

ESTE TRABALHO CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR Luís Carlos  
Iorio E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 05/09/2002.  
João Maurício Rosário  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**REDES DE COMUNICAÇÃO  
EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL  
ÊNFASE NA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA PLATAFORMA  
PIPEFA**

**Autor: Luís Carlos Iorio**

**Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário**

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETOS MECÂNICOS**

**REDES DE COMUNICAÇÃO  
EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL  
ÊNFASE NA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA PLATAFORMA  
PIPEFA**

**Autor: Luís Carlos Iorio**

**Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário**

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos e Projetos Mecânicos

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2002

S.P. — Brasil

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP Io7r
V	EX
TOMBO BC/	51781
PROC.	16-83712002
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	12/12/02
Nº CPD	

CM00177083-5

813 ID 272478

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Io7r

Iorio, Luis Carlos

Redes de comunicação em automação industrial  
ênfase na solução tecnológica da plataforma pipefa /  
Luis Carlos Iorio.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: João Mauricio Rosário.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Automação industrial - Protocolos. 2. Redes de  
computação - Protocolos. 3. Sistemas de comando e  
controle. I. Rosário, João Mauricio. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Mecânica. III. Título.

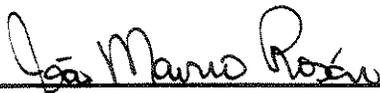
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

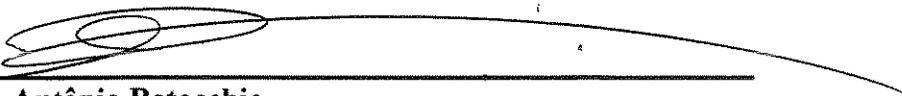
**REDES DE COMUNICAÇÃO  
EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL  
ÊNFASE NA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA DA PLATAFORMA  
PIPEFA**

**Autor: Luís Carlos Iorio.**

**Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário.**



**Prof. Dr. João Maurício Rosário – Presidente.  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.**



**Prof. Dr. Antônio Batocchio.  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.**



**Prof. Dr. Arno Bollmann.  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.**

Campinas, 05 de setembro de 2002.

666666666

## **Dedicatória:**

Dedico este trabalho aos cientistas, professores, técnicos e profissionais brasileiros, que procuram cooperar cada qual com sua parte com a Expressão Científica e Tecnológica do Poder Nacional, para o desenvolvimento, construção duma Pátria, poderosa e respeitada; pelo aperfeiçoamento dos bons costumes e do bem comum.

## **Agradecimentos**

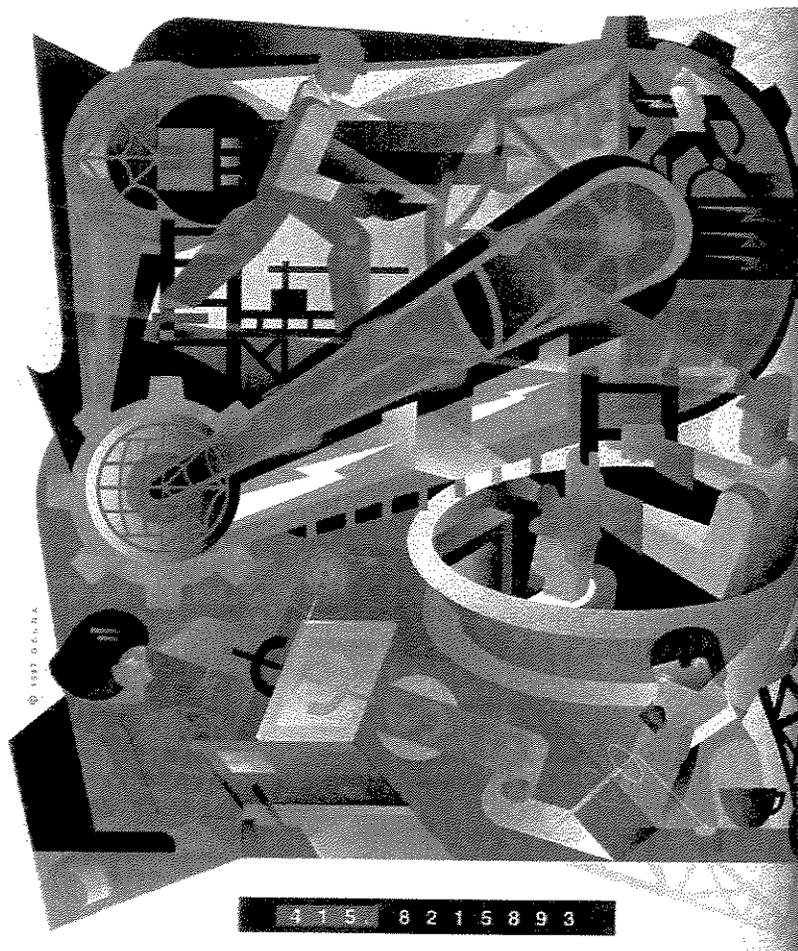
Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Em primeiro lugar ao Grande Arquiteto do Universo, porque por Tua Bondade e Misericórdia, nos tem sido possível vencer as dificuldades interpostas em nosso caminho, e prosseguirmos em nosso labor.

A minha esposa Elvira, meus filhos Karine, Brayner e Lorraine pelo apoio e compreensão durante o tempo em que estivemos ausentes.

Ao amigo e orientador Professor Dr. João Maurício Rosário, pela firmeza de propósitos, pelo incentivo que nunca deixou de dar nos momentos decisivos, o que permitiu chegarmos ao cumprimento desta meta.

Aos amigos Miro, Saramago e Prof. Helder Hermini, que foram os pivôs nas pesquisas decisivas, pela dedicação e colaboração indispensáveis.



" — O progresso tecnológico significa Reorientação.

As novas filosofias, conceitos e, técnicas, ferramentas, estão produzindo mudanças rápidas, que encontram resistências, geram conseqüências e impactos.

Os aspectos psicossociais causados, devem ser vencidos, estamos vivendo a Era da Informação, onde as novas filosofias e técnicas, estão diferenciando as organizações e o próprio homem."

**L. C. Iorio.**

## RESUMO

IORIO, Luís Carlos, **Redes de Comunicação em Automação Industrial. Ênfase na solução tecnológica da plataforma PIPEFA**, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, setembro de 2002, 152 p. Dissertação de Mestrado.

Neste trabalho, procurou-se estudar a aplicação das redes de comunicação em automação, industrial, como uma segunda solução para a plataforma PIPEFA, que foi projetada com sistema convencional. No trabalho são comparados esse sistema com o Fieldbus, uma tecnologia de ponta em pleno desenvolvimento, nas indústrias, nos centros de pesquisas, por estar causando uma revolução na automação. É necessário conhecer as tecnologias de automação e seus elementos.

Os resultados deste trabalho são da maior importância, é imprescindível para a atualização do conhecimento tecnológico, no ensino e dos usuários, no sentido de conhecerem a tecnologia que está diferenciando a automação e sua competitividade. A experiência, tem demonstrado que as empresas e profissionais que relutam em acompanhar as evoluções são deixados para trás.

Desta forma, também teremos a possibilidade em darmos continuidade aos objetivos idealizados pelos criadores da plataforma, pelo aprimoramento, atualização dos conhecimentos tecnológicos, de uma massa crítica de pesquisadores no domínio da Engenharia de Automação Integrada que utilizam a plataforma como base de pesquisa.

### *Palavras Chave*

Automação, Redes de comunicação, Fieldbus.

## **Abstract**

IORIO, Luís Carlos, **Networks for Industrial Automation. Emphasis in the PIPEFA technological platform**, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, setembro de 2002, 140 p. Dissertação de Mestrado.

In this work, it tried to study the networks in automation industrial, as a second solution for the platform PIPEFA, that was going projected with conventional system. At work are compared this system with Fieldbus, a top development technology, in the industries, in the researches centers, for being causing a revolution in the automation. It is necessary to know the automation technologies and your elements.

The results of this work are of major importance, it is essential for the technological knowledge update, in the teaching and of the users, in the meaning of knowing the technology that is differentiated the automation and your competitiveness. The experience, it has been demonstrating that the companies and professional that resist in accompany the evolutions are let back.

Thus, will also have the possibility in give continuity to the goals idealized by the platform creators, by the refinement, technological knowledges update, of a critical mass of searching in the Engineering Integrated Automation domain that use the platform like research base.

### *Key Words*

Automation, Networks, Fieldbus.

# Índice

Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xvii
<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Algumas vantagens da tecnologia, que está revolucionado a automação .....	5
1.2 O sistema biológico x técnico .....	6
1.3 Desenvolvimento do trabalho e delimitação do objeto de estudo .....	7
<b>Capítulo 2 – Histórico das redes de comunicação .....</b>	<b>10</b>
2.1 Projeto ARPA .....	11
2.2 O RM-OSI .....	13
2.2.1 Os níveis do RM-OSI .....	14
2.2.1.1 O nível físico .....	14
2.2.1.2 O nível de enlace de dados ou ligação .....	15
2.2.1.3 O nível de rede .....	15
2.2.1.4 O nível de transporte .....	16
2.2.1.5 O nível de sessão .....	16
2.2.1.6 O nível de apresentação .....	17
2.2.1.7 O nível de aplicação .....	17
2.2.2 Funções principais das camadas do modelo OSI .....	17
2.2.2.1 Aplicação .....	17

2.2.2.2 Apresentação .....	18
2.2.2.3 Sessão .....	18
2.2.2.4 Transporte .....	18
2.2.2.5 Rede .....	18
2.2.2.6 Enlace de dados ou ligação .....	19
2.2.2.7 Físico .....	19
2.3 Projeto MAP .....	20
2.4 Projeto TOP .....	22
2.5 Projeto IEEE 802 .....	22
2.6 Projetos GOSIP e CNMA .....	23
2.7 História com os padrões para comunicação .....	23
2.7.1 Normalização .....	23
2.7.1.1 Algumas organizações de normalização .....	25
2.7.2 ISA SP 50 .....	28
2.7.3 WorldFIP .....	30
2.7.4 Fieldbus Foundation .....	31
2.7.4.1 Principais características do FF .....	32
2.7.4.2 A aceitação da tecnologia da Fieldbus Foundation no mundo .....	36
2.7.5 O INTERBUS .....	36
2.7.6 O PROFIBUS .....	37
2.7.6.1 O que é PROFIBUS .....	38
2.7.6.2 O que o PROFIBUS proporciona hoje? .....	39
2.7.6.3 Benefícios do PROFIBUS .....	40
2.7.6.4 O PROFIBUS no Brasil .....	41
<b>Capítulo 3 – Redes de comunicação .....</b>	<b>42</b>
3.1 Classificação das redes de comunicação .....	43
3.2 Redes industriais .....	44
3.3 Aplicações das redes .....	45
3.4 Topologia de redes .....	46
3.4.1 Rede de ligação ponto-a-ponto .....	46

3.4.2 Rede de ligação multiponto .....	47
3.5 Meios de transmissão .....	48
3.5.1 Meios de transmissão da primeira classe .....	48
3.5.1.1 O par trançado .....	48
3.5.1.2 Os cabos coaxiais .....	49
3.5.1.3 As fibras óticas .....	50
3.5.1.4 Requisitos do meio ambiente em relação aos meios da primeira classe .....	52
3.5.2 Meios de transmissão da segunda classe .....	53
3.5.2.1 Transmissão por irradiação de ondas .....	53
3.5.2.2 Radio .....	53
3.5.2.3 Microondas .....	53
3.5.2.4 Satélite .....	53
3.5.3 Aspectos tecnológicos que diferenciam as redes de comunicação .....	54
3.5.3.1 Tempo de acesso ao meio físico .....	54
3.5.3.2 Os protocolos determinísticos .....	55
3.5.3.3 Confiabilidade .....	56
3.5.3.4 Tipos de mensagens .....	57
3.5.4 O padrão RS 485 .....	58
<b>Capítulo 4 – Tecnologia de comando e monitoramento .....</b>	<b>61</b>
4.1 Sistemas convencionais .....	61
4.2 Sistemas multipolos – Uma evolução dos sistemas convencionais .....	66
4.3 O Fieldbus .....	70
4.3.1 O que é fieldbus? .....	72
4.3.2 Mais vantagens do sistema fieldbus .....	73
4.3.3 Terminal de válvulas, a base para a rede fieldbus .....	73
4.3.3.1 Parte pneumática do terminal .....	75
4.3.3.2 Parte eletroeletrônica do terminal .....	79
4.3.3.3 Protocolo ou interface de comunicação do terminal .....	85
4.3.4 Terminal inteligente, uma evolução para o gerenciamento da rede fieldbus .....	89
4.3.5 O sistema fieldbus .....	91

<b>Capítulo 5 – Aplicações do fieldbus</b> .....	94
5.1 Exemplos de aplicações do sistema fieldbus .....	94
5.2 Proposta de implementação do fieldbus na plataforma PIPEFA .....	99
5.2.1 O L.A.I.R .....	99
5.2.2 A Plataforma Industrial para Pesquisa Ensino e Formação em Automação .....	99
5.2.2.1 A automação da PIPEFA hoje .....	104
5.2.3 O sistema fieldbus aplicado à plataforma PIPEFA .....	111
5.2.3.1 Diagrama trajeto passo da estação de montagem e lista de alocações .....	112
5.2.3.2 Protocolo de comunicação .....	115
5.2.3.3 Mestre da rede fieldbus .....	115
5.2.3.4 Seleção dos elementos de trabalho .....	116
5.2.3.5 Configuração do terminal de válvulas .....	116
5.2.3.6 Software para a estação de montagem .....	117
5.2.3.7 Projeto do comando da estação de montagem .....	122
5.2.3.7.1 As diferenças entre os sistemas de comando e os resultados obtidos .....	124
5.2.3.8 Conclusões finais .....	126
<b>Capítulo 6 – Conclusões e perspectivas futuras</b> .....	127
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	132

## **Lista de Figuras**

### **Capítulo 1**

1.1 Fieldbus no Processo - Manufatura - Domótica .....	5
1.2 Sistema biológico x sistema técnico .....	7

### **Capítulo 2**

2.1 Comunicação, dos hieróglifos à cibernética .....	10
2.2 Os níveis do sistema RM-OSI .....	14
2.3 Algumas organizações de normalização .....	24
2.4 ISA .....	29
2.5 WorldFIP .....	30
2.6 Fieldbus Foundation .....	32
2.7 INTERBUS .....	37
2.8 PROFIBUS .....	37
2.9 A integração de equipamentos .....	40

### **Capítulo 3**

3.1 Comunicação, uma revolução .....	42
3.2 Redes LAN e WAN .....	43

3.3 Diferentes topologias de redes ponto-a-ponto .....	46
3.4 Algumas topologias de redes de difusão .....	47
3.5 Rede em anel .....	47
3.6 O par trançado .....	48
3.7 Cabo coaxial .....	49
3.8 A fibra ótica .....	50
3.9 Comparação entre os meios de transmissão .....	52
3.10 Comunicação via satélite .....	54
3.11 Transmissão Mestre-Escravo .....	55
3.12 Transmissão Token-passing .....	56
3.13 Padrão RS 485 balanceada .....	59

## Capítulo 4

4.1 Sistema convencional .....	62
4.2 Plataforma PIPEFA, bloco de válvulas de comando .....	63
4.3 Plataforma PIPEFA, ligação ponto-a-ponto no CLP .....	63
4.4 Plataforma PIPEFA, parte do cabeamento .....	64
4.5 PIPEFA, maior preço do CLP, quantidade de I/Os .....	64
4.6 Terminal de válvulas com conector múltiplo .....	66
4.7 Conector múltiplo para multicabo .....	67
4.8 Transmissão por multicabo .....	67
4.9 Sistema multipolo .....	68
4.10 Instalação com sistema multipolo .....	69
4.11 O fieldbus .....	71
4.12 Fieldbus, a revolução na comunicação .....	71
4.13 Fieldbus, a comunicação digital .....	72
4.14 O terminal de Válvulas Mídi Máxi .....	74
4.15 Válvulas Mídi .....	75
4.16 Válvulas Máxi .....	76
4.17 Válvula Mídi Máxi montadas na sub-base .....	76

4.18	Tipos de sub-bases/placas terminal Mídi Máxi .....	77
4.19	Utilização de placa para alimentação auxiliar .....	77
4.20	Utilização de placa separadora para diversas regiões de pressão .....	78
4.21	Placa de transição com regulador de pressão .....	78
4.22	Parte eletroeletrônica do terminal .....	79
4.23	Módulo de entradas digitais .....	80
4.24	Módulo de saídas digitais .....	80
4.25	Módulo analógico proporcional .....	81
4.26	Módulo analógico universal .....	81
4.27	Módulo de alta corrente e alimentação adicional .....	82
4.28	Módulo multi I/O .....	83
4.29	Descentralização dos I/Os .....	84
4.30	Mestre AS-I .....	84
4.31	Rede AS-I formada a partir do Terminal Mídi Máxi .....	85
4.32	Ligação entre protocolos .....	87
4.33	Alguns protocolos .....	88
4.34	Matriz Aplicação x Funcionalidade de protocolos .....	89
4.35	Circuito com terminal inteligente .....	90
4.36	Terminal de Válvulas Mídi Máxi, a modularidade .....	91
4.37	Sistema fieldbus .....	93

## Capítulo 5

5.1	Exemplos de aplicações do sistema fieldbus .....	95
5.2	Fieldbus aplicado em linha de montagem de motores .....	96
5.3	Fieldbus aplicado em máquina de envase .....	97
5.4	Fieldbus aplicado em linha de envase .....	97
5.5	Fieldbus aplicado em máquina de embalagem .....	98
5.6	Fieldbus aplicado na indústria madeireira .....	98
5.7	Vista geral da plataforma PIPEFA .....	100
5.8	Linhas de transferência e estações de montagens .....	101

5.9 Posto de supervisão da plataforma .....	104
5.10 GrafCet – Exemplo de diagrama .....	112
5.11 Diagrama trajeto passo da estação .....	113
5.12 Terminal de válvulas para a estação de montagem .....	117
5.13 Circuito geral da estação de montagem .....	123

## **Lista de Tabelas**

### **Capítulo 2**

2.1 Velocidade de comunicação e os pares trançados .....	35
2.2 Velocidade de transmissão e as distâncias correspondentes .....	39

### **Capítulo 3**

3.1 Mensagens em sistemas industriais .....	57
---	----

### **Capítulo 4**

4.1 Características de alguns protocolos .....	88
--	----

### **Capítulo 5**

5.1 Sistema convencional PIPEFA, principais elementos de análise .....	111
5.2 Sistema convencional X sistema fieldbus .....	124

## **Capítulo 1**

### **Introdução.**

Os países em desenvolvimento confrontam-se com o desafio da modernização de sua produção e da reestruturação dos processos de gestão. O binômio inovação tecnológica-competitividade passou a ter importância estratégica para participar-se do mercado internacional. Os fatores determinantes da competitividade estão sendo redefinidos, fazendo sucumbir os incapazes de se adaptarem ao novo contexto e emergir novas empresas com base tecnológica.

Não é mais novidade para o empresário, ou executivo, bem informado que este é um tempo de mudanças aceleradas, sem precedente na História da Civilização. O mundo evolui de forma vertiginosa. Diariamente nos deparamos com uma alteração parcial ou total das condições de uma situação a nível micro ou macro, a mudança rápida e crescente, que altera de alguma maneira uma realidade preexistente [IORIO, 1998].

Desde os anos 80, a progressão de vários fenômenos novos envolvendo uma dimensão que ultrapassa as fronteiras nacionais deu origem a uma série de interpretações acadêmicas. Estamos numa nova fase do desenvolvimento, caracterizadas pelo predomínio da dimensão que ultrapassa o quadro nacional e que vai além da dimensão internacional tradicional.

No século XVIII foi a máquina a vapor; no fim do século XX, os propulsores da nova revolução do desenvolvimento foram e continuam sendo a Tecnologia (Informática, o

aperfeiçoamento dos Transportes e das Comunicações) e a Globalização um dos fatores marcantes da economia mundial [IORIO, 1998].

Não é por acaso que o "boom" da Internet se dá justamente no momento histórico em que as fronteiras entre os Estados, e os mercados, estão se diluindo, e a Tecnologia, em todas as áreas, mas principalmente na Comunicação e Informação, são fortes alavancadores de mudanças.

Investimentos em tecnologia, privilegia a inovação como vantagem competitiva. As estratégias empresariais são definidas a partir da identificação de oportunidade e a competição é fundamental em vantagens desenvolvidas em centros de pesquisas, onde os custos do processo e a cadeia produtiva passam a ter um papel relevante. Dessa forma os investimentos em P&D passam a fazer parte da nova agenda das empresas.

Todos os aspectos da vida humana estão sendo revistos e repensados, e numa velocidade muito grande. Nada será como antes: desde a religião, com o avanço das novas seitas; passando pela filosofia, sob a influência do maior contato com o Oriente; pela família e o comportamento das novas gerações; pelo consumo, diante das pressões ecológicas e maior consciência dos direitos; até o ambiente empresarial, em que a tradicional estrutura hierárquica está passando por uma profunda revisão. Os fatores de mudança são fortes, e ainda sob o impacto de trabalhos de consultores como T. Peters, P. Senge, e M. Porter, por exemplo, e experiências práticas de empresas como GM, Toyota, VW, 3M, GE, Boeing entre outras.

A competição é tão acirrada hoje que as empresas de maior visão já perceberam que a verdadeira corrida, aquela que vale a pena ser disputada, está no futuro, e não mais no presente. Toda empresa, enquanto organismo vivo, segue um ciclo de nascimento, juventude, maturidade, declínio e, eventualmente morte. Para evitar o declínio, a empresa precisa buscar, permanentemente, uma nova curva de ciclo, um salto transformacional que viabilize um novo ciclo de desenvolvimento e um dos caminhos é a atualização tecnológica, a automação.

A rápida globalização e a evolução da tecnologia afetaram as vidas de todas as pessoas envolvidas com indústrias e negócios, pelo menos na última metade do século XX. Tudo esta

mudado pelo mundo afora, as forças globalização e tecnologia, revolucionaram o ambiente de cada indivíduo ou organização.

Estamos caminhando na Era da Informação ou para sua transição, onde os elementos decisivos da vantagem competitiva não estão mais na posse, na detenção, dos bens físicos. Pelo contrário, assentam de modo crescente na capacidade de gerar, partilhar, integrar e orquestrar conhecimentos.

De uma estratégia de conquista de posições, preserváveis por longos períodos, estamos evoluindo para uma estratégia de movimento, baseada na capacidade de antecipar tendências e de acompanhar rapidamente a sua evolução.

[Peter Drucker] — "Da defesa do meu castelo, vai-se passando para o estar um passo à frente dos outros".

O ciclo de vida dos produtos reduziu drasticamente, e o ritmo de renovação é cada vez mais forte. Por isso hoje, para concorrer na economia atual não basta ter um bom produto.

É indispensável interiorizar uma lógica de inovação estratégica na empresa que lhe permita ser capaz de conceber, adaptar ou copiar criativamente novos produtos de forma continuada.

As fronteiras das indústrias vão-se reconfigurando. Não passa apenas por uma incorporação de serviço cada vez maior, mas também pela crescente integração entre negócios tradicionalmente distintos, como distribuição de alimentos e serviços financeiros. Os espaços de competição, e os respectivos atores, são também diferentes, a concorrência internacionalizou-se.

Neste ambiente competitivo a capacidade de inovar tornou-se essencial. Não inovar é ficar para trás. Se é verdade que a inovação tem riscos, o imobilismo tem muito maiores. Bastara recordar exemplos conhecidos de empresas que pararam no tempo, e que agora clamam por apoio para sustentar unidades industriais e postos de trabalho.

Inovar é fazer coisas diferentes ou de outra maneira. É sair da rotina, é experimentar outras soluções ou mesmo formular outros problemas. É usar a criatividade para satisfazer necessidades não ou insuficientemente satisfeitas.

Ao falar-se de inovação pensa-se, em inovação tecnológica. E argumenta-se freqüentemente que não conseguimos inovar porque não realizamos investimentos suficientes. Isso é verdade, mas é só uma parte.

Nem sempre as inovações exigem desenvolvimentos tecnológicos efetuados no interior das empresas. Estas têm de dispor de uma capacidade básica de engenharia para integrar tecnologias disponíveis no mercado, e apresentar respostas criativas, como por exemplo na aplicação da automação.

A limitada capacidade tecnológica de muitas empresas nacionais é evidente. A atitude face à inovação tecnológica é, em muitos casos, passiva, orientada pela preocupação de reproduzir o que outros fizeram, de imitar sem acrescentar algo. O ritmo de mudança e a economia do conhecimento criam novos desafios.

Na economia globalizada, a criatividade e a flexibilidade contam mais do que o controle de ativos físicos. A capacidade de identificar novas necessidades e de lhes dar resposta é relevante e, uma indústria ao atender novas necessidades, terá com certeza que modificar, modernizar seu método de produção e, sem duvidas, um dos caminhos é a automação.

Porém, a modernização não deve ser realizada com o sistema convencional, mas, sim com a aplicação da Automação com Redes de Comunicação, uma tecnologia que está mudando completamente o mercado da automação industrial e, entre os diversos tipos de redes, a rede "Fieldbus", um barramento de comunicação digital para interligar os equipamentos de campo com o sistema de controle.

A aplicação da automação com rede fieldbus, não esta acontecendo por acaso, mas face às inúmeras vantagens que oferece.

## 1.1 Algumas vantagens da tecnologia, que está revolucionando a automação.

Alguns técnicos pensam que o Fieldbus é meramente uma substituição do sistema analógico 4-20 mA por um digital, que interliga o chão de fábrica e a sala de controle, é muito mais, é uma revolução tecnológica que apresenta:

- Redução dos custos de projeto, instalação, operação, comissionamento e manutenção;
- Informação imediata sobre diagnóstico de falhas no campo. Os problemas podem ser detectados antes deles se tornarem sérios, reduzindo assim o tempo de inatividade da planta;
- Aumento da robustez do sistema: dados digitais são mais confiáveis que analógicos;
- Economia do sistema de controle: placas de I/Os não são mais necessárias [IORIO, 1995].
- A tecnologia fieldbus está promovendo uma revolução na indústria de manufatura, processos e domótica (fig. 1.1).

