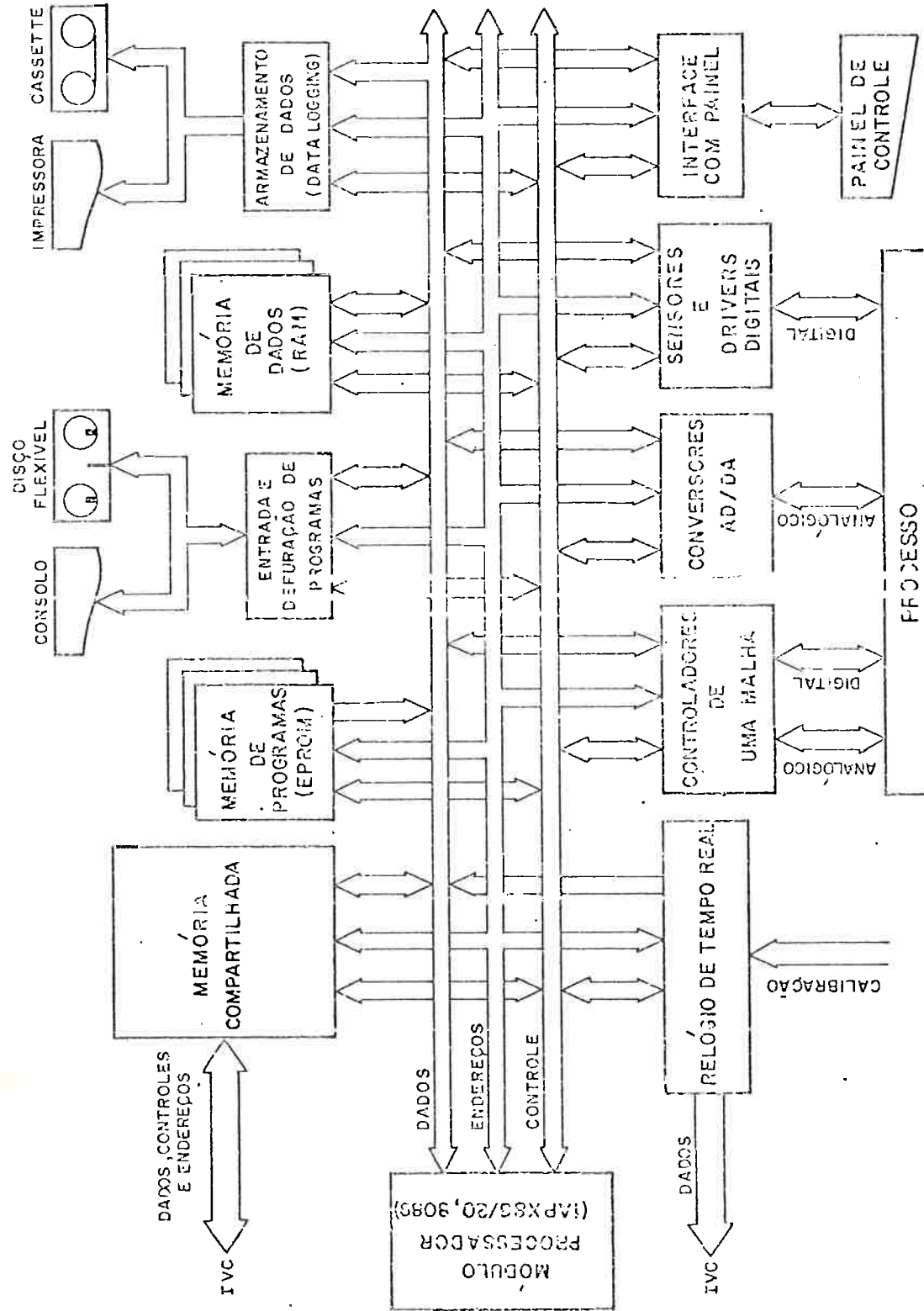


FIGURA 5.11- ESQUEMA DO CONTROLADOR DE PROCESSOS

é fixa. Sendo também utilizada uma arquitetura distribuída em anel (anel este com características distintas do utilizado no STD-CP), sua capacidade de processamento depende apenas do número de processadores de uso geral que, se conectam ao seu anel. Outra vantagem é que sua capacidade de interfaceamento com equipamentos de entrada e saída é praticamente irrestrita (limitada apenas pelo tempo de resposta desejado) quanto ao tipo e o número de dispositivos, podendo adaptar-se com facilidade às necessidades de interfaceamento homem-máquina e de comunicação com outros tipos de máquinas, sejam elas convencionais ou não;

- . Disponibilidade: as necessidades de grande disponibilidade dos centros de supervisão são plenamente atendidas por um único NPD, não sendo necessário utilizar-se configurações redundantes como o seria se fossem utilizadas máquinas convencionais, pois a redundância parcial e os esquemas da detecção de falhas e reconfiguração garantem a disponibilidade necessária, sem que seja preciso a duplicação total;
- . Expansibilidade: dada a sua modularidade intrínseca, o NPD pode ser facilmente expandido acoplando-se mais módulos aos seus anéis de comunicação, com o custo comportando-se de forma incremental;
- . Manutenibilidade: as manutenções corretiva e preventiva do NPD são bastante simples, não sendo necessários técnicos com alto grau de especialização para manter o hardware do sistema em condições operacionais, o que raramente acontece com os computadores convencionais, cuja manutenção é, via de regra, executada por técnicos especializados do próprio fabricante; isso faz com que o custo de operação do sistema seja reduzido e que o próprio usuário possa criar sua equipe de manutenção própria, ficando independente de fatores externos para garantir a operacionalidade do equipamento.

Considerando que, com a escolha do NPD como o processador dos centros de supervisão, a configuração de hardware a ser adotada é a melhor para cada caso em particular, a figura 5.12 apresenta uma configuração bastante completa, onde são apresentados os seguintes nós:

- . N Módulos Processadores de Uso Geral - MP_i: onde residirá e será executado o software aplicativo que individualizará o centro de supervisão, de acordo com a particular instalação em que o sistema estiver implantado;
- . Dois Módulos de Interfaceamento com Discos Magnéticos Rígidos de Alta Capacidade - ID: para implementação da base de dados;
- . Três Módulos Concentradores de Terminais - CT: para o interfaceamento com os consolos de operação e impressora para armazenamento de dados (data logging);
- . Duas Interfaces com Computadores Convencionais-ICOM : para implementar a comunicação com os computadores do centro de processamento de dados, que são responsáveis pela execução do software dos níveis de otimização e gerenciamento;
- . Três Concentradores de Terminais de Vídeo Coloridos - CTV: sendo dois utilizados para os terminais de vídeo localizados na sala de controle e operados pelos operadores centrais e o terceiro para terminais localizados remotamente e utilizados apenas para consultas;
- . Um Concentrador de Discos Flexíveis - CDF; para armazenamento de dados (data logging) e entrada de novos programas;

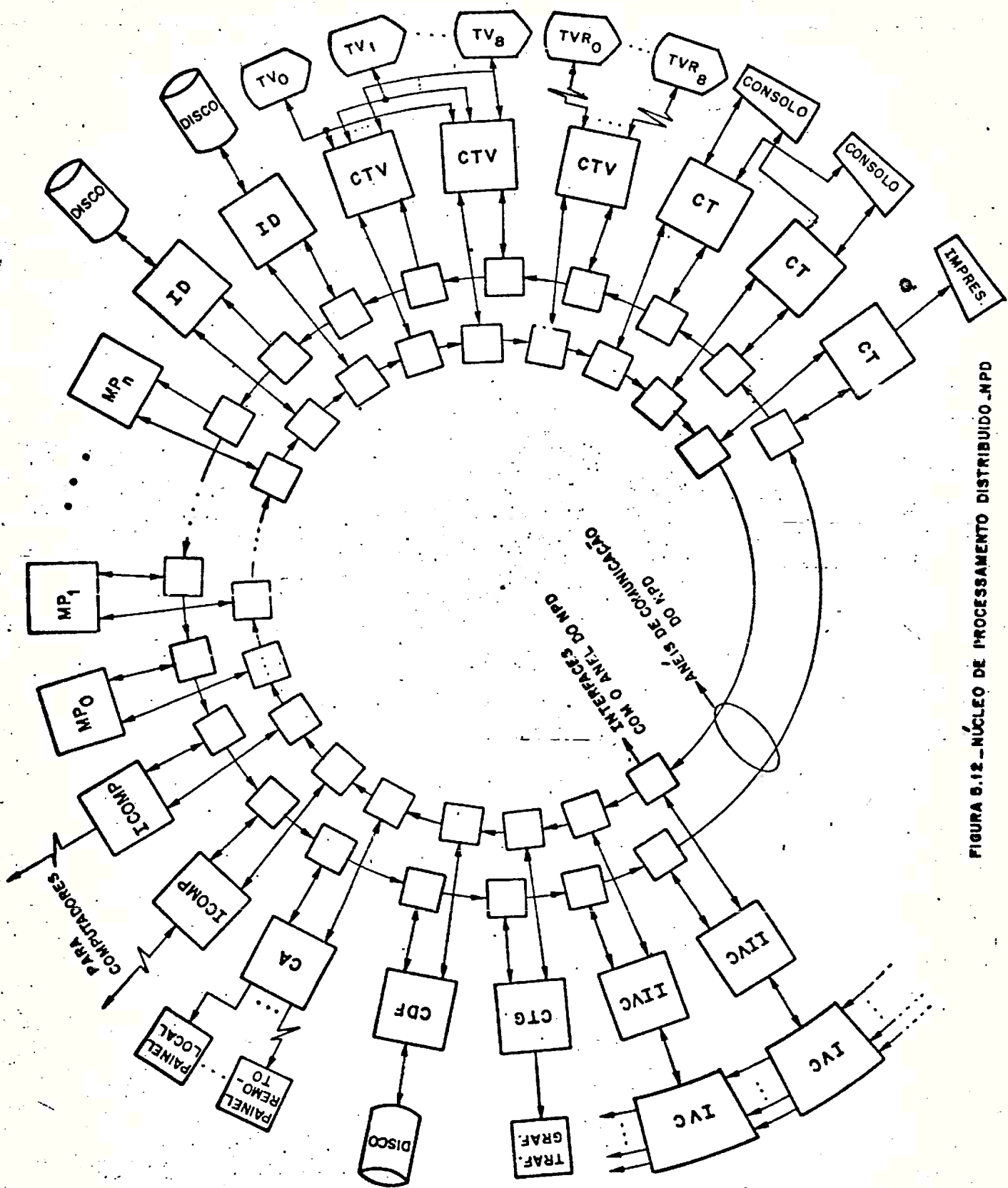


FIGURA 8.12 - NÚCLEO DE PROCESSAMENTO DISTRIBUÍDO - NPD

- . Um Concentrador de Traçadores Gráficos - CTG: para traçado de gráficos correspondentes as variáveis do processo físico;
- . Um Concentrador de Equipamentos de Alarme - CEA: para acionamento de alarmes em locais remotos à sala de controle e na própria sala;
- . Duas Interfaces com os IVCs - IIVC: para que se implemente a comunicação com o STD-CP e, conseqüentemente, com os controladores de processos.

As estruturas de hardware definidas neste capítulo permitem a execução do próximo passo do desenvolvimento que é o detalhamento do projeto do hardware dos IVCs e dos controladores de processos, objetivando a implementação dos protótipos de laboratório que, em conjunto com o do NPD já existente, constituirão o sistema que será utilizado para dar continuidade às atividades que resultaram este trabalho, objetivando a evolução da área de sistemas digitais com aplicação em controle de processos.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de controle e automação de processos, especificado neste trabalho, foi definido de forma a serem seguidas as diretrizes e perseguidos os objetivos estabelecidos em capítulos anteriores. Assim, cabem aqui, considerações sobre a consistência da solução proposta com as metas desejadas.

A primeira meta diz respeito à obtenção de um sistema de uso geral, ou seja, aplicável aos mais variados tipos de operações produtivas. Essa meta, pode-se afirmar foi atingida, não só pelo cuidado que se tomou ao detalharem-se as características de que o sistema deveria ser dotado, mas, acima de tudo, pela solução adotada para a arquitetura que irá implementá-lo.

O segundo objetivo diz respeito à obtenção de uma solução para a arquitetura do sistema que seja capaz de sempre acompanhar os avanços tecnológicos nas áreas de microeletrônica, de transmissão de dados e de arquitetura de sistemas. Com relação a esse objetivo, pode-se considerar que o sistema obtido está preparado para integrar a nova geração de equipamentos de controle de processos, devido, principalmente, aos seguintes pontos:

- . A arquitetura distribuída, o meio óptico de comunicação e a estrutura hierarquizada, tanto sob o ponto de vista operacional, quanto sob o ponto de vista do hardware e de software, qualificam o sistema como tecnologicamente avançado e adequado às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- . O hardware do sistema está perfeitamente adaptado à substituição por circuitos integrados de escala de integração muito grande (Very Large Scale of Integration VLSI) fabricados sob encomenda (Custom Made), principalmente no que se refere aos módulos do IVC e do NPD. Nesse sentido, o IVC foi projetado em módulos praticamente independentes e

microprogramados para facilitar sua implementação com VLSIs projetados especialmente para tal fim; mas enquanto não há condições para que se projete e implemente esses VLSIs, são utilizados os microprocessadores "bit-slice" disponíveis no mercado internacional.

Esse último ponto citado dá uma idéia bem clara sobre uma das características mais importantes do sistema proposto, que é a possibilidade de atualização constante do hardware, adaptando-o às condições de momento, tanto no que se refere à tecnologia de microeletrônica quanto às normalizações de protocolos de interfaceamento; ou seja, se existir um trabalho constante de adaptação do hardware às novas condições, o sistema conservar-se-á sempre atualizado, mantendo a mesma arquitetura inicialmente definida e mantendo a compatibilidade com o software desenvolvido para as versões anteriores do hardware.

Outra característica importante do sistema proposto é sua alta disponibilidade. A existência de três modos de operação (Automático Centralizado, Manual Centralizado e Local) deve alterar profundamente os conceitos relativos à operação de sistemas de controle de processos em várias áreas de aplicação, sobretudo naquelas onde, tradicionalmente, existem apenas os operadores centrais, os quais ficam inoperantes nos casos de falhas, ocasionando grandes prejuízos.

A arquitetura do sistema, entretanto, apresenta alguns aspectos desfavoráveis relacionados com o custo de instalação, devidos principalmente aos seguintes pontos:

- A utilização de meio óptico no STD-CP para transmissão de dados encarece o sistema; o custo dos cabos de fibra óptica, entretanto, deve a médio prazo, decrescer rapidamente, graças à evolução tecnológica esperada para a área nos próximos anos. Em certos casos, entretanto, não existe nenhuma restrição quanto ao uso de cabos elétricos para transmissão de dados no STD-CP, especialmente quando os ambientes não apresentam ruídos eletro-magnéticos que possam interferir na comunicação.

- . Utilização de configuração em anel, que implica o uso de quantidade maior de cabos do que se utilizaria se o STD-CP fosse estruturado em via comum; o custo extra do cabo é, entretanto, compensado pela facilidade de reconfiguração dos equipamentos conectados ao STD-CP e pela simplicidade do protocolo de comunicações.

Outra consideração importante a ser feita é a forma com que se pretende dar continuidade ao trabalho aqui iniciado. Neste sentido devem ser posicionadas as próximas fases do projeto relacionadas aos desenvolvimentos futuros.

As próximas atividades que se seguirão a partir dos resultados desta tese visarão a implementação de um sistema de controle e automação de processos de uso geral. Dentre as atividades a serem realizadas, a curto prazo, destacam-se as seguintes:

- . Implementação de um controlador de processos completo, com os módulos processadores, controlador de malha única, de entradas e saída analógicas e digitais, de memória de programa e de dados, de entrada e depuração de programas e módulo painel de controle local;
- . Projeto, implementação e implantação de algoritmos de controle para processos analógicos (PID) no controlador de processos;
- . Implementação de um IVC e sua conexão com o protótipo do NPD existente no Laboratório de Sistemas Digitais da Escola Politécnica da USP, de forma a ser obter um sistema com dois nós sendo um centro de supervisão e o outro o controlador de processos comentado acima.

A médio prazo, entretanto, pretende-se iniciar o desenvolvimento dos circuitos integrados (Custom Made VLSI) para a implementação dos módulos do IVC, que serão seguidos daqueles utilizados na implementação do hardware que individualiza os nós do

NPD. Também a médio prazo serão realizados estudos mais aprofundados sobre o desempenho do sistema e, quando se dispuser de um sistema mais completo, serão realizadas medidas para a verificação do seu comportamento real.

Apesar do grande volume de trabalho que ainda é necessário, pode-se considerar que esta tese representa um passo inicial importante para a implantação de um programa na área de sistemas digitais aplicados a controle de processos, área essa em franco desenvolvimento em vários países, e cujo desenvolvimento no Brasil, no sentido de criar-se uma tecnologia própria, deve ser também levado avante para que se acompanhem os avanços tecnológicos do exterior.

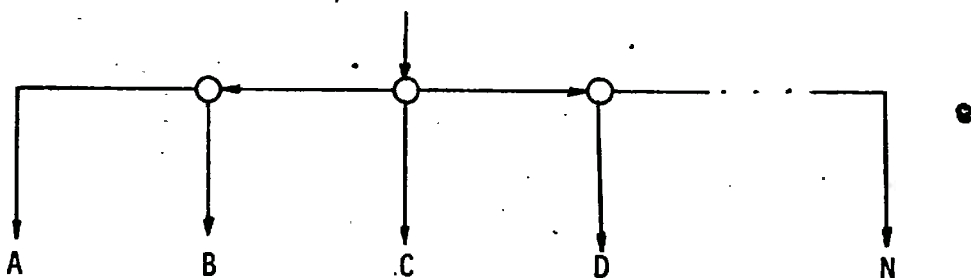
APÊNDICE 1

DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS
OPERAÇÕES REALIZADAS PELAS IAs

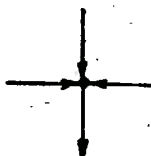
APÊNDICE 1- DIAGRAMAS DE BLOCOS DAS OPERAÇÕES REALIZADAS PELAS IAs

Nos diagramas de blocos aqui apresentados foram adotadas as seguintes convenções de símbolos:

a) As operações A,B,C...,N são executadas em paralelo



b) Conexão



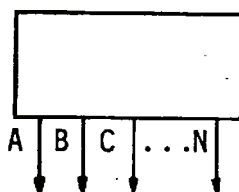
c) Bloco detalhado na figura A_k



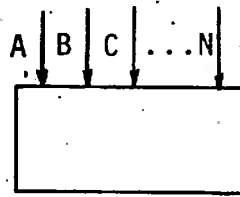
d) Comentários explicativos



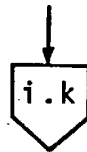
e) O bloco em questão contém as saídas A,B,C,...,N



f) O bloco em questão contém as entradas A,B,C,...,N



g) Pula para o ponto indicado



h) Vem do ponto indicado



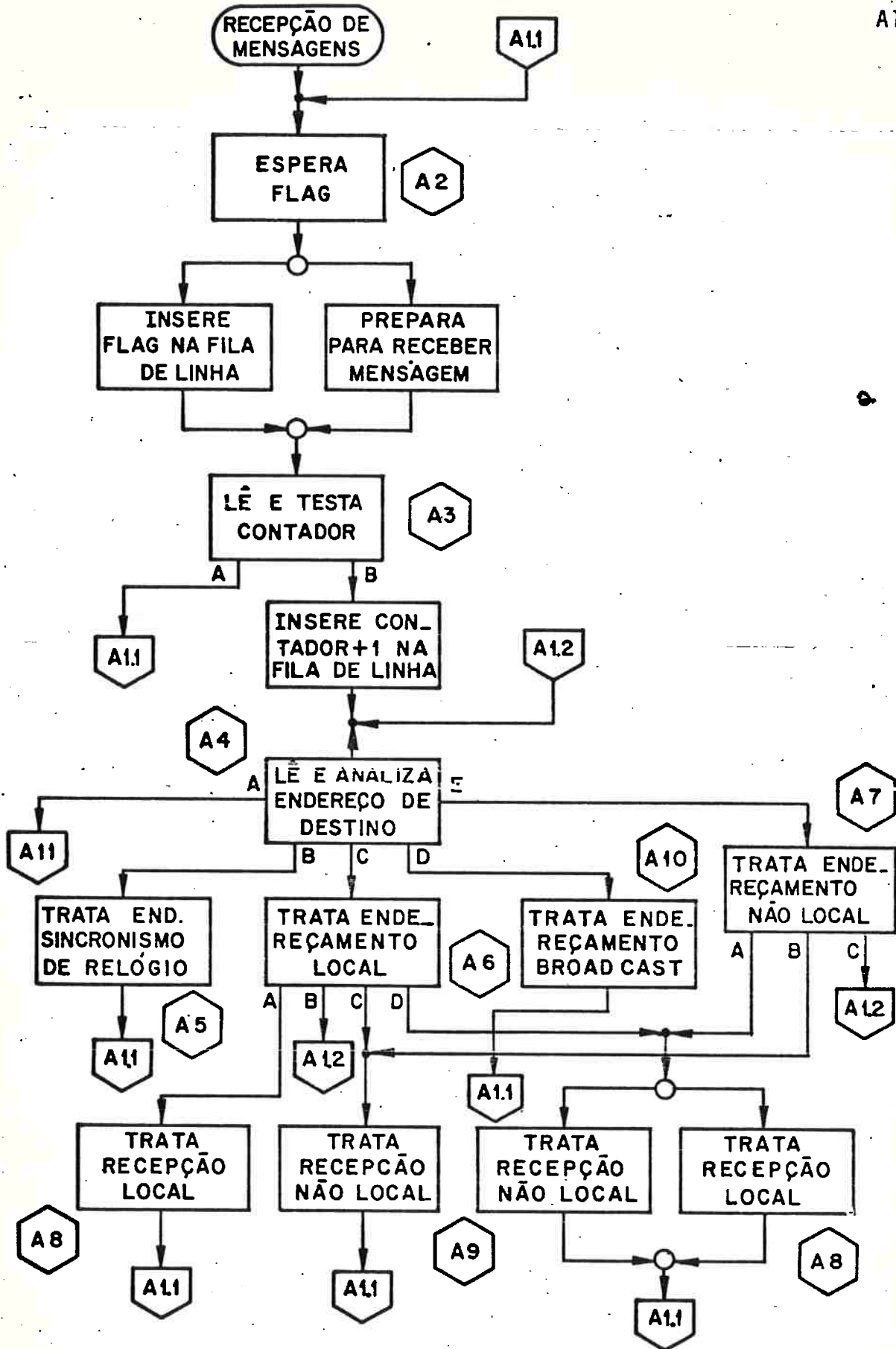
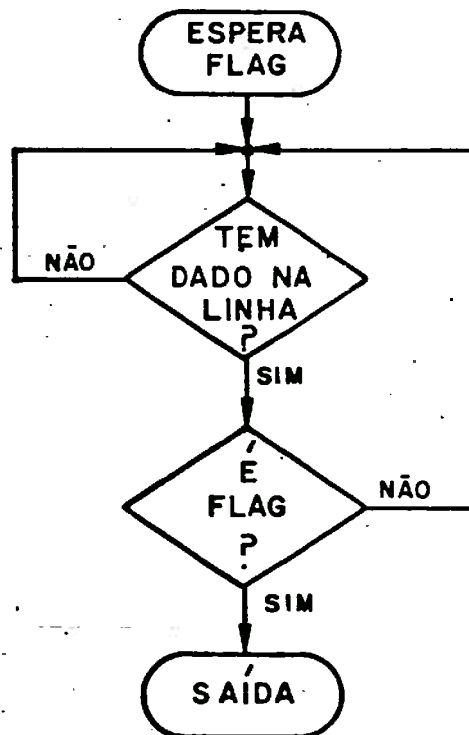