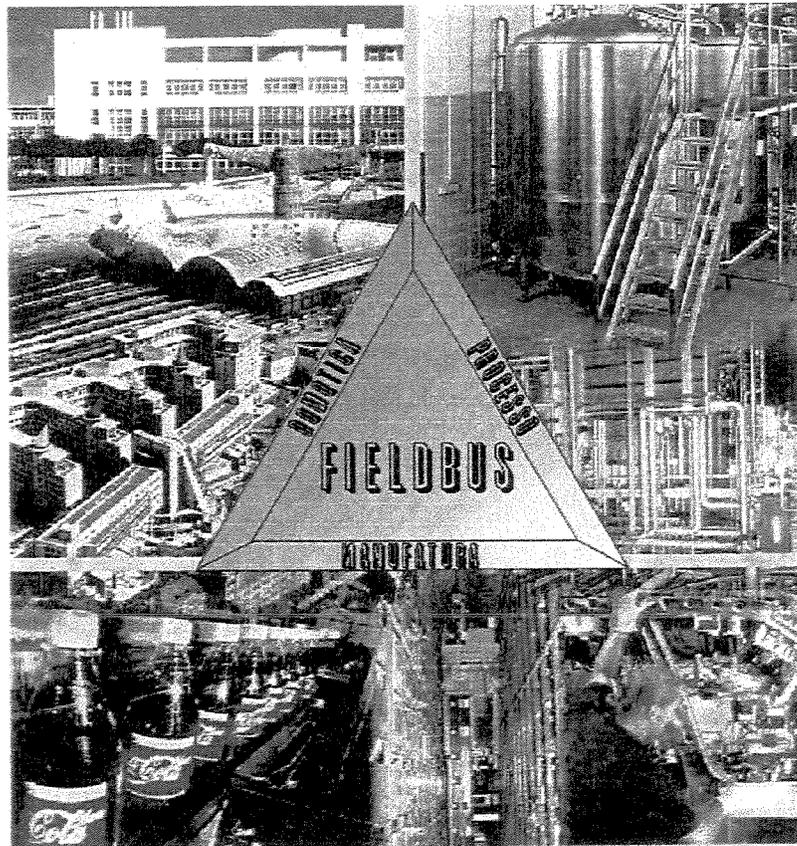


Figura 1.1 – Fieldbus no Processo – Manufatura – Domótica. (Fonte PROFIBUS)

A tecnologia fieldbus causa ainda:

- Impacto na instalação - a atual conexão física, "ponto-a-ponto", entre equipamentos é substituída pelas conexões multiponto entre diversos equipamentos num mesmo par de fios, com conseqüente redução de cabos, bandejas, borneiras e tempo de mão de obra.

- Impacto na concepção - os custos de engenharia serão reduzidos e os atuais procedimentos serão completamente mudados.

- Impacto na Operação - os equipamentos de campo serão capazes de fornecer muito mais informação do que eles fornecem hoje. Como o sinal digital é menos sensível a ruído, a qualidade da informação também é melhor.

- Impacto no Comissionamento e Manutenção - equipamentos de campo poderão indicar falhas em tempo real, assim como indicar diagnóstico preventivo, e o comissionamento da instalação, "start-up" é feito em menor tempo.

## 1.2 O sistema biológico x técnico.

Sob o aspecto funcional, os sistemas de automação industrial podem ser divididos de acordo com uma organização com seus vários níveis, que executam funções específicas no processo produtivo e, por conseguinte, estão associados a diferentes elementos. Os níveis, também apresentam diferentes requisitos tecnológicos.

Os sistemas automatizados, dependendo das necessidades das aplicações, podem formar um sistema de controle completo e complexo. Na figura 1.2, para uma fácil interpretação dos diversos níveis e elementos, podemos comparar o sistema técnico com o sistema biológico, o corpo humano [IORIO, 2000].

### Sistema Biológico

Cérebro

Conhecimento

Órgãos dos sentidos

Membros inferiores e superiores

Sistema nervoso central

### Sistema Técnico

Computador, CLP.

Software.

Sensores.

Atuadores, cilindros, garras.

Rede de comunicação, transmissão de dados.

Alimentação

Sistema sangüíneo

Esqueleto

Energia do sistema, ar, eletricidade, óleo.

Condutores de energia, tubos, fiação.

Estrutura mecânica.

FONTE DE ENERGIA

Alimentação

SENSORES

Audição

Visão

Olfato

Paladar

Tato

CONDUTORES DE ENERGIA

Sistema sangüíneo

ESTRUTURA MECÂNICA

Esqueleto

PROCESSADOR

Cérebro

SOFTWARE

Conhecimento

REDES DE  
COMUNICAÇÃO

Sistema Nervoso

ATUADORES

Membros  
superiores

Membros  
inferiores

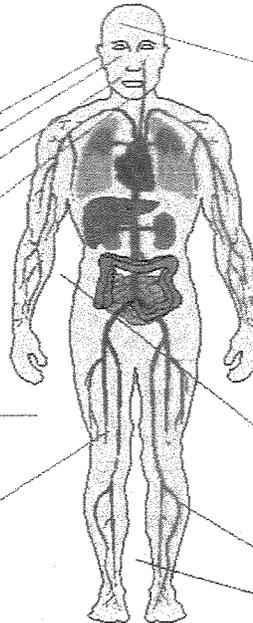


Figura 1.2 - Sistema biológico x sistema técnico. (Fonte – Iorio 1995)

Face ao que foi citado anteriormente, tem-se a certeza de que a aplicação da Automação com Redes de Comunicação é um processo irreversível para a modernização industrial, justificando assim, o desenvolvimento de um trabalho de pesquisa direcionando a utilização de Redes de Comunicação em Automação Industrial.

### 1.3 Desenvolvimento do trabalho e delimitação do objeto de estudo.

A experiência, tem demonstrado: profissionais e empresas que relutam em aceitar as evoluções e novos conceitos, são deixados para trás, perdem competitividade e o lugar.

Esta dissertação de mestrado, estará relacionada com a Plataforma Industrial para Pesquisa Ensino e Formação em Automação - PIPEFA, instalada nas dependências do LAIR - Laboratório de Automação Integrada e Robótica, Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. A

plataforma é composta atualmente por uma parte operacional, correspondente a um "chão de fábrica" constituída de postos de trabalho (carregamento, montagem/desmontagem central e lateral, inspeção e descarregamento) com sistemas de comando independentes, por um sistema de supervisão cooperativo, planejamento de produção e, produz um produto genérico.

A plataforma foi projetada, utilizando em sua arquitetura de comando o sistema convencional, largamente difundido no mundo, que consiste de dispositivos de nível zero, sensores, atuadores, grupos de válvulas e elementos de sinais elétricos discretos etc, comandados por um controlador programável.

A grande quantidade de entradas e saídas digitais ou analógicas exigidas dos controladores, as ligações são diretas, requerendo ainda para as ligações grande quantidade de bornes, terminais, calhas e enorme extensão de fiação para as ligações ponto-a-ponto, é algo desvantajoso.

Neste trabalho, procura-se desenvolver os estudos de aplicação de redes de comunicação em automação industrial, como uma segunda solução de automação para a plataforma PIPEFA, um chão de fábrica. O trabalho permite aprofundar o conhecimento no domínio da concepção, realização do ponto de vista material e sua utilização em sistemas automatizados de produção, com o aprimoramento, atualização dos conceitos sobre a tecnologia de automação hoje aplicada, que para tal, previamente é necessário conhecer-se as diversas tecnologias de automação, os seus elementos: processadores; sensores; atuadores; software e redes de comunicação.

Nosso objetivo é o desenvolvimento de um estudo relacionado com a evolução dos sistemas de comando, aplicando os conceitos do Sistema Fieldbus a um dos postos constituintes da Plataforma PIPEFA (Posto de Montagem e Desmontagem Central), onde nesta dissertação de mestrado são comparados o sistema convencional com o Fieldbus, uma tecnologia de ponta, que encontra-se em franca expansão nas aplicações industriais, bem como está recebendo significativa atenção dos centros de pesquisa por representar uma revolução na automação industrial.

Atendendo os objetivos delineados anteriormente, este trabalho foi subdividido em seis capítulos descritos a seguir:

No capítulo 1 faz-se uma introdução ao trabalho, que desenvolve os estudos das aplicações das redes de comunicação em automação industrial. São apresentadas algumas vantagens prévias do sistema fieldbus e, compara-se um sistema técnico com o biológico.

No capítulo 2, tem-se um histórico das redes de comunicação, suas evoluções, conquistas até os protocolos atuais.

Os aspectos tecnológicos, conceitos sobre redes e meios de transmissão são abordados no capítulo 3.

Onde a revolução nos sistemas está acontecendo, nas tecnologias de comando, um estudo detalhado é apresentado no capítulo 4.

No capítulo 5, tem-se, primeiramente, exemplos da tecnologia fieldbus aplicados nas indústrias. Em seguida apresenta-se o trabalho desenvolvido: a aplicação do sistema fieldbus na Plataforma Didática PIPEFA UNICAMP, que representa um chão de fábrica, em sua estação de montagem.

Finalmente no capítulo 6, tem-se as conclusões e perspectivas futuras, para o tema do trabalho e de tecnologias que alterarão o próprio significado da existência do homem.

Os resultados deste trabalho são da maior importância, é imprescindível para a atualização do conhecimento tecnológico, no ensino, dos profissionais, no sentido de conhecerem o que faz a diferença e, a industrialização mundial, está vivendo uma nova era, a Era da Competitividade, onde novas filosofias, conceitos ou métodos, ferramentas e técnicas, estão diferenciando as empresas e profissionais e assegurando seu futuro. Este trabalho de pesquisa sobre Redes de Comunicação em Automação Industrial, sintetizado em 6 capítulos, abrange um conteúdo fundamental, significativo e necessário para todos, sobre uma vital tecnologia, que está revolucionando o conhecimento e desenvolvimento.

## Capítulo 2

### Histórico das redes de comunicação.

A comunicação de dados globalmente tornou-se uma realidade nos dias atuais. O desafio que a comunicação de voz representou para as gerações passadas volta atualmente, sob a forma de aplicações de telemática, em várias modalidades de troca de informação entre CLPs, computadores situados em ambientes remotos, conectados por sofisticada tecnologia. Para se compreender as diversas posturas, evoluções tecnológicas e atitudes políticas, relacionadas com a comunicação de dados, é necessário o conhecimento de sua história (fig. 2.1).

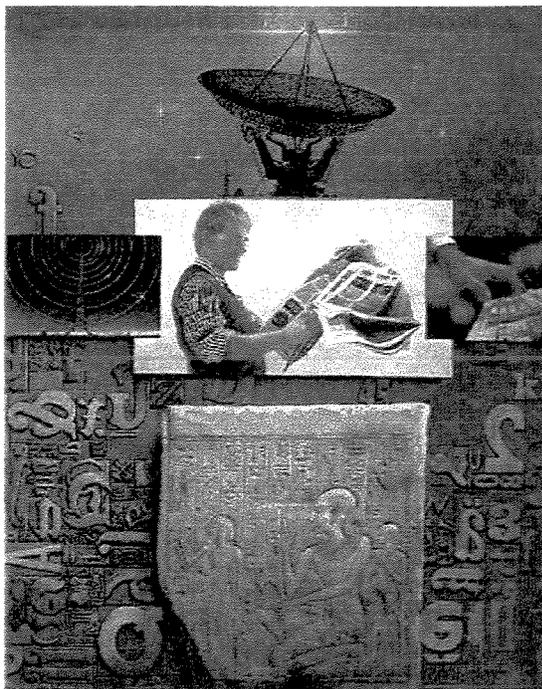


Figura 2.1 – Comunicação, dos hieróglifos à cibernética. (Fonte – American Show Case)

A história da comunicação de dados começou, timidamente, nos anos 60, quando alguns terminais deixaram o centro de processamento de dados para serem instalados "à distância" e começaram a se comunicar com o "computador principal". Nascia, dessa forma, o sistema de teleprocessamento, cujo elemento central era o computador que alojava todas as aplicações e cuidava do funcionamento dos terminais remotos.

Teleprocessamento foi a tecnologia daqueles anos. Não obstante fosse caracterizada por aplicações centralizadas, a tecnologia de teleprocessamento permitiu a consolidação dos princípios de comunicação de dados bem como o surgimento de uma categoria de equipamentos destinados a compatibilizar o caráter digital dos sinais que carregavam a informação com o caráter analógico das vias de comunicação telefônica [STIUBINER, 1995].

Percebeu-se, então, que a tecnologia envolvida na utilização remota do computador seria determinante nas décadas seguintes e que iria contribuir para o avanço de todas as outras atividades humanas. Cada fabricante, vislumbrando o potencial do novo mercado, investiu no desenvolvimento de uma tecnologia de teleprocessamento própria e, com isso, as redes de teleprocessamento obtiveram um enorme crescimento, tanto do ponto de vista de expansão geográfica quanto de variedade de aplicações. Havia, porém, um obstáculo: os usuários de um sistema de teleprocessamento necessitavam de acesso às aplicações pertencentes a outros sistemas. E, para tanto, seria necessário interconectar os sistemas dos computadores.

## **2.1 Projeto ARPA.**

Em meados da década de 1960, o governo dos EUA, por intermédio do Departamento de Defesa, iniciou estudos relacionadas à viabilidade do desenvolvimento de redes de computadores. Finalmente, em 1968, financiadas por aquele departamento, tiveram início as atividades do Projeto ARPA - Advanced Reserch Project Agency, tendo por base o conhecimento e o potencial de pesquisa das universidades e dos centros de pesquisa norte-americanos [STIUBINER, 1995].

Em 1972, entrou em funcionamento o projeto piloto da rede ARPA. Começava então, a era da tecnologia de redes de computadores, caracterizada pela distribuição das aplicações entre

vários computadores interligados de acordo com uma topologia determinada. O sistema de teleprocessamento continuava a existir; cada computador integrante da rede possuía sua própria estrutura de teleprocessamento.

Na rede ARPA, foi pela primeira vez, implementada e experimentada a tecnologia de comunicação de pacotes e, também, o método de divisão em várias camadas funcionais das tarefas de comunicação entre aplicações residentes em computadores distintos interconectados por meio de rede, criando-se o conceito básico de Arquitetura de Rede de Computadores.

O projeto ARPA foi pioneiro na criação de protocolos de transporte. Dentro de seu escopo foi projetado e implementado o nó de comutação de pacotes e foram elaborados mecanismos para controle de fluxo, confiabilidade e roteamento. Nessa época, foram também desenvolvidos e entraram em funcionamento os primeiros protocolos de aplicação, dentre os quais o protocolo de transferência de arquivos FTP - File Transfer Protocol, e o protocolo de terminal virtual TELNET, ambos utilizados até hoje.

Também na década de 1970, o crescimento da ARPA permitiu a interligação de computadores de universidades americanas e de alguns computadores situados em outros países, validando, dessa maneira, o funcionamento da rede de computadores de longa distância. Na mesma época, os grandes fabricantes de equipamentos de processamento de dados criaram seus próprios métodos para integrar em rede seus respectivos produtos. Surgiram, assim, as chamadas arquiteturas proprietárias: primeiro, com a IBM, que lançou a arquitetura SNA - Systems Network Architecture depois, com a Digital e a sua arquitetura Decnet, e várias outras.

Para as entidades especializadas em venda de serviços de telecomunicações abriu-se um novo mercado: a oferta de serviços de comunicação de dados por meio do fornecimento de uma estrutura de comunicação, denominada sub-rede, baseada funcionalmente no princípio de comutação de pacotes. O CCITT - Consultive Committee for International Telegraph and Telephone, elaborou documentos que permitiram que esses serviços fossem padronizados, a partir dos quais publicou, em 1976, a primeira versão da Recomendação X.25, propondo a padronização de redes públicas de pacotes [STIUBINER, 1995].

## 2.2 O RM-OSI.

O pioneiro mais importante.

No final da década de 70, o quadro das redes de computadores caracterizava-se, de um lado, por enormes perspectivas de crescimento, mas, de outro, por uma "situação de crise" criada pela heterogeneidade dos padrões, protocolos e equipamentos de comunicação de dados existentes no mercado. Cada interessado havia definido, unilateralmente, sua arquitetura: os fabricantes, as arquiteturas proprietárias; as operadoras de telecomunicações, as arquiteturas das redes públicas; e algumas entidades, como era o caso da ARPA, arquiteturas específicas para atender as suas redes.

A grande importância da interconexão dos computadores, dispositivos através de redes de comunicação deu origem a uma necessidade que foi tornando-se evidente à medida que os desenvolvimentos neste domínio foram acentuando-se: a normalização das redes de comunicação, um modelo que viesse a sintetizar, de modo abstrato, o funcionamento de computadores integrados por redes, baseado nas experiências advindas do funcionamento dos sistemas de teleprocessamento, da rede ARPA e das redes públicas e proprietárias.

Face as necessidades de conciliar os interesses da indústria e sociedade, no seio da ISO - International Organization for Standardization, houve uma reunião de esforços, no sentido de definir uma proposta de arquitetura normalizada para as redes de comunicação. O resultado desse trabalho foi de fato a padronização de um modelo de referência sobre o qual deveriam ser baseadas as arquiteturas de redes de comunicação de forma a permitir a interconexão de equipamentos heterogêneos, tornando transparente ao usuário a interoperabilidade com outros sistemas de diferentes fabricantes [ MENDES, 1991].

Um sistema baseado em tal modelo de referência é dito um sistema aberto, uma vez que este está aberto à comunicação com diferentes equipamentos. A proposta da ISO, definida numa série de documentos elaborados entre 1978 e 1984, foi denominada de Modelo de Referência para Interconexão de Sistemas Abertos ou RM - OSI - Reference Model for Open Systems Interconnection [ MENDES, 1991].

A receptividade em relação ao Modelo OSI foi enorme nos anos seguintes à sua divulgação. Ao Modelo OSI deve-se, também, a consolidação dos princípios de arquitetura de rede de comunicação de dados.

A arquitetura da rede é formada por níveis, interfaces e protocolos (fig. 2.2). Cada nível oferece um conjunto de serviços ao nível superior, usando funções realizadas no próprio nível e serviços disponíveis nos níveis inferiores.

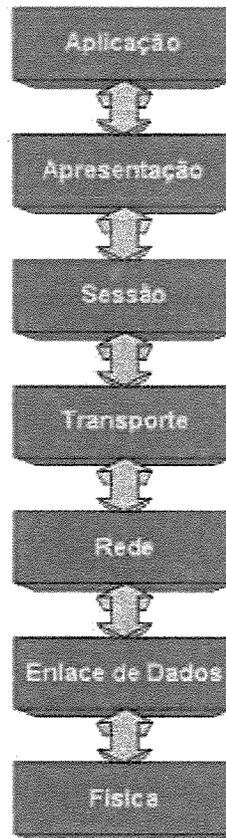


Figura 2.2 - Os níveis do sistema RM-OSI [Fonte – MEMBERS TRIPOD, 1994].

## 2.2.1 Os níveis do RM - OSI [JÚNIOR, 1988].

### 2.2.1.1 O nível físico.

O nível físico fornece as características mecânicas, elétricas, funcionais e de procedimento para ativar, manter e desativar conexões físicas para a transmissão de bits entre entidades de nível de ligação, possivelmente através de sistemas intermediários.

Uma unidade de dados do nível físico consiste de um bit em uma transmissão serial ou "n" bits em uma transmissão paralela. O protocolo de nível físico deve estar dedicado à transmissão de uma cadeia de bits. Ao projetista deste protocolo cabe decidir como representar 0 / 1s, quantos microsegundos durará um bit, se a transmissão será half-duplex ou full-duplex, como a conexão será estabelecida e desfeita, quantos pinos terá o conector da rede e quais seus significados, bem como outros detalhes elétricos e mecânicos.

A função do nível físico é a de permitir o envio de uma cadeia de bits pela rede sem se preocupar com o significado destes bits ou como são agrupados. Não é função deste nível tratar de problemas tais como erros de transmissão.

#### **2.2.1.2 O nível de enlace de dados ou ligação.**

O objetivo deste nível é detectar e opcionalmente corrigir erros que porventura ocorram ao nível físico. O nível de ligação vai assim converter um canal de transmissão não confiável em um canal confiável para o uso do nível de rede.

A técnica utilizada para se conseguir isto é a partição da cadeia de bits a serem enviados ao nível físico, em quadros, cada um contendo alguma forma de redundância para detecção de erros.

Basicamente quatro métodos são utilizados na delimitação dos quadros: contagem de carácter, transparência de carácter, transparência de bits e detecção de quadros pela presença ou ausência de sinal no meio físico. A maioria dos protocolos de nível de ligação, principalmente aqueles para redes geograficamente distribuídas, se utilizam da transparência de bits.

#### **2.2.1.3 O nível de rede.**

O objetivo do nível de rede é fornecer ao nível de transporte uma independência quanto a considerações de chaveamento e roteamento, associados com o estabelecimento e operação de uma conexão de uma rede.

Em redes ponto a ponto, o nível está ligado ao roteamento e a seus efeitos, como, por exemplo, controle de fluxo de dados.

Nas redes do tipo difusão, ou com uma única rota, devido à existência de um único canal, a função principal deste nível torna-se irrelevante. Este nível, neste caso, poderá ser utilizado para um protocolo entre redes: que é uma lacuna no modelo da ISO.

#### **2.2.1.4 O nível de transporte.**

O nível de rede necessariamente não garante que a cadeia de bits chegue a seu destino. Pacotes podem ser perdidos ou mesmo reordenados, de forma a fornecer uma comunicação verdadeiramente confiável, será necessário um outro protocolo, justamente o nível de transporte. Este nível vai, assim, isolar os níveis superiores da parte de transmissão da rede.

As principais funções deste nível de protocolo é o gerenciamento do estabelecimento e desativação de uma conexão, o controle de fluxo e a multiplicação das conexões. Embora no modelo da ISO apenas serviços orientados à conexão sejam definidos, um nível mais elaborado poderia oferecer comandos para envio e recebimento de datagramas e sinais de interrupção. Serviços orientados a transações e à difusão, embora não definidos, são, sem dúvidas, expansões futuras do modelo básico.

#### **2.2.1.5 O nível de sessão.**

Como bem observado na referência, o modelo da ISO é extremamente vago com relação a este nível. Em várias redes, ao nível de transporte cabe estabelecer e manter conexões entre estações, enquanto ao nível de sessão cabe estabelecer e manter conexões entre processos.

No entanto, várias redes simplesmente ignoram o nível de sessão e mantém conexões de transporte entre processos. Uma vez que é bastante inconveniente ao usuário manipular com endereços de transporte, o nível de sessão pode permitir a referência por nomes simbólicos ao processo de destino, fazendo assim o mapeamento com os endereços de transporte.

### **2.2.1.6 O nível de apresentação.**

A função do nível de apresentação é a de realizar transformações adequadas nos dados, antes de seu envio ao nível de sessão. Transformações típicas dizem respeito à compreensão de textos, criptografia, conversão de padrões de terminais e arquivos para padrões e vice-versa.

O nível de apresentação deve conhecer a sintaxe de seu sistema local bem como a sintaxe do sistema de transferência.

Os serviços oferecidos por este nível são: transformação de dados, formatação de dados, seleção de sintaxes e estabelecimento e manutenção de conexões de apresentação. Existe uma correspondência biunívoca entre os endereços de apresentação e de sessão. Não existe nenhum tipo de multiplexação neste nível de protocolo.

### **2.2.1.7 O nível de aplicação.**

O nível de aplicação pode ser o mais alto nível do modelo ISO OSI. Vai fornecer seus serviços a usuários e não a níveis superiores de protocolos. O propósito do nível de aplicação é servir como janela entre usuários que querem se comunicar através do modelo ISO OSI.

## **2.2.2 Funções principais das camadas do modelo OSI [MEMBERS TRIPOD, 1994].**

### **2.2.2.1 Aplicação.**

- Login & password
- Forma de representar informação comum
- Assegurar o início, desenvolvimento e fim das aplicações
- Transferência de arquivos, acesso e manutenção
- Formas de representação padrão
- Tratamento de mensagens
- Transferência de documentos

- Acesso a bases de dados
- Videotexto, e-mail, etc.
- Manutenção de sistemas
- Protocolos indústrias

#### **2.2.2.2 Apresentação.**

- Transferência de dados para tipos de dados comuns

#### **2.2.2.3 Sessão.**

- Passa endereços para locais nominativos
- Estabelece e termina ligações
- Transfere os dados
- Controla o diálogo

#### **2.2.2.4 Transporte.**

- Passagem de informação do início até ao destino
- Multiplexagem
- Controle de fluxo

#### **2.2.2.5 Rede.**

- Direciona pacotes de informação
- Estabelece a rota mais adequada
- Providência os endereços
- Controla o tráfego de rede
- Reconhece prioridades
- Envia informação na ordem correta

#### **2.2.2.6 Enlace de dados ou ligação.**

- Garante a integridade dos dados
- Adiciona marcas de fim e início de mensagens
- Fornece algoritmos de detecção e correção de erros
- É responsável pela transparência dos dados
- Fornece métodos de acesso à rede

#### **2.2.2.7 Físico.**

- Trata tensões e impulsos elétricos
- Especifica cabos, conectores e interfaces

A padronização não foi concluída com a elaboração do Modelo OSI.

Ao contrário, iniciou-se uma intensa atividade, em nível mundial, no sentido de projetar, especificar, implementar e testar os protocolos das várias camadas definidas pelo modelo.

Com esse esforço, nasce a Arquitetura OSI: uma estrutura funcional dos elementos envolvidos na comunicação entre sistemas abertos, suportada por um conjunto de protocolos padronizados, elaborados de acordo com os princípios do Modelo RM - OSI.

Desde a sua criação, e cada vez que um novo padrão de protocolo é elaborado, a Arquitetura OSI impõe-se como o grande projeto da engenharia de protocolos.

As soluções apresentadas, os mecanismos de protocolos, a estrutura da camada de aplicações e as aplicações desenvolvidas de acordo com os princípios da metodologia orientada a objetos e da computação distribuída contribuem para essa colocação.

O reconhecimento da comunidade vem sendo acompanhado pela postura dos governos e indústrias, que adotam uma política de compras, exigindo ou recomendando fortemente produtos para redes abertas, o que certamente contribui para a evolução dos padrões.

### 2.3 Projeto MAP.

O projeto MAP - Manufacturing Automation Protocol tem como mérito a apresentação de uma proposta concreta para a comunicação no chão-de-fábrica, estabelecendo as condições necessárias para a integração dos componentes de automação como CLPs, CNCs, segundo a filosofia CIM – Computer Integrated Manufacturing.

O projeto MAP resultou de um esforço da GM - General Motors iniciado em 1979 que, para competir com as companhias automobilísticas japonesas, queria montar uma rede abrangendo todos os seus escritórios, fábricas, revendedores e fornecedores.

A idéia era que, quando um cliente encomendasse um carro em qualquer lugar do mundo, o computador da revendedora transmitiria instantaneamente o pedido para a GM, que então entraria em contato com os fornecedores para ter o material necessário à produção.

Em 1984 foi publicada a primeira especificação MAP 1.0 do sistema de comunicação e em 1987 a versão MAP 3.0 foi congelada durante seis anos, até 1993 [MENDES, 1991].

Uma parte importante desta rede da GM era a automação de fábricas, no qual todos os robôs seriam interligados. Tendo em vista que os carros se movem através de linhas de montagem a uma taxa fixa, quer os robôs estejam prontos ou não, a GM considerou essencial ter uma LAN no qual o pior tempo de transmissão tivesse um limite superior conhecido previamente.

Na época, poucos equipamentos na fábrica da GM podiam se comunicar entre si e, os custos dessa comunicação eram muito altos devido às interfaces especiais necessárias em cada equipamento. Além disso, já se previa o aumento no número de equipamentos programáveis a serem instalados e que necessitariam de comunicação.

Em função disso, o custo de comunicação passou a ser uma prioridade na empresa. Para solucionar o problema, as seguintes soluções eram possíveis:

- Continuar a produção utilizando máquinas isoladas de uma variedade de fabricantes e utilizar interfaces especiais para possibilitar a comunicação;

- Fazer aquisição de equipamentos de um único fabricante, acabando com a incompatibilidade;

- Desenvolver uma proposta padronizada que permitisse interconectar todos os equipamentos da empresa.

Dadas as perspectivas de evolução e o grande desenvolvimento dos equipamentos de automação, a primeira proposta era, naturalmente, inviável. Com relação a segunda proposta, era e continua sendo, impossível encontrar um único fabricante capaz de fornecer todos os equipamentos necessários ao processo de fabricação.

A solução viria, então, pela terceira opção, que foi o ponto de partida para o projeto MAP, através da criação de uma força tarefa reunindo profissionais das diversas divisões da GM, cujo objetivo inicial era investigar a possibilidade de utilização do modelo de referência OSI como base para a proposta padronizada da empresa, para evitar incompatibilidades.

Um ano mais tarde, em 1981, A GM uniu-se à DEC - Digital Equipment Corporation, HP - Hewlett-Packard e IBM. O grupo se preocupou então a selecionar alguns padrões de protocolos já definidos para o modelo OSI e que pudessem ser adotados na nova arquitetura. Esse trabalho conjunto levou ao MAP utilizando o token-bus, que foi rapidamente adotado por muitas companhias [MENDES, 1991].

Apesar do MAP possuir vantagens, sua utilização está entrando em desuso e dentre os principais motivos, pode-se destacar:

- Está especificação atende bem os requisitos de comunicação nos níveis superiores da hierarquia porém, por ser uma estrutura robusta, torna o tempo de resposta de 200 a 400 ms muito alto quando da necessidade de real-time;

- Os níveis inferiores da hierarquia caracterizam-se pela existência de uma grande variedade e quantidade de equipamentos de controle, inviáveis de serem conectados pela arquitetura MAP pelo custo da interface entre eles.

#### **2.4 Projeto TOP.**

Aproximadamente na mesma época do início do desenvolvimento do MAP, com objetivos semelhantes, foi desenvolvido pela Boeing Co. a partir de 1983 o projeto TOP, voltado para as redes de automação de áreas técnicas e administrativas.

Também é baseado no modelo OSI de 7 camadas e tem como finalidade fornecer aos usuários serviços tais como correio eletrônico, processamento de textos, acesso a base de dados, transferência de arquivos, CAD/CAM distribuído, troca de documentos, transações bancárias, etc.

Como para a Boeing, não havia requisitos de real-time, os boeings não seguem em linhas de montagem, e já possuía uma enorme base instalada de Ethernet, preferiu este padrão. O conjunto de protocolos resultantes foi denominado TOP - Technical and Office Protocols, em 1985 foi publicada a primeira versão TOP 1.0.

A partir de 1986 os projetos MAP e TOP passaram a ser coordenados conjuntamente, gerando o projeto MAP/TOP. O perfil de protocolos escolhido por TOP, para efeitos de conectividade, tem grande identidade nas camadas 2,3,4,5 e 6 com o perfil do projeto MAP. Este garante que pelo menos nas camadas intermediárias, ambos os protocolos MAP e TOP são compatíveis. A versão TOP 3.0, publicada em 1987, continua válida hoje.

#### **2.5 Projeto IEEE 802.**

O IEEE - Institute of Electrical and Eletronics Engineers, iniciou o projeto 802 em 1980, visando a definição de protocolos para redes locais. O projeto subdividiu-se em vários trabalhos, concentrados nas camadas 1 e 2 [MENDES, 1991].

## **2.6 Projetos GOSIP e CNMA.**

O projeto GOSIP "US Government Open Systems Interconnection Profile" nasceu em 1987 e influenciou na disseminação do modelo OSI no mercado das agências governamentais americanas. O projeto ESPRIT Europeu CNMA Communications Network for Manufacturing Applications, propõe-se a fins semelhantes na Europa, reunindo os interesses de várias empresas [MENDES, 1991].

## **2.7 História com os padrões para a comunicação.**

A tecnologia de comunicação de campo, já percorreu mais de 20 anos de pesquisas, e causou uma revolução nas aplicações da automação industrial, contudo ainda não foi estabelecido um padrão de interoperabilidade para ser seguido internacionalmente.

### **2.7.1 Normalização.**

A utilização de normas nas comunicações de dados é uma necessidade. Estas são necessárias para gerir o uso e interligação de equipamentos tanto no nível físico, como elétrico, no nível dos processos e procedimentos de manipulação dos dados.

O reconhecimento da necessidade de normas comuns não era partilhada pelos fabricantes de computadores e CLPs, mas, os fabricantes de equipamento de telecomunicações reconheciam a necessidade de interligação do seu equipamento com equipamento de terceiros, os primeiros tentavam "prender os clientes" em torno das ofertas de suas tecnologia.

A proliferação de computadores, CLPs e o seu uso para processamento distribuído tornou, esta posição insustentável e, cada vez mais, o uso de redes de comunicações deverá permitir a interligação, independentemente de marca ou características específicas.

Sem o serviço das diversas organizações de normatização (fig. 2.3), o mundo das redes seria substancialmente mais caótico do que é atualmente. Estas organizações promovem fóruns

para discussão, ajudam a tornar as discussões em especificações formais e proliferam as especificações quando o processo de padronização é terminado.

O processo de normalização, embora possa diferir de organização para organização, segue a seguinte seqüência: organização das idéias, discussão das idéias, desenvolvimento de um padrão preliminar, votação de todo ou de partes do padrão, e finalmente o lançamento da Norma para o público.



Figura 2.3 – Organizações de normalização (Fonte – IORIO).

A normalização tem como vantagens:

- Assegura a existência de um mercado mais amplo para um dado equipamento (hardware ou software), permitindo produções em maior escala com conseqüentes reduções de preço;

- Permite que produtos de diferentes fabricantes possam comunicar-se entre si, dando ao usuário maior flexibilidade na seleção e uso de equipamento;
- Registra-se uma crescente cooperação entre as várias entidades responsáveis pela normalização para a aceitação e estudo conjunto de normas.

A normalização tem como desvantagens:

- O seu uso tende a desacelerar a evolução e desenvolvimento de novos produtos; enquanto a norma é discutida e aprovada ou atualizada, ocorre um descompasso, entre o que está sendo estudado e o disponível no mercado pela indústria, é possível utilizar novas tecnologias que não estão sendo abrangidas;
- Existência de várias normas com o mesmo objetivo, com diferentes concepções;
- Existência de áreas técnicas onde coexistem mais do que uma norma com objetivos sobrepostos e que são incompatíveis.

#### **2.7.1.1 Algumas organizações de normalização.**

**ISO - International Organization for Standardization**, organização não governamental responsável por um grande número de padrões internacionais, desde porcas/parafusos até revestimentos de postes telefônicos, passando pelas relevantes a redes. Seus membros são as organizações nacionais de padronização das nações membro: **ANSI** - American National Standard Institute, **ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **BSI**, Grã-Bretanha, **AFNOR**, França, **DIN**, Alemanha entre outras.

**IEC - International Electrotechnical Committee**, fundada em 1906, é uma organização não governamental internacional para o desenvolvimento de padrões elétricos, eletrônicos e relacionados, é responsável por um grande número de padrões internacionais, entre os quais:

- IEC 61158-2 (1993-12), Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition

- IEC 61158-2-am1 (1995-11), Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment No. 1 (includes Clause 15, Médium Attachment Unit (MAU), 31,25 kbit/s, single fiber mode, optical médium; Clause 16, Médium Attachment Unit (MAU), 31,25 kbit/s, dual fiber mode, optical médium; Clause 17, Médium Attachment Unit (MAU), 1,0 Mbit/s, dual fiber mode, optical médium; and Clause 18, Médium Attachment Unit (MAU), 2,5 Mbit/s, dual fiber mode, optical médium)
- IEC 61158-2-am2 (1996-11), Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems - Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition, Amendment No. 2 (includes Clause 21, Médium Attachment Unit (MAU), current mode (1A), wire médium)
- IEC 61158-3 (2000-01), Digital Data Communications for Measurement and Control - Fieldbus for Use in Industrial Control Systems - Part 3: Data Link Service Definition
- IEC 61158-4 (2000-01), Digital Data Communications for Measurement and Control - Fieldbus for Use in Industrial Control Systems - Part 4: Data Link Protocol Specification
- IEC 61158-5 (2000-01), Digital Data Communications for Measurement and Control - Fieldbus for Use in Industrial Control Systems - Part 5: Application Layer Service Definition
- IEC 61158-6 (2000-01), Digital Data Communications for Measurement and Control - Fieldbus for Use in Industrial Control Systems - Part 6: Application Layer Protocol Specification

**EIA – Electronic Industries Association**, suas atividades foram iniciadas em 1924, tendo seu nome inicial como Radio Manufacturers Association. Especifica padrões para transmissões elétricas, incluindo os que são utilizados em redes. A EIA desenvolveu o muito utilizado EIA/TIA-232 normalmente conhecido como RS-232.

**IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers**, organização profissional, que desenvolve padrões na área de engenharia elétrica e computação, de rede e alguns outros, é normalmente referenciado como I3E. O IEEE desenvolveu padrões massivamente utilizados em redes LAN, a especificação IEEE 802.3, Ethernet, e a IEEE 802.5, Token Ring. As propostas do IEEE são submetidas através da ANSI. Os padrões de redes locais Projeto IEEE 802 são os predominantes no mundo atualmente e foram adotados pela ISO como base para o padrão ISO. Entre os vários desenvolvimentos tem-se:

- IEEE 1046-1991 (R1996) IEEE Application Guide for Control of Small Hydroelectric Power Plants.
- IEEE 1451.1-1999 Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model.
- IEEE/NEMI PR 1933 1533-1998 IEEE/NEMI Low-Cost Open Architecture Controller Specification.

**ITU-T – International Telecommunication Union Standardization Sector**, Criado em 1865, antigamente chamado de Committee for International Telegraph and Telephone - CCITT, o ITU-T é agora uma organização que também desenvolve *recomendações* de comunicação, o ITU-T utiliza o termo *recomendação* ao invés de padrão. Dentre os padrões desenvolvidos pelo ITU-T está o X.25. Eles também são responsáveis pelas RDSI - Redes Digitais de Serviços Integrados.

**ANSI - American National Standards Institute**, o ANSI, que é também membro da ISO, é a entidade coordenadora de grupos voluntários regulamentadores de padrões dentro dos Estados Unidos. Ele foi criado em 1918 e hoje possui mais de mil membros, dentre eles, gigantes da informática. A entidade é extremamente atuante na área de redes de computadores. O instituto é estruturado em campos técnicos independentes, denominados ASCs - Accredited Standards Committees. Esses comitês são subdivididos em TCs - Technical Committees, que são subdivididos em TSCs - Technical Sub-Committees, que por sua vez são subdivididos em TGs - Task Groups. Dentre suas contribuições está o ANSI C, "versão" do C padronizada pelo ANSI, o FDDI - Fiber Distributed Data Interface, o ATM - Asynchronous Transfer Mode e o SONET - Synchronous Optical Network.

**ISOC - Internet Society**, organização dedicada a desenvolver e aprovar padrões para a Internet. Trabalha através de comitês, dentre eles podemos citar o Internet Advisory Board e a Internet Engineering Task Force.

**IAB - Internet Architecture Board**, é um grupo de pesquisadores na área de redes que determina padrões e políticas. Tais padrões são definidos através de discussões e forças de

trabalho. O IAB é responsável por alguns padrões, incluindo o importante TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol e o SNMP - Simple Network Management Protocol.

**IETF – Internet Engineering Task Force**, é conhecida como a principal organização para padrões internet. O IETF é composto por uma enorme comunidade de pessoas concentradas na evolução da arquitetura da Internet, dentre ela pesquisadores e empresas da área.

**W3C - World Wide Web Consortium**, o W3C não é um órgão diretamente relacionado com padronização de rede, na verdade ele se destina a padrões para a internet. Dentre os padrões estabelecidos estão o HTML, XML, UML e o VRML.

### 2.7.2 ISA SP 50 [WWW ISA].

Na década de 80, a **ISA – Instrumentation Systems and Automation Society** (fig. 2.4) formou o SP 50/IEC – T6 65C - WG6 Fieldbus Committee para desenvolver um padrão de automação industrial que integrasse os vários tipos de dispositivos, produtos de campo que estavam surgindo [MENDES, 1991].

O comitê, envolveu-se na pesquisa de um padrão de grande magnitude e com centenas de membros divididos pelos seus próprios interesses, na época não conseguiu progredir.

Desenvolvimentos da ISA:

- ANSI/ISA-50 02, Part 2-1992, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems  
Part 2: Physical Layer Specification and Service Definition
- ANSI/ISA-50 02, Part 3-1997, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems  
Part 3: Data Link Service Definition
- ANSI/ISA-50 02, Part 4-1997, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems  
Part 4: Data Link Protocol Specification
- ANSI/ISA-50 02, Part 5-1998, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems  
Part 5: Application Layer Service Definition

- ANSI/ISA-50 02, Part 6-1998, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems  
Part 6: Application Layer Protocol Specification

- ISA-TR50 02, Part 9-2000, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems:  
User Layer Technical Report

ISA-TR50 02, Part 3 & 4 -2000, Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems,  
Parts 3 &4: Technical Report for Fieldbus Data Link Layer - Tutorial



Figura - 2.4 - ISA (Fonte – WWW ISA).

Futuramente, a proposta da ISA, IEC e de outras grandes deverá ser o padrão mundial para o fieldbus.

Mas por contar com membros de fabricantes, que já possuem produtos comerciais, querem que a versão final do padrão seja parecida com a sua proposta, ainda não conseguiu fechar todos os protocolos do SP 50.

Como características chave, a proposta estabelece:

- Barramento multiponto com facilidades de comunicação multicast;
  - Capacidade de comunicação em situações críticas com relação ao tempo;
  - Alta integridade dos dados e segurança em ambientes hostis;
  - Variante de baixa potência para uso em ambientes inflamáveis e explosivos;
- redundância para manuseio de causas comuns de falha, meio físico quebrado, estação mestre defeituosa, etc.

### 2.7.3 WorldFIP [WWW WorldFIP].

Em 1992, surgiram duas propostas comerciais, sem um padrão, a ISP - Interoperable Systems Project amparado pela Siemens e Fisher e a WorldFIP - World Factory Instrumentation Protocol, amparado pela Honeywell e Allen Bradley. Ambos ISP e WorldFIP não eram compatíveis, por serem líderes e concorrentes no mercado. Em 1993 essas e outras empresas juntaram-se, criando a Fieldbus Foundation para tentar a unificação dos padrões, esta união resultou na extinção da ISP, e o WorldFIP continuou [MENDES, 1991].

O WorldFIP – World Factory Instrumentation Protocol, foi desenvolvido a partir da norma francesa, a NFC 46-600. A proposta procurou introduzir alguns conceitos mais revolucionários como o de produtor/consumidor e levar em consideração as restrições de tempo real impostas por um grande número de aplicações a nível de chão-de-fábrica.

Uma rede de tempo real, deverá ser capaz de trocar mensagens observando que essa troca seja realizada em instantes específicos e que os tempos de resposta sejam compatíveis com os requisitos, sendo importante distinguir entre tempo de resposta e tempo de validade da informação.

Atualmente, o WorldFIP é um padrão europeu EN 50170 Parte 3 (fig. 2.5), e utiliza o padrão da camada física IEC 1158-2, possuindo ainda um padrão de mensagem da ISO.



Figura 2.5 – WorldFIP (Fonte – WorldFIP)

O WorldFIP suporta topologia em barramento, e transmissões por fibra ótica e par trançado blindado ou não. Para o par trançado estão padronizadas 3 velocidades de transmissão de dados:

- S1: 31,25 Kbps, distância de até 1900 m;
- S2: 1 Mbps, distância de até 750 m, par trançado blindado;
- S3: 2,5 Mbps, distância de até 500 m, par trançado blindado[[WWW WorldFIP](#)].

Os bits a serem enviados são codificados em Manchester, que permite o envio simultâneo do sinal de sincronização e dos dados propriamente ditos. A velocidade padrão é a S2, as velocidades S1 e S3 são para aplicações especiais. Para uso com fibra ótica, a velocidade permitida é de 5 Mbps.

São suportadas até 256 estações e o barramento principal pode ser decomposto em segmentos, que por sua vez são interligados por repetidores, cada segmento pode ter até 32 estações.

O método de acesso ao meio é baseado na difusão, broadcasting. A difusão é organizada por uma unidade centralizada. O WorldFIP baseou-se no fato de que, nas redes industriais, uma informação gerada em um determinado ponto pode interessar a várias outras estações, por exemplo, o dado gerado por um sensor de temperatura pode interessar ao controlador, ao atuador e ao terminal de vídeo do operador, simultaneamente.

A maioria dos dados transmitidos pelo barramento é representado por objetos variáveis. Cada objeto é representado por um "nome" único no sistema. Um objeto é, por definição, elaborado por um único transmissor, e levado em conta por qualquer número de receptores.

#### **2.7.4 Fieldbus Foundation [WWW FF].**

O **FF – Fieldbus Foundation** (fig. 2.6) como dito anteriormente, é uma organização que surgiu em 1993 como um esforço dos maiores fornecedores de produtos na época, WorldFIP e ISP, para se chegar num padrão único e interoperável.

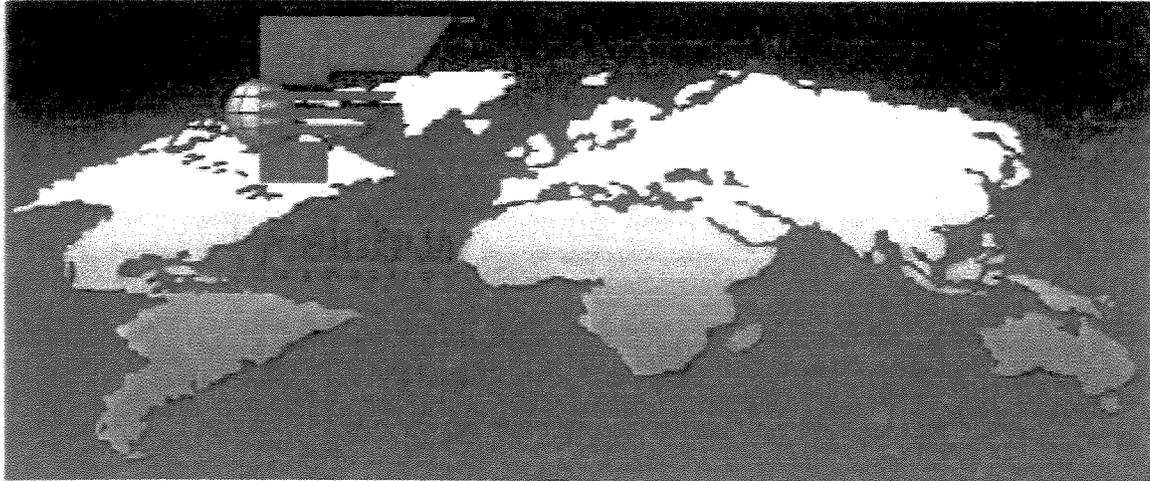


Figura 2.6 – Fieldbus Foundation (Fonte – WWW FF).

Atualmente é formado pelos maiores fabricantes, fornecedores e usuários finais de controle de processo e automação fabril, tendo sido apresentado, na sua versão completa de padrão, apenas no ano de 1997. Está aplicado em plantas industriais e químicas ao redor do mundo para testes e validações finais.

Por ser um profundo contribuidor ao padrão ISA/IEC SP 50 é provável que a versão final do ISA/IEC tenha muito a ver com o padrão da Fieldbus Foundation.

A tecnologia Fieldbus Foundation representa uma alternativa ao sistema baseado no uso de SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuído e CLPs - Controladores Lógicos programáveis.

#### **2.7.4.1 Principais características do FF.**

- Comunicação digital baseada na norma internacional definida pelo IEC - International Electrotechnical Committees com aplicação em áreas que requerem segurança intrínseca. Possibilita alimentação e sinal de comunicação no mesmo par de fios e possui três diferentes taxas de comunicação: 31.25 Kbps, 1 Mbps e 2.5 Mbps.

- É muito mais que um protocolo de comunicação, pois define o sistema como um todo começando pela interface com os sensores através do estabelecimento de parâmetros comuns, passando pelo gerenciamento do hardware por meio de parâmetros padrões e vai até a

sincronização da aplicação através da camada de gerenciamento e da interface de aplicação. Para a interface com as estações de operação, manutenção e configuração da planta, define o acesso a grupos de variáveis para as diferentes categorias de aplicação.

O uso de um parâmetro para controlar a atualização dos parâmetros estáticos juntamente com o mecanismo de geração de evento permitem um sistema mais eficiente de monitoração, sem a necessidade de leitura constante dos equipamentos.

- Baseia-se no aproveitamento da capacidade extra de processamentos nos equipamentos de campo para a distribuição do controle nos equipamentos de campo (sensores e atuadores), aumentando a confiabilidade do sistema e reduzindo o hardware necessário para perfazer as funções de aquisição de dados e controle do processo.

- A estratégia do controle é realizada por um conjunto de blocos funcionais, que podem estar localizados em diferentes equipamentos e ligados logicamente através dos parâmetros de entrada e saída. Os equipamentos possuem dados sobre as ligações que podem ser utilizados para a recuperação da configuração após queda de energia. Prevêem mecanismo para a configuração e a execução seqüencial dos blocos funcionais.

O Fieldbus Foundation define regras que padronizam a interface com os blocos funcionais. Estas regras incluem:

- Manuseio da informação do estado da medição ou do resultado de um cálculo produzido por um bloco funcional.

- O tratamento do modo de operação manual, automático, fora de operação etc.

- A geração do set point de um bloco.

Um novo bloco pode ser integrado sem perda de interoperabilidade desde que obedeça as regras mencionadas. A Fieldbus Foundation oferece uma lista de mais de 30 blocos padronizados.

A distribuição do controle é acompanhada pela execução de tarefas nos equipamentos de campo com melhoria de performance para o sistema como um todo. É o caso, por exemplo, da geração de alarmes, a aplicação pode gerar reconhecimentos assim como controlar a prioridade dos vários alarmes que os equipamentos podem gerar.

Outra função é a captura de dados para histórico, 16 últimas amostras são capturadas e publicadas para todas as estações de operação, obtidos com melhor precisão temporal e sincronismo. O sistema ainda oferece:

- Padronização de parâmetros que dão ao usuário acesso a mais informações do processo, dos equipamentos e da configuração do sistema. Este provê meios de detectar/identificar uma nova estação na rede e descobrir as funções disponíveis no mesmo.

- Permite ao usuário atribuir o nome que melhor identifique o device dentro da sua planta. Os equipamentos são capazes de manter cópia de sua configuração de forma que, após uma queda de energia, o sistema recupere automaticamente a condição de operação.

- Possibilita interoperabilidade em nível da aplicação do sistema em si. O modelo de blocos funcionais padroniza a interface com os diferentes fabricantes de sistema.

- O uso de uma linguagem de alto nível para descrever os equipamentos DDL - Device Description Language, que permite diferentes softwares de monitoração, configuração e manutenção, possam acessar, mostrar e manipular em alto nível esta informação. Por exemplo: mostrando o valor de uma variável seguida da unidade, uma enumeração pelo nome e não pelo valor numérico, ou a escrita/leitura de uma variável por conhecer que existe uma dependência entre as mesmas. Não há mais necessidade de consultas a manuais e desenvolvimento de interfaces (drivers) especiais.

- A interligação de toda a planta através do uso de pontes que são elementos que permitem o armazenamento de mensagens recebidas em um segmento seguido de publicação das mesmas em um outro segmento. Isso é feito de forma eficiente, pois toda operação se dá no nível da camada de enlace, sem a necessidade de processamento dos níveis superiores para repassar a

mensagem. Isso permite que de uma estação se possa enxergar dados de qualquer equipamento que se deseje otimizar o recurso disponível no sistema. Esta característica é também diferenciadora em relação a outros sistemas que usam diferentes protocolos para chegar a uma integração total da planta e por isso necessita de gateways para converter de um protocolo usado em um nível para outro utilizado em outro nível.