FIGURA A1 - DIAGRAMA EM BLOCOS DA OPERAÇÃO DE RECEPÇÃO DE MENSAGENS DA LINHA DE COMUNICAÇÃO



Este bloco tem a finalidade de eliminar ruídos da linha e restos de mensagens que por algum motivo devam ser retiradas do a nel.

FIGURA A2 _ DETALHAMENTO DO BLOCO "ESPERA FLAG"

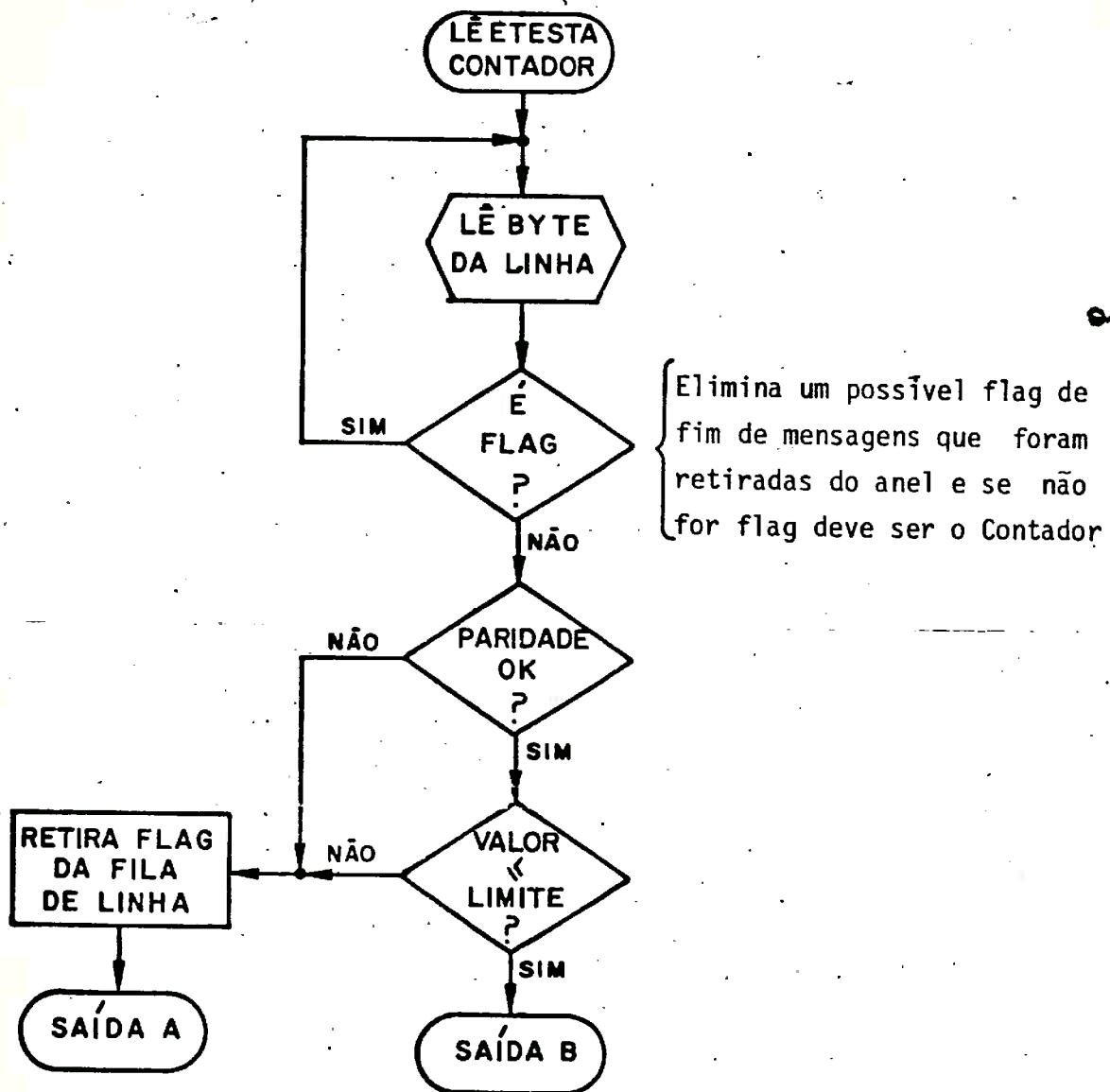


FIGURA A3 - DETALHAMENTO DO BLOCO "LÊ E TESTA CONTADOR"

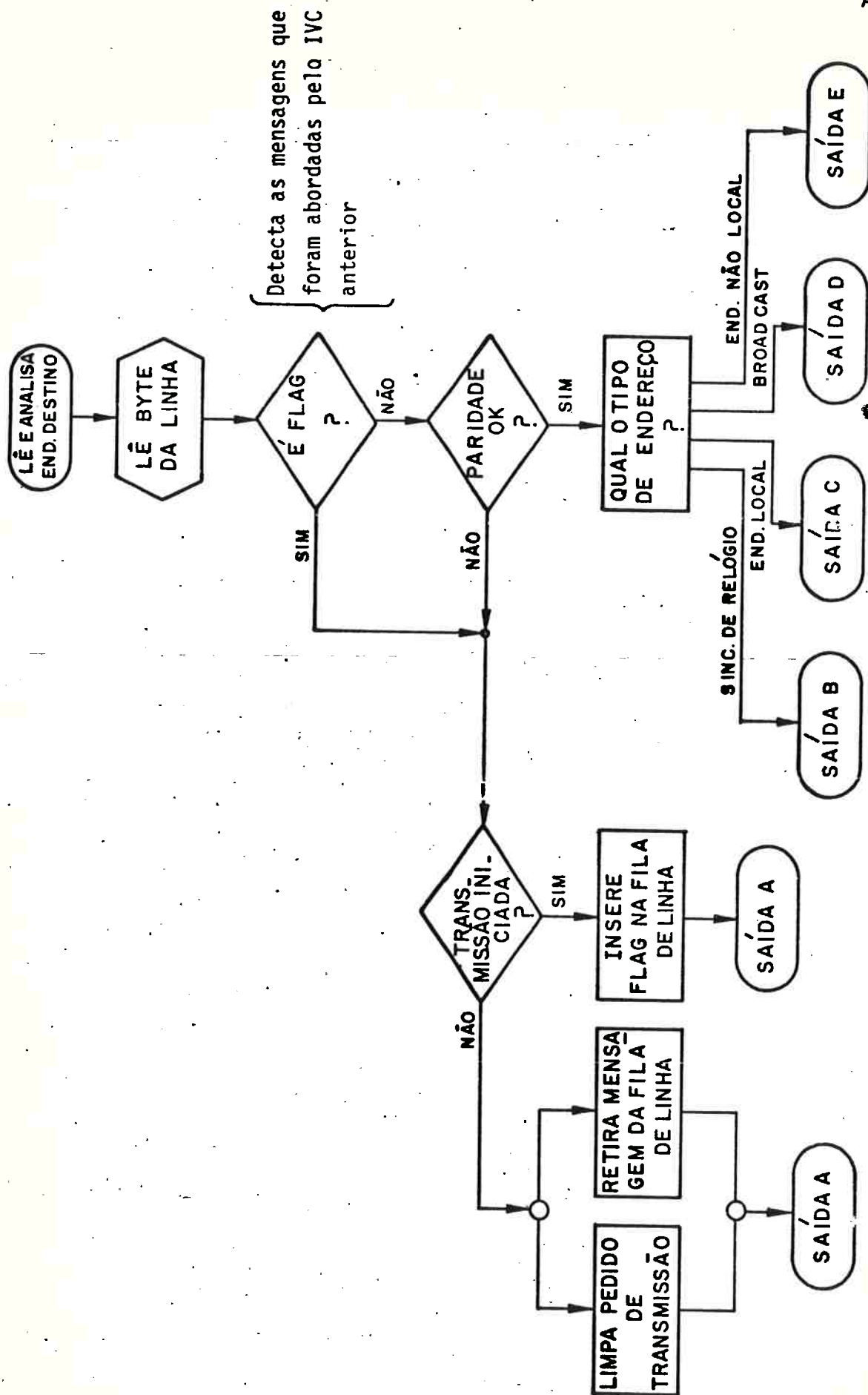


FIGURA A4 - DETALHAMENTO DO BLOCO "LÊ E ANALISA ENDEREÇO DE DESTINO"

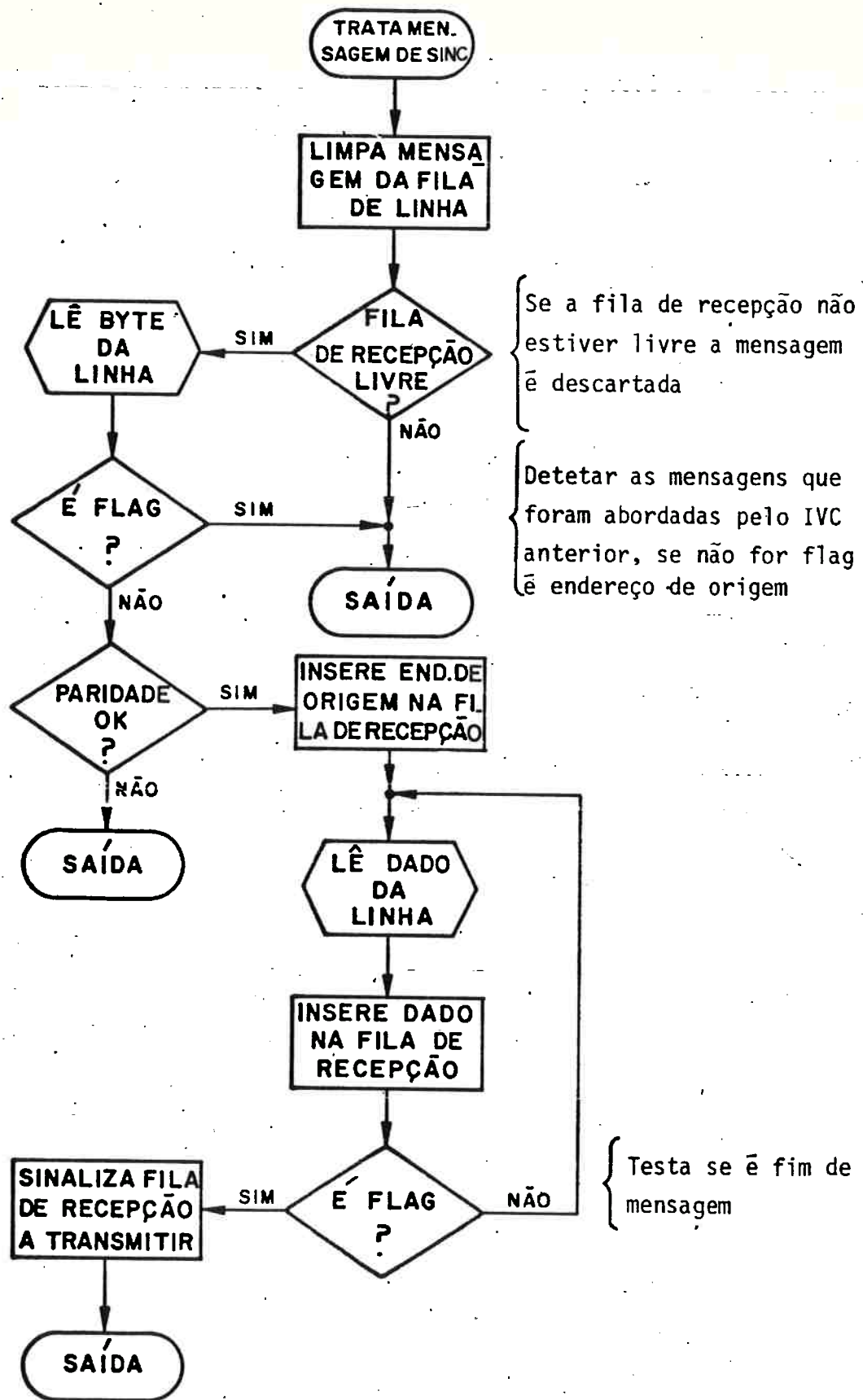


FIGURA A5 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA END. SINCRONISMO DE RELÓGIO"

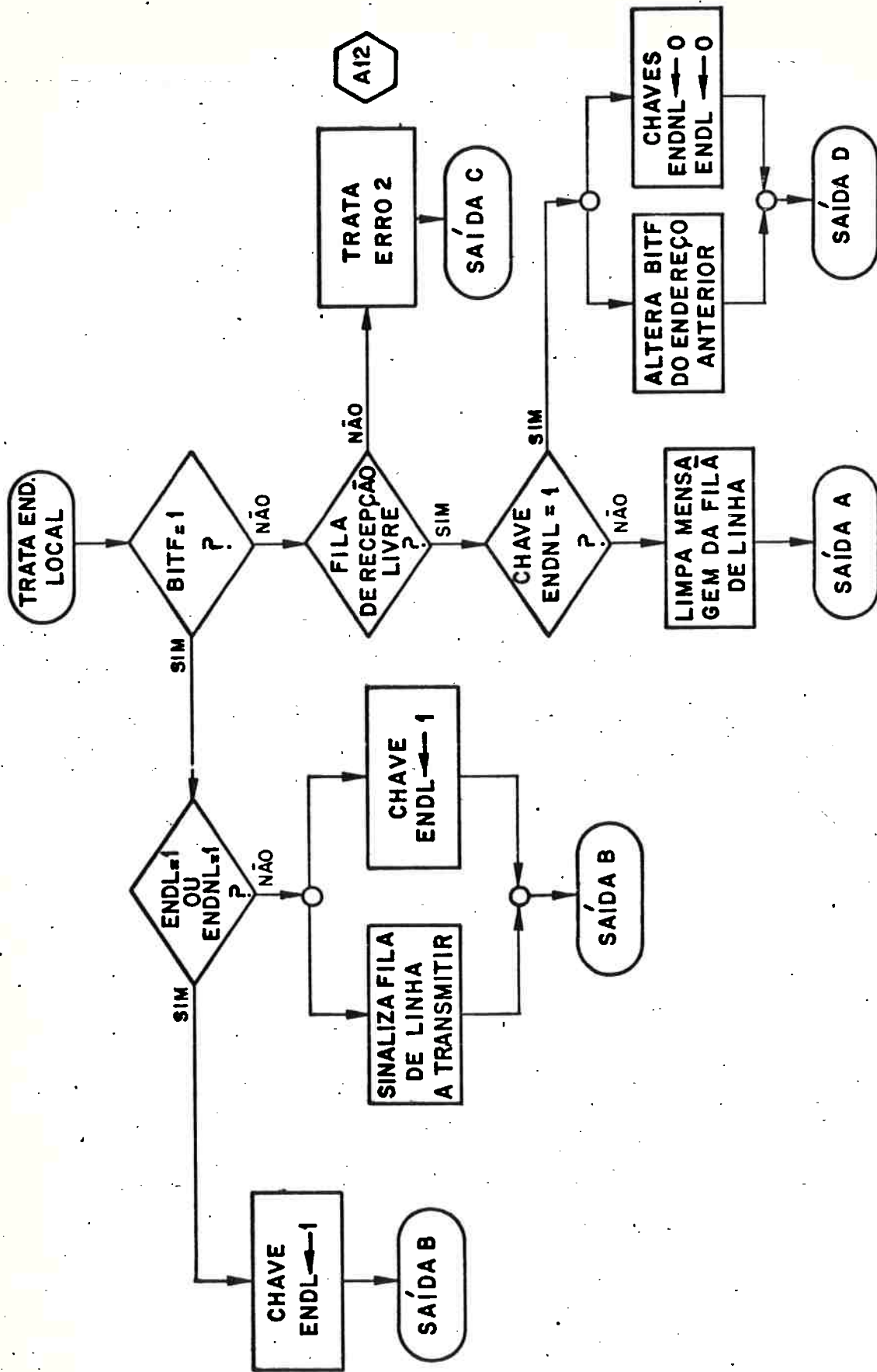


FIGURA A6 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA ENDEREÇAMENTO LOCAL"

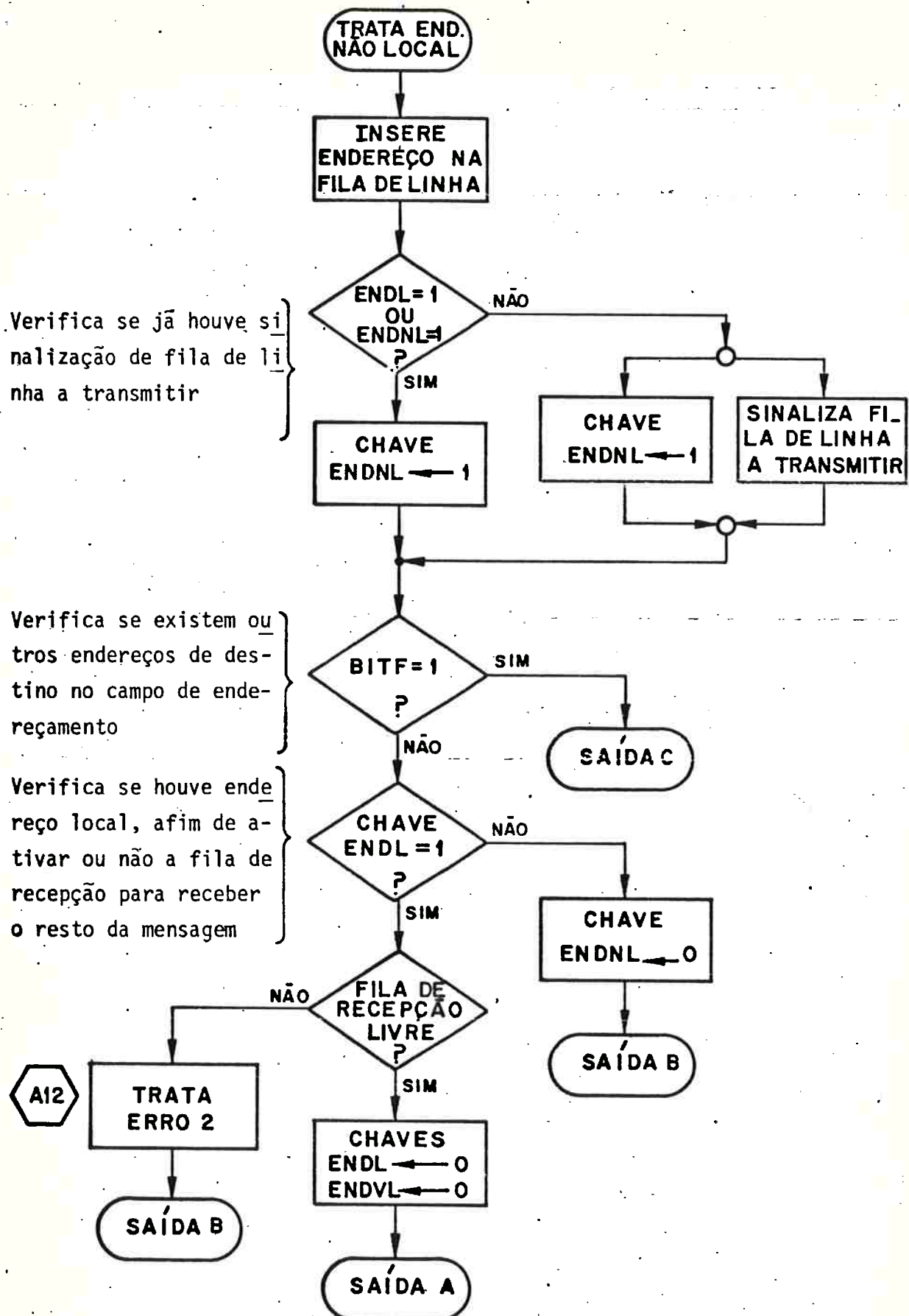


FIGURA A7 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA ENDEREÇAMENTO NÃO LOCAL"

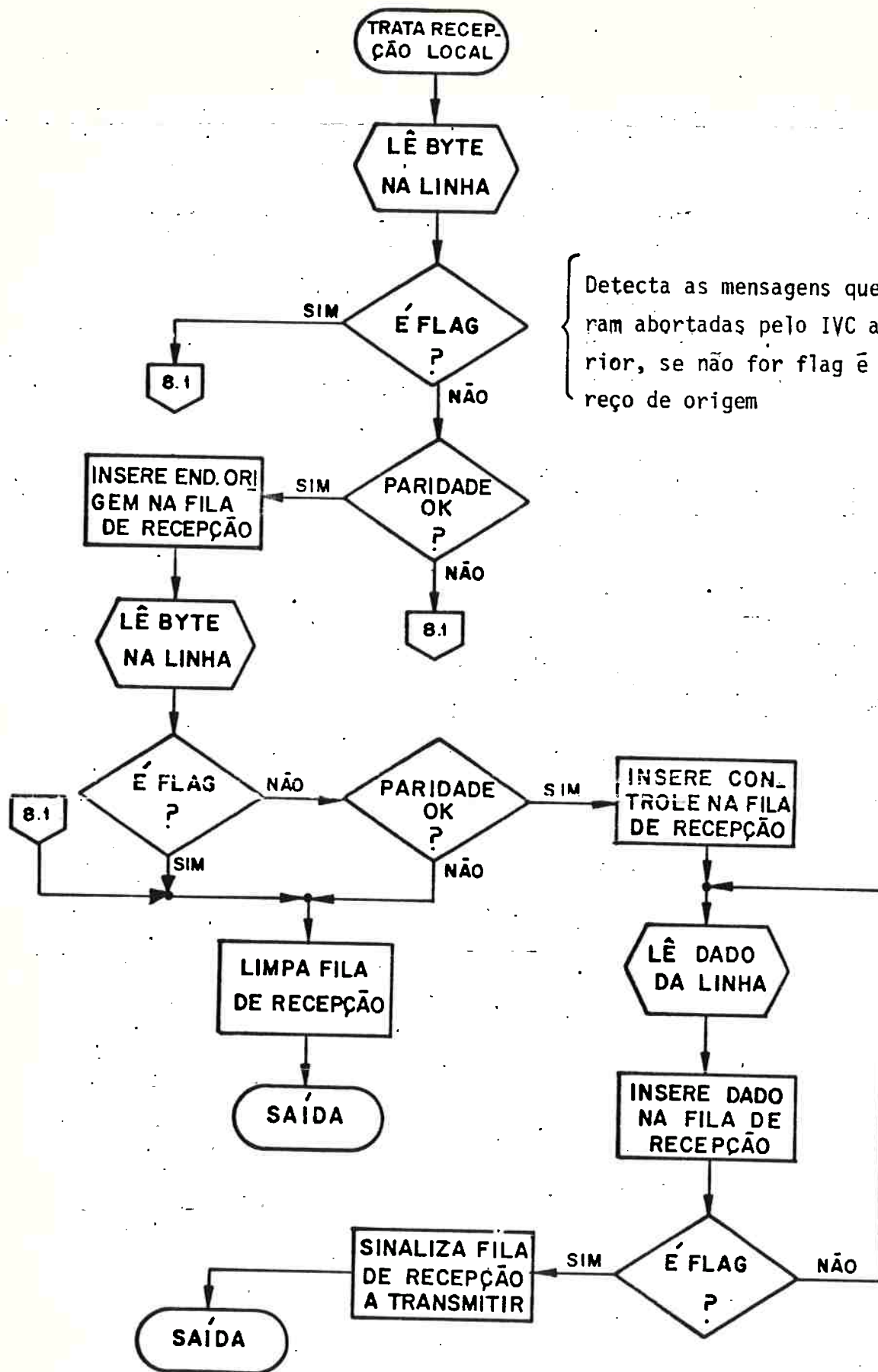


FIGURA A8 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA RECEPÇÃO LOCAL"

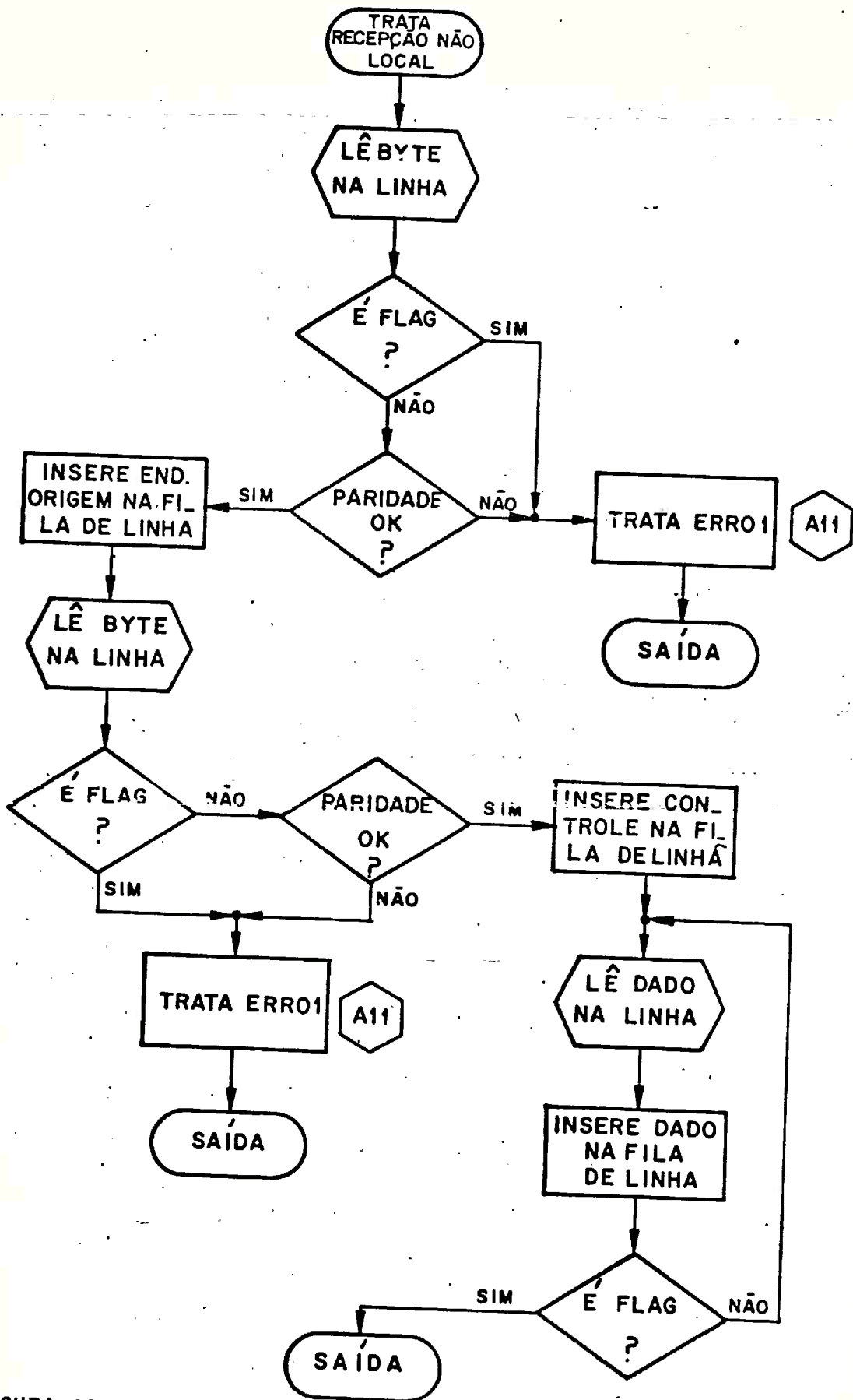


FIGURA A9 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA RECEPÇÃO NÃO LOCAL"

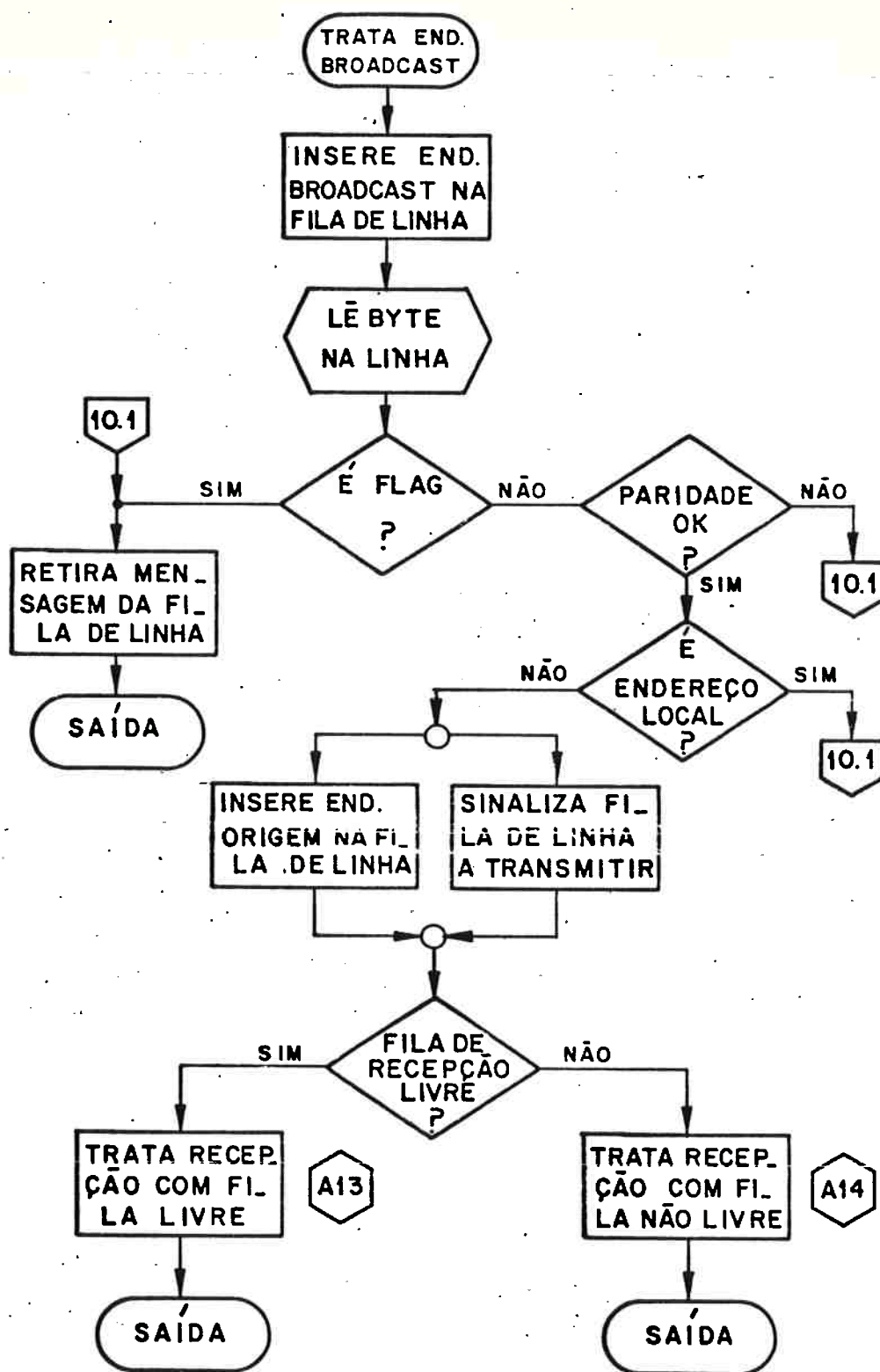


FIGURA A10.- DETALHAMENTO DO BLOCO " TRATA ENDEREÇAMENTO BROADCAST "

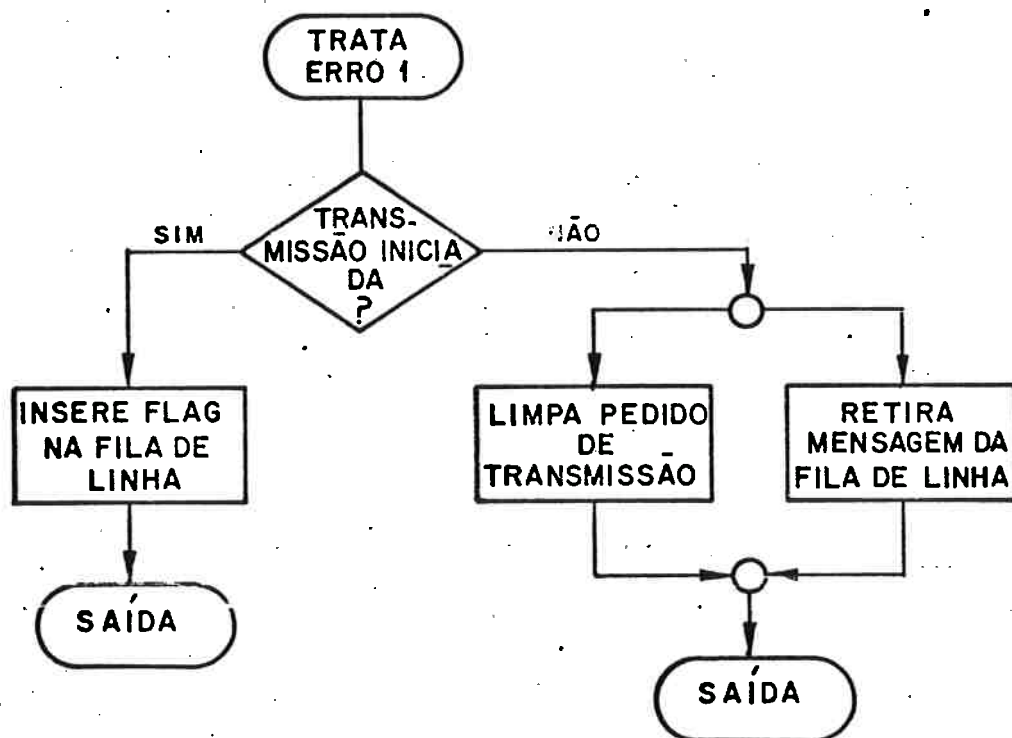


FIGURA A 11 _DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA ERRO 1"

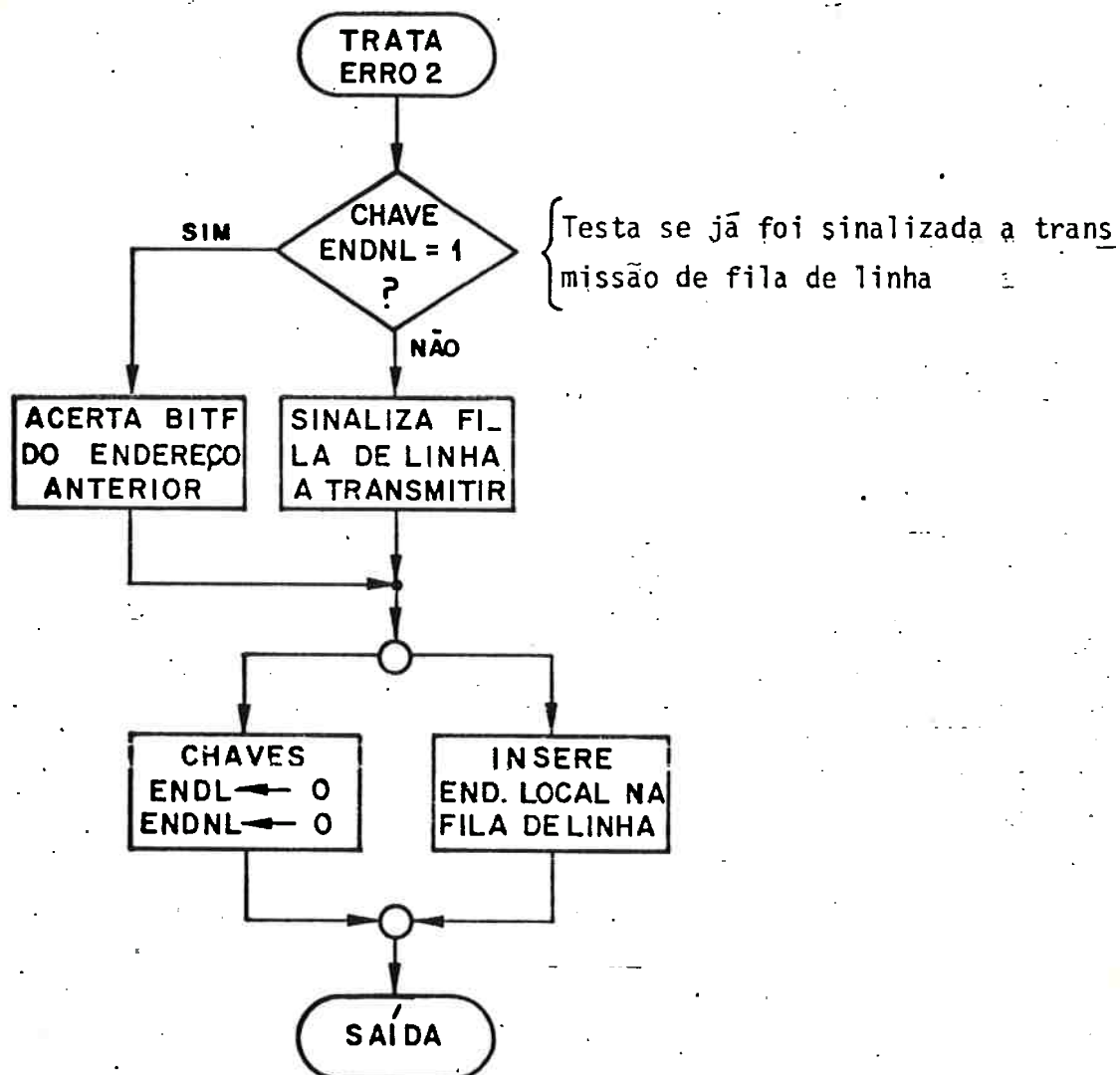


FIGURA A12. DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA ERRO 2"

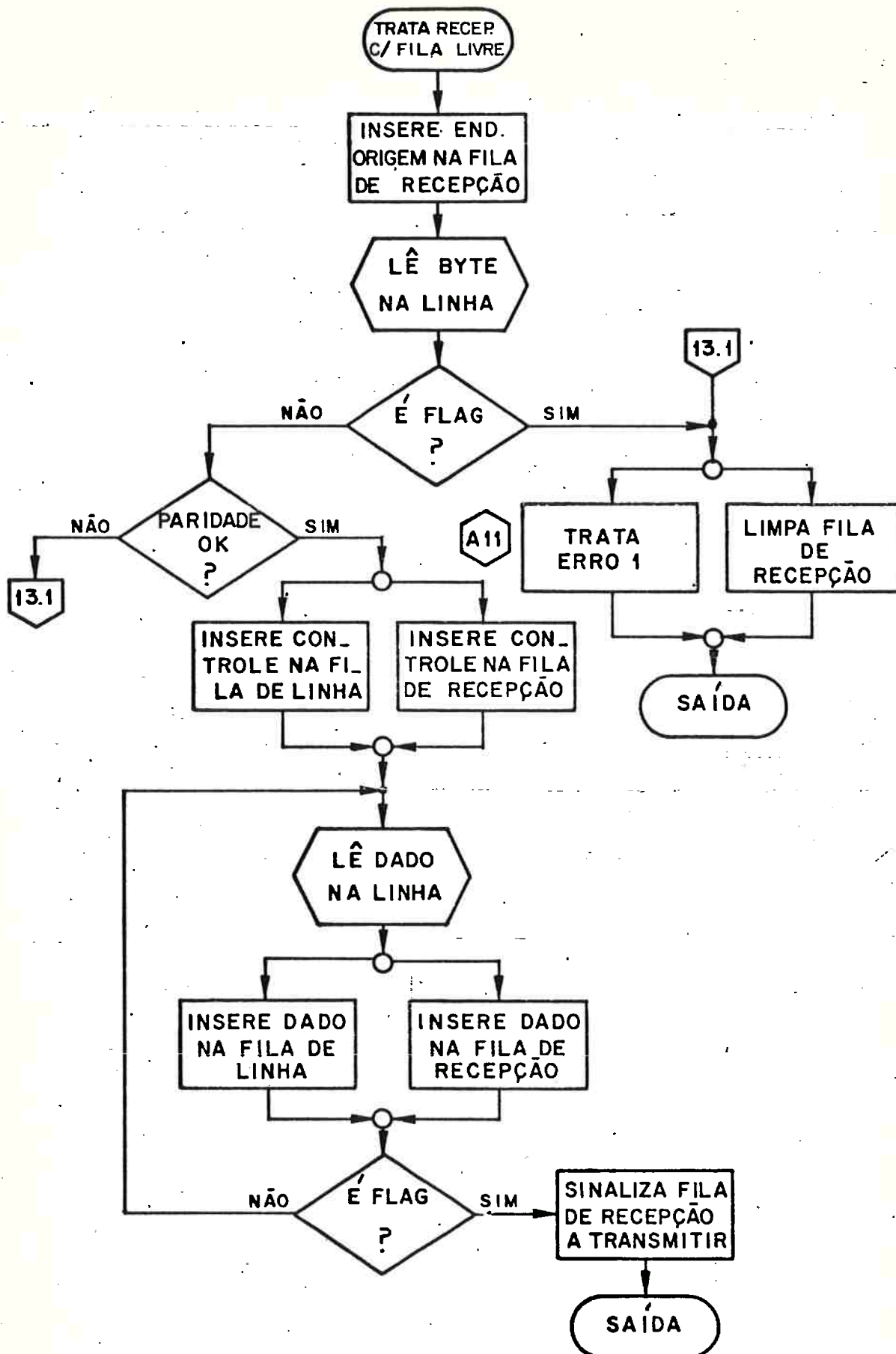


FIGURA A13 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA RECEPÇÃO COM FILA LIVRE".