O protocolo da Fieldbus Foundation, denominado de Foundation Fieldbus, especifica a utilização de 3 das 7 camadas do modelo de referência ISO/OSI, física, enlace e aplicação, mais a camada de usuário.

A camada física baseia-se apenas na utilização de pares trançados de cobre como meio físico, havendo divisão quanto a velocidade de comunicação (tab. 2.1).

- H2, denominado de higher-speed fieldbus, emprega 1 Mbps e 2,5 Mbps para interligar equipamentos de usuário - PCs por exemplo, e os dispositivos mais rápidos do chão-de-fábrica;
- H1, denominado de lower-speed fieldbus, emprega 31,25 Kbps para interligar dispositivos mais lentos do chão-de-fábrica.

Tipo	31,25 Kbps	1 MHz	2,5 MHz	Comentários
"A"	1900 m	750 m	500 m	apenas 1 par trançado num cabo blindado
"B"	1200 m			múltiplos pares trançados com blindagem externa
"C"	400 m			um ou vários pares trançados, mas sem blindagem
"D"	200 m			múltiplos condutores sem ser par trançado

Tabela 2.1 - Velocidade de comunicação e os pares trançados (Fonte – WWW FF].

A versão de 31,25 Kbps pode operar nas mesmas instalações do padrão 4-20 mA, o que é útil para atualizações graduais de plantas industriais, permite o uso de até 32 dispositivos conectados ao barramento, entretanto este número cai de acordo com o comprimento do cabo, se o mesmo fornece energia aos dispositivos junto com os dados, etc. Estabelece 2 tipos de dispositivos: LAS - Link Active Scheduler ou LinkMaster e Basic. O LAS, gerência, controla as comunicações do barramento centralizado, e o Basic são todos os outros dispositivos.

Durante a configuração do fieldbus, a estação LAS recebe uma lista de todos os dispositivos no barramento e qual dados devem ser disponibilizados por cada um e a que instante. Quando chegar a hora de um determinado dispositivo fornecer os dados, o LAS diz ao mesmo para efetuar um broadcast dos dados no barramento. Aqueles dispositivos configurados para utilizar os dados irão recebê-los simultaneamente

#### **2.7.4.2 A aceitação da tecnologia da Fieldbus Foundation no mundo.**

- Após um ano de finalização da definição da tecnologia já se encontram mais de 100 sistemas instalados operando em diferentes países.
- Centro de treinamento na Inglaterra para a tecnologia da Fieldbus Foundation com equipamento de diversos fabricantes.
- Teste de conformidade e interoperabilidade sendo realizado pelo Fraunhofer Institut na Alemanha.
- Sede nos Estados Unidos com representação na Europa e na Ásia.
- Apontada pelo governo chinês como a tecnologia do futuro.
- Quatro empresas fornecem tecnologia para a sua implementação no mundo, sendo uma alemã, uma americana, uma japonesa e uma brasileira.

#### **2.7.5 O INTERBUS [WWW INTERBUS].**

INTERBUS é um dos protocolos padrões de comunicação para redes abertas em aplicações industriais, criado a partir da norma alemã DIN 19258, com o apoio de inúmeros usuários, principalmente as indústrias automobilísticas européias (fig. 2.7). De alta performance e velocidade, é uma rede em anel, para manufatura e controle de processo. As informações incluem comandos e dados de I/Os, para drives, encoders, robôs controladores, válvulas pneumáticas etc. Um sistema INTERBUS consiste em um controlador que se comunica em rede com uma

variedade de dispositivos por meio de pares trançados, e vários pacotes de softwares estão disponíveis para os CLPs.

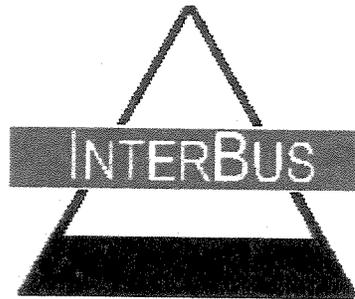


Figura 2.7 – INTERBUS (Fonte – WWW INTERBUS).

No protocolo INTERBUS, os dados dos I/Os são transmitidos em armazõens que fornecem atualizações simultâneas para todos os dispositivos na rede. As transmissões são asseguradas pelo protocolo e por meio do sistema de diagnóstico é possível definir localização de erros e causas. Permite ainda enviar parâmetros e mensagens complexas por meio da rede.

#### 2.7.6 O PROFIBUS [WWW PROFIBUS].

Há uma variedade de soluções para o bus de campo e suas aplicações. No caso da Siemens AG, ela suporta o PROFIBUS – Process Fieldbus (fig. 2.8) e continuará a lançar produtos compatíveis com essa tecnologia apropriados ao mercado de curto prazo.

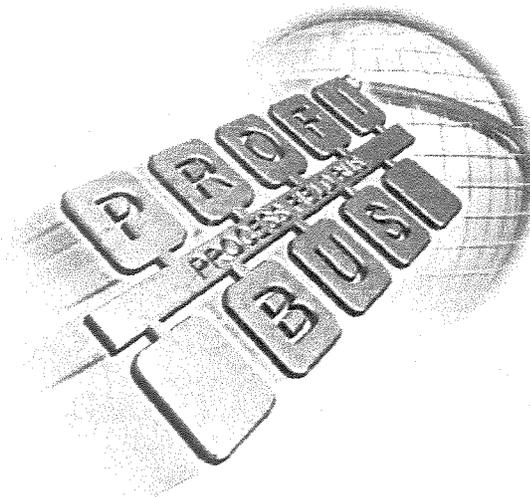


Figura 2.8 – PROFIBUS (Fonte – WWW PROFIBUS).

A Siemens participa da PNO - PROFIBUS Nutzerorganisation User Organization, que tem como objetivo a normatização, divulgação e homologação de produtos padrão PROFIBUS. Produtos compatíveis com o PROFIBUS têm sido analisados e catalogados pela PTO - PROFIBUS Trade Organization e outras associações como está que crescem a cada ano. Mas a Siemens AG também é co-fundadora da Fieldbus Foundation e está trabalhando para o estabelecimento de um padrão internacional de bus de campo, baseado no ISP/ PROFIBUS Specification 3.0 – ISP Interoperable System Project e IEC layer 2.

#### **2.7.6.1 O que é PROFIBUS?**

Quando tudo parecia caminhar para a unificação, em 1994 foi lançado o padrão denominado PROFIBUS - Process Field Bus, baseado no padrão europeu CENELEC EN 50170 e EN 50254 e nas partes 1 a 4 da DIN 19245, sendo sua arquitetura orientada no modelo de referência ISO/OSI, utilizando apenas as camadas física, enlace e de aplicação.

O PROFIBUS é um padrão aberto de rede de comunicação industrial, com amplo espectro de aplicação no chão de fábrica. PROFIBUS tem mais de 300.000 nós no mundo, mais de 240 fabricantes de equipamentos com mais de 500 produtos compatíveis com empresas como Motorola, Siemens, Intel, Philips. O PROFIBUS reúne características tanto do ISP quanto do WorldFIP e é um dos líderes de mercado na Europa, principalmente na Alemanha. Sua tecnologia é desenvolvida e administrada pela PROFIBUS User Organization, seus membros no mundo formam a PI - PROFIBUS International.

Segundo sua própria definição, o PROFIBUS, descreve as características técnicas e funcionais de um sistema fieldbus serial no qual controladores digitais descentralizados podem ser interligados do nível de campo ao nível de célula.

O PROFIBUS é uma família formada por: [PROFIBUS Description]

PROFIBUS-DP - Process Field Bus Decentralized Periphery,

PROFIBUS-PÁ - Process Field Bus Process Automation,

PROFIBUS-FMS - Process Field Bus Field Message Specification.

O PROFIBUS-DP, distribui alta performance de comunicação, é o mais difundido, sendo utilizado principalmente para transferência rápida (tab. 2.2) de dados cíclicos entre controladores centrais PCs e CLPs e os equipamentos no chão de fábrica, sensores, atuadores, motores, dispositivos de I/O descentralizados e “inteligentes” terminais de válvulas etc. É indicado para aplicações que necessitam um tempo de resposta rápida.

Permite topologia em barramento, 32 estações por segmento e um máximo de 127 estações com repetidores.

Velocidade (Kbps)	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	12000
Distância/segmento (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

Tabela 2.2 - Velocidade de transmissão e as distâncias correspondentes ( Fonte – PROFIBUS).

O meio físico empregado pode ser o par trançado blindado RS-485 ou ainda a fibra ótica, podendo está, ser usada para aplicações em ambientes com alta interferência eletromagnética e para aumentar a distância máxima para altas velocidades de transmissão.

Na Europa, o PROFIBUS está bem estabelecido. A criação e a implantação de um PROFIBUS Center nos Estados Unidos demonstra o interesse naquele mercado. Austrália e Ásia também têm manifestado interesse pelo produto. Todavia, os mercados da China, Índia e Europa Oriental representam o grande mercado do futuro, tendo em vista os enormes investimentos e as plantas modernas que estão sendo instaladas.

#### 2.7.6.2 O que o PROFIBUS proporciona hoje? [PROFIBUS, Solution]

- Tecnologia digital com velocidade compatível com suas aplicações.
- Interoperatividade com produtos de diferentes empresas.
- Capacidade de atendimento a grandes distâncias.
- Comportamento determinístico inerente (tempo real).
- Imunidade a ruídos, segurança intrínseca.
- Capacidade de adaptar-se a sistemas de controles já existentes.

- Compatibilidade de desenvolvimento do protocolo e aplicações disponíveis via circuitos integrados de prateleira (baixo custo).
- Transparência para uma grande faixa de protocolos para servir o mercado.
- Capaz de trocar mensagens em uma topologia de rede transparente estendendo-se desde o chão de fábrica até LANs e WANs.
- Alta velocidade (12 Mbps), permitindo tempos de reação curtos.
- Utiliza o modelo misto token pass (mestre-escravo), fazendo com que a rede não dependa de um único mestre e conecta até 126 equipamentos em rede.
- Redes de até 9 km, utilizando par trançado de fios, ou 23 km, usando fibra ótica.
- O PROFIBUS também é capaz de transmitir informações de status, diagnósticos ou erros, além dos dados. Se um nó falhar, o restante do sistema permanece ativo. Nós adicionais podem ser acrescentados em qualquer momento, sem a necessidade de reconfiguração de todo o sistema.

### 2.7.6.3 Benefícios do PROFIBUS.

Protocolo aberto, possibilitando a otimização do processo, já que poderemos utilizar em cada local o equipamento mais adequado ao processo. Na fig. 2.9 temos na rede, integração dos diversos equipamentos.

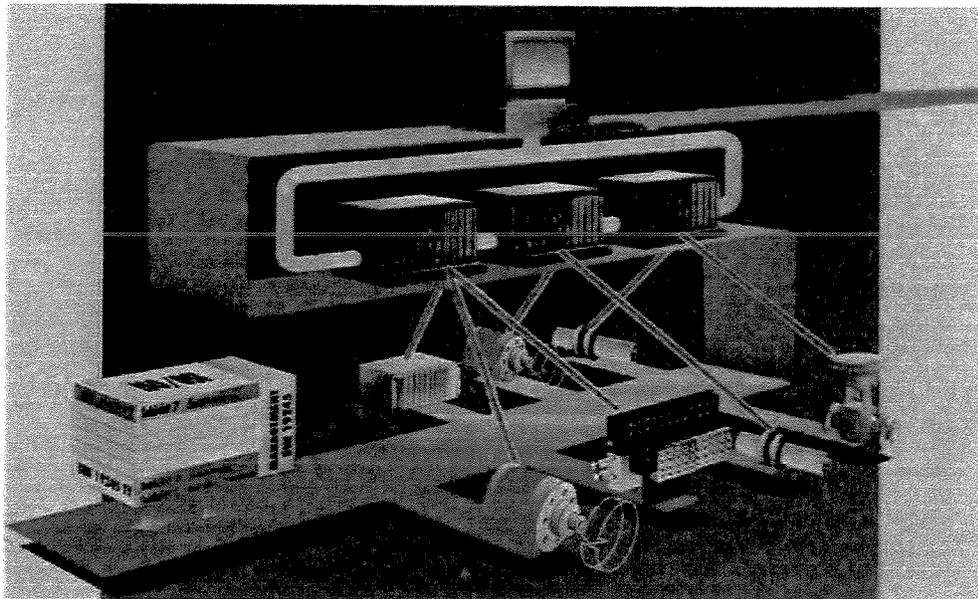


Figura 2.9 – A integração de equipamentos (Fonte – PROFIBUS).

Processos de informação expandidos e capacidade de diagnóstico são partes da tecnologia PROFIBUS. Também o tipo de informação pode ser enviado através do mesmo par de fios. Em cooperação com o ISP (Interoperable System Project), equipamentos PROFIBUS serão avaliados pela segurança intrínseca da aplicação.

O PROFIBUS garante ainda uma significativa redução de custos com um planejamento, cabeamento, somente um par de fios e um conector de nove pinos padronizados são necessários para a interface dos nós com o bus de campo, e uma simplificação de setup do sistema.

#### **2.7.6.4 O PROFIBUS no Brasil.**

Atualmente, muitas empresas aplicam o protocolo de comunicação PROFIBUS e pode-se ressaltar nomes como Volkswagen, GM, Perdigão, Brahma, Antarctica, Alcan etc.

Com as restrições impostas ao acesso à alta tecnologia, o Brasil fica prejudicado pelo "delay" em relação ao Primeiro Mundo, o que atrasa o progresso do nosso país.

Hoje, é crescente o número de empresas que estão procurando desenvolver mais produtos para o padrão PROFIBUS. O processo de certificação para este padrão está aumentando, segundo estatísticas da central mundial PROFIBUS, e o Brasil parece estar acordando para esta tendência, que hoje é uma realidade nas indústrias brasileiras.

Como foi visto no capítulo 2, somente após muito trabalho e pesquisa, a comunicação ultrapassou a barreira que faltava para a automação industrial: descer ao nível mais baixo da hierarquia de comunicação nas plantas. Com o lançamento dos primeiros componentes inteligentes, nasceu então o que se chamou de a Tecnologia Fieldbus, através da qual foi possível levar a inteligência para o nível zero, assim também chamado o nível representado na indústrias pelo "campo ou chão de fábrica". Possibilitou ainda a distribuição dos componentes junto ao processo ou manufatura, deixando a princípio, centralizadas apenas as funções de controle, gerenciamento. No próximo capítulo 3, aborda-se de forma genérica as Redes de Comunicação, nos seus aspectos tecnológicos, suas topologias, os meios de transmissões, requisitos para utilização etc. Aprofundamentos podem ser obtidos em literaturas específicas existentes.

## Capítulo 3

### Redes de comunicação.

A nova ordem mundial tem como principal característica o fenômeno da globalização que está intimamente ligada à revolução da comunicação, que intensificou as relações em escala mundial, que ligou localidades distantes de tal maneira que acontecimentos locais são modelados por eventos ocorrendo a quilômetros de distância e vice-versa (fig. 3.1).



Figura 3.1 – Comunicação, uma revolução ( Fonte – American Show Case).

A transformação local é uma parte da globalização quanto a extensão das conexões sociais através do tempo e espaço." (GIDDENS, 1991, p.69 e 70)". Atualmente, a idéia de globalização está nos quatro cantos do mundo. Não é um fato acabado, mas um processo em marcha.

Há pouco tempo, terminou um ciclo da história e começou outro. Muitas coisas estão mudando no mundo, abrindo outras perspectivas políticas, sociais, econômicas, e tecnológicas. Essas características da globalização, configurando a sociedade universal como uma sociedade civil mundial, promovem o deslocamento das coisas, indivíduos e idéias. O fluxo mundial de informações, dá-se de forma quase instantânea , em função da comunicação.

### 3.1 Classificação das redes de comunicação.

As redes de comunicação, são classificadas em diversas categorias, atendendo-se ao critério de localidade, isto é, distância entre usuários interligados pela rede (fig. 3.2) [MENDES, 1991].

- LAN'S - Local Área Networks - Redes Locais;
- CAN'S - Campus Área Networks;
- MAN'S - Metropolitan Área Networks;
- WAN'S - Wide Área Networks.

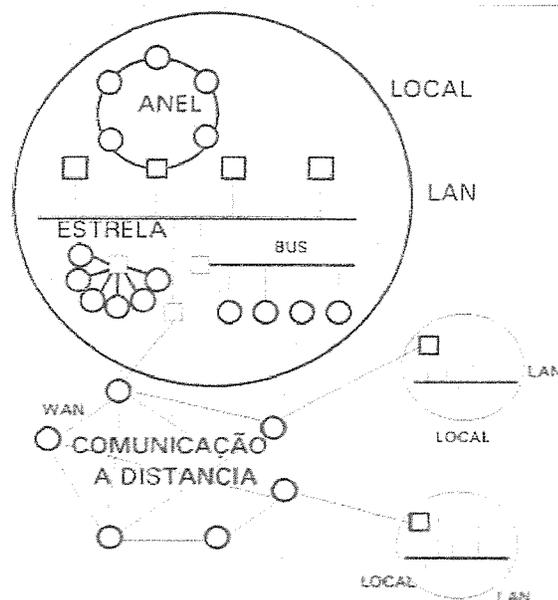


Figura 3.2 - Redes LAN e WAN

### 3.2 Redes industriais.

Surgiram da necessidade de se interligar PCs, CLPs que se proliferavam operando independentemente uns dos outros.

A interligação destes equipamentos em rede passou a permitir o compartilhamento de recursos e principalmente das bases de dados que passaram a ser únicas e não mais replicadas, dando mais segurança aos usuários da informação.

A fabricação de produtos ou o fornecimento de um serviço por parte de uma empresa põe em jogo uma série de atividades e etapas, dedicadas à manutenção e ao aprimoramento do produto ou serviço. A implementação destas etapas através de processos com maior ou menor grau de automatização fica a critério da empresa. A tendência de informatização crescente, por um lado, permite acelerar cada processo fazendo parte das atividades de fabricação de um produto ou serviço e, por outro lado, cria uma nova necessidade no que diz respeito ao modo como as informações serão trocadas, processadas.

Os sistemas de automação e controle tem se apoiado cada vez mais em redes de comunicação, seja pela crescente complexidade dos processos industriais, pela distribuição geográfica que se tem acentuado nas novas instalações industriais e pela busca de melhores condições de competitividade.

Atualmente, as vantagens dos sistemas distribuídos e interconectados são uma evidência em praticamente todas as aplicações, controle de processos, automação da manufatura, automação de escritórios, passando pelo gerenciamento bancário, etc.

O nome redes de computadores, redes de comunicação ou simplesmente redes networks passou a ser usado em sentido lato para os sistemas completos interligados e, em sentido restrito, somente para os sistemas de comunicação, meios, interfaces, software, etc, em virtude da ramificação das topologias de interconexão e da dispersão geográfica dos usuários interligados. A crescente utilização das redes, possui vários fatores motivadores [MENDES, 1991]:

- Especialização funcional dos sistemas locais computadorizados;

- Obtenção de dados confiáveis para tomada de decisões;
- Redução de custos operacionais; investimento pelo compartilhamento de recursos; competitividade;
- Acesso à infra estrutura administrativa e operacional normalmente restrita a certas áreas da empresa como banco de dados, correio eletrônico, etc;
- Distribuição geográfica crescente resultante da diminuição de custos dos sistemas pela tecnologia do processamento distribuído;
- Integração operacional que se torna, cada vez mais, um fator de importância econômica CIM - Computer Integrated Manufacturing; CIB - Computer Integrated Business.
- Necessidade de implantação gradativa de sistemas, na medida das necessidades e com expansão de acordo com a evolução das aplicações conseguindo-se, dessa forma, viabilizar técnica e economicamente a expansão de sistemas com novas tecnologias;

Assim, praticamente não tem sido implementados sistemas que não incluam alguma forma de redes de comunicação industriais. Embora a disseminação de aplicação ser recente, já há tempos vem sendo desenvolvidos diferentes padrões de comunicação, buscando sempre estruturas que garantam a segurança na transmissão dos dados, bem como maior velocidade de transmissão. De forma geral, quando se está analisando o desempenho da rede, é usual colocar-se como primeira questão, qual é a taxa de transmissão de bits, para depois inquirir sobre o protocolo usado, e finalmente, sobre o os demais dispositivos.

### **3.3 Aplicações das redes.**

As redes apresentam-se, na prática, com uma grande diversidade em relação às suas aplicações, meios de transmissão, métodos de comunicação, etc, não existe uma forma genérica de rede que satisfaça os requisitos operacionais existentes em todas as aplicações. Para ilustrar esta situação consideramos alguns exemplos:

- Redes no centro de processamento de dados
- Redes em escritórios comerciais e técnicos
- Redes em informática industrial

- Redes barramento de campo
- Redes públicas.
- Automação de processos e manufatura...

### 3.4 Topologias de redes.

É a forma de distribuição e conexão dos diversos equipamentos de uma rede. Nos projetos, é um dos critérios mais importantes de classificação. As topologias podem ser [MENDES, 1991]:

- Ponto-a-ponto.
- Multiponto.

#### 3.4.1 Rede de ligação ponto-a-ponto.

Compostas de uma ou diversas linhas de comunicação, com cada linha sendo associada à conexão de um par de estações. Se duas estações querem se comunicar mas não há um compartilhamento de cabos, a comunicação é feita de modo indireto, através de uma terceira estação. Assim, quando uma mensagem é enviada de uma estação a outra de forma indireta, ela será recebida integralmente por cada estação e, uma vez que a linha de saída da estação esteja livre, retransmitida à estação seguinte (fig. 3.3). Esta política de transmissão é também conhecida por “store and forward”. Redes de longa distância, a maioria são do tipo ponto-a-ponto.

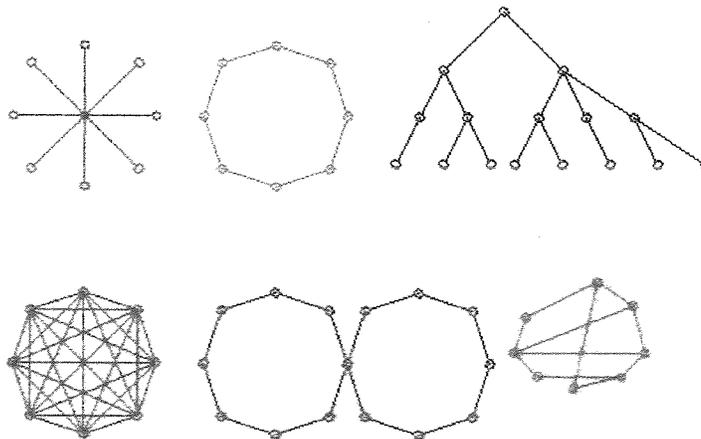


Figura 3.3 - Diferentes topologias de redes ponto-a-ponto.

### 3.4.2 Rede de ligação multiponto.

Também denominadas de difusão ou broadcasting. São caracterizadas pelo compartilhamento, por todas as estações, de uma linha única de transmissão. As mensagens enviadas por uma estação são recebidas por todas as outras conectadas a rede, sendo que um campo de endereço contido na mensagem permite identificar o destinatário (fig. 3.4). A maioria das redes locais e um pequeno número de redes de longa distância são deste tipo e, existe a possibilidade de se enviar uma mensagem para todas as estações ou para subgrupos de estações, multicasting.

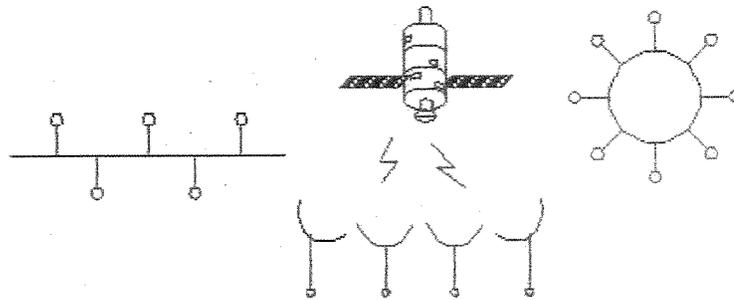


Figura 3.4 - Algumas topologias de redes de difusão.

Alguns tipos básicos de topologias dominam hoje o cenário:

- Malha irregular,
- Árvore e estrela,
- Anel e barramento ( fig. 3.5).

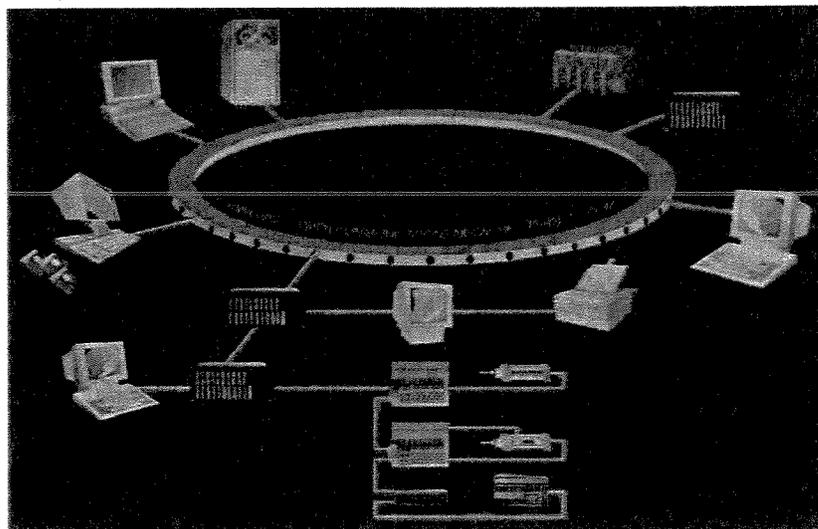


Figura 3.5 – Rede em anel ( Fonte – Festo).

### 3.5 Meios de transmissão [MEMBERS TRIPOD, 1994].

Os meios de transmissão podem se caracterizar pela existência ou não de um meio físico. Na primeira classe estão os cabos elétricos, as fibras óticas e, na segunda classe, as ondas de rádio, as ondas de luz, etc.