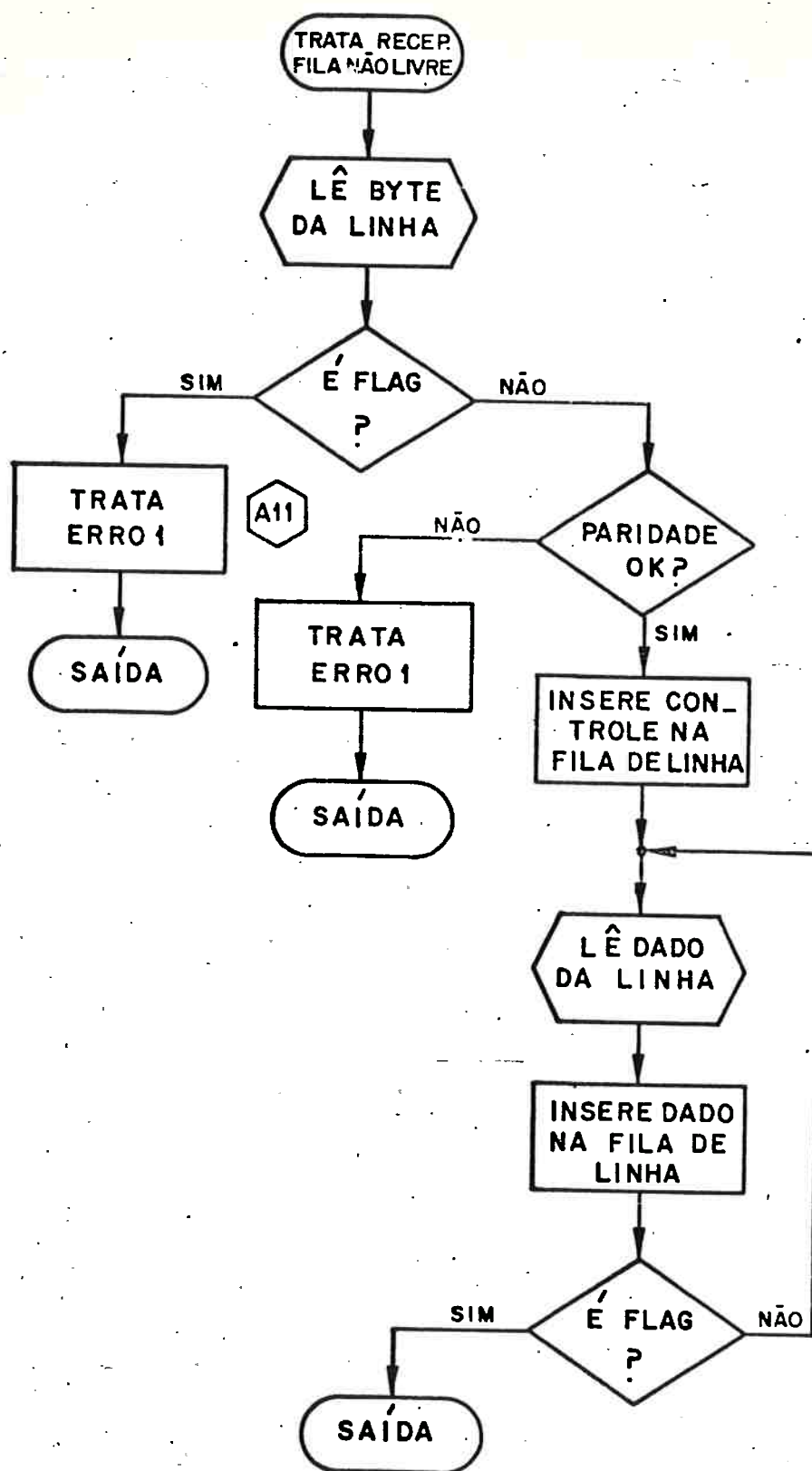


FIGURA A14-DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA RECEPÇÃO COM FILA NÃO LIVRE"

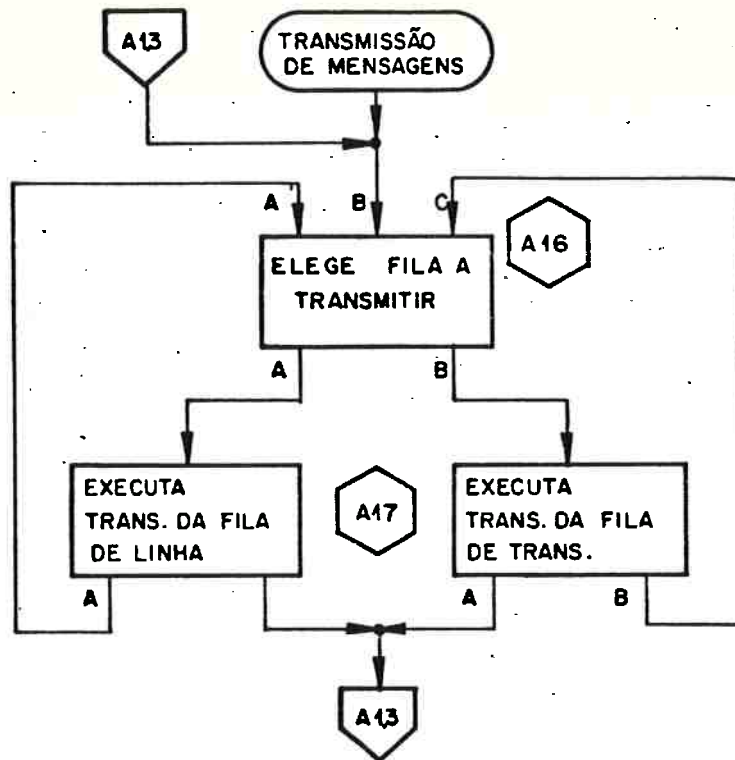


FIGURA A 15.-DIAGRAMA EM BLOCOS DA OPERAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE MENSAGENS PARA A LINHA DE COMUNICAÇÃO

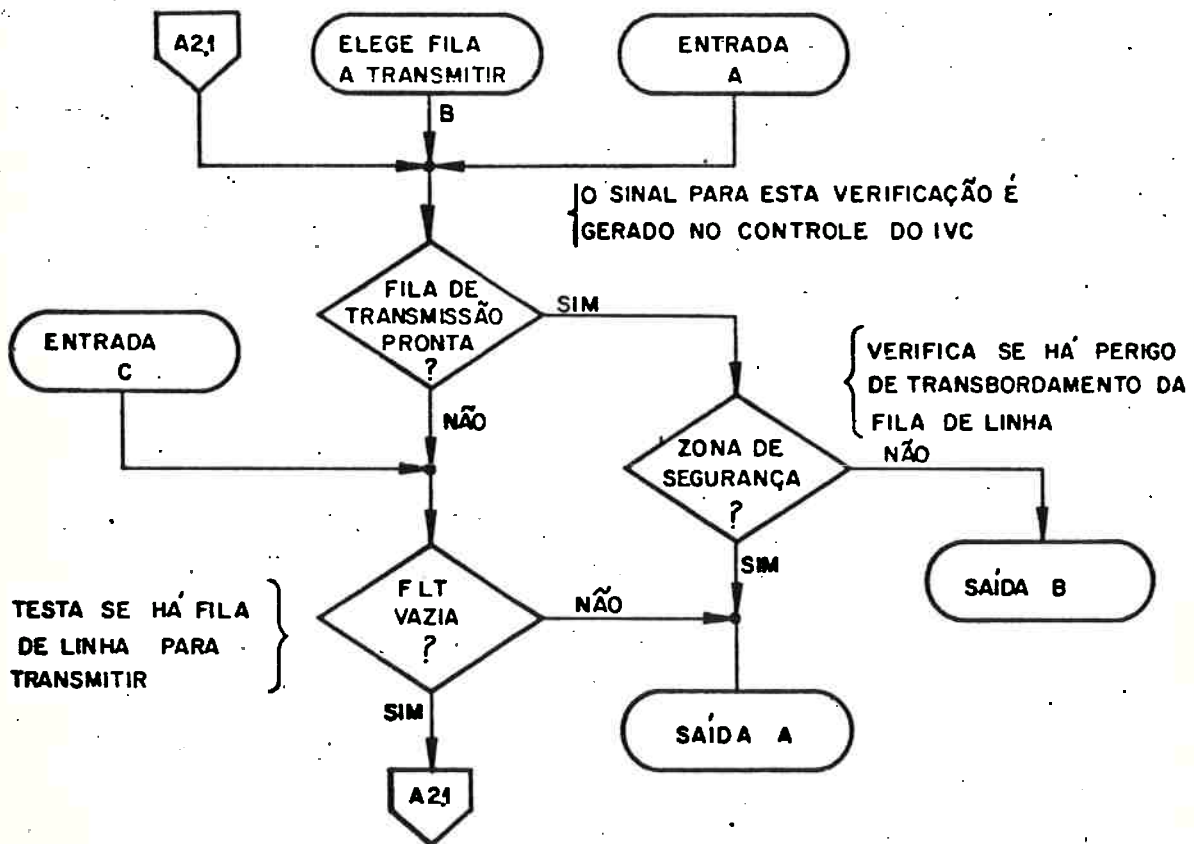


FIGURA A.16. DETALHAMENTO DO BLOCO "ELEGE FILA A TRANSMITIR."

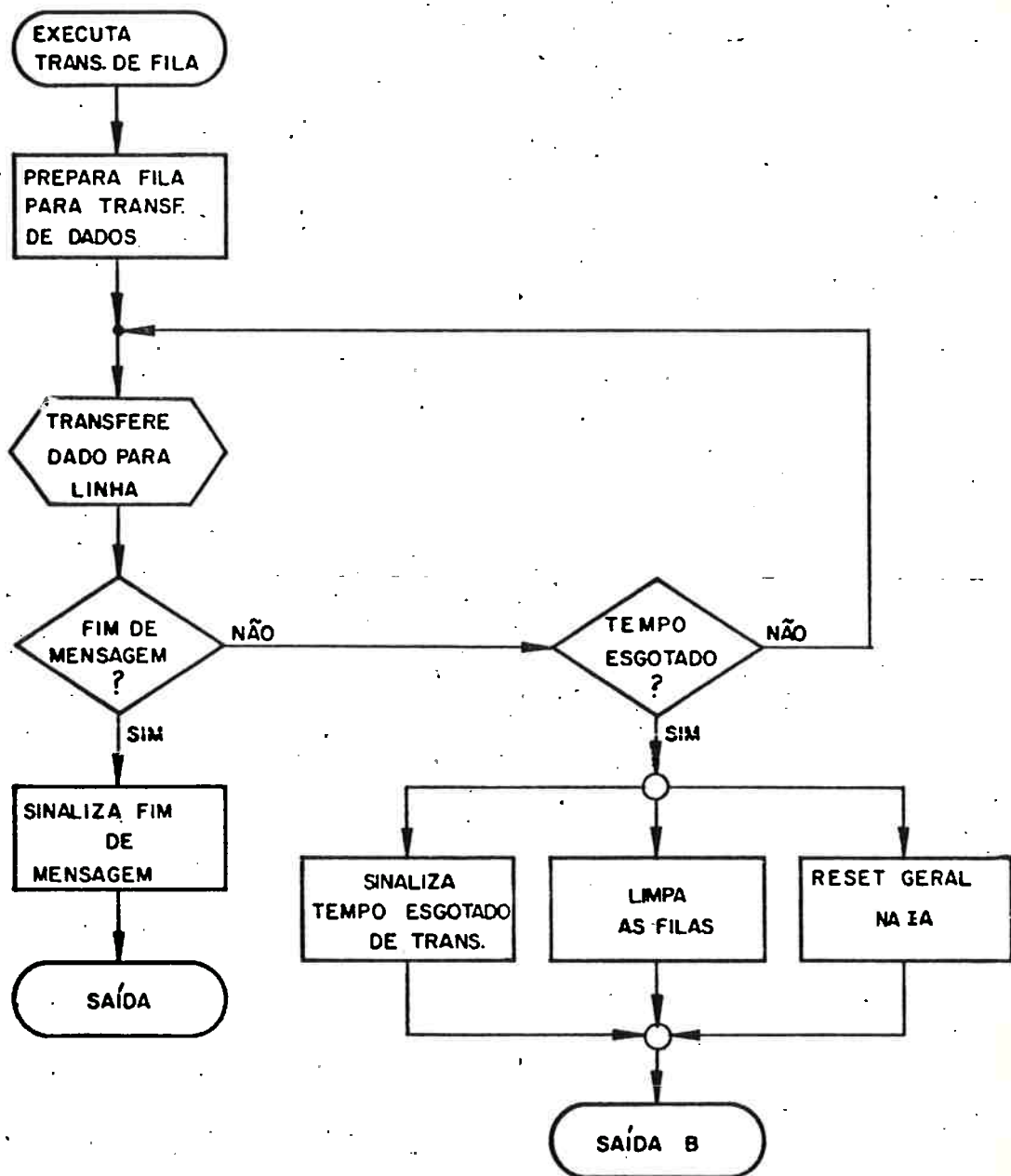


FIGURA A.17: DETALHE DOS BLOCOS "EXECUTA TRANSMISSÃO DA FILA DE LINHA" E "EXECUTA TRANSMISSÃO DA FILA DE TRANSMISSÃO".

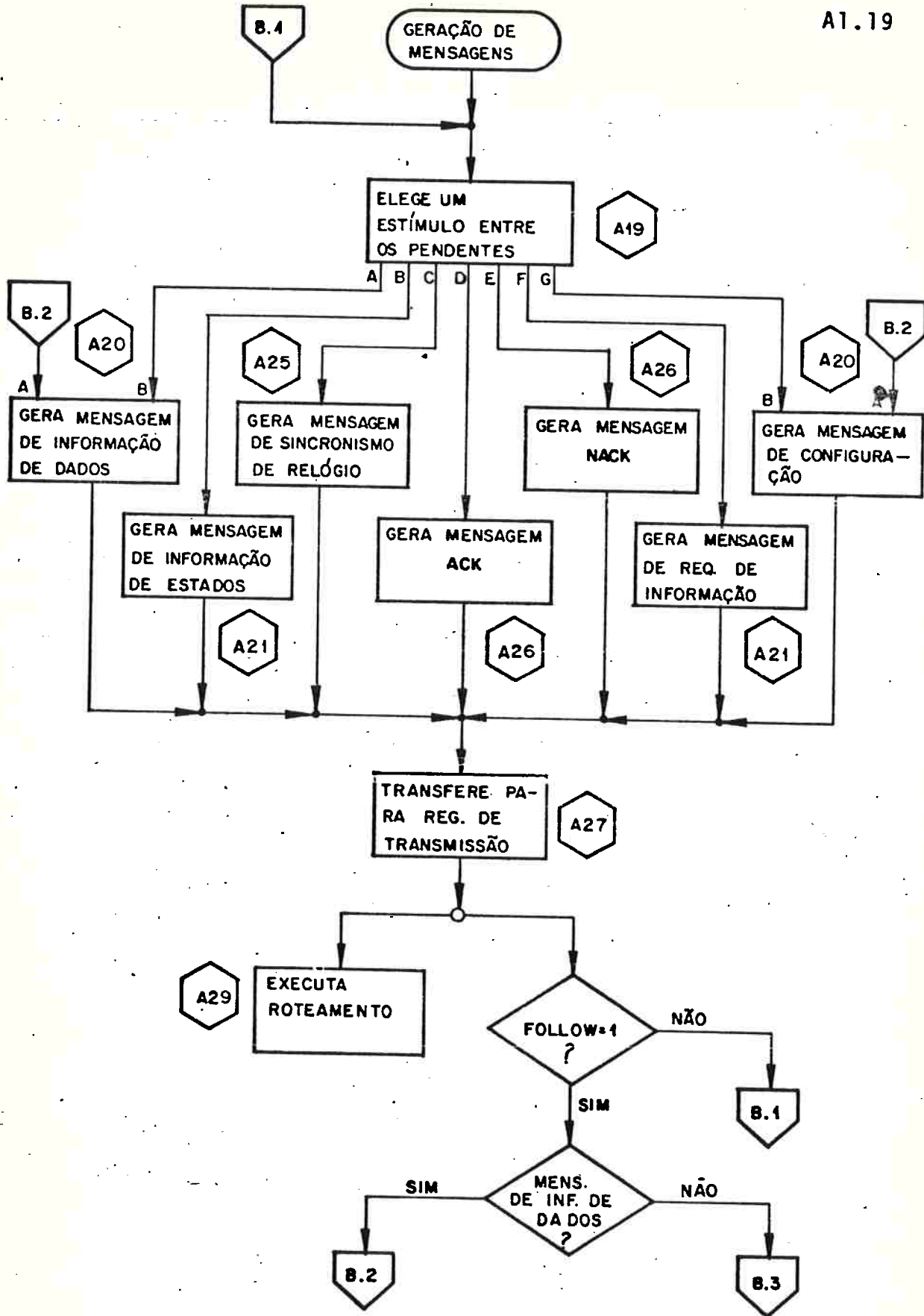


FIGURA A.18 - DIAGRAMA DE BLOCOS DA OPERAÇÃO DE GERAÇÃO DE MENSAGENS

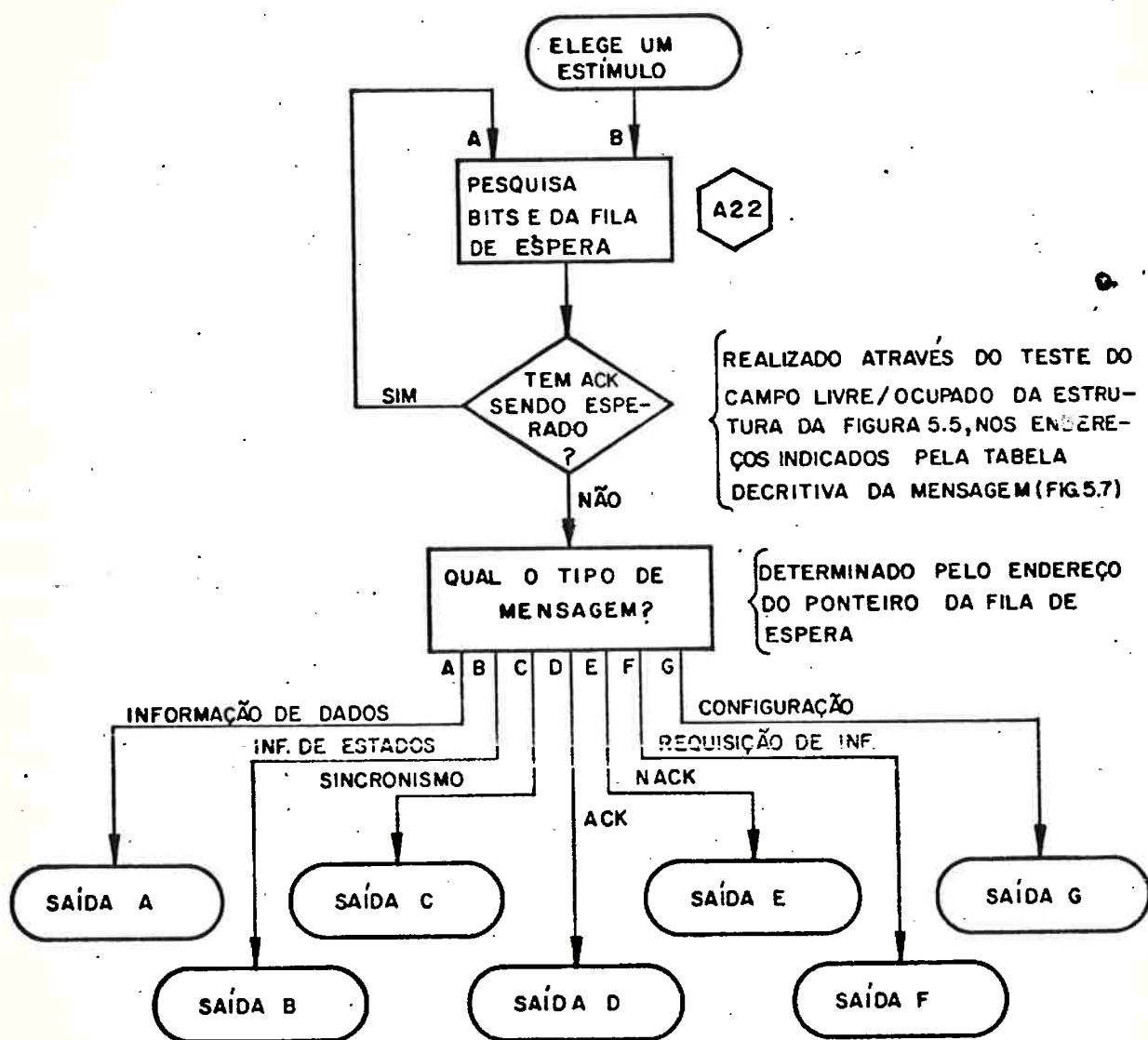


FIGURA A 19- DETALHAMENTO DO BLOCO "ELEGE UM ESTÍMULO ENTRE OS PENDENTES"