Outros meios podem ser, usados noutros sistemas de transmissão como cabo submarino, microondas, infravermelho e canais de satélite.

As características físicas dos meios e as leis de propagação das ondas elétricas determinam o seu desempenho e possibilidades de uso em particular.

#### 3.5.1 Meios de transmissão da primeira classe

##### 3.5.1.1 O par de fios trançado

Em diversas aplicações, é necessário se manter uma conexão direta e permanente entre dois computadores. O suporte de transmissão mais clássico utilizado até o momento é o par de fios trançado, o qual é composto de dois fios elétricos de cobre, isolados, e arranjos longitudinalmente de forma helicoidal (fig. 3.6). Esta técnica de enrolar os fios permite diminuir os efeitos das induções eletromagnéticas parasitas provenientes do ambiente no qual este estiver instalado, dois fios paralelos formam uma antena; um par trançado não.

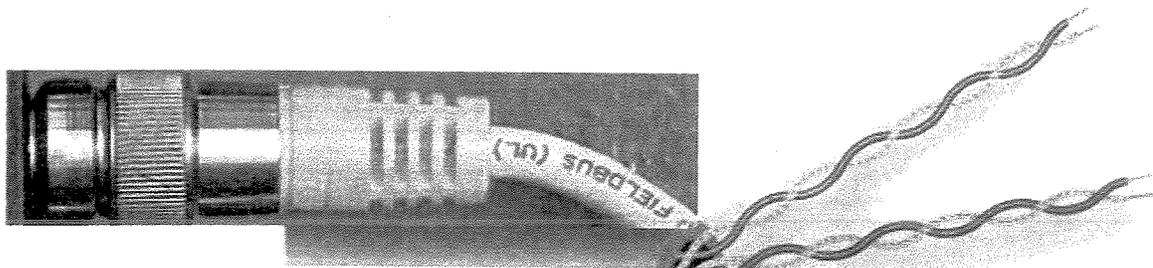


Figura 3.6 – O par trançado.

A utilização mais típica de transmissão é a rede telefônica, onde, graças às suas características elétricas, os sinais podem percorrer quilômetros, sem a necessidade de amplificação ou regeneração de sinal. Estes podem, ainda, ser utilizados para a transmissão de sinais analógicos quanto de sinais digitais. A banda passante atingida é função da composição

dos condutores, particularmente, diâmetro e pureza dos condutores, natureza dos isolantes e do comprimento do cabo. A taxa de transmissão obtida por este meio de transmissão situa-se na faixa de algumas dezenas de Kbps, podendo atingir, em condições particulares, na faixa dos Mbps em pequenas distâncias e, por ser de baixo custo é um dos meios mais utilizados.

### 3.5.1.2 Os cabos coaxiais.

Os cabos coaxiais são também altamente empregados como meios de transmissão. Dois tipos de cabos são tipicamente utilizados: o primeiro tipo apresenta uma impedância característica de 50 Ohms, utilizado nas transmissões digitais denominadas transmissão em banda base; o segundo tipo, com uma impedância característica de 75 Ohms, é mais adequado para a transmissão de sinais analógicos de TV a cabo.

São constituídos de dois condutores arrançados de forma concêntrica: um condutor central, a alma, envolto por um material isolante de forma cilíndrica. Esta capa isolante é, por sua vez, envolto por uma trança metálica condutora em cobre. Finalmente, o conjunto é envolto numa capa de proteção em plástico isolante (fig. 3.7).

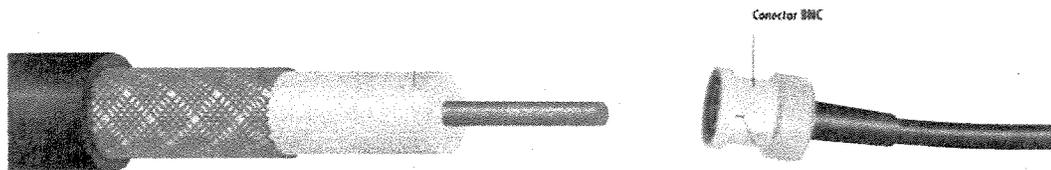


Figura 3.7 – Cabo coaxial.

Em relação aos pares de fios trançados, os cabos coaxiais apresentam melhores características elétricas, oferecendo uma boa relação entre a banda passante e a proteção contra interferências eletromagnéticas. A largura de banda vai depender igualmente da qualidade da composição do cabo e do seu comprimento. Para distâncias em torno de 1 km, é possível obter uma taxa de transmissão em torno de 10 Mbps, podendo-se obter taxas superiores para distâncias mais curtas. São largamente utilizados nas Redes Industriais Locais.

### 3.5.1.3 As fibras óticas.

As fibras óticas são o meio de transmissão pelo qual sinais binários são conduzidos sob a forma de impulsos luminosos. Um impulso luminoso representa um bit “1”, enquanto a ausência deste impulso representa um bit “0”. A luz visível é uma onda luminosa cuja frequência está na ordem de  $10^8$  Hz, o que dá ao sistema uma banda passante potencial bastante grande. As taxas de transmissão num suporte à fibra ótica ficam na faixa de Gbps.

Um sistema de transmissão à base de fibra ótica é composto de 3 principais elementos: o meio de transmissão, a fibra ótica; o dispositivo de emissão e o dispositivo de recepção da onda luminosa.

A fibra ótica é constituída de um conduto de vidro bastante fino, à base de silício e outros componentes dopantes. Ela consiste de um núcleo no qual se propaga a luz e uma capa externa de proteção que concentra a luz no interior do núcleo (fig. 3.8). O dispositivo de emissão consiste de um LED, diodo emissor de luz, ou de um diodo laser. O dispositivo de recepção é constituído geralmente de um fotodiodo e de um fototransistor.

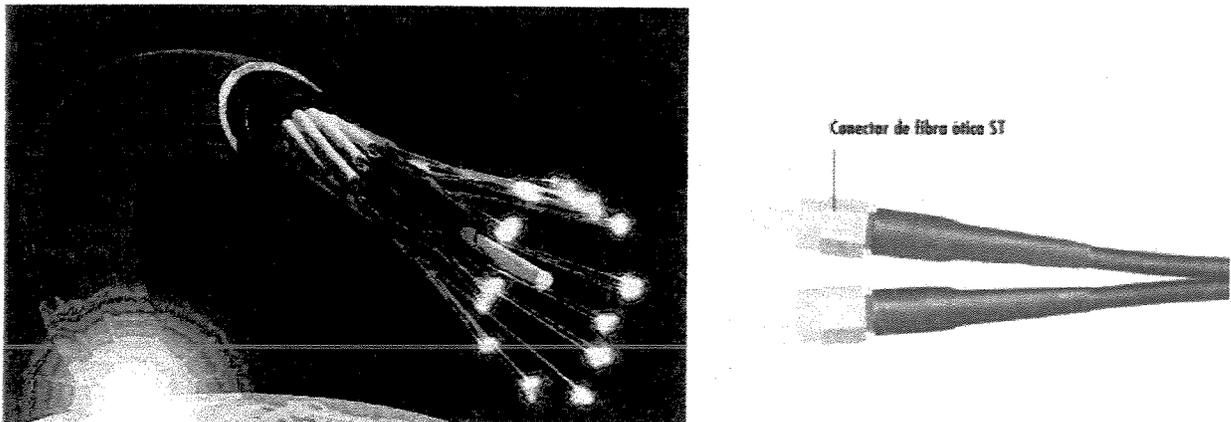


Figura 3.8 – A fibra ótica.

O princípio da transmissão das fibras óticas é o da reflexão da luz na interface entre dois meios. Quando um raio luminoso deixa um meio homogêneo para se propagar num outro meio, o seu percurso sofre um desvio na interface entre os dois meios. Entretanto, existe um ângulo de

incidência limite, a partir do qual o raio luminoso, ao invés de ser refratado ele será refletido na interface, sendo mantido no meio no qual ele havia sido introduzido, desta forma a luz poderá ser propagada ao longo do meio, em grandes distâncias.

O uso de fibras óticas sintéticas, no lugar das de vidro, tem diminuído o preço deste meio de transmissão, embora com mais perdas na taxa de transmissão.

Nas fibras multimodo, os raios ficam ricocheteando na fibra e são emitidos por LEDs. As fibras monomodo, além de serem mais finas, funcionam como um guia de onda, e a luz se propaga em linha reta, sendo mais eficientes, percorrendo distâncias maiores; entretanto, só funcionam com diodos a laser que são mais caros.

Atualmente, os meios de comunicação à base de fibra ótica são utilizados em redes de comunicação de longa distância, substituindo sistemas mais antigos à base de cabos coaxiais. Isto deverá continuar a ocorrer nos próximos anos, contribuindo para que se tenha, num futuro próximo, em distâncias relativamente grandes, sistemas de comunicação oferecendo altas taxas de transmissão garantindo assim a troca de grandes volumes de informação.

As fibras propriamente ditas não sofrem interferência por picos de linhas de força, interferência eletromagnética ou materiais químicos corrosivos presentes no ar e, assim podem ser usadas nos mais diferentes ambientes fabris, inclusive agressivos. As fibras também são muito finas, um fator positivo para instalações com milhares de cabos e dutos.

Por outro lado, há desvantagens no uso das fibras óticas. A tecnologia da fibra ótica é de alto nível e requer aptidões que a maioria dos engenheiros de redes não possui. As fibras são difíceis de seccionar e mais difíceis ainda de conectar.

As redes de fibra são também unidirecionais, e suas interfaces são muito mais caras do que as interfaces elétricas comuns. No entanto, as vantagens das fibras óticas são tão grandes que muito trabalho está sendo direcionado para melhorar a tecnologia e reduzir os custos.

### 3.5.1.4 Requisitos do meio ambiente em relação aos meios da primeira classe.

Devido às características de um ambiente industrial, a presença de perturbações magnéticas, provocadas principalmente pelos acionamentos de motores elétricos de grande porte ou outras fontes chaveadas (estações de solda, conversores estáticos, etc), não pode ser desprezada na escolha de uma rede de comunicação.

Para a definição do meio físico de transmissão (fig. 3.9) e do protocolo de comunicação, algumas características que devem ser consideradas são: custo, sensibilidade à perturbações, distância e taxa de transmissão.

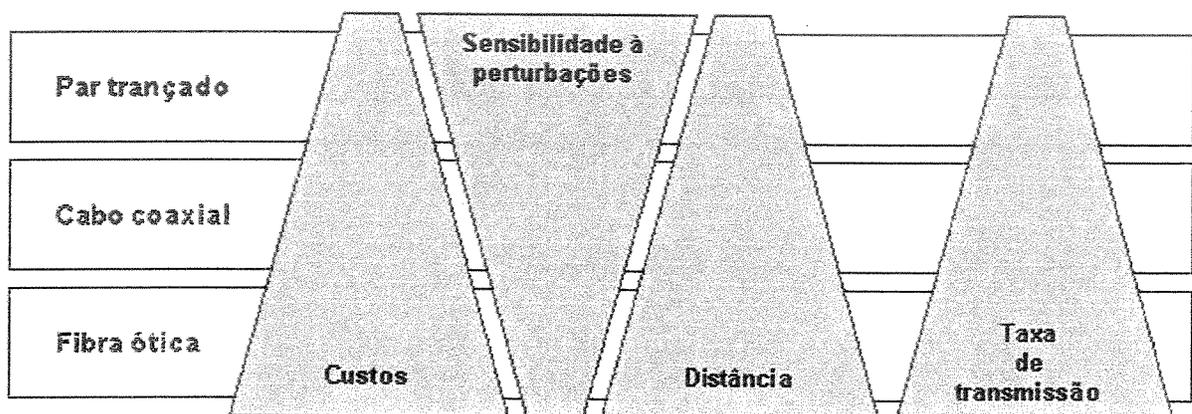


Figura 3.9 - Comparação entre os meios de transmissão (Fonte – MEMBERS TRIPOD) .

O meio físico de transmissão a ser adotado não depende apenas de aspectos técnicos mas também, muito especialmente do chão de fábrica e do aspecto de custo, deve possuir uma boa resistência mecânica e ser eletricamente isolado. Cabos coaxiais são menos afetados por perturbações eletromagnéticas do que o par trançado. No entanto, o custo do cabo coaxial é consideravelmente superior ao do par trançado.

A adoção de fibras óticas tem sido uma boa solução do ponto de vista técnico, ainda com algumas dificuldades como a realização de bifurcações, necessárias para as conexões em T usadas com topologia em barramento, de modo que as fibras óticas são mais utilizadas em sistemas com topologia em estrela ou anel. A realização de bifurcações tem alcançado melhores

resultados adotando acopladores ativos (com eletrônica adicional para conversão do sinal ótico em elétrico e vice-versa nos pontos de derivação), o que torna a solução antieconômica para o nível de chão-de-fábrica. Com fibras óticas, no entanto, pode-se trabalhar com frequências na ordem de 100 Mbps, o que permitiria uma melhoria de performance do sistema. Diversas pesquisas vem sendo realizadas no sentido de resolver os problemas técnicos existentes.

### **3.5.2 Meios de transmissão da segunda classe.**

#### **3.5.2.1 Transmissão por irradiação de ondas.**

Na transmissão por irradiação eletromagnética, pode-se citar o radio, microondas e satélite.

#### **3.5.2.2 Radio.**

A transmissão de dados por radio pode ser feita por modens radio.

Não é imune a fenômenos atmosféricos.

#### **3.5.2.3 Microondas.**

São sinais transmitidos através de uma onda com frequência na faixa de 2 a 18 GHz. Os dados podem atingir velocidades de 2 Mbps, 10 Mbps ou mais, dependendo da distância entre os pontos. Para distâncias maiores que 20 Km necessitando de repetidores.

Um link, ligação, de microondas necessita constante atenção entre os dois pontos que estão se comunicando. Pode-se trafegar voz, dados e imagem, mas a comunicação pode ser afetada por tempestades e outros fenômenos atmosféricos.

#### **3.5.2.4 Satélite.**

A transmissão via satélite é normalmente utilizada para atingir pontos onde a rede terrestre não chega ou existe dificuldade para ser implantada (fig. 3.10).

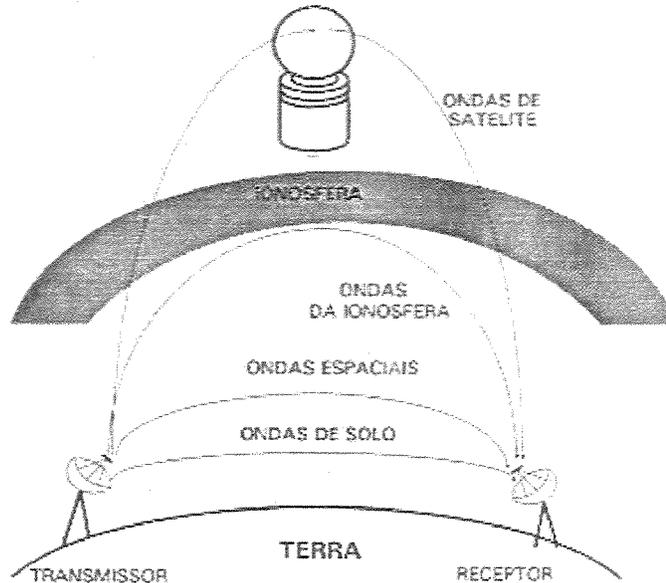


Figura 3.10 – Comunicação via satélite.

A onda portadora dos sinais de dados situa-se na faixa de 3 GHz a 16 GHz, dependendo do equipamento. A transmissão via satélite pode ser unidirecional, no caso dos transmissores de TV, ou bidirecional onde a transmissão e recepção operam em frequências diferentes.

### 3.5.3 Aspectos tecnológicos que diferenciam as redes de comunicação.

#### 3.5.3.1 Tempo de acesso ao meio físico.

Um fato consumado é que as redes de difusão são as mais usadas nas comunicações, independentemente de ser a nível de escritório, industrial, residencial ou comercial. Mas um aspecto importante e problema, na utilização das redes de difusão é o acesso ao meio, pois, uma vez que vários equipamentos deverão trocar informações num dado instante, a decisão de quem vai ter o direito de acesso ao meio para o envio de uma mensagem não é uma tarefa evidente.

Do ponto de vista da programação distribuída, o meio de transmissão das redes constitui um recurso compartilhado entre as estações a ela conectadas. Os métodos de definição de direito de acesso utilizados nas redes são os denominados protocolos de acesso ao meio. Com relação ao seu comportamento temporal, este é organizado pelos protocolos de acesso ao meio, que são

classificados em duas classes principais: os protocolos determinísticos, de ampla utilização nos sistemas de automação, que nos interessa. e os não determinísticos.

### 3.5.3.2 Os protocolos determinísticos.

Os protocolos de acesso determinísticos, podem ser também denominados protocolos de competição, uma vez que as estações querendo transmitir vão competir pelo meio de transmissão. Os métodos de acesso determinísticos são aqueles com tempo de resposta univocamente determináveis. Este método pode ser classificado em:

#### Mestre-Escravos - métodos com comando centralizado.

Mestre-escravo: somente uma estação pode agir como detentora do direito de transmissão, Mestre. O direito de acesso ao meio físico é distribuído por tempo limitado pela estação mestre para as demais, Escravas. Aqui todas as trocas de dados ocorrem apenas entre mestre e escravos (fig. 3.11). Esta configuração deixa o sistema dependente da estação central, mas é a configuração usual dos sistemas de controle na maioria de suas aplicações. Esse método de acesso ao meio também garante um tempo entre transmissões consecutivas a qualquer estação da rede e segue a prática atual de fazer um controle distribuído com uma supervisão centralizada.

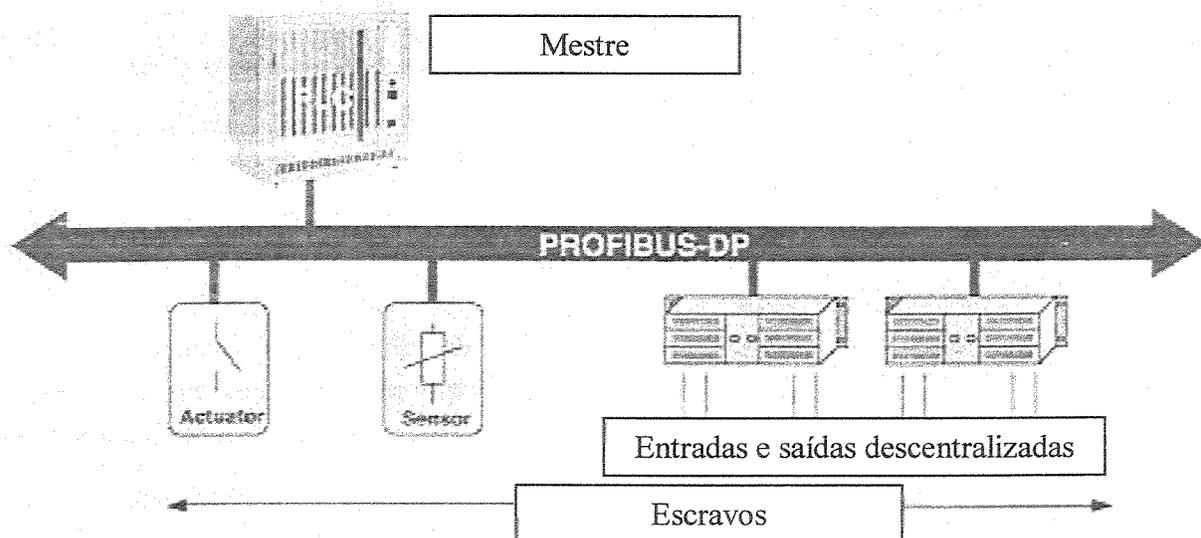


Figura 3.11 – Transmissão Mestre-escravo (Fonte – PROFIBUS).

### Token-Passing - método com comando distribuído.

Os sistemas com comando distribuído permitem a definição de mais de uma estação com direito de acesso ao meio físico. Este direito de acesso chamado Token, é transmitido ciclicamente entre as várias estações, que podem livremente trocar dados entre si (fig. 3.12).

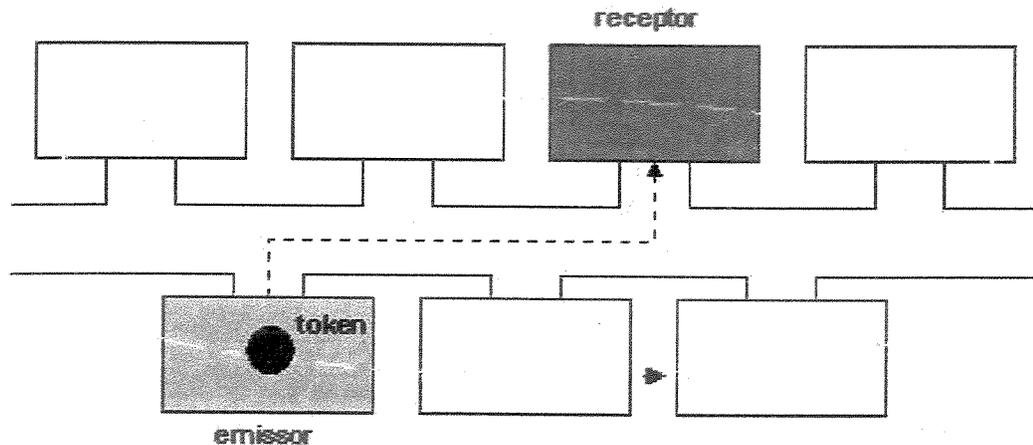


Figura 3.12 –Transmissão Token-passing.

Este sistema é, no entanto, bem mais complexo do que o Mestre-Escravo, já que providências especiais tem que ser tomadas no caso de perda do token ou na entrada/saída de uma das estações da rede.

O método é mais adequado para sistemas nos quais diversas unidades independentes desejam trocar livremente informações entre si, além de ser possível determinar um tempo Maximo entre duas oportunidades consecutivas de transmissão para cada estação.

#### 3.5.3.3 Confiabilidade.

Em aplicações nos níveis hierárquicos superiores de uma empresa por exemplo: no administrativo, pequenos erros são toleráveis. Entretanto, em aplicações industriais onde são transmitidos muitos códigos de comando, leitura de medidores e comando de atuadores, um erro de um bit qualquer pode ter conseqüências desastrosas. A transferência de programas para máquinas de Comando Numérico, por exemplo, exige um sistema altamente confiável, pois são

transmitidos códigos de comando cuja mínima alteração pode introduzir danos de elevado custo. Desta forma, redes industriais de comunicação tem que oferecer uma elevada confiabilidade.

Para aumentar esta confiabilidade nas mensagens transmitidas, normalmente é usado um teste cíclico de redundância CRC - Cyclical Redundance Check. Em sistemas que necessitem de uma operação continua, pode ser utilizado um meio de transmissão e estações de controle redundantes.

### 3.5.3.4 Tipos de mensagens.

Nos níveis hierárquicos superiores de uma indústria: administração, planejamento, engenharia etc, são freqüentemente trocadas mensagens de vários Kbytes, que requerem tempos de transmissões instantâneos e até vários minutos (tab. 3.1) [MENDES, 1991].

MENSAGENS	TEMPOS DE ESPERA PERMITIDOS	FREQUENCIA	COMPRIMENTO DA MENSAGEM	PARCEIROS / COMUNIC
ARQUIVOS GRAFICOS	1 - 100 SEC.	RARO	> 10 KBIT	PPS CAD - CAM - DB
ARQUIVOS DE DADOS	1 - 100 SEC.	MUITO RARO	1 - 10 KBIT	COMPUTADOR DE CELULA
PROGRAMAS	1 - 100 SEC.	MUITO RARO	> 10 KBIT	CNC CLP
COMANDO	1 - 100 MSEC.	MUITO FREQUE.	64 - 128 BIT	COMPUTADOR DE CELULA
RESPOSTA DE COMANDOS	1 - 100 USEC.	MUITO FREQUE.	64 - 128 BIT	SISTEM. SENSOR - NC
ALARMES	1 - 100 USEC.	RARO	64 - 128 BIT	RC - SISTEM. SENSOR.
SINAIS DE SINCRONIZAÇÃO	1 - 100 MSEC.	MEDIO	8 - 64 BIT	DISPOSITIVOS DE DIAGNOSE
DADOS TEMPO REAL	1 - 100 MSEC.	FREQ.	64 - 1024 BIT	CONTROLE
				DIAGNOSE - SIS. SENSOR.

Tabela 3.1 - Mensagens em sistemas industriais.

Nas aplicações mais próximas ao processo, normalmente são enviadas mensagens curtas, tais como:

- Ligar ou desligar uma unidade;
- Fazer a leitura de um sensor/medidor;
- Alterar o estado de um atuador;
- Verificar o estado de uma chave ou relê.

Estas operações podem ser feitas normalmente com um único código acrescido dos respectivos dados, quando existirem. Como consequência, pode haver uma baixa taxa de transmissão de dados com um elevado número de mensagens transmitidas.

Para dispositivos programáveis encontrados no ambiente industrial CLPs, CNCs, etc, normalmente é necessário o envio de programas no início da produção de um lote. Estes programas raramente ultrapassam 10 Kbytes em tamanho e dificilmente são utilizados mais de 3 programas por unidade de fabricação durante um turno de trabalho.

#### **3.5.4 O padrão RS 485 [ FRANCO, GA II ].**

A utilização da tecnologia fieldbus permite a redução do sistema de controle em termos de hardware devido à grande redução de I/Os, que são substituídos por uma placa de comunicação que forma a rede, eliminação do sistema de cabeamento, calhas, caixas, bornes, além de reduzir o tamanho dos racks. Como consequência, diminuimos também o tempo de instalação e as potências das fontes de energia.

A comunicação industrial, conta atualmente com grande quantidade de produtos, protocolos para as comunicações entre os controladores e os componentes aplicados. Para o estabelecimento da comunicação, utiliza-se normalmente o padrão EIA RS 485.

Erroneamente tem-se o conceito de que estes padrões definem protocolos de comunicação específicos. Os padrões ANSI/EIA RS -xxx especificam apenas as características elétricas.