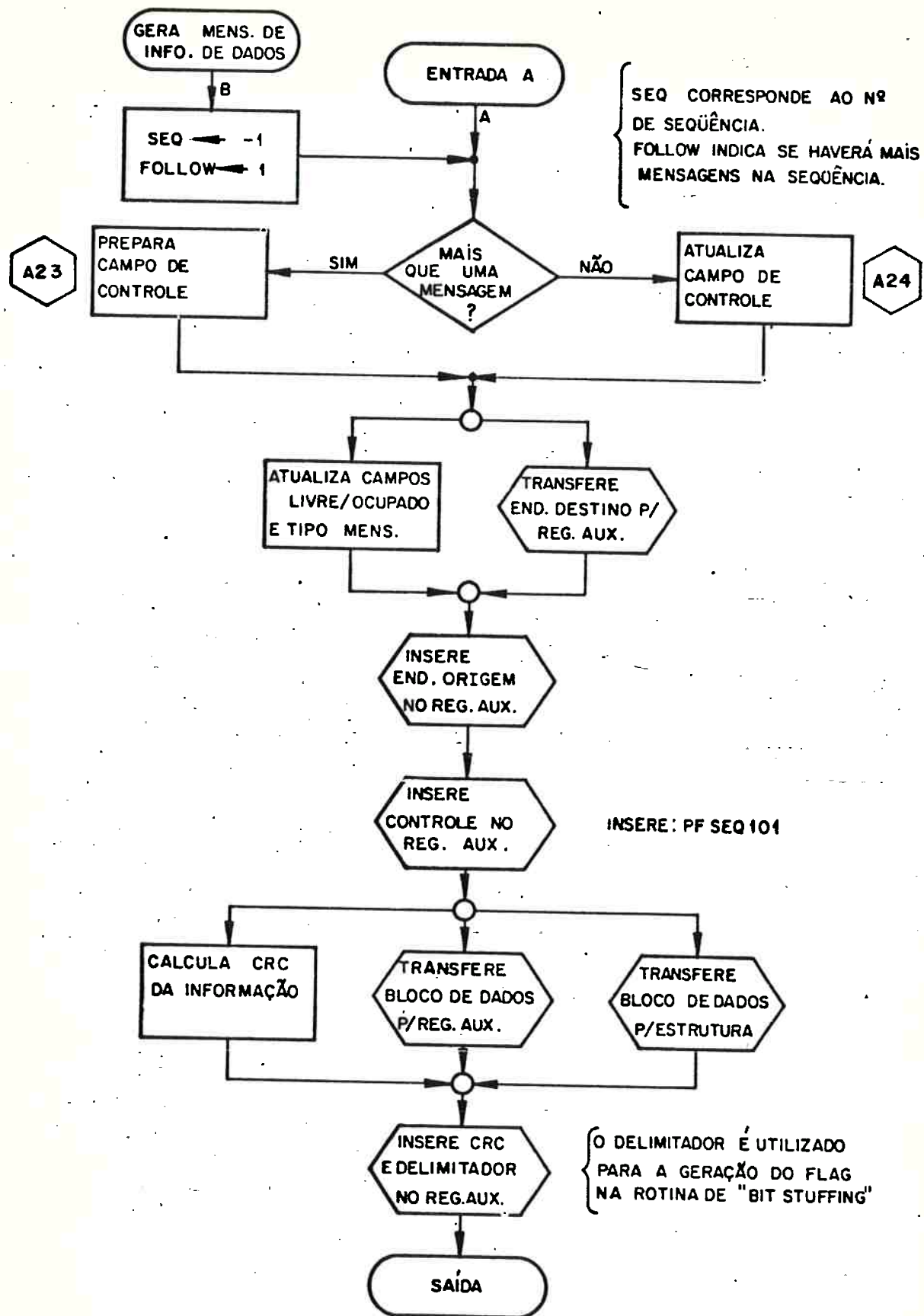


FIGURA A20 - DETALHAMENTO DOS BLOCOS "GERA MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE DADOS" E "GERA MENSAGEM DE CONFIGURAÇÃO"

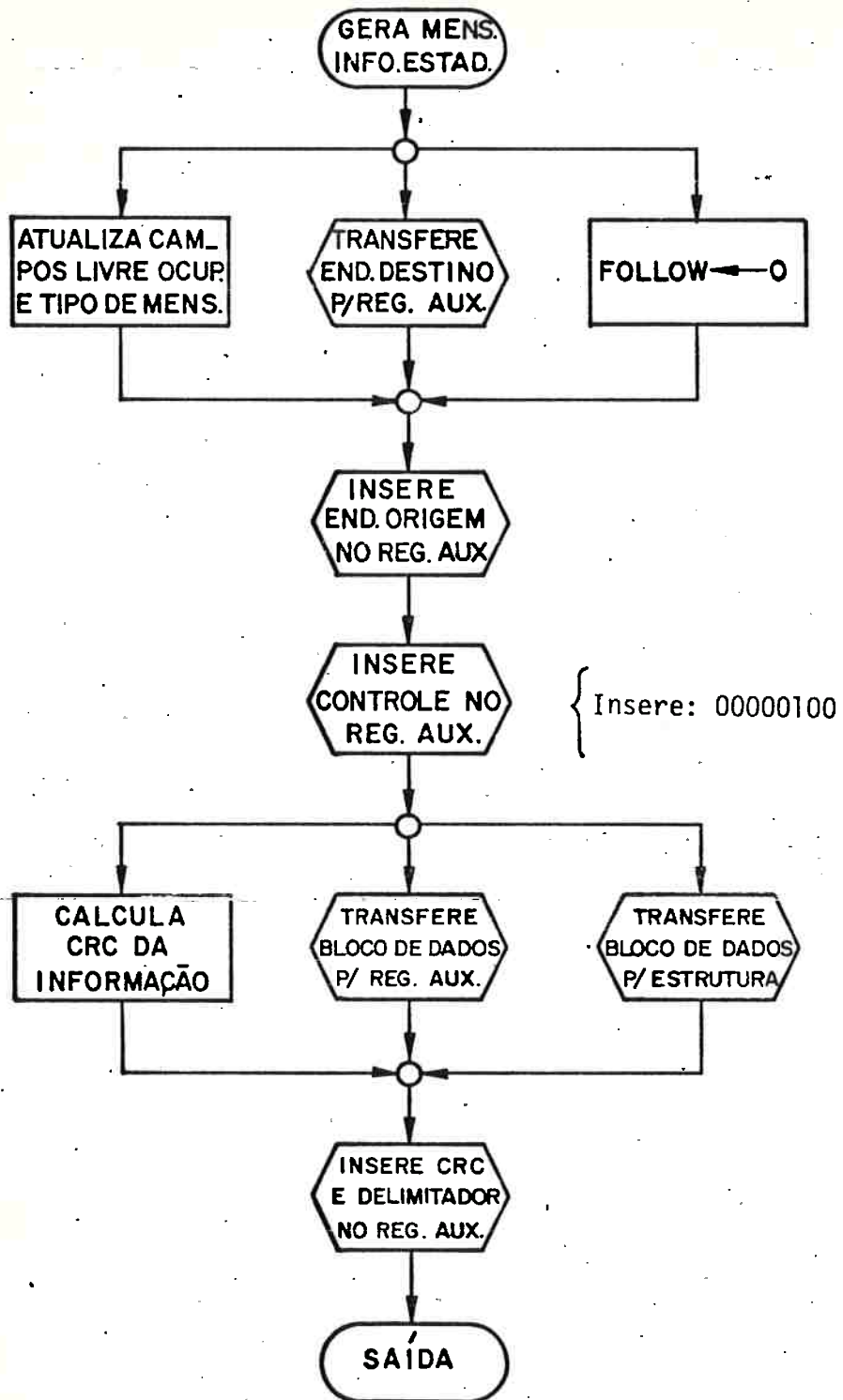


FIGURA A21 - DETALHAMENTO DO BLOCO "GERA MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE ESTADOS" E "GERA MENSAGEM DE REQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO"

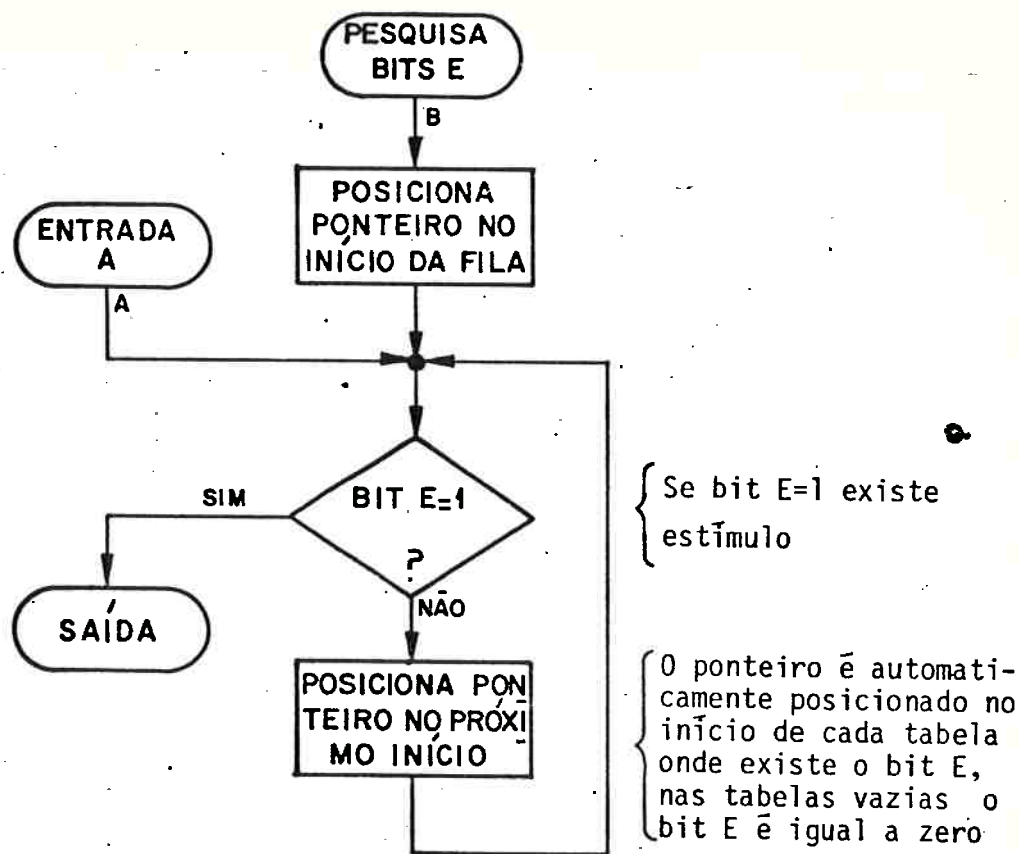


FIGURA A22_ DETALHAMENTO DO BLOCO "PESQUISA BITS E DA FILA DE ESPERA"

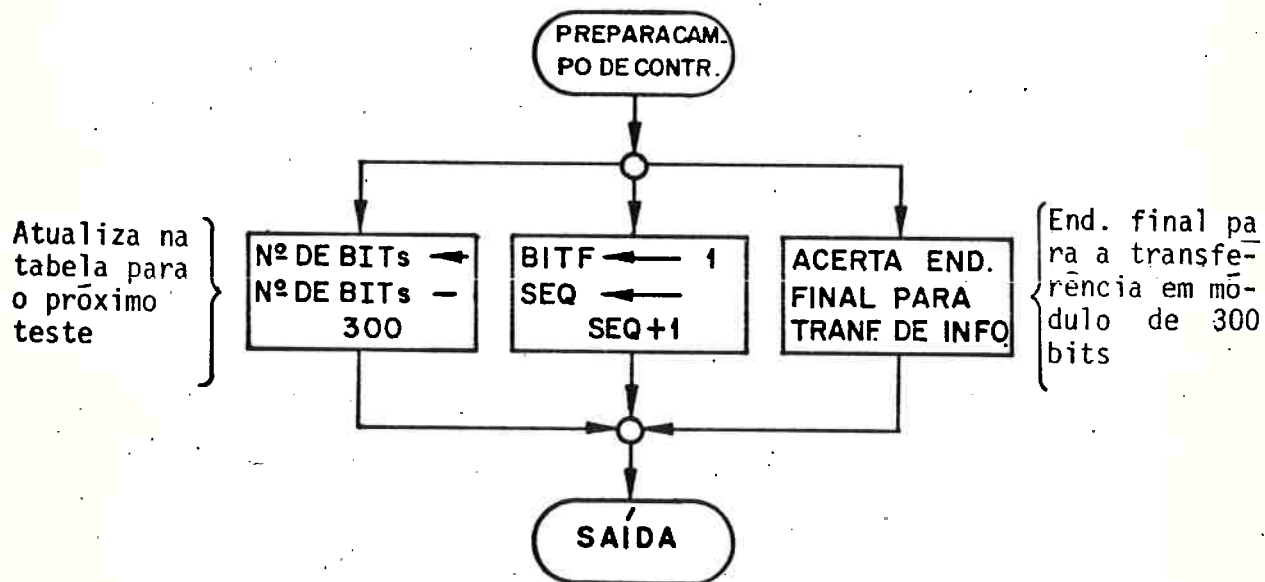


FIGURA A23_ DETALHAMENTO DO BLOCO "PREPARA CAMPO DE CONTROLE"

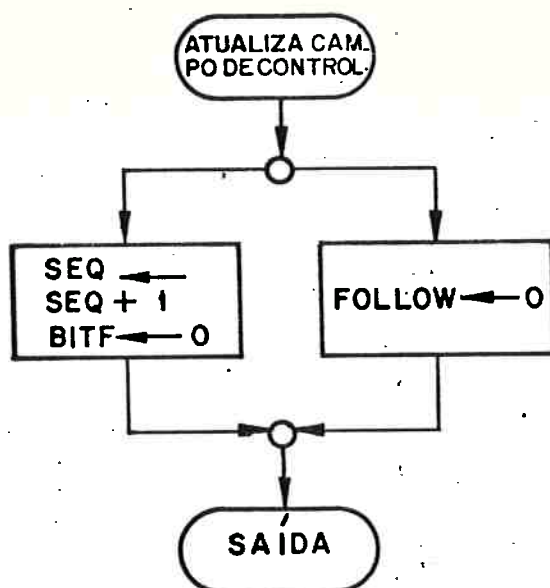


FIGURA A24.-DETALHAMENTO DO BLOCO "ATUALIZA CAMPO DE CONTROLE"

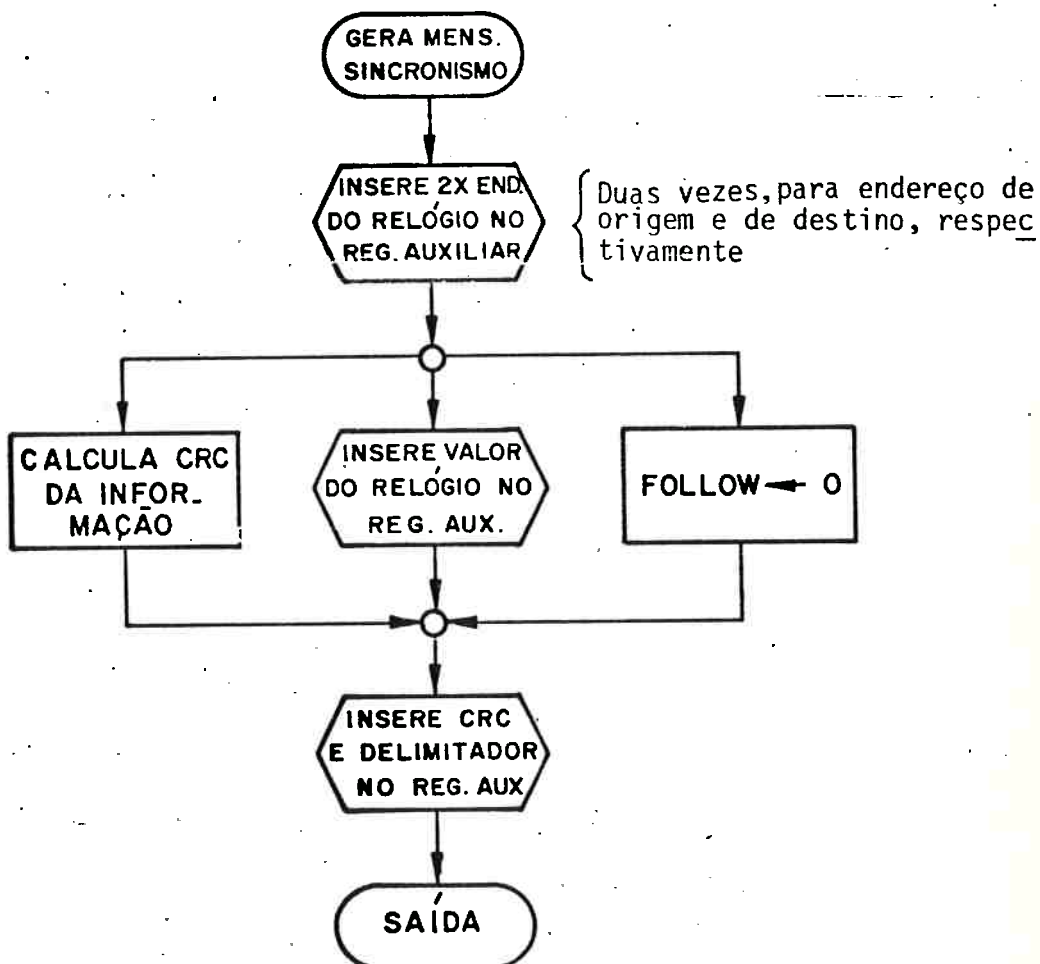


FIGURA A25.-DETALHAMENTO DO BLOCO "GERA MENSAGEM DE SINCRONISMO DE RELOGIO"

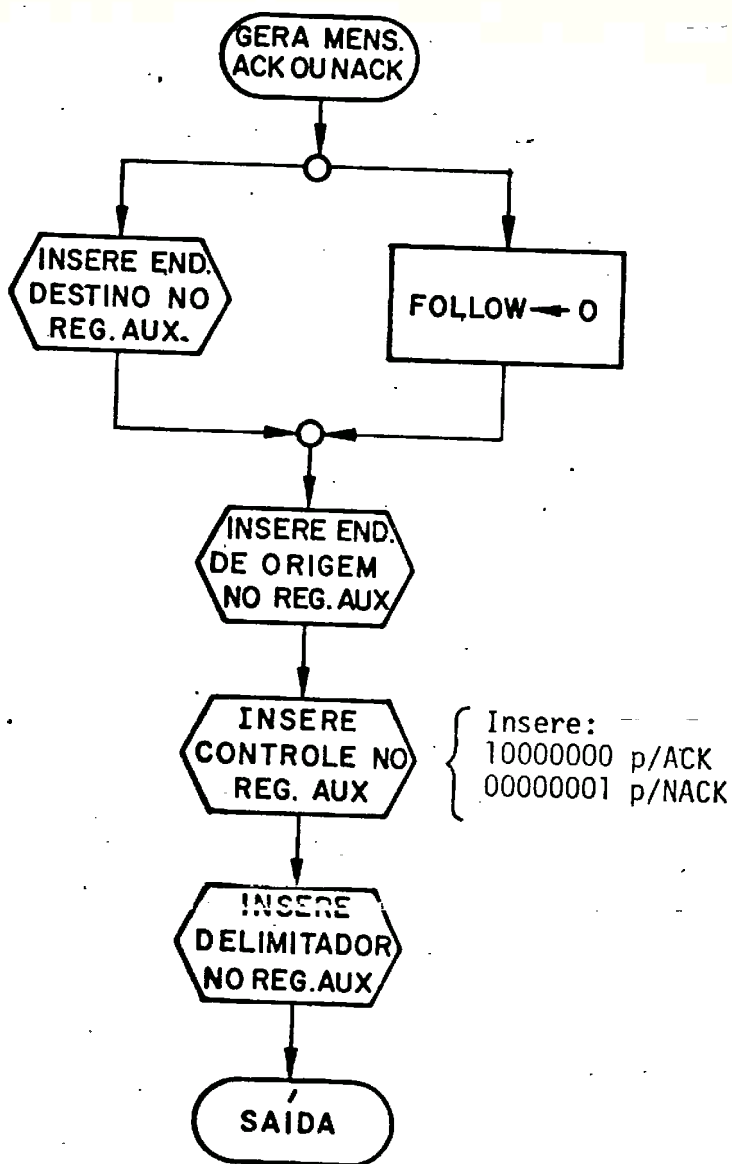


FIGURA A26 - DETALHAMENTO DOS BLOCOS "GERA MENSAGEM ACK" E "GERA MENSAGEM NACK"

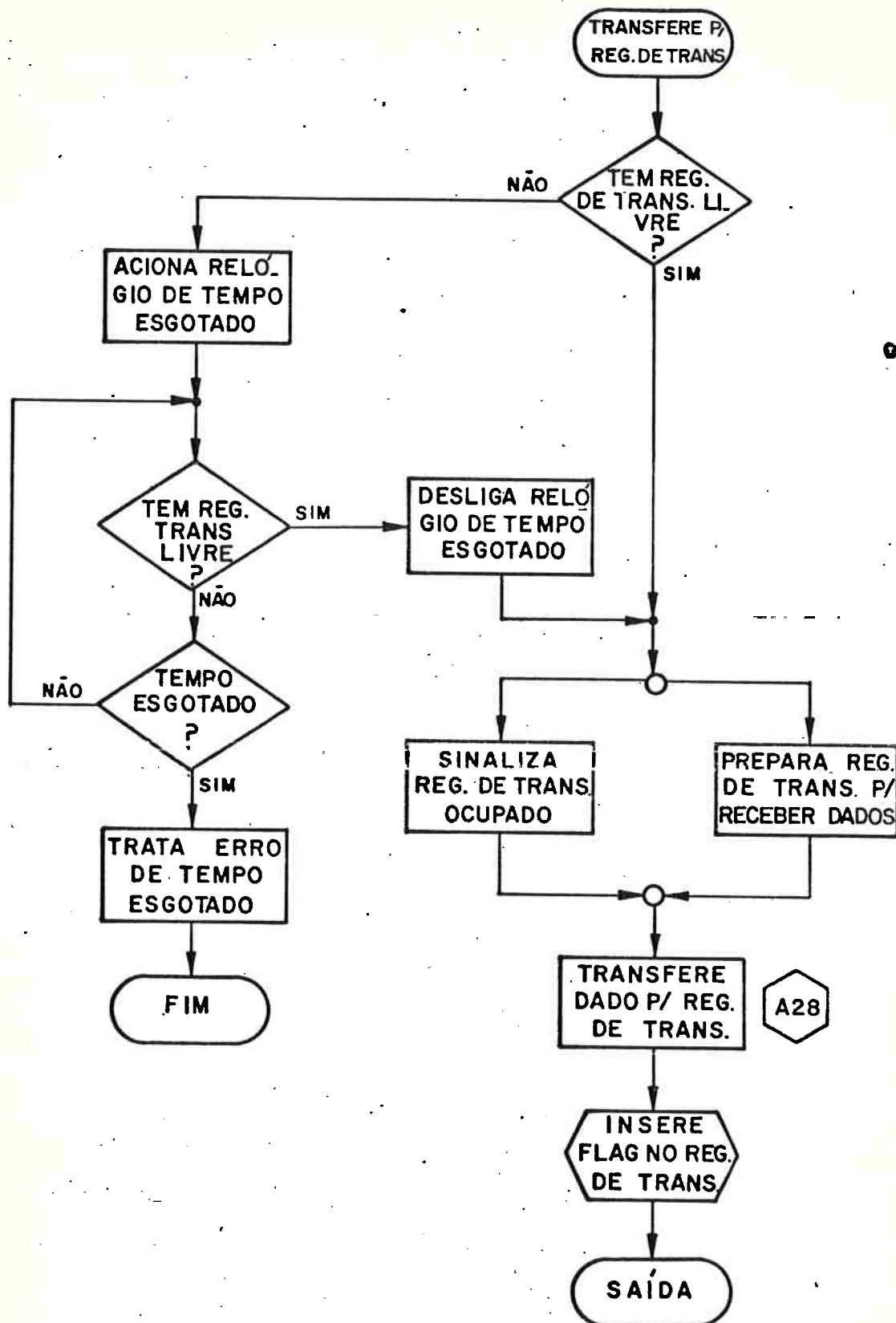


FIGURA A27. DETALHAMENTO DO BLOCO "TRANSFERE PARA REG. DE TRANSMISSÃO"

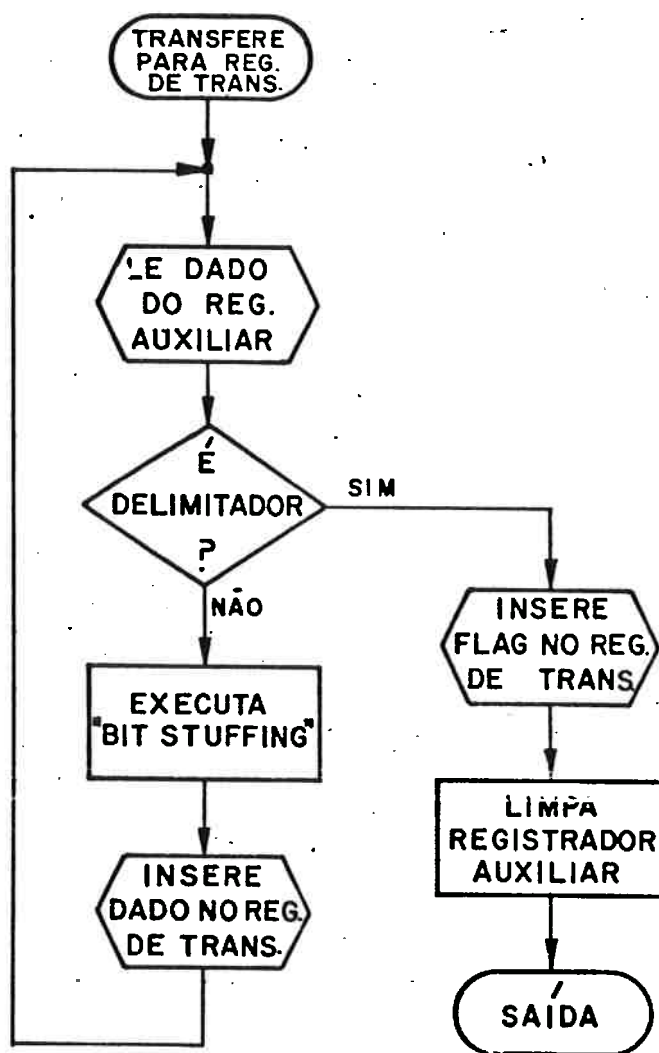


FIGURA A28. DETALHAMENTO DO BLOCO "TRANSFERE DADO PARA REGISTRADOR DE TRANSMISSÃO"

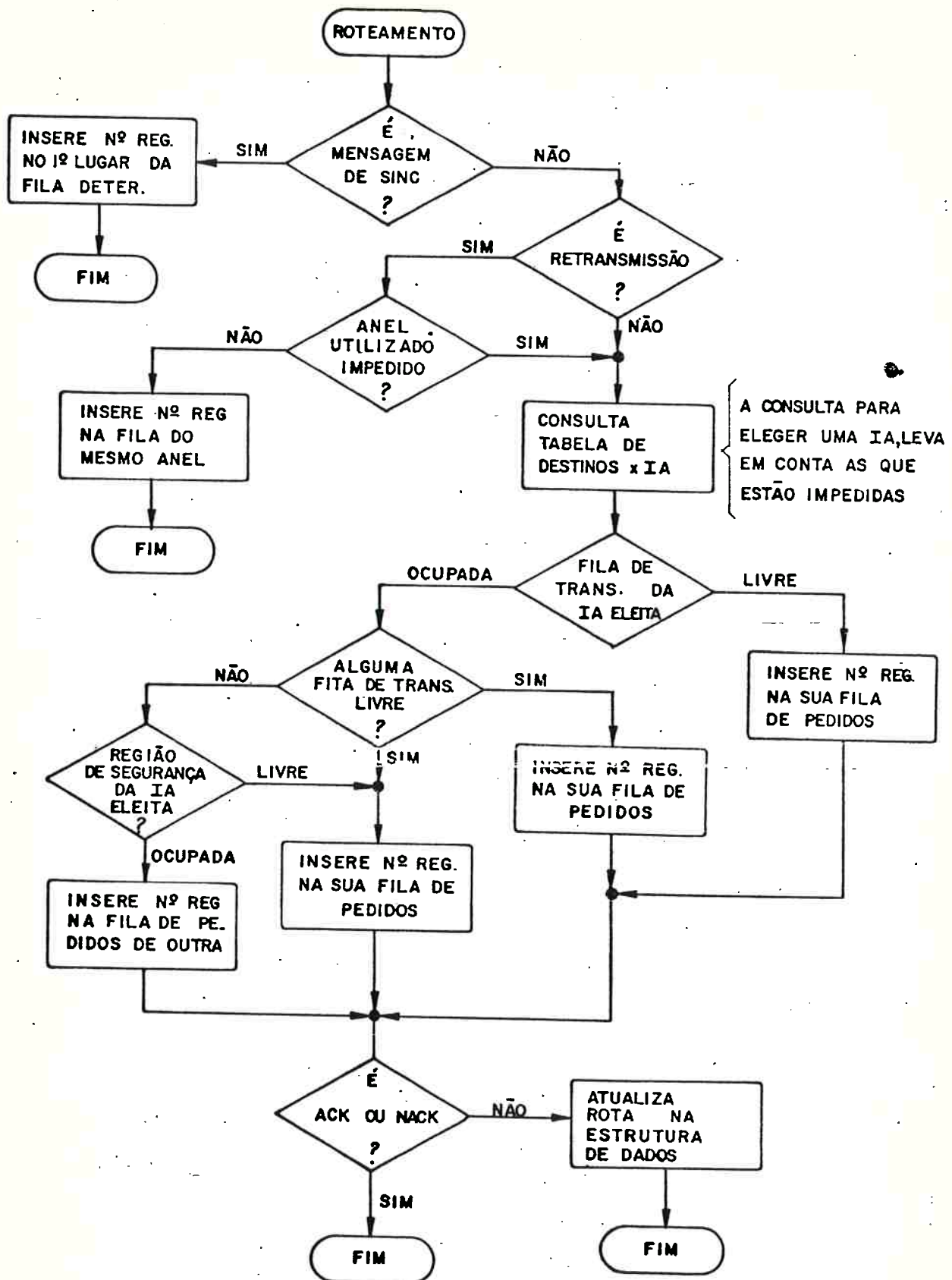


FIGURA A29 - DETALHAMENTO DE BLOCO "EXECUTA ROTEAMENTO"

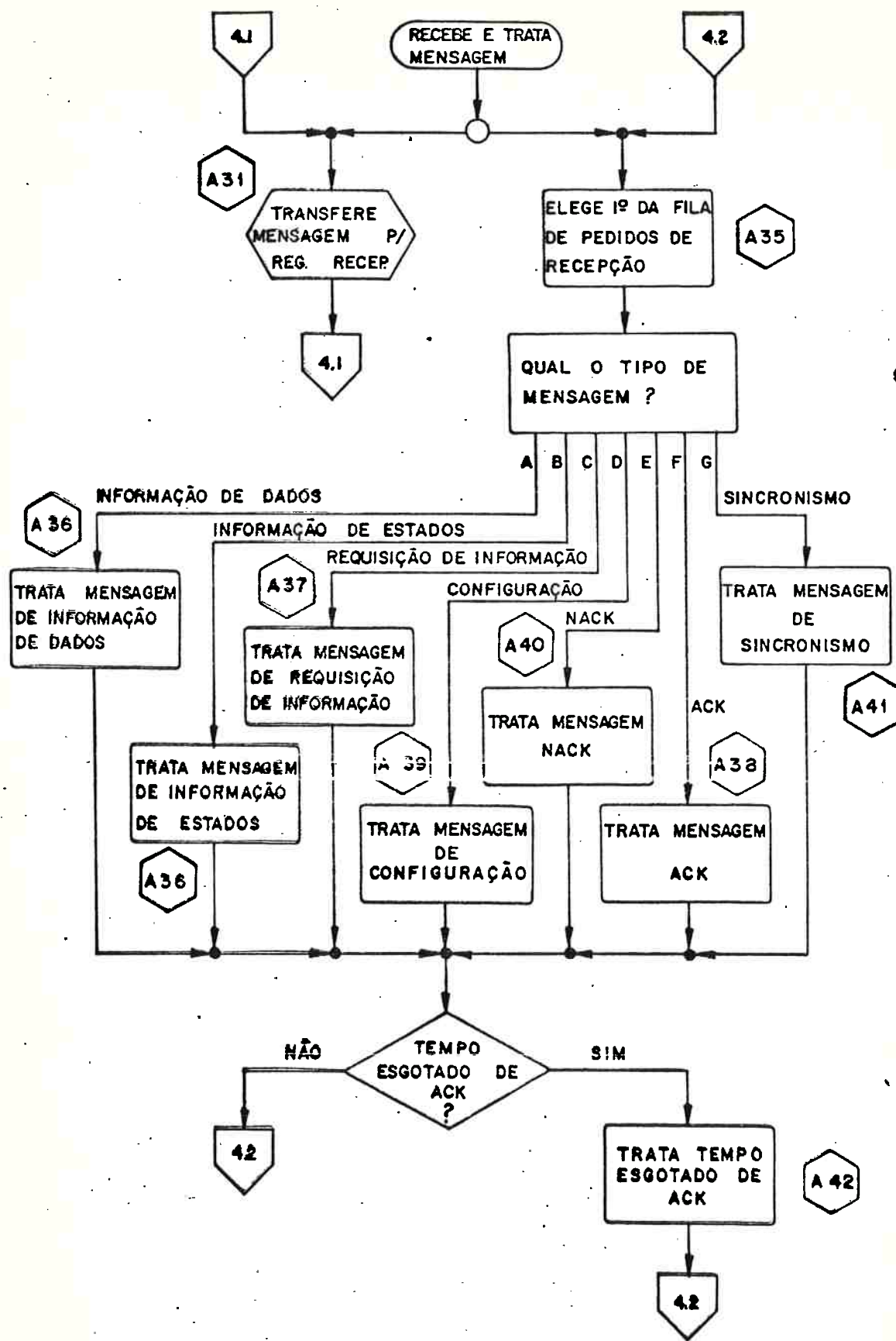


FIGURA A30- DIAGRAMA DE BLOCOS DE OPERAÇÃO DE RECEPÇÃO DE MENSAGENS

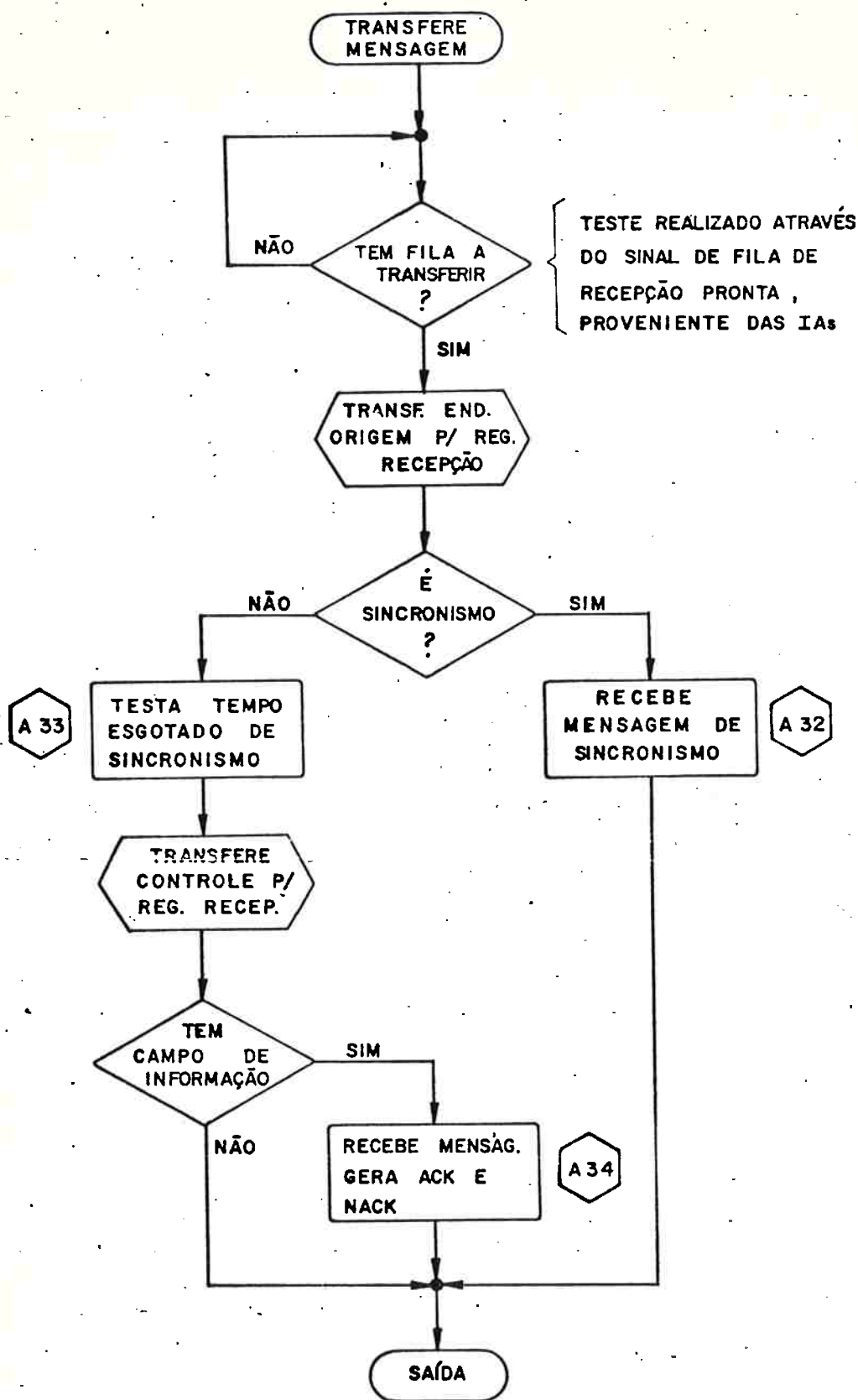


FIGURA A31 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRANSFERE MENSAGEM PARA REGISTRADOR DE RECEPÇÃO".