O padrão RS 485 de comunicação, requer apenas 2 fios para a transmissão, recepção dos dados e, especifica as características elétricas de uma interface de comunicação digital bidirecional, entre circuitos baseados em tensão diferencial balanceada (fig. 3.13). Uma interface balanceada é vantajosa para altas taxas de transmissão (até 10 Mbps) e longas distâncias. Possui alta imunidade ao ruído, suporta conexões multiponto, o que permite a criação de redes com até 32 nós e transmissão à distância de até 1200m.

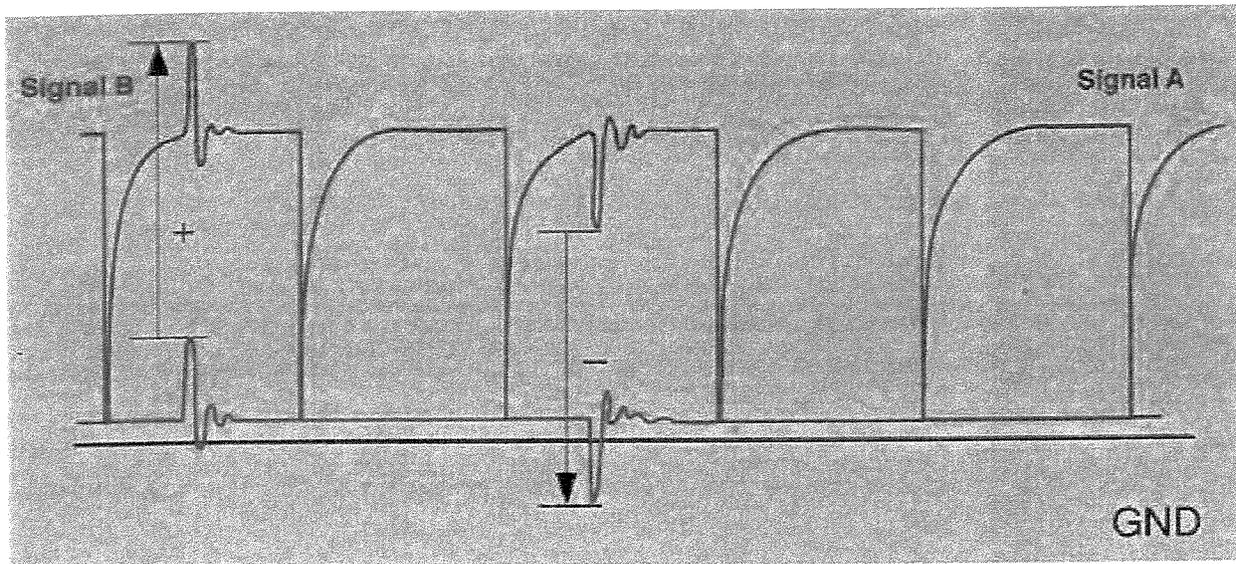


Figura 3.13 - Padrão RS 485 balanceada.

A lógica para este padrão é definida quando um terminal torna-se mais negativo ou mais positivo que o outro. Portanto, a tensão diferencial entre os dois terminais permitirá o reconhecimento do bit que está sendo transmitido, se é "0" ou se "1". Convencionalmente, a lógica "1" é reconhecida quando o terminal A do transmissor torna-se mais negativo em relação ao terminal B. A lógica "0" é identificada quando o terminal A torna-se positivo em relação ao terminal B; é por esse motivo que tem-se maior imunidade a ruídos eletromagnéticos externos. O gerador também deve ser capaz de limitar a corrente em 150 mA no caso de um curto-circuito para o terra. Para o receptor, uma tensão diferencial de entrada de 200 mV é o mínimo suficiente para que se possa identificar uma lógica, operando normalmente em tensões diferentes de até 6V. Porém o equipamento deve suportar até 12V de tensão sem que seja danificado.

No capítulo 3, aborda-se os aspectos tecnológicos das redes de comunicação, pretendeu-se dar fundamentos sobre as topologias das redes, comparativos entre os principais meios de transmissões de dados, análise sobre os protocolos de acesso e conhecimento do padrão RS 485, muito importante para o ambiente de redes. Fundamentos estes que contribuirão para uma melhor avaliação técnica, quando da implantação de uma rede de comunicação no chão de fábrica, junto com uma solução de automação.

O capítulo 4, versará sobre a Tecnologia de Comando e Monitoramento, tópico que nos permitirá analisar as diversas possibilidades de solução de um projeto de automação, aplicando os sistemas de comunicação. Comparamos os três tipos genéricos de soluções mais utilizados, suas vantagens, desvantagens técnicas e econômicas, apresentando casos reais e alguns produtos utilizados.

## Capítulo 4

### Tecnologia de comando e monitoramento.

A tecnologia de comando utilizada na indústria, evoluiu desde que a primeira máquina automática foi desenvolvida, neste trabalho, tem-se as mais utilizadas atualmente.

Pode-se dividir a tecnologia de comando e monitoramento de forma genérica em 3 tipos:

- Sistemas convencionais;
- Sistemas Multipolares;
- Sistemas Fieldbus.

#### 4.1 Sistemas convencionais [IORIO, 1995].

O comando convencional, largamente difundido no mundo, consiste de dispositivos de nível zero, sensores, transmissores, atuadores, grupos de válvulas e elementos de sinais elétricos discretos etc, comandados à distância por equipamentos de controle CLPs, SDCDs...(fig. 4.1).

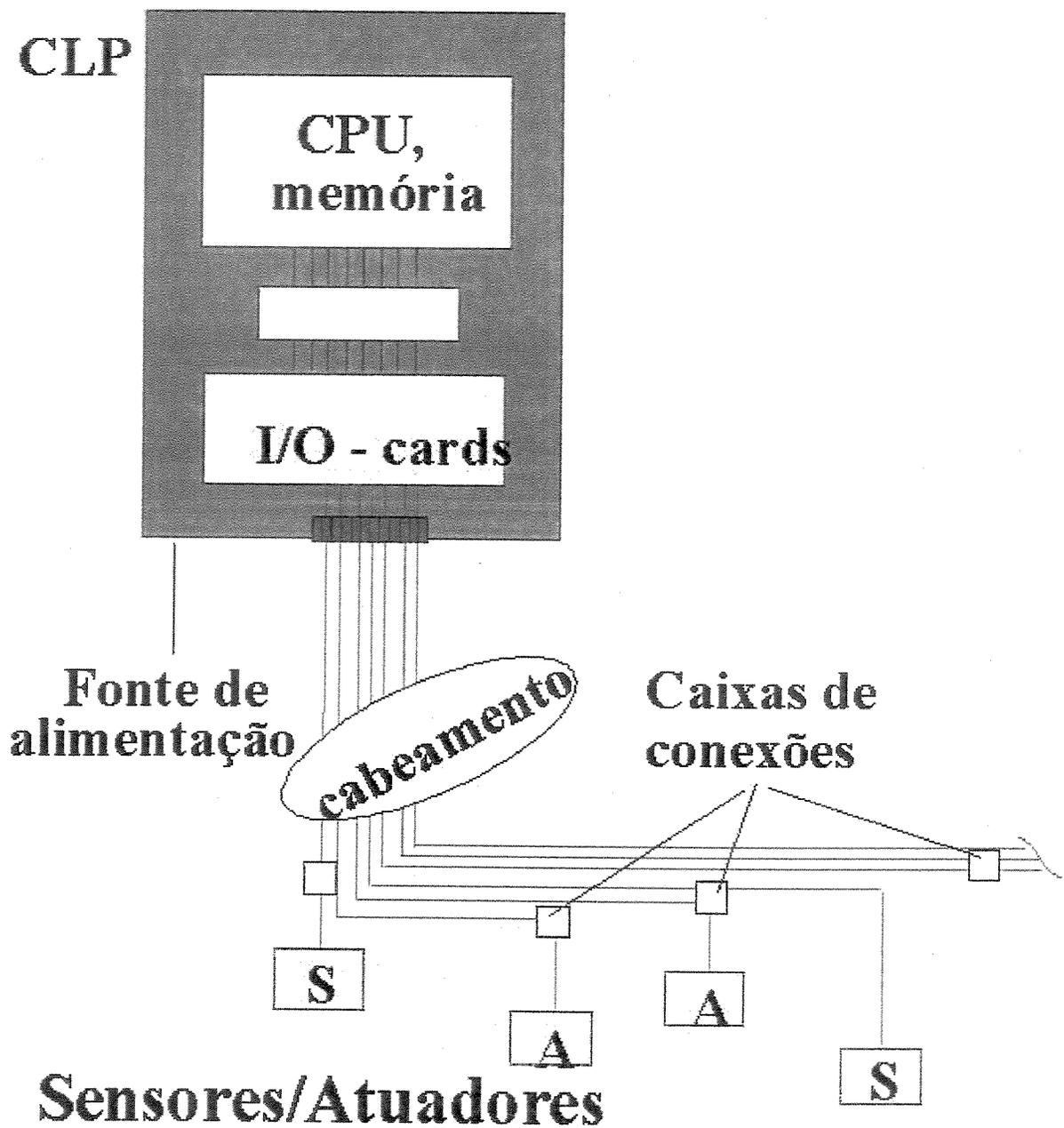


Figura 4.1 - Sistema convencional (Fonte – Iorio).

Entre o campo e a sala de controle, a comunicação é feita através de transferência de informação ponto-a-ponto. Os elementos de nível zero são totalmente desprovidos de capacidade de processamento. Isso implica um tempo para o controle, uma vez que os dados, são continuamente transmitidos aos controladores, que vão, aí sim, realizar a consistência dos dados, verificando a mudança de estado dos atuadores, válvulas, etc para, depois, transmitir-lhes a ordem (fig. 4.2).

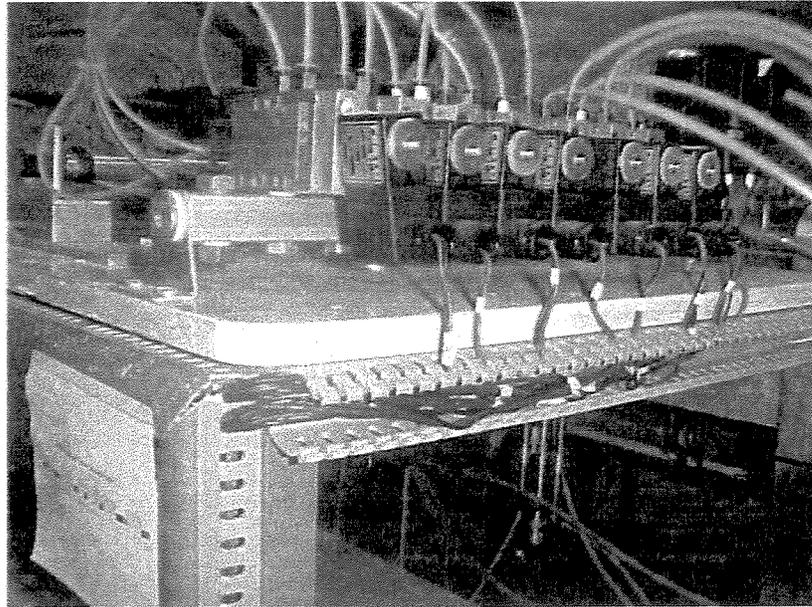


Figura 4.2 – Plataforma PIPEFA, bloco de válvulas de comando (Fonte – UNICAMP).

A capacidade de informação é limitada, somente uma informação, valor de uma variável, pode ser transmitida, e somente em uma direção. Além disso, a grande quantidade de entradas e saídas digitais ou analógicas exigidas dos controladores (fig. 4.3), as ligações são diretas e requerem mesma quantidade de entradas, cabos e saídas, bem como a enorme extensão de fiação necessária às ligações ponto-a-ponto

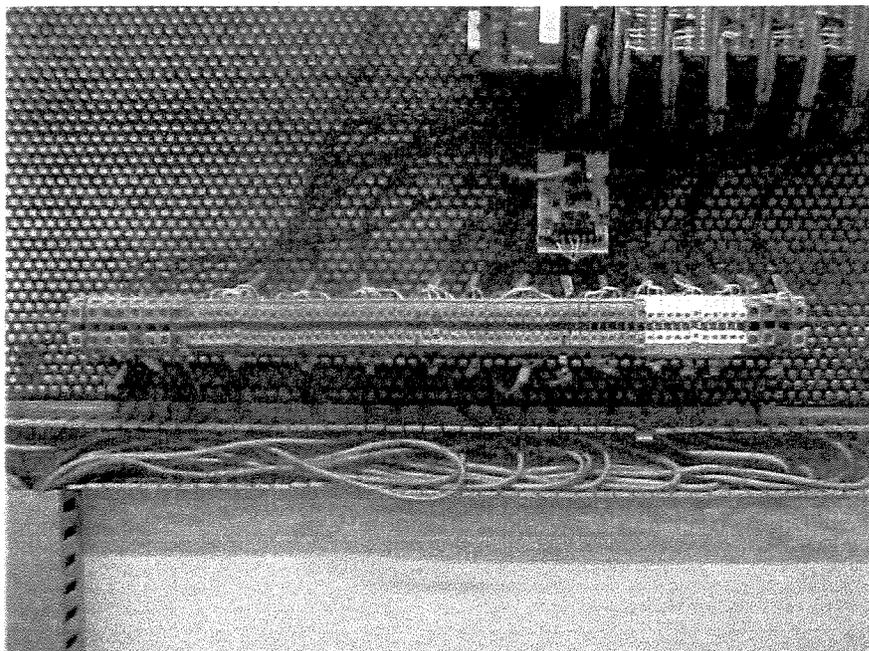


Figura 4.3 - Plataforma PIPEFA, ligação ponto a ponto no CLP (Fonte – UNICAMP).

O número elevado de componentes nessas instalações é algo desvantajoso, requerendo ainda para as ligações uma grande quantidade de bornes, terminais, caixas de passagens (fig. 4.4).

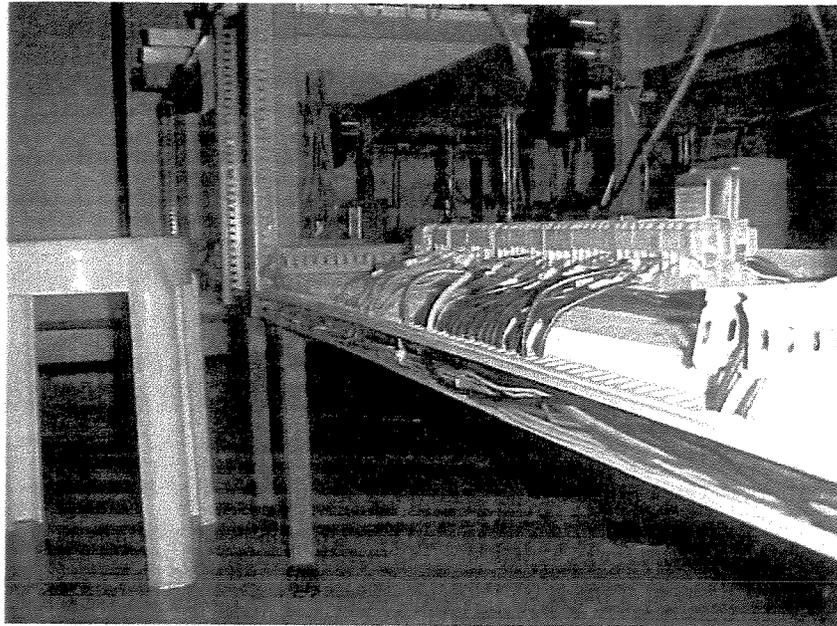


Figura 4.4 – Plataforma PIPEFA, parte do cabeamento (Fonte – UNICAMP).

Os conjuntos de calhas para o acondicionamento dos condutores, o espaço requerido, as estruturas de sustentação, tudo contribui para aumentar o custo da automação (fig. 4.5), devem ser analisados no projeto, fatores significativos que implicam em custos ou prejuízos como o tempo da montagem; a mão-de-obra; o tempo de start-up e manutenção futura.

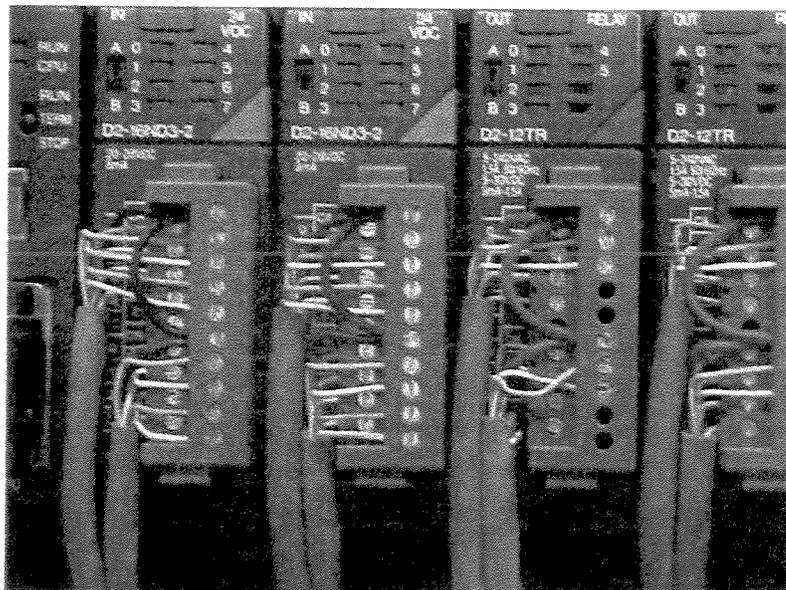


Figura 4.5 – PIPEFA, maior preço do CLP, quantidade de I/Os (Fonte – UNICAMP).

A grande quantidade de condutores, acarreta dificuldade para a instalação, identificação e, a ligação ponto a ponto normalmente gera um nível muito elevado de retrabalho.

Nos contratos de engenharia, geralmente existem cláusulas de multa por atraso de entrega, o retrabalho quase no término dos serviços, no momento do start-up, poderá contribuir para a incidência dessa multa. Sem contar-se ainda que a realização de manutenção no futuro será outro problema, bem como necessidades de expansões, modificações, atualizações.

Os sistemas convencionais apresentam vantagens e desvantagens como [IORIO, 1995]:

Vantagens:

- Simplicidade técnica;
- Nível de descentralização dos elementos de campo é total.

Desvantagens:

- Maior custo, em função da quantidade de componentes para a instalação, de cabos elétricos; tempo de mão de obra;
- Necessidade de "lay out", para a passagem das muitas calhas para os cabos elétricos; de construção de estruturas de sustentação para as calhas;
- Maior tempo de montagem da instalação, estruturas, passagem dos cabos, ligação ponto a ponto entre os elementos de campo e a sala de controle;
- Maior preço do controlador em função da configuração, número de placas de I/Os;
- Grandes armários para os controladores; ocupação de espaço;
- Maior tempo de start-up, comissionamento, dificuldade em detectar e solucionar as falhas de interligação entre os elementos de campo e o controlador;
- Incidência de multa contratual por atrasos, perda de produção;
- Maior dificuldade de inserção de novos elementos para futuras ampliações do processo produtivo, modificações;
- Maior dificuldade de manutenção.

## 4.2 Sistemas multipolos - Uma evolução dos sistemas convencionais [IORIO, 1995].

Os sistemas multipolos concentram componentes como válvulas, entradas de sinais, num conjunto definido como terminais de válvulas com conector múltiplo (fig. 4.6), que são interligados à sala de controle por meio de multicabos, continuando discretas as ligações de saída das válvulas. Este tipo de arquitetura agrega a parte pneumática em bases manifold que centralizam as conexões de alimentação e escapes de ar.

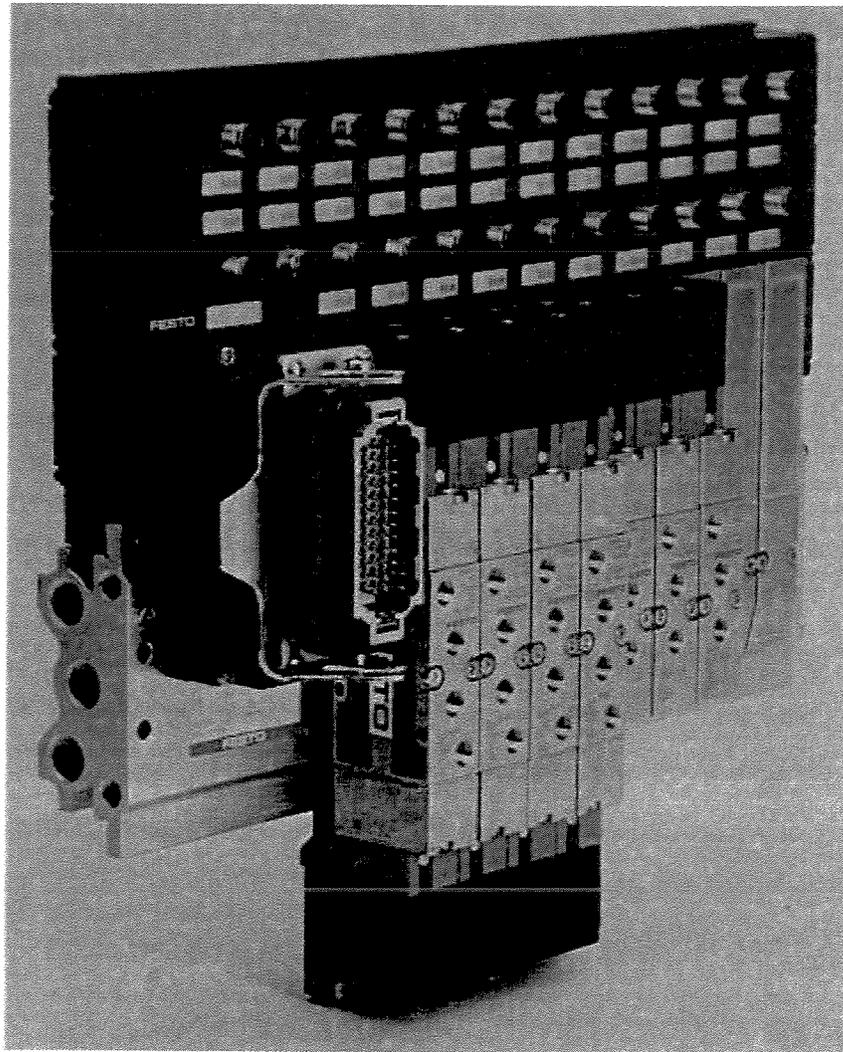


Figura 4.6 – Terminal de válvulas com conector múltiplo (Fonte – Festo AG e CO).

A parte elétrica também fica concentrada no bloco, as válvulas são encaixadas em soquetes e todas interligadas a um conector multipolo, onde um cabo múltiplo é montado (fig. 4.7; 4.8).

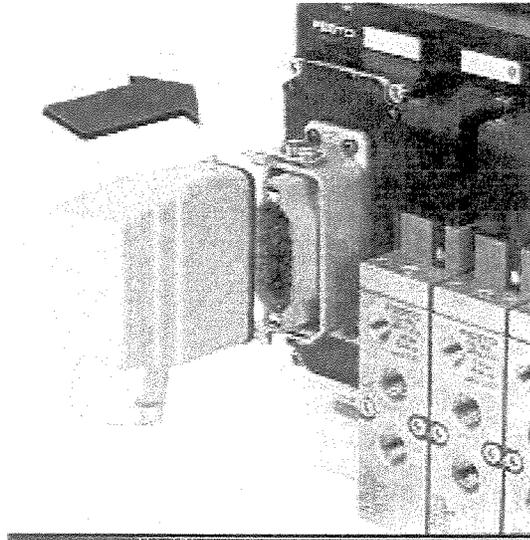


Figura 4.7 - Conector múltiplo, para multicabo (Fonte – Festo AG e CO).

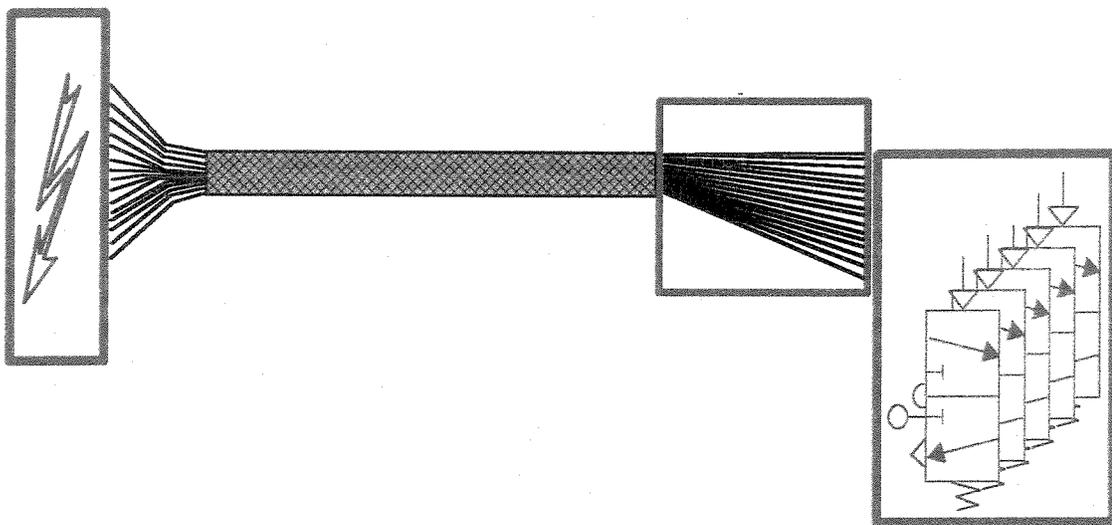


Figura 4.8 - Transmissão por multicabo.

Devido a esta configuração, pode-se considerar que este sistema apresenta condições mais favoráveis para as instalações como:

- Utilização de cabos múltiplos;
- Conexão simultânea dos cabos;
- Incorporação das ligações das válvulas solenóides e entradas de sensores;
- Pontos principais da pneumática centralizados (fig. 4.9).

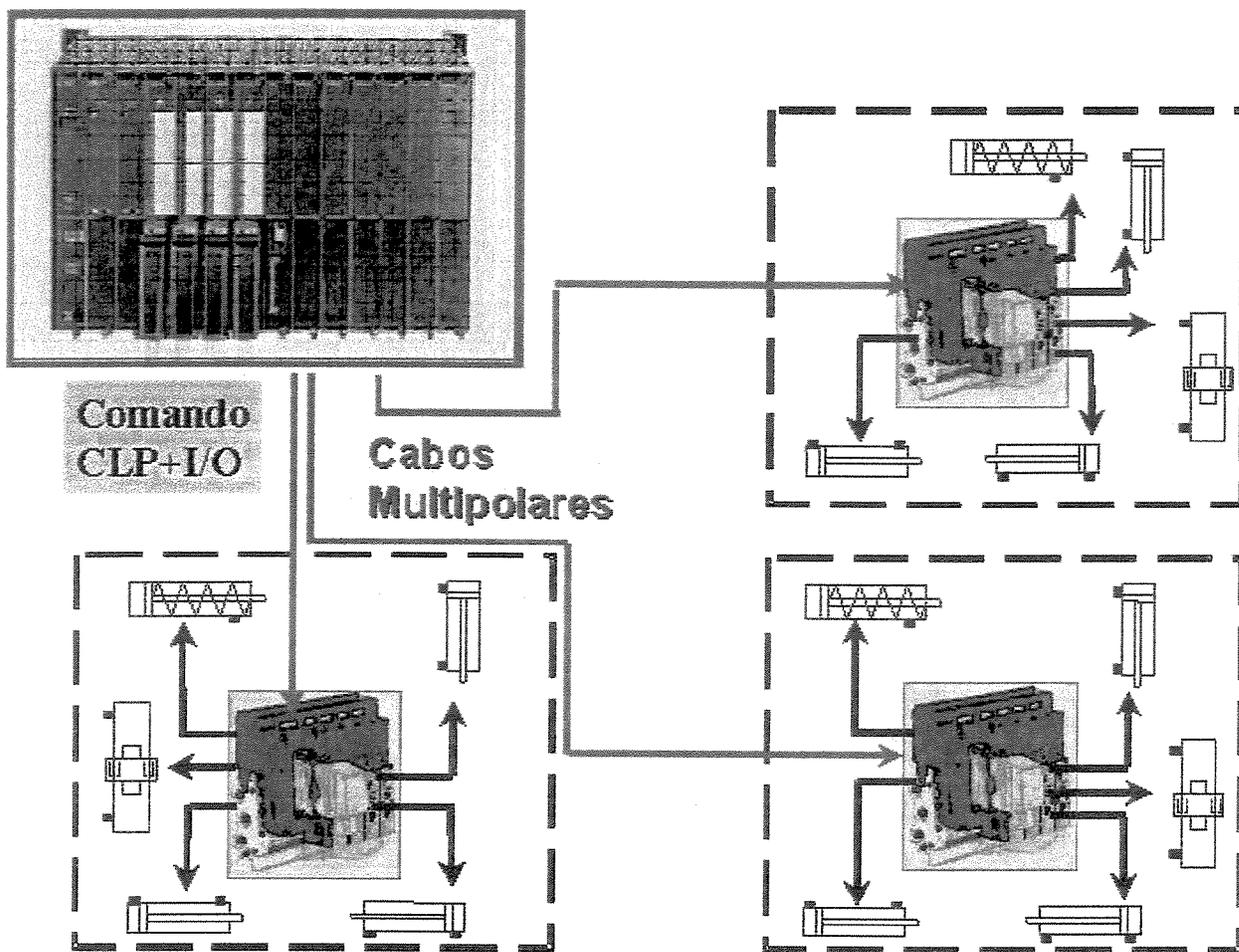


Figura 4.9 - Sistema multipolo.

Estas condições tornam as instalações elétricas melhores, os cabos são múltiplos, concentram todos os condutores, temos uma redução de calhas e também otimizamos os tempos de montagens (fig. 4.10).

As ligações elétricas garantem flexibilidade em possíveis substituições pois os cabos são montados no conector múltiplo que conecta todos os pontos simultaneamente.

As válvulas solenóides do terminal, permitem uma rápida substituição sem problemas de inversão, montagem incorreta (elétrica ou pneumática) e como no manifold as ligações pneumáticas ficam centralizadas, tem-se simplificação nas instalações e substituições.

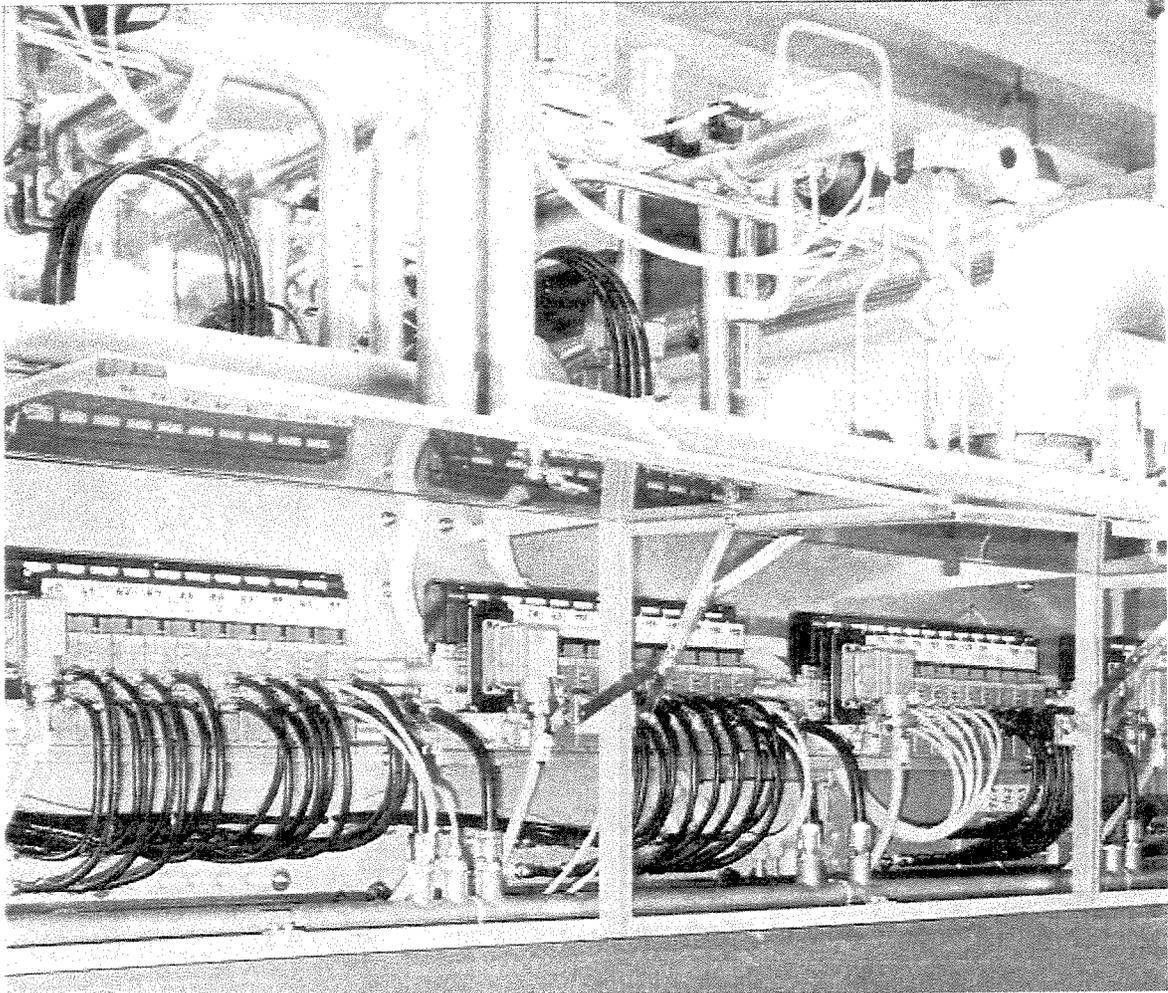


Figura 4.10 - Instalação com o sistema multipolo (Fonte – Festo AG e CO).

Porém ainda permaneceram algumas desvantagens como:

- Custo, em função da quantidade de componentes, tempo de mão de obra;
- A montagem ponto a ponto permaneceu para a interligação entre os elementos de campo e a sala de controle influenciando o tempo de montagem,
- Não foi possível reduzir o preço do controlador, em função das placas de I/Os; ocupam o mesmo número de sinais e acionamentos do sistema.
- Grandes armários para os controladores; ocupação de espaço.
- O fato do sistema trabalhar com cabos multipolos permite uma desconexão rápida e simultânea, porém as detecções de falhas nestes casos tornam-se difíceis e trabalhosas.

### 4.3 O Fieldbus.

A instrumentação analógica, largamente difundida hoje no mundo todo, consiste de dispositivos de nível zero, sensores, transmissores, atuadores, chaves, analógicos controlados à distância por equipamentos de controle CLPs, SDCDs, controladores multimalhas, cartões de I/O digitais. A comunicação entre o campo e a sala de controle é feita através de transferência de informação ponto-a-ponto representada pelo padrão 4-20 mA.

Assim, os equipamentos da sala de controle necessitam de conversores analógicos/digitais de modo a "entender a mensagem vinda do transmissor situado no nível zero, este também necessita de conversor digital/analógico para admitir a mensagem do controlador. Ou seja, numa configuração deste tipo, torna-se difícil o controle em tempo real das variáveis de processo ou manufatura, por várias razões.

Primeiro, os elementos de nível zero são totalmente desprovidos de capacidade de processamento, posto serem equipamentos analógicos. Isso implica um tempo elevado para o controle, uma vez que os dados, independentemente de sua importância (implicando ou não a atuação do controle), são continuamente transmitidos aos controladores, que vão, aí sim, realizar a consistência desses dados, verificando a virtual necessidade de mudança de estado dos atuadores, válvulas, etc, para depois, transmitir-lhes a ordem.

Além disso, a grande quantidade de entradas e saídas digitais e analógicas exigidas dos controladores, bem como a enorme extensão de fiação necessária às ligações ponto-a-ponto, o que também implica elevados custos de instalação e manutenção, tornam a instalação desse tipo de configuração bastante onerosa.

A comunicação digital não necessita mais de um meio físico de comunicação nas dimensões dos empregados atualmente na comunicação analógica. O trânsito de dados pela rede é agora muitas vezes menor, em vista de quase todas as funções de controle serem realizadas localmente. Daí a possibilidade de se empregar um barramento único, ligando o campo ou chão de fábrica ao nível 1, gerenciamento e supervisão, e compartilhado por vários instrumentos. É um

barramento serial, digital, bidirecional, associado a protocolos de controle de enlace de dados e de interface a sistemas usuários (fig. 4.11).

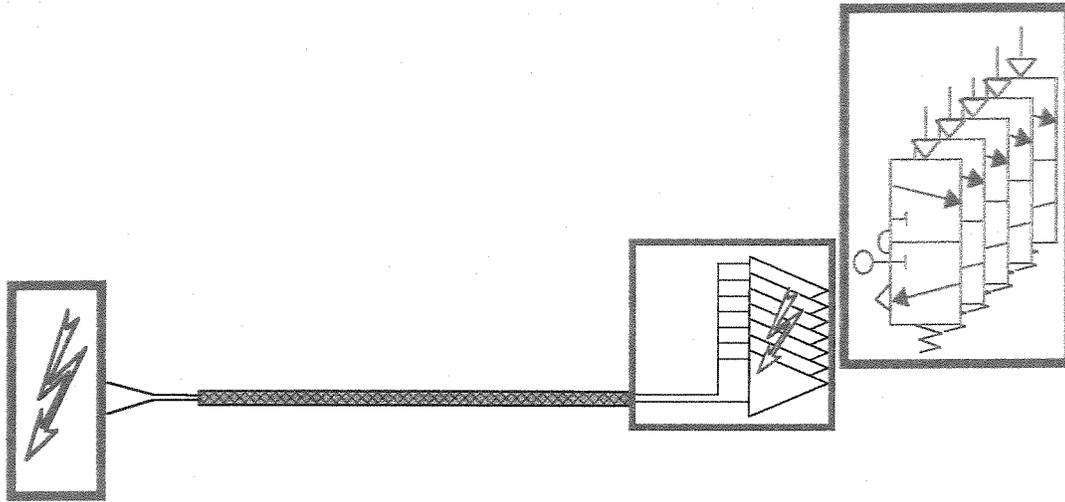


Figura 4.11 - O fieldbus.

Numa analogia, se até agora existia um volume grande de informações viajando em transporte individual, ligações ponto-a-ponto, doravante se terá um volume de informações viajando por transporte coletivo, barramento compartilhado.

A esse barramento e às especificações de protocolos que ordenam essa comunicação digital batizou-se genericamente de Tecnologia Fieldbus e, essa idéia encontrou rápida acolhida entre usuários e fabricantes no mundo. (fig. 4.12).

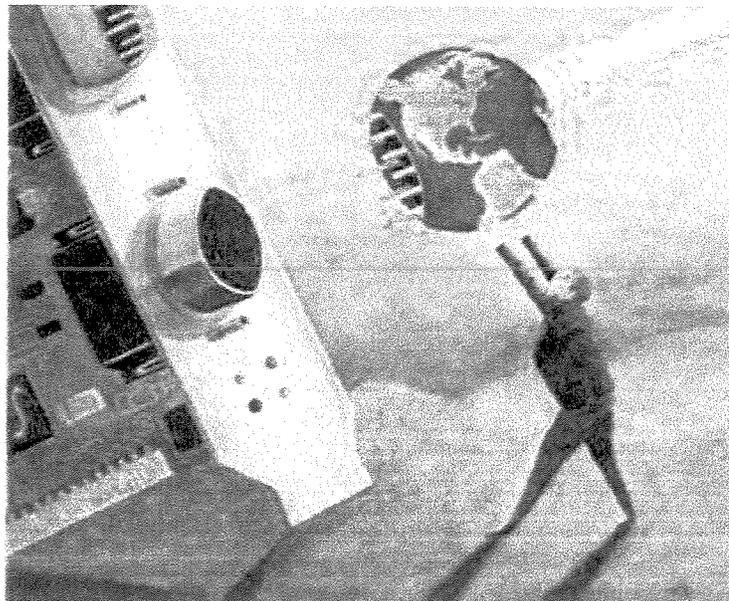


Figura 4.12 – Fieldbus, a revolução na comunicação (Fonte – American Show Case).

### 4.3.1 O que é Fieldbus?

Fieldbus é um sistema de comunicação digital bidirecional que interliga equipamentos inteligentes de campo com sistema de controle ou equipamentos localizados na sala de controle, em um ambiente industrial. Utiliza geralmente como meio físico, para as transmissões, um par de condutores trançados ou fibra óptica, formando uma topologia de rede multipontos, onde um mestre comanda os participantes, por meio de sinais seriais, por exemplo no padrão RS 485 e permite comunicação entre uma variedade de equipamentos como: terminais de válvulas; CLPs; leitora de código de barras; indicadores dedicados; programadores; Robôs...(fig. 4.13) [IORIO, 1998 ].

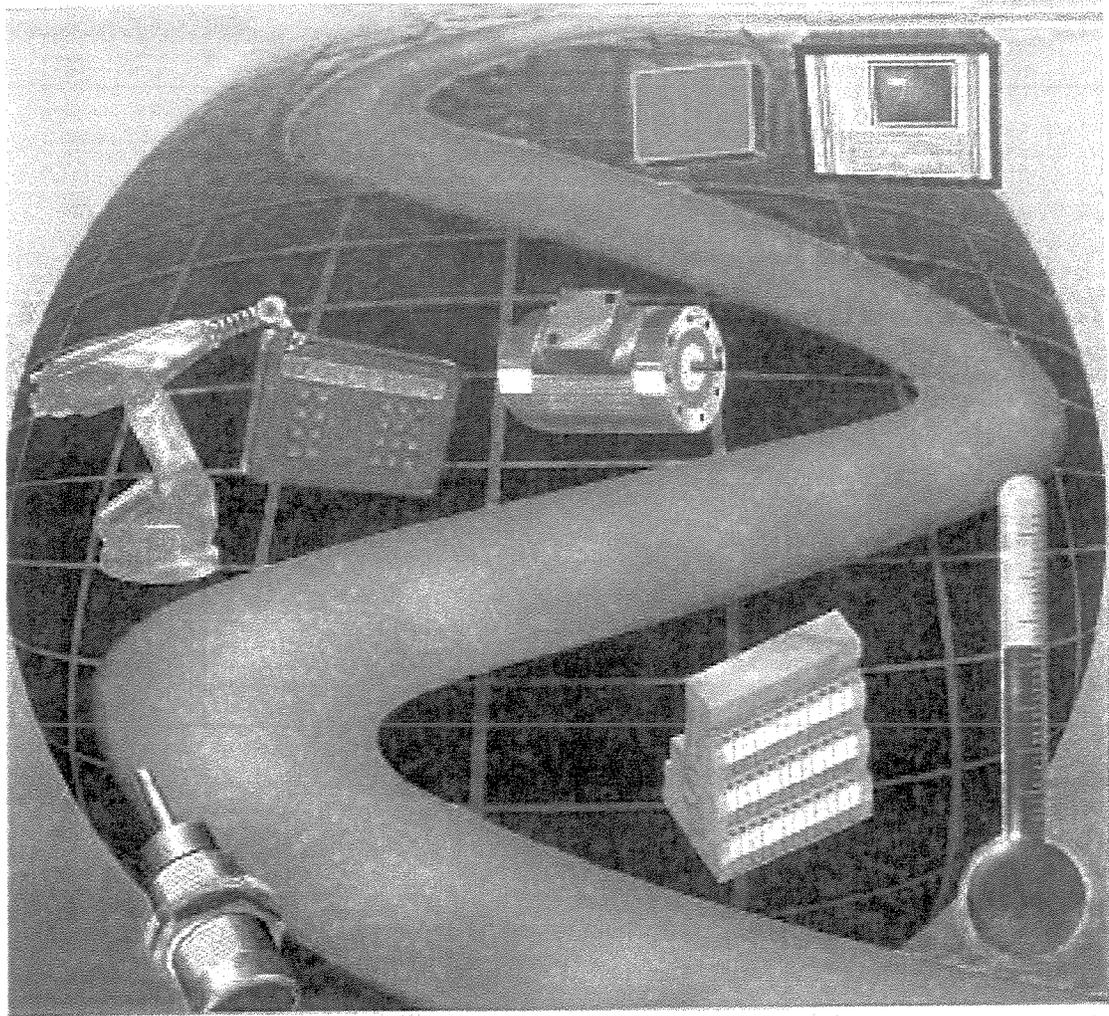


Figura 4.13 - Fieldbus, a comunicação digital (Fonte – INTERBUS).

O fieldbus é baseado no modelo OSI, para representar as várias funções requeridas em uma rede de comunicação. O modelo OSI tem sete níveis, como já apresentado, cada um com uma tarefa específica. O modelo também estabelece que os níveis devem ser independentes. O modo para transmitir um sinal fisicamente pode mudar, porém, o caminho para interpretar este sinal deve permanecer o mesmo. Assim, o conceito pode ser entendido melhor quando comparado com o código "MORSE". O código "MORSE" pode ser enviado tanto se transmitido por luz, som ou um outro tipo de transmissão de sinal.

#### **4.3.2 Mais vantagens do sistema fieldbus [IORIO, 1995].**

- Menores custos de fiação, o que inclui o projeto do sistema de calhas/ suporte, número de fios, instalação e manutenção;
- Menores custos de instalação e, também, partida, uma vez que a comunicação digital permite verificar as conexões e o estado dos aparelhos à distância;
- Menor quantidade de bornes nos painéis e equipamentos da sala de controle;
- Maior tolerância a ruído, característica do sinal digital;
- Maior simplicidade do projeto de automação;
- Maior facilidade de emprego de dispositivos de campo inteligentes; e
- Menor custo e maior facilidade de expansão.

#### **4.3.3 Terminal de válvulas, a base para a rede fieldbus.**

Com a introdução de elementos inteligentes no campo, exemplo: os terminais de válvulas, a tecnologia fieldbus, é reconhecida por muitos como agente de grande revolução na automação de manufatura e controle de processos.

Os impactos, as expectativas, as divergências de concepção, as disputas de mercado, têm tornado o tema bastante discutido internacionalmente, ao lado de tentativas de padronização de protocolos de comunicação, de modo a estabelecer uma mesma base de diálogo entre os diferentes componentes de campo produzidos pelos diversos fabricantes.

Existem nos mercados mundiais, diversos fabricantes de terminais de válvulas. Neste trabalho utiliza-se as informações técnicas do Terminal de Válvulas MIDI MAXI, da empresa FESTO AG e CO Esslingen. Empresa alemã com sede em São Paulo. [1 FESTO AG e CO, 1997]; [2 FESTO AG e CO, 2000]; [3 FESTO AG e CO, 2000]; [4 FESTO AG e CO, 2000]; [5 FESTO AG e CO, 2000]; [ 6 FESTO, 2001 ].

O terminal de válvulas, é um equipamento completo, pronto para ser ligado a uma rede fieldbus, e será responsável pelo acionamento dos elementos de trabalho no campo (fig. 4.14).

Sua construção é dividida em 3 partes: 1 – parte eletroeletrônica; 2 – protocolo ou interface de comunicação; 3 – parte pneumática.

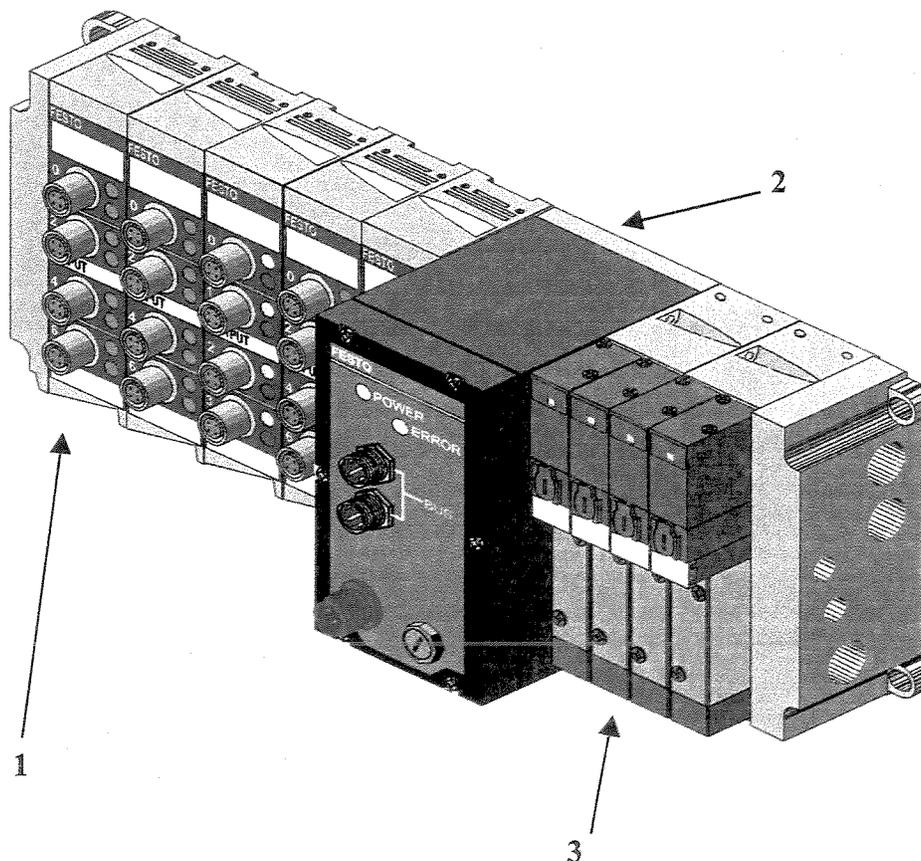


Figura 4.14 - O Terminal de Válvulas Midi Maxi (Fonte – Festo AG e CO).

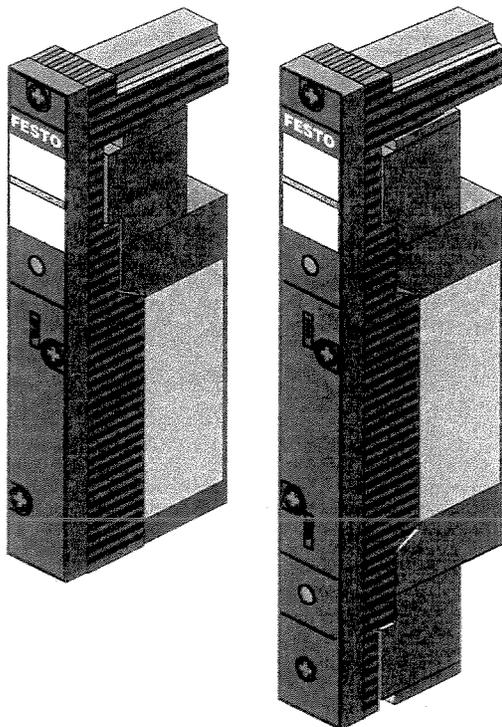
### 4.3.3.1 Parte pneumática do terminal.

É composta por diversos tipos e tamanhos de válvulas direcionais com acionamento por solenóides. A composição depende de cada tipo de terminal e as válvulas devem atender as necessidade técnica operacionais dos atuadores. Neste caso as válvulas utilizados são do tipo Midi e Maxi, que também definem o nome do tipo do terminal.

#### Válvulas Midi e Maxi.

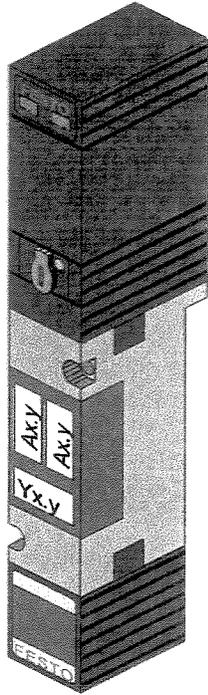
As válvulas direcionais utilizadas neste equipamento, são montadas em base manifold, que canalizam os canais de alimentação de ar comprimido e os escape do ar que foi utilizado pelos atuadores pneumáticos, espalhados no campo.