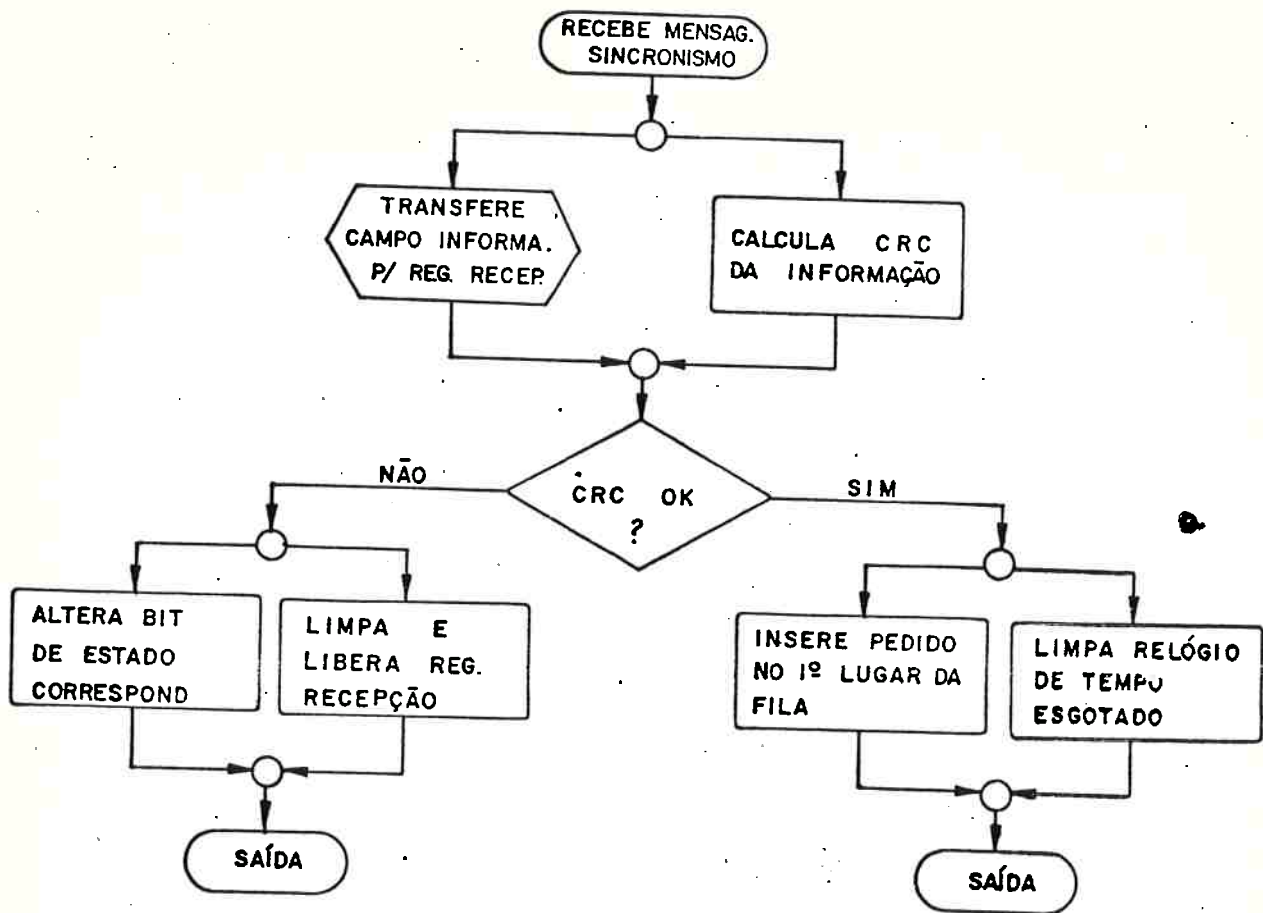


FIGURA A32 - DETALHAMENTO DO BLOCO "RECEBE MENSAGEM DE SINCRONISMO"

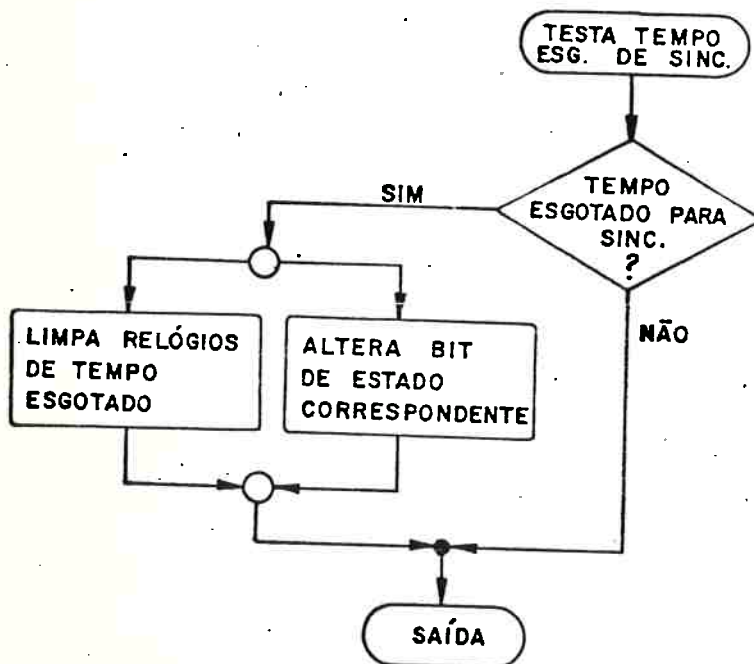


FIGURA A33 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TESTA TEMPO ESGOTADO PARA MENSAGEM DE SINCRONISMO"

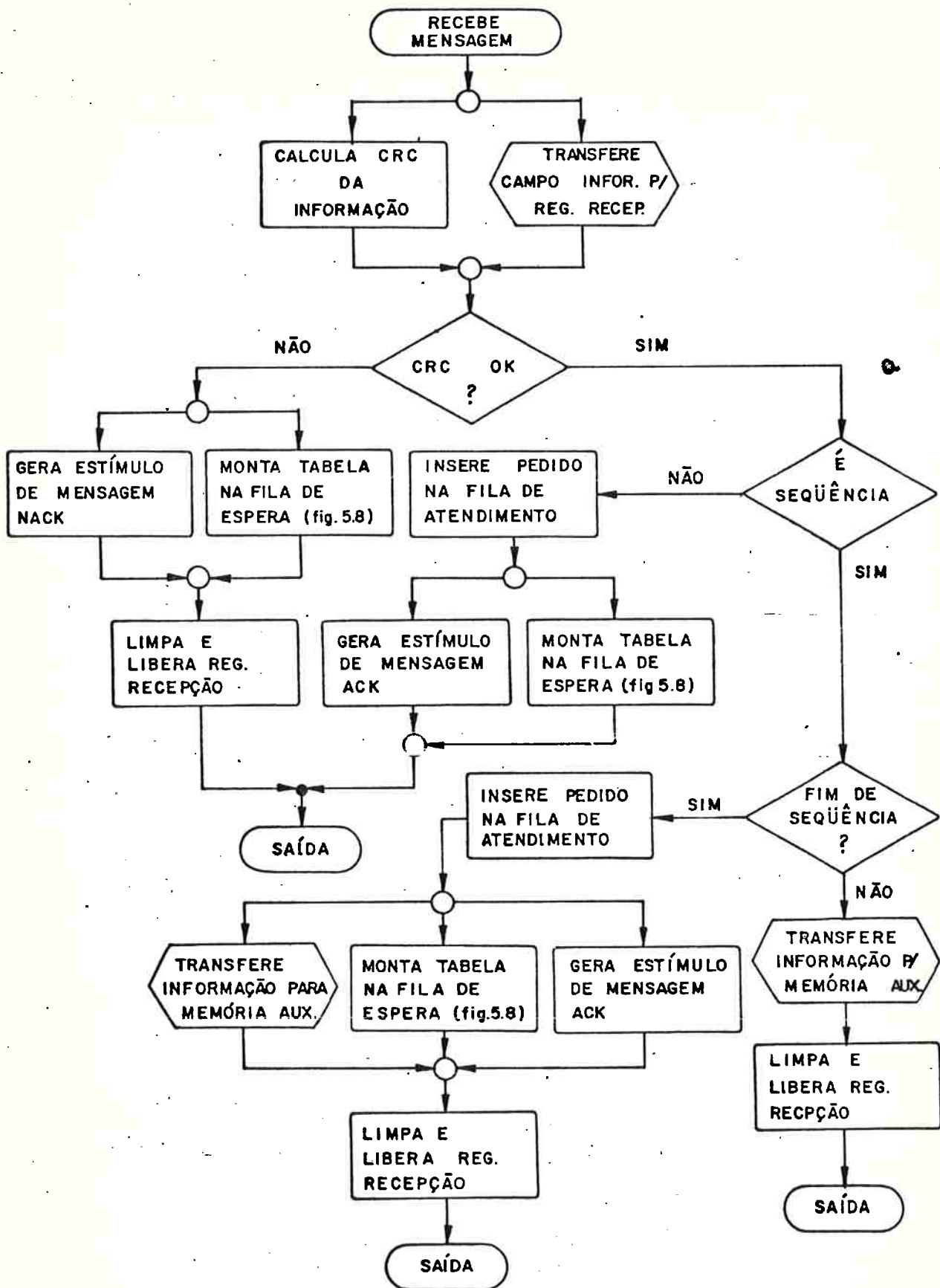


FIGURA A34—DETALHAMENTO DO BLOCO "RECEBE MENSAGEM E GERA ACK OU NACK"

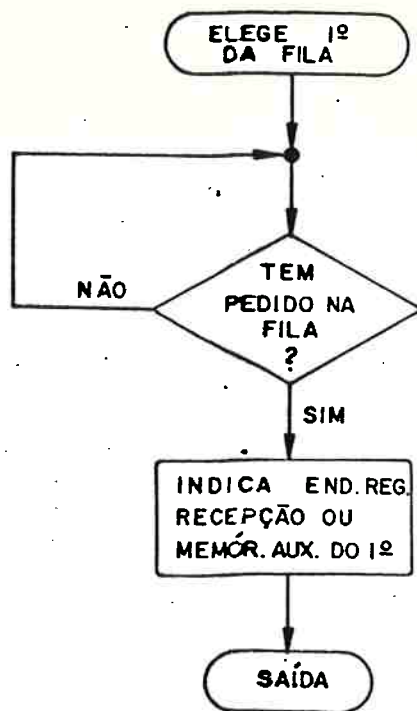


FIGURA A35-DETALHAMENTO DO BLOCO "ELEGE PRIMEIRO DA FILA DE PEDIDOS DE RECEPÇÃO"

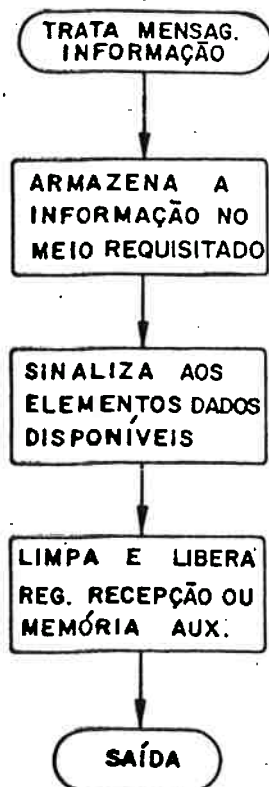


FIGURA A36 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE DADOS E TRATA MENSAGEM DE INFORMAÇÃO DE ESTADOS"

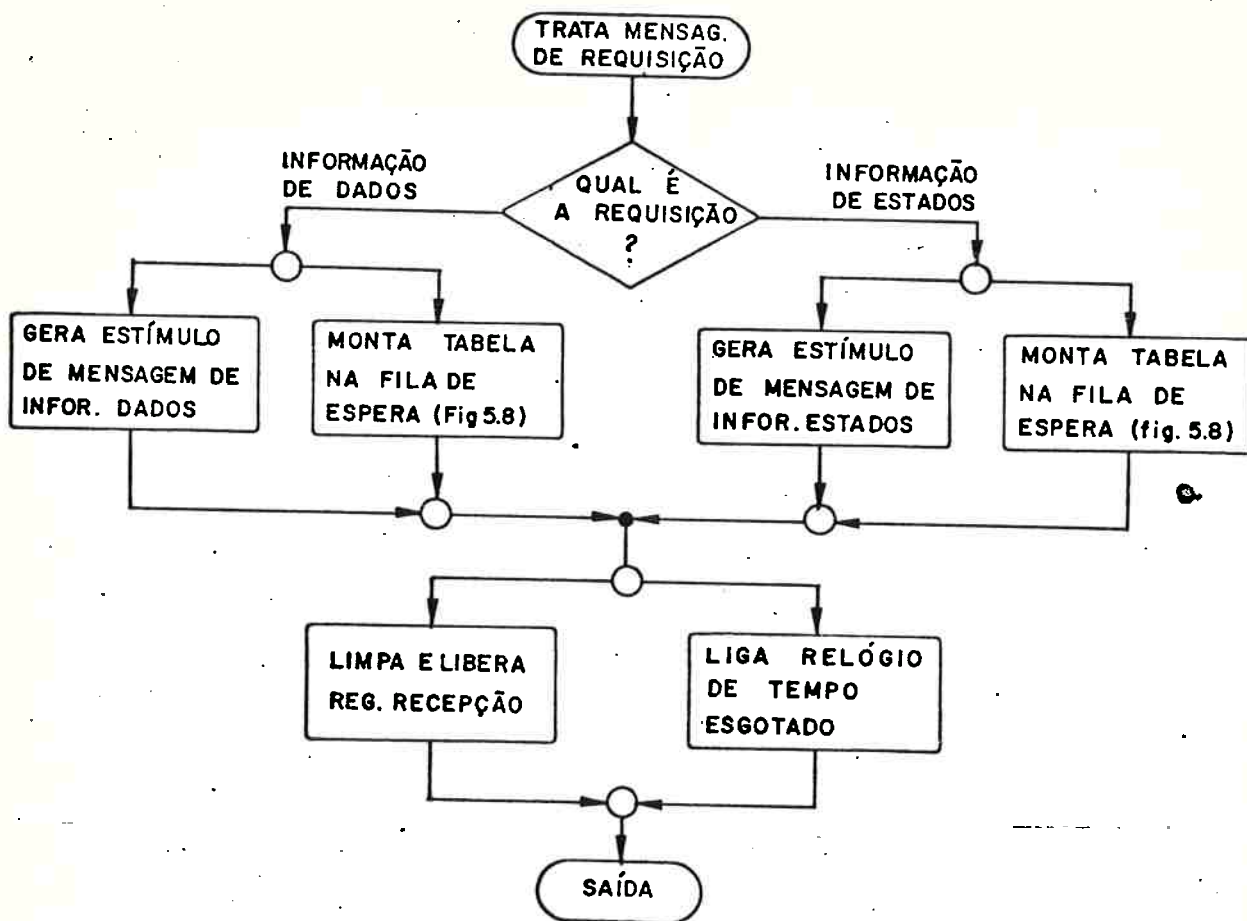


FIGURA A37 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM DE REQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO"

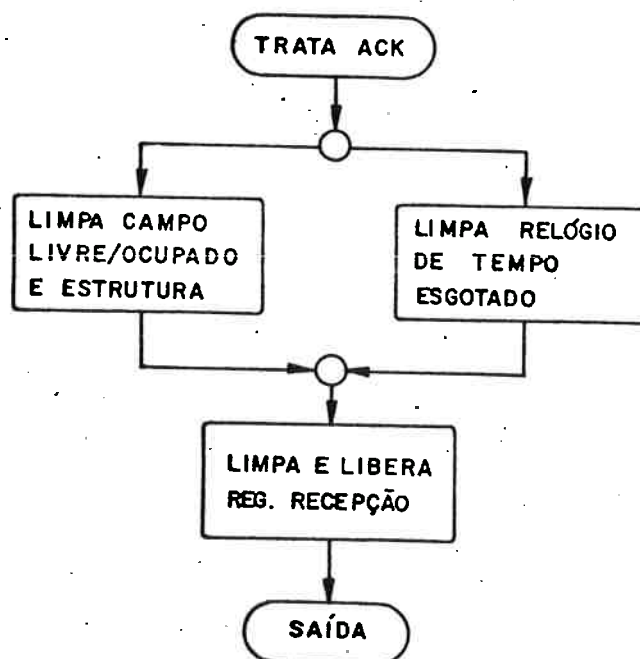


FIGURA A38 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM ACK"

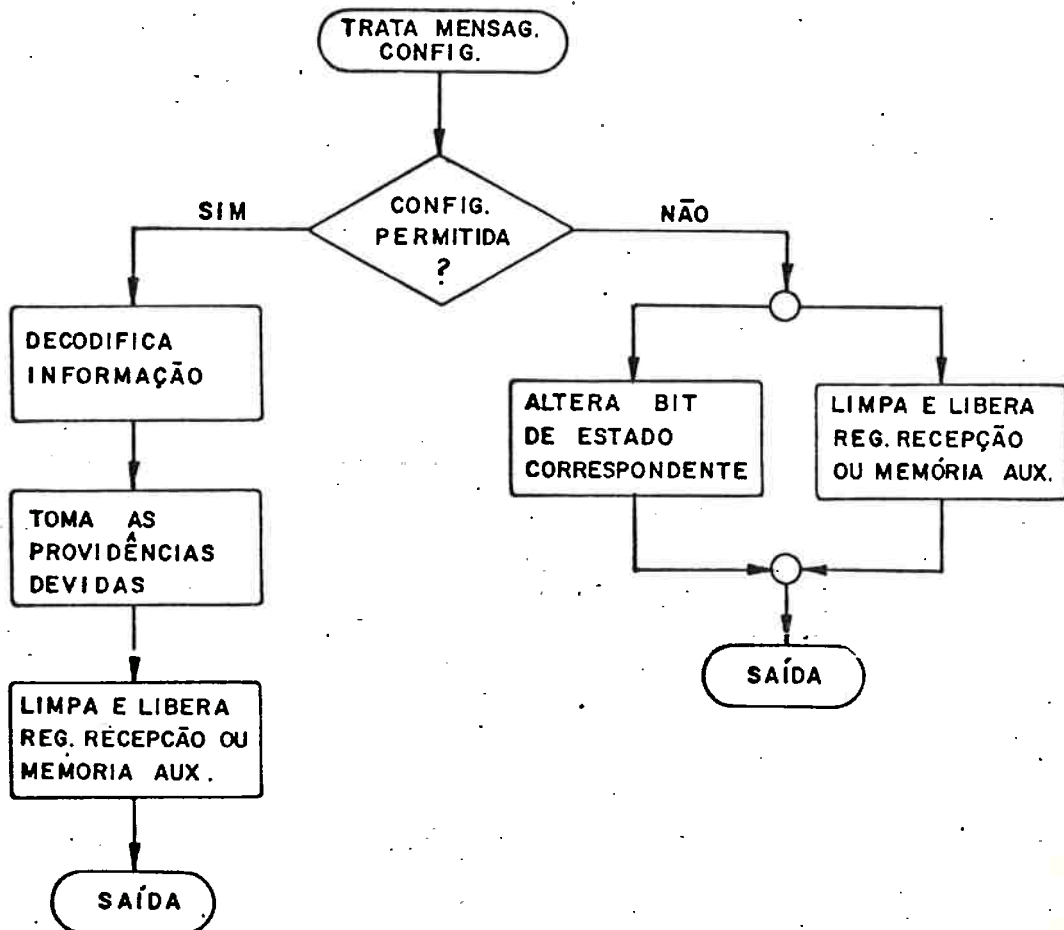


FIGURA A39-- DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM DE CONFIGURAÇÃO"

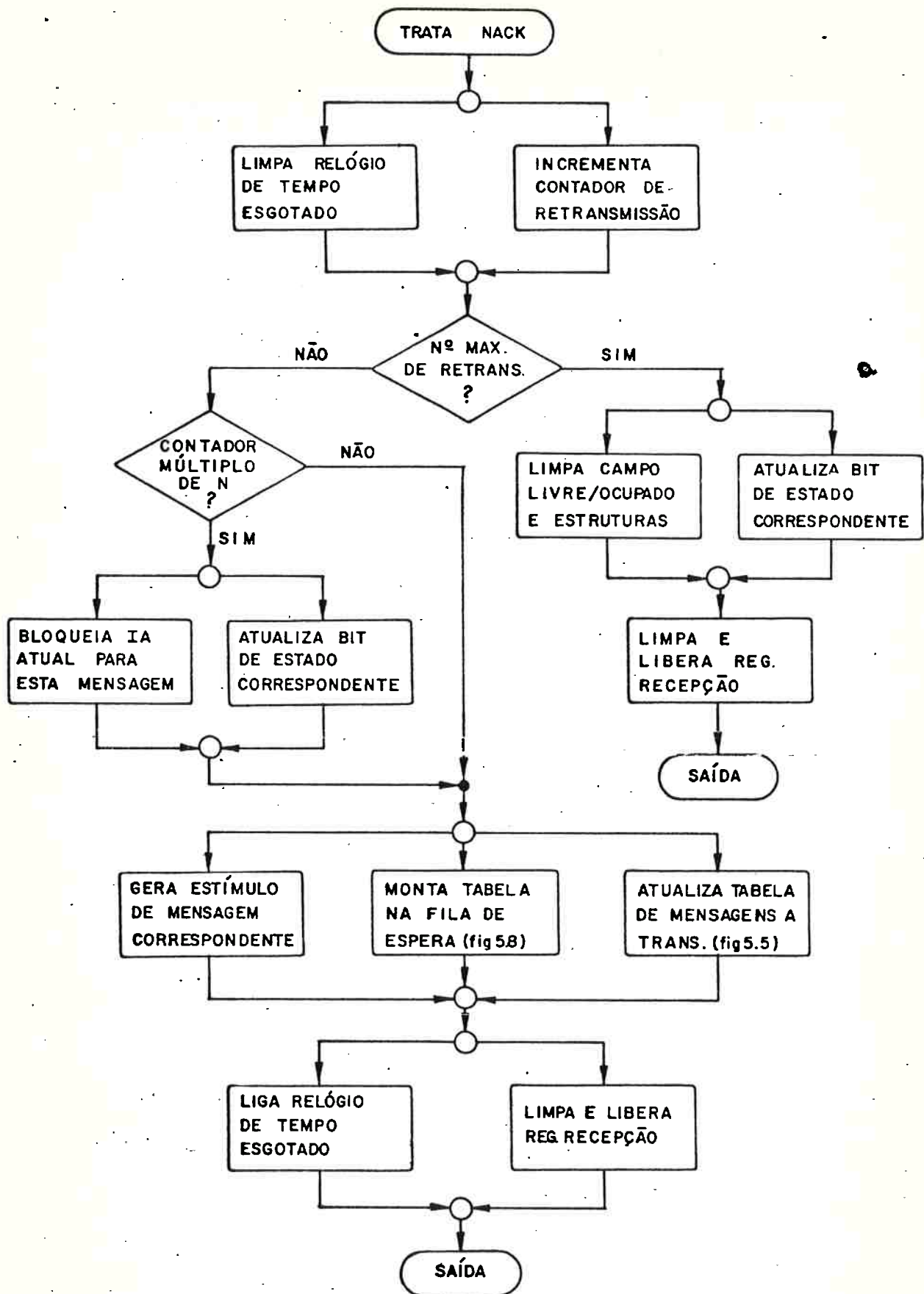


FIGURA A40— DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM NACK"

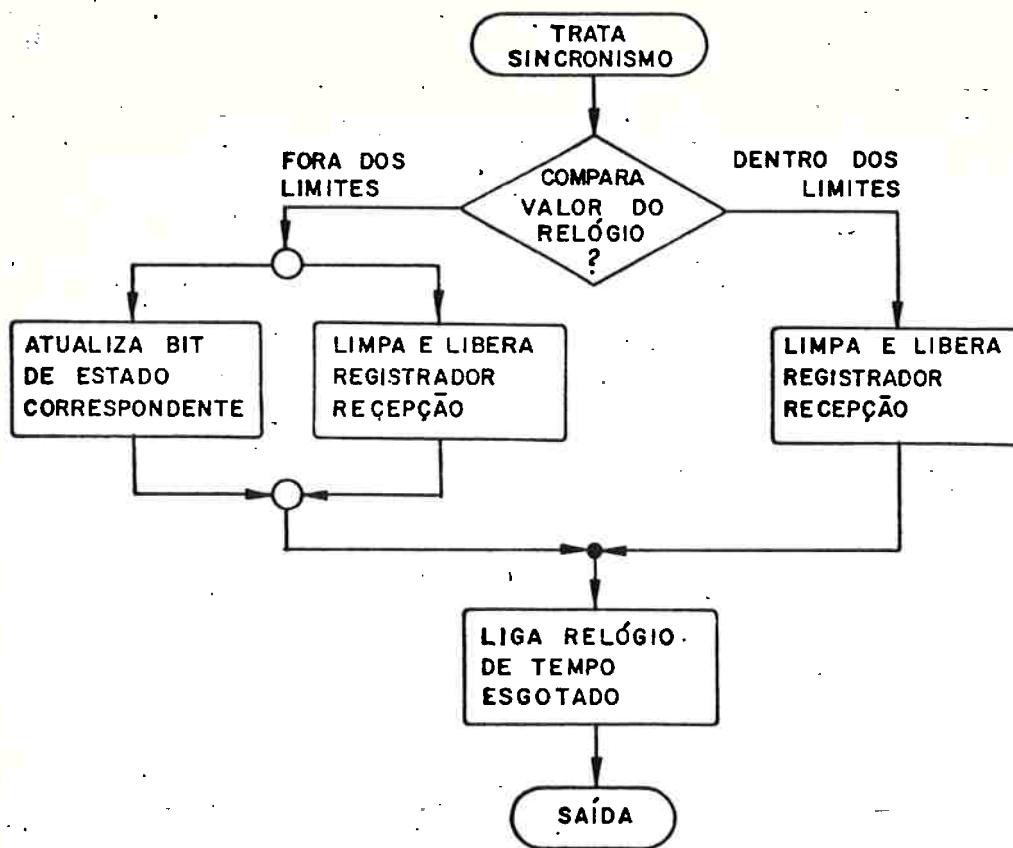


FIGURA A41 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA MENSAGEM DE SINCRONISMO DE RELÓGIO DE TEMPO REAL"

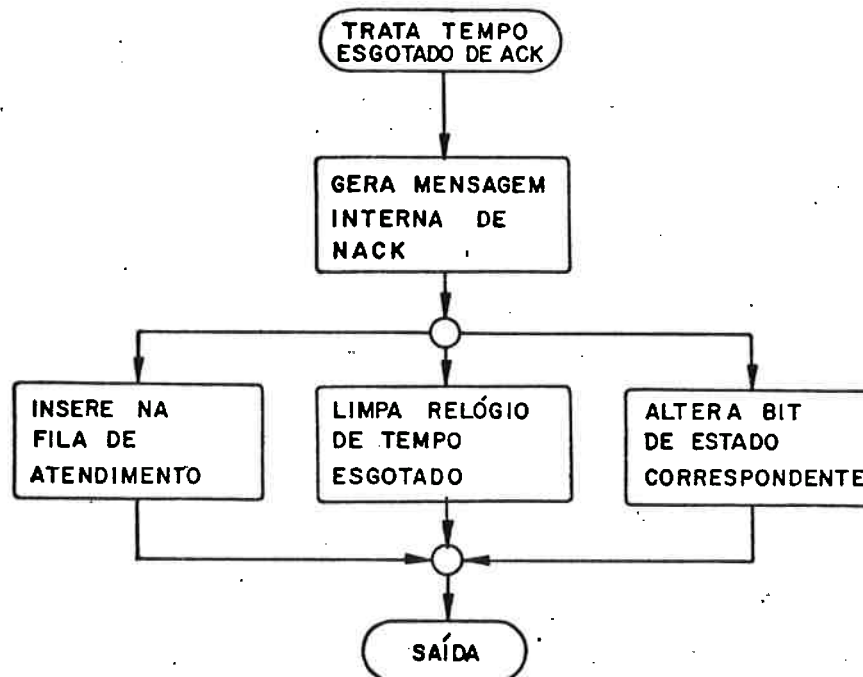


FIGURA A42 - DETALHAMENTO DO BLOCO "TRATA TEMPO ESGOTADO DE ACK"

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |1| - ADALI, Esref. An application of distributed computer control of railroad. *Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 27 (3): 141-46, Aug. 1980.
- |2| - ALLEN, Bruce S. Data highway links control equipments of any number of different manufactures. *Control Engineering*, 28 (7): 87-90, July 1981.
- |3| - ANDERSON, George A. & JENSEN, E. Douglas. Computer structures: taxonomy, characteristics and examples. *ACM Computing Surveys*, 7 (4), Dec. 1975.
- |4| - AUSLANDER, David M. et al. Direct digital process control, practice and algorithms for microprocessor application. *Proceedings of the IEEE*, 66 (2): 199-208, Feb. 1978.
- |5| - BACHER, F. Automation and control of networks: review and definitions. *Brown Boveri Review*, 6/7: 232-35, 1981.
- |6| - BAZOVSKY, Igor. *Reliability Theory and Practice*. Englewoods Cliffs, Prentice Hall, 1961.
- |7| - BEST, R. Microcomputers in explosion - hazardous areas. *Process Automation*, p. 71-77, 1981.
- |8| - BILLING, Dean. Airbone data acquisition system. *Computer Design*, 20 (11): 151-154, Nov. 1981.
- |9| - BORSI, L. & PAVLIK, E. The concepts and structures of distributed process automation systems. *Process Automation*, p. 63-70, 1980.

- [10] - BURHARDT, K. J. & DESANTO, J. Modular logic machines for industrial control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 26 (1): 30-34, Feb. 1979.
- [11] - BÜSING, W. Distributed process automation systems: requirements and interfacing. *Process Automation*, p. 71-76, 1980.
- [12] - CATALOG SUPPLEMENT 1979/1980. Burr Brown Corporation.
- [13] - CHANDRA, Satish. A communication network for distributed data acquisition and control in industrial plants. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*. 25 (3): 206-12, Aug. 1978.
- [14] - COMPONENT DATA CATALOG. Santa Clara, USA, Intel Corporation, 1981.
- [15] - CONFIGURATION SPECIFICATIONS CS 800-509: Fox 1/A and videospec control and process management. Foxboro Company, 1980.
- [16] - CONFIGURATION SPECIFICATIONS CS 800-520: Foxnet process communications link loading guidelines. Foxboro Company, 1980.
- [17] - CUGNASCA, Carlos E. Controlador programável de processos. In: CONGRESSO DE INSTRUMENTAÇÃO IBP, 4, Salvador, 1981.
- [18] - DEL BIANCO Fº, Orlando & Melnikoff, Selma S.S. SCSC - Um sistema para controle de tráfego ferroviário. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES, 2, São Paulo, 1981.

- [19] - DIAS, Francisco José de Oliveira. Avaliação de índices de confiabilidade de sistema de controle e supervisão. In: SIMPÓSIO EM CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR, 1, Rio de Janeiro, 1981.
- [20] - EL CID, J.L. Del Valle. Improved automation with new systems. Examples: a crude oil refinery preheating furnace. *Process Automation*, p. 68-70, 1981.
- [21] - ENSLOW JR., R.H.; et al. What is a "distributed" data processing system? *Computer*, 11 (1): 13-21, jan. 1978.
- [22] - FABER, David J. et al. The distributed computing system. In: COMPCON 73, 1973.
- [23] - FOLTS, Harold C. & KARP, Harry R. *Compilation of data communications standards*. New York, McGraw Hill, 1978.
- [24] - GENERAL CATALOG. Burr Brown Corporation, 1979.
- [25] - GLOVER, John R. & TAVORA, Carlos J. A design for the remote link unit: a multiprocessor remote terminal. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 28 (2): 82-90, May, 1981.
- [26] - GMAROV, A. et al. A highly reliable, distributed loop network architecture. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FAULT TOLERANT COMPUTING, 10, Kyoto, Japan, Oct. 1980.
- [27] - GRIMM, R. & HERTLIN, I. Ways to software engineering environments. *Process Automation*, p. 9-15, 1981.

- [28] - HARGREAVES, James C. & KRAKOWSKI, Richard A. Distributed process control: a micro-mini manage. *Computer*, 16 (9): 44-56, Sept. 1977.
- [29] - HARMALA, Arthur D. Benefits of localized control with micro-computers. *Computer Design*, 14 (5): 59-72, May 1975.
- [30] - HARTMANN BRAUN. Contronics P - a digital automation system for process engineering. *Process Automation*, Mar. 1981.
- [31] - HIRSCHMAN, Alan D. et al. Standard modules offer flexible multiprocessor system design. *Computer Design*, 18 (5): 181-9, May 1979.
- [32] - ISHIDA, Masahiro & KAMIYAMA, Shigeo. Distributed control system: application of CRT console. *Hitachi Review*, 30 (6): 279-84, 1981.
- [33] - ISERMANN, R. Fault detection methods for the supervision of technical processes. *Process automation*, p. 36-44, 1981.
- [34] - JACOBS, Don & DOBSON, Paul. Lighwave is firm's link to greater productivity. *Data Communications*. 10 (6): 107-112, June, 1981.
- [35] - JOSÉ NETO, J. & DEL BIANCO F9, Orlando. Projeto do controle automático de tráfego de um sistema ferroviário. In: SIMPÓSIO EM CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR, 1, Rio de Janeiro, 1981.
- [36] - JOSÉ NETO, J. & MISSAWA, Jorge Hiroyuki. Aspectos do projeto de um sistema de supervisão e controle de tráfego ferroviário. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES, São Paulo, 1981.

- | 37 | - KEYES, Marion A. Distributed control technology - A perspective from Bailey. *Control Engineering*, 28 (8): 21, Aug. 1981.
- | 38 | - KING, Kenneth L. A building block approach to advanced control techniques. *Control Engineering*, 28 (8): 17-20, Aug. 1981.
- | 39 | - KLOSOSKY, Robert A. Computer architecture for process control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 17 (4): 277-81, June, 1970.
- | 40 | - KOMPASS, E. J. A long perspective on integrated process control systems. *Control Engineering*, 28 (8): 4-9, Aug. 1981.
- | 41 | - KOMPASS, E. J. & MORRIS, H. M. Comparing relative complexities of programming process controllers. *Control Engineering*, 28 (7): 75-78, July, 1981.
- | 42 | - KORN, Gramino A. A distributed computer system for laboratory automation. *Computer Design*, 16 (6): 177-82, June, 1977.
- | 43 | - LAMPSON, B. W. et al. *Distributed systems - architecture and implementation - an advance course*. Springer Verlag, 1981.
- | 44 | - LIU, Ming T. & REANES, Cecil C. Message communication protocol and operating system design for the distributed loop computer network (DLCN). In: ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTER ARCHITECTURE, 4, 1977.

- [45] - LUKAS, Michael P. & WILLEY, Michael S. An advanced system architecture for distributed control. *Control Engineering*, 28 (8): 10-15, Aug. 1981.
- [46] - MARTUCCI JR., Moacyr & MOSCATO, Lucas A. Sistema centralizado de supervisão e controle para ferrovias. In: SIMPÓSIO EM CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR, 1, Rio de Janeiro, 1981.
- [47] - MARTUCCI JR., Moacyr et al. Centralized supervisory system for suburban railroads. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM MINI AND MICROCOMPUTERS, 15, México, Apr. 1981.
- [48] - MARTUCCI, JR., Moacyr et al. SCSC - um CTC a microprocessadores para ferrovias. In: SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 4, Rio de Janeiro, 1981.
- [49] - MEDLOCK, R. S. Future trends in measurement, control and automation. *Brown Boveri Review* (3/4): 151-6, 1981.
- [50] - MURRAY, John M. & WIATROWSKI, Claude A. Microcomputer peripherals. *IEEE Transaction on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 25 (4): 303-22, Nov. 1978.
- [51] - MYRON JR., Thomas. Digital technology in process control. *Computer Design*, 20 (11): 117-28, Nov. 1981.
- [52] - P. A. New products: processor for closed loop control applications. *Process Automation*, p. 109, 1981.
- [53] - P. A. New products: versatile control system. *Process Automation*, p. 109, 1981.

- [54] - POUZIN, Louis & ZIMMERMANN, Herbert. A tutorial on protocols. *Proceedings of the IEEE*, 66 (11), Nov. 1981.
- [55] - PUBLICAÇÃO PDS - 418. High sensitivity, medium speed fiber optic transmitter and receiver. Burr Brown Corp., 1980.
- [56] - PUBLICAÇÃO PDS - 445. Analog input voltage - to - frequency fiber optic transmitter. Burr Brown Corp., 1980.
- [57] - PUBLICAÇÃO PDS - 445. High performance digital/ analog fiber optic transmitter and receiver. Burr Brown Corp., 1980.
- [58] - RANDLE, William C. & KERTH, Norm. Microprocessors in instrumentation. *Proceedings of the IEEE*, 66 (2): 172-81, Feb. 1978.
- [59] - REANES, Cecil C. & LIU, Ming T. Design and simulation of the distributed loop computer network (DLCN). In: ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTER ARCHITECTURE, 3, 1976.
- [60] - ROBERTS, P. D. Basic concepts of discrete time systems. (Short Course on Process Control, SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 3, Salvador, 1979).
- [61] - —: Computer process control: hardware aspects. (Short Course on Process Control, SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 3, Salvador, 1979).
- [62] - —: Computer process control: software aspects. (Short Course on Process Control, SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 3, Salvador, 1979).

- [63] - RUSSO, Paul M. Interprocessor communication for multimicrocomputer systems. *Computer*, 10 (4): 67-76, Apr. 1977.
- [64] - RYAN, Robert et al. Intel local network architecture. *IEEE Micro*, 1 (4): 26-41, Nov. 1981.
- [65] - SARCH, Ray. Protocol convention: product of profusion. *Data Communication*, 10 (6): 65-73, June 1981.
- [66] - SCHAFFA, Frank André. *Reconfiguração de uma máquina de arquitetura distribuída*. São Paulo, 1980. (Dissertação de mestrado - Escola Politécnica da USP).
- [67] - SHIMIZU, Egmont Y. *Sistema de interconexão para uma máquina de arquitetura distribuída*. São Paulo, a ser publicado (Dissertação de mestrado - Escola Politécnica da USP).
- [68] - SHIMIZU, Egmont Y. & IGAI, Kenji. Caracterização de um sistema de supervisão e controle para ferrovias. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES, 2, São Paulo, 1981.
- [69] - SHIMIZU, Egmont Y. & MARTUCCI JR., Moacyr. Processador de alta disponibilidade para controle de processos. In: SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 4, Rio de Janeiro, 1981.
- [70] - SHIMIZU, Egmont Y. et al. Componentes básicos de uma máquina de arquitetura distribuída. Identif. e Implementação. In: SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE, 7, Campinas, 1980.

- [71] - SHIMOR, Abraham & WALLACH, Yehuda. A multibus: o
riented parallel process system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 25 (2): 137-41, May 1978.
- [72] - SHINSKEY, F. G. Design procedures for single loop
controls. (Short Course on Process Control, SE
MINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 3, Salvador, 1979).
- [73] - The stability of interacting control loops with
and without decoupling. (Short Course on Proc
ess Control, SEMINÁRIO DE INSTRUMENTAÇÃO, 3,
Salvador, 1979).
- [74] - SUESHIRO, Tetsuo & HAMADA, Nobuhiro, Single-loop
electronics controller. *Hitachi Review*, 30 (6):
275-8, 1981.
- [75] - SYRBE, M. The description of fault tolerant sys
tems. *Process Automation*, p. 01-8, 1981.
- [76] - TECHNICAL INFORMATION TI 200-303. Interspec uni
versal input subsystem. Foxboro Co., 1978.
- [77] - TECHNICAL INFORMATION TI 200-310. Universal field
multiplexer subsystem. Foxboro Co., 1979.
- [78] - TECHNICAL INFORMATION TI 800-012. Foxboro process
basic with Foxnet interface. Foxboro Co., 1979.
- [79] - TECHNICAL INFORMATION TI 820-208. Videospec loop
display (Fox Net Communications). Foxboro Co.,
1980.
- [80] - TECHNICAL INFORMATION TI 820-504. Microspec secu
rity. Foxboro Co., 1979.

- [81] - TECHNICAL INFORMATION TI 821-002. Foxnet communi-
cation subsystem. Foxboro Co., 1981.
- [82] - TECHNICAL INFORMATION TI 821-050. Spectrum network
configurations. Foxboro Co., 1979.
- [83] - THURBER, Kenneth J. & MASSON, Gerald M. *Distrib-*
uted Processor Communication Architecture.
U.S.A., Lexington Books, 1979.
- [84] - TORODE, John Q. & KEHL, Theodore H. The machine:
a modular computer design system. *IEEE Transac-*
tions on Computers, 23 (11): 1164-69, Nov. 1974.
- [85] - TOSHIBA - Tokyo Shibama Electric Co. Ltd. Toshiba
Tosdic System.
- [86] - UP - DATE PRODUCT DEVELOPMENTS. Burr Brown Co. 7
(2): 2, Nov. 1981.
- [87] - WALKER, Frank H. & CROOK III, Rapp W. Use of pro-
grammable controllers for industrial power dis-
tribution system, monitoring, control and pro-
tection. *IEEE Transactions on Industry Appli-*
cations, 16 (6): 801-8, Nov./Dec. 1980.
- [88] - WATZMAN, Cay - *Distributed micro/minicomputer sys-*
tems - structure, implementation and applica-
tion. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1980.
- [89] - WEISSBERGER, Alan J. Analysis of multiple - micro-
processors system architectures. *Computer de-*
sign, 16 (6): 151-63, June 1979.
- [90] - — Distributed function microprocessor architec-
ture. *Computer Design*, 13 (11): 77-83, Nov.
1974.

- | 91 | - WERUM - Datenverarbeitungs System. PEARL language reference manual, 1980.
- | 92 | - WO, Yin Kwan. A versatile microcomputer - based controller with an instrumentation interface for data acquisition in automated experimentation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 25 (3): 221-5, Aug: 1978.