Estas válvulas são de acionamento elétrico e as bobinas são conectadas diretamente na base manifold, através dessa conexão, as válvulas recebem os sinais de comando (fig. 4.15 e 4.16).



- Largura : 18 mm
- Conexão : 1/8"
- Vazão: 500 l/min
- Potência da bobina: 1.3 W
- Tipos de válvulas: com piloto externo
  - 5/2 simples solenóide
  - 5/2 duplo solenóide
  - 5/3 duplo solenóide, com vários tipos de centros: fechado, aberto negativo, aberto positivo.

Figura 4.15 - Válvulas Midi (Fonte – Festo AG e CO).



- Largura : 24 mm
- Conexão : 1/4"
- Vazão : 1100 l/min
- Potência da bobina : 1.3 W
- Tipos de válvulas: com piloto externo.
  - 5/2 simples solenóide
  - 5/2 duplo solenóide
  - 5/3 duplo solenóide, com vários tipos de centros: fechado, aberto negativo, aberto positivo.

Figura 4.16 - Válvulas Maxi (Fonte – Festo AG e CO).

#### Placas e sub-bases.

Para a montagem das válvulas, existem dois tipos de sub-bases, selecionados em função do tipo de válvula ser simples ou duplo solenóide (fig. 4.17), e para o fechamento do terminal são

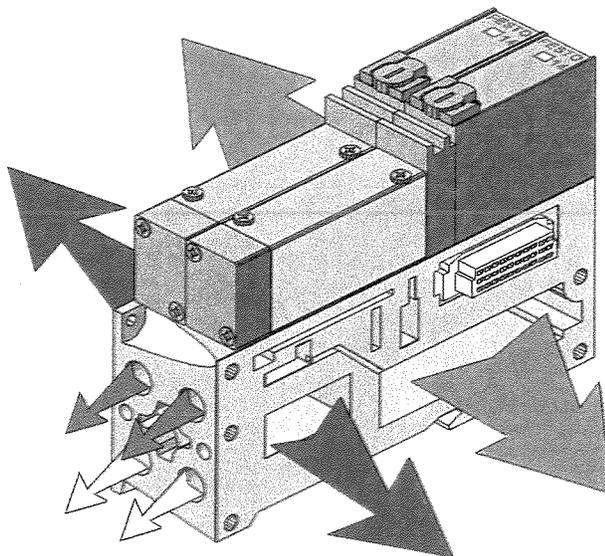


Figura 4.17 - Válvulas Midi montadas na sub-base (Fonte – Festo AG e CO).

necessárias as placas terminais e, para atender as mais diversas necessidades das aplicações, existem ainda várias placas intermediárias específicas. Como o terminal é modular, podem ser montadas, fornecidas de fábrica ou quando de uma modificação de projeto (fig. 4.18).

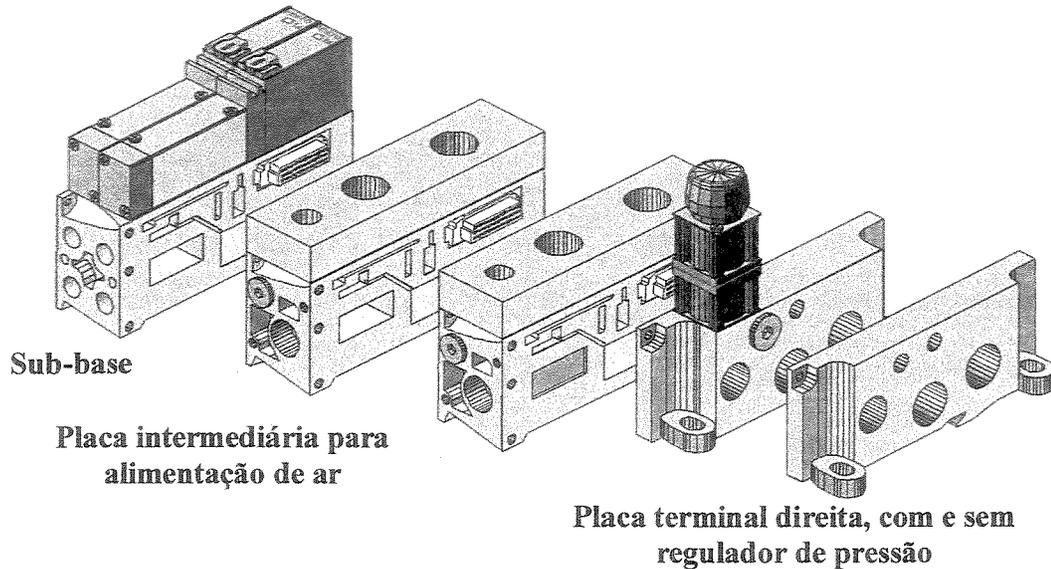


Figura – 4.18 - Tipos de sub-bases/placas o Terminal Midi Maxi (Fonte – Festo AG e CO).

Algumas aplicações das placas intermediárias:

- O terminal é composto por muitas válvulas e, a pressão deve ser mantida estável nas válvulas que estão distantes da placa terminal (fig. 4.19).

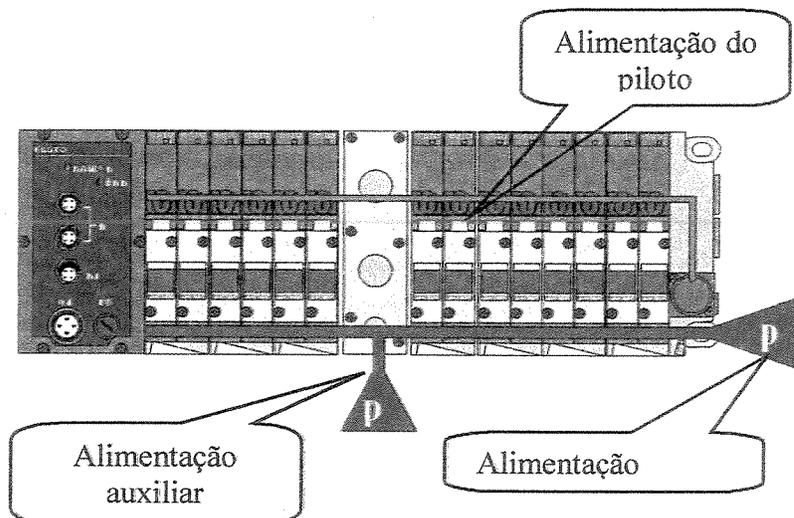


Figura 4.19 - Utilização de placa para alimentação auxiliar (Fonte – Festo AG e CO).

- Necessita-se de pressões diversas no terminal. A placa separadora é utilizada para permitir esta condição (fig. 4.20).

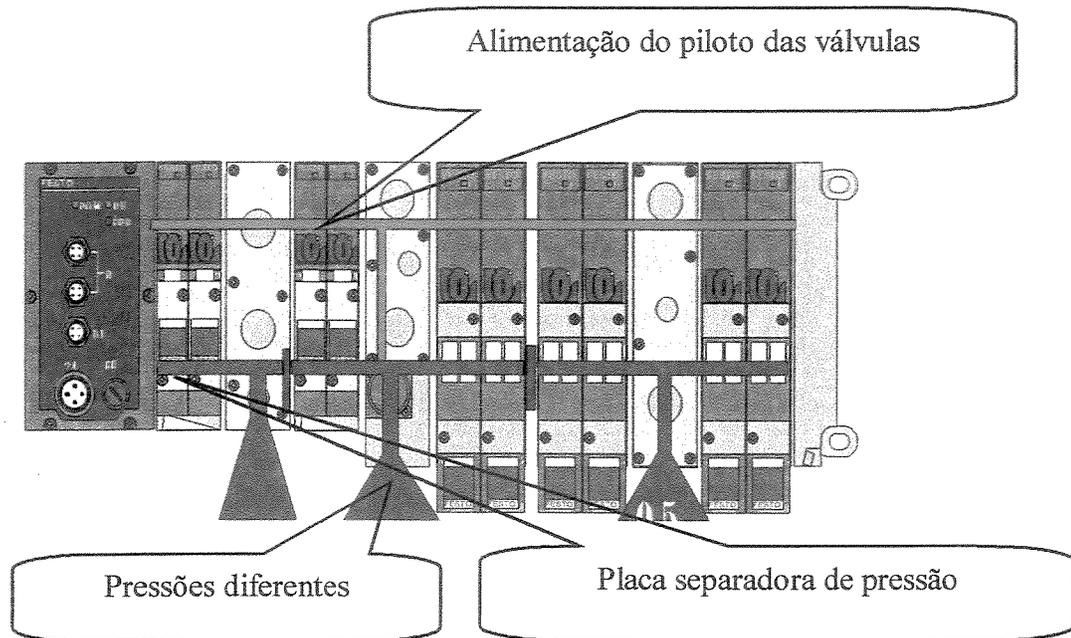


Figura 4.20 – Placa separadora para diversas regiões de pressão (Fonte – Festo AG e CO).

- Placa de conversão, transição de válvulas Midi para Maxi. Existem placas que não possuem regulador de pressão para a linha de pilotagem auxiliar e placas que possuem regulador de pressão (fig. 4.21).

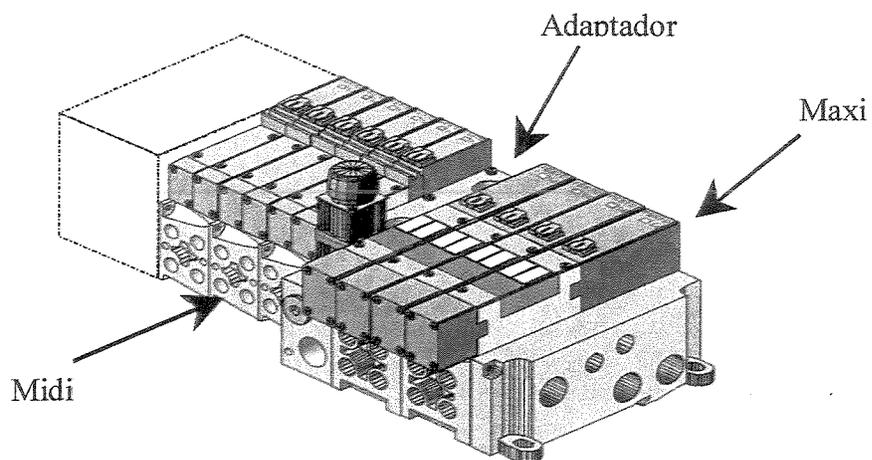


Figura 4.21 - Placa de transição com regulador de pressão (Fonte – Festo AG e CO).

#### 4.3.3.2 Parte eletroeletrônica do terminal.

A parte eletroeletrônica, conforme a (fig. 4.22), é composta por uma série de opções de módulos de entradas, saídas digitais, analógicas e outras funções específicas, que recebem as informações, sinais do campo, além de outros módulos não apresentadas no trabalho.

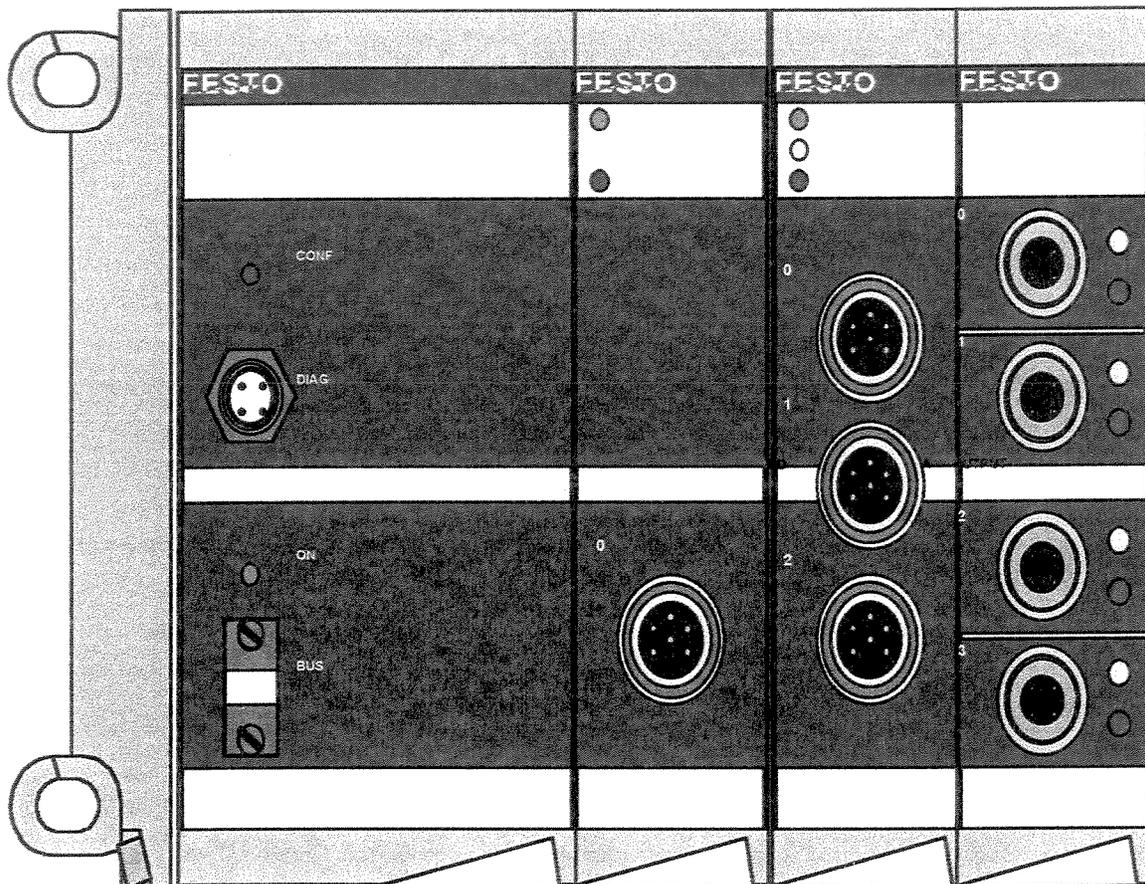
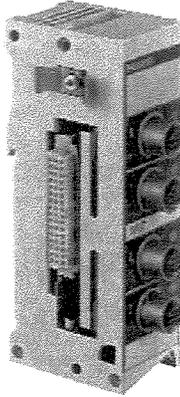


Figura 4.22 – Parte eletroeletrônica do terminal (Fonte – Festo AG e CO).

#### Módulo de entrada digital.

Os módulos conforme a (fig. 4.23), são utilizados PARA monitorar por meio dos sinais elétricos provenientes de elementos que estão no campo, como sensores, botões, chaves fim-de-curso, etc. Cada um destes elementos são considerados como entradas, neste caso, entradas digitais, e são os elementos que sinalizam ao controlador principal o que está ocorrendo no

processo produtivo, como por exemplo se uma válvula foi aberta, nível lógico alto 24 Vcc, ou não foi aberta, nível lógico baixo 0 Vcc, além de outros elementos.



**Versão PNP.**

- Com 4 entradas 24 Vcc com conector M12
- Com 8 entradas 24 Vcc, duas entradas por conector M12

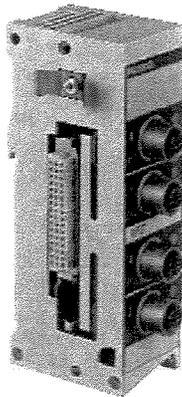
**Versão NPN.**

- Com 4 entradas 24 Vcc com conector M12
- Com 8 entradas 24 Vcc, duas entradas por conector M12.

Figura 4.23 - Módulo de entradas digitais (Fonte – Festo AG e CO).

**Módulo de saída digital.**

Estes módulos (fig. 4.24), são utilizados para comandar elementos espalhados no campo, podem acionar por exemplo uma lâmpada de sinalização, uma sirene, um contator de partida de motor, uma válvula hidráulica etc.



**Versão PNP.**

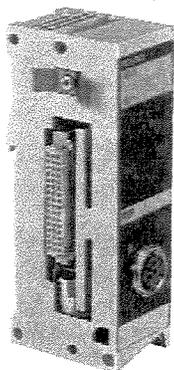
- 4 saídas 24 Vcc 500 mA com conector M12

Figura 4.24 - Módulo de saídas digitais (Fonte – Festo AG e CO).

**Módulo analógico proporcional.**

O módulo proporcional (fig. 4.25), é específico para o comando direto de válvulas proporcionais de pressão da Festo. As válvulas proporcionais de pressão, proporcionalmente a

um sinal elétrico analógico entre 0 mA e 20 mA, variam a pressão de saída em função do valor de fundo de escala da válvula. O trabalho não comenta sobre este tipo de equipamento.

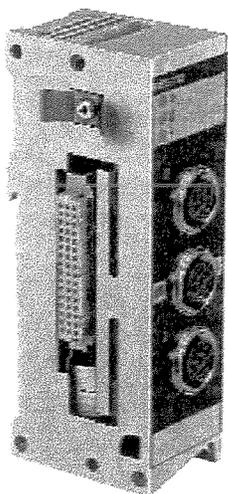


- Uma entrada analógica
- Uma saída analógica
- 4.....20 mA
- Resolução 10 bits
- Tempo de amostragem 0.12 ms
- Tempo de atualização: entrada 1 ms; saída 0.25 ms.
- Precisão: 0,5% ..... 0.8%

Figura 4.25 - Módulo analógico proporcional (Fonte – Festo AG e CO).

#### Módulo analógico universal.

Estes módulos (fig. 4.26), fornecem sinais de saída analógica de 0 Vcc a 10 Vcc ou de 0 mA a 20 mA, e são utilizados para controlar diversos tipos de elementos que estão no campo, como por exemplo controladores de temperatura. Além destas saídas, estes módulos possuem entradas para sinais analógicos em corrente 0 mA a 20 mA ou em tensão 0 Vcc a 10 Vcc, estas entradas podem por exemplo monitorar a o fluxo de um determinado fluido através de um elemento medidor de fluxo que fornece uma saída analógica proporcional a intensidade do fluxo que o processo produtivo está consumindo.

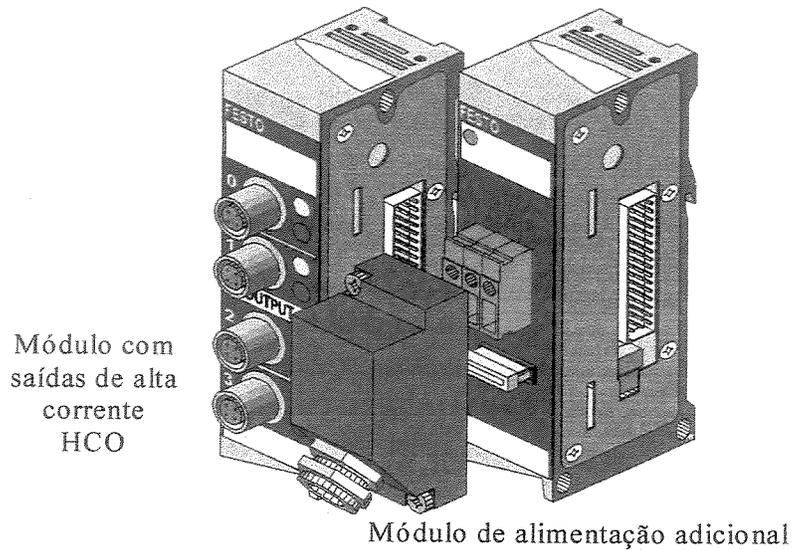


- 3 entradas analógicas
- 1 saídas analógicas
- Disponíveis em: corrente 4.....20 mA; tensão 0.....10 V
- Resolução 10 bits
- Tempo de amostragem 0.12 ms
- Tempo de atualização: entrada 2 ms; saída 0.5 ms
- Precisão: 0.4% ..... 0.8%

Figura 4.26 - Módulo analógico universal (Fonte – Festo AG e CO).

## Módulo de alta corrente.

O módulo HCO - High Current Output (fig. 4.27), de alta corrente de saída ou de alimentação adicional, atende aplicação que possuem maior consumo de energia, que necessitam comandar dispositivos de alta potência, como válvulas hidráulicas, motores etc.



### Módulo com alta corrente de saída.

- 4 saídas
- 2 A por saída
- 8 A por módulo
- Versão PNP ou NPN
- Usado com: qualquer protocolo; todas as interfaces inteligentes.

- Nunca é usado sem o módulo de alimentação adicional

- Dependendo do consumo podem ser utilizados até 11 módulos HCO em 1 terminal

### Módulo de alimentação adicional.

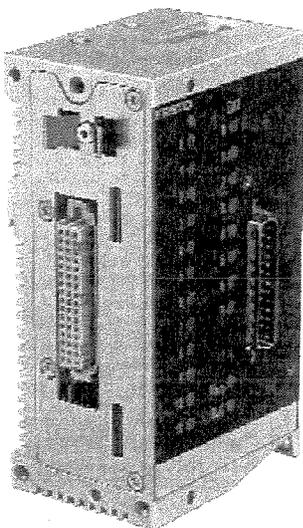
- Aplicados com os módulos HCO
- Maximo 25 A por módulo e 24 Vcc
- Conexão 3 x 4 mm<sup>2</sup>

FUSÍVEL 25 A

Figura 4.27 – Módulo de alta corrente e alimentação adicional (Fonte – Festo AG e CO).

### Módulo multi I/O.

O conceito introduzido pelos terminais de válvulas, foi muito bem aceito, mas os usuários preferem usar conectores do tipo sub-D ao invés dos relativamente caros conectores M12 sempre utilizados nos terminais. O módulo multi I/O (fig. 4.28), é uma combinação de entradas e saídas digitais com conector sub-D.



- 12 entradas digitais
- 8 saídas digitais
- 0,5 A por saída
- A prova de curto-circuito e sobrecarga
- Versões PNP ou NPN
- Possui alimentação separada para as saídas
- Totalmente compatível com a configuração do terminal
- Quando montados com o conector da Festo, o seu grau de proteção será IP-65.

Figura 4.28 – Módulo multi I/O (Fonte – Festo AG e CO).

### Módulo para sistema fieldbus descentralizado.

Este módulo (fig. 4.29), pode ser usado de diversas formas em conjunto com a interface para a rede Fieldbus Remote I/O, que permite uma melhor distribuição das entradas e saídas na aplicação de campo ou seja permite maior descentralização.

- Conexão para 4 redes
- Aloca 64 entradas e 64 saídas

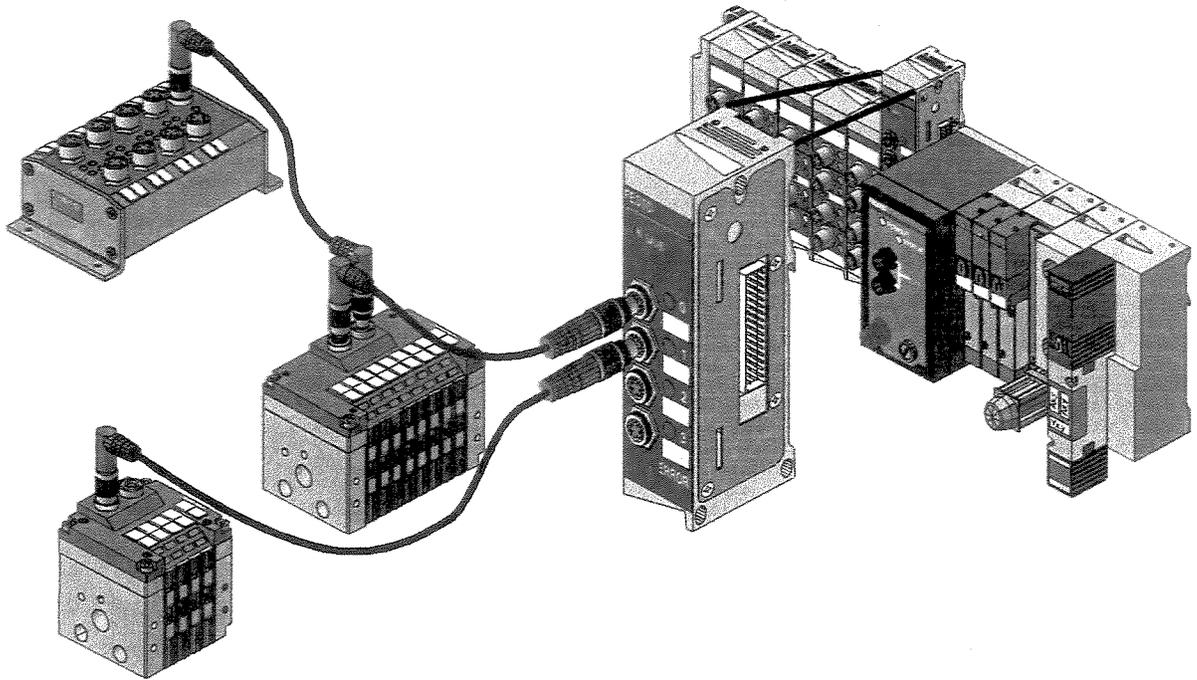
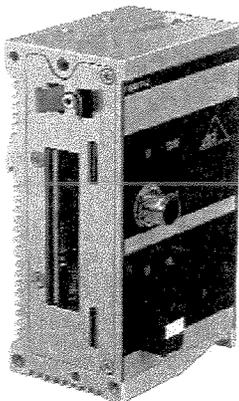


Figura 4.29 – Descentralização dos I/Os (Fonte – Festo AG e CO).

### Mestre AS-I.

AS-I, Actuator Sensor Interface, é uma rede de chão de fábrica, para interligar sensores e atuadores. O mestre AS-I (fig. 4.30), é utilizado para formar uma rede AS-I, a partir do Terminal Midi Maxi e interligar válvulas, sensores que estão distribuídos no campo, interligando-os ao controle de forma econômica (fig. 4.31).



- Até 248 pontos de I/O
- Protocolo AS-I padrão
- Cabo pode ter até 100m de comprimento sem repetidores.
- Até 31 escravos podem ser conectados na rede.

Figura 4.30 – Mestre AS-I (Fonte – Festo AG e CO).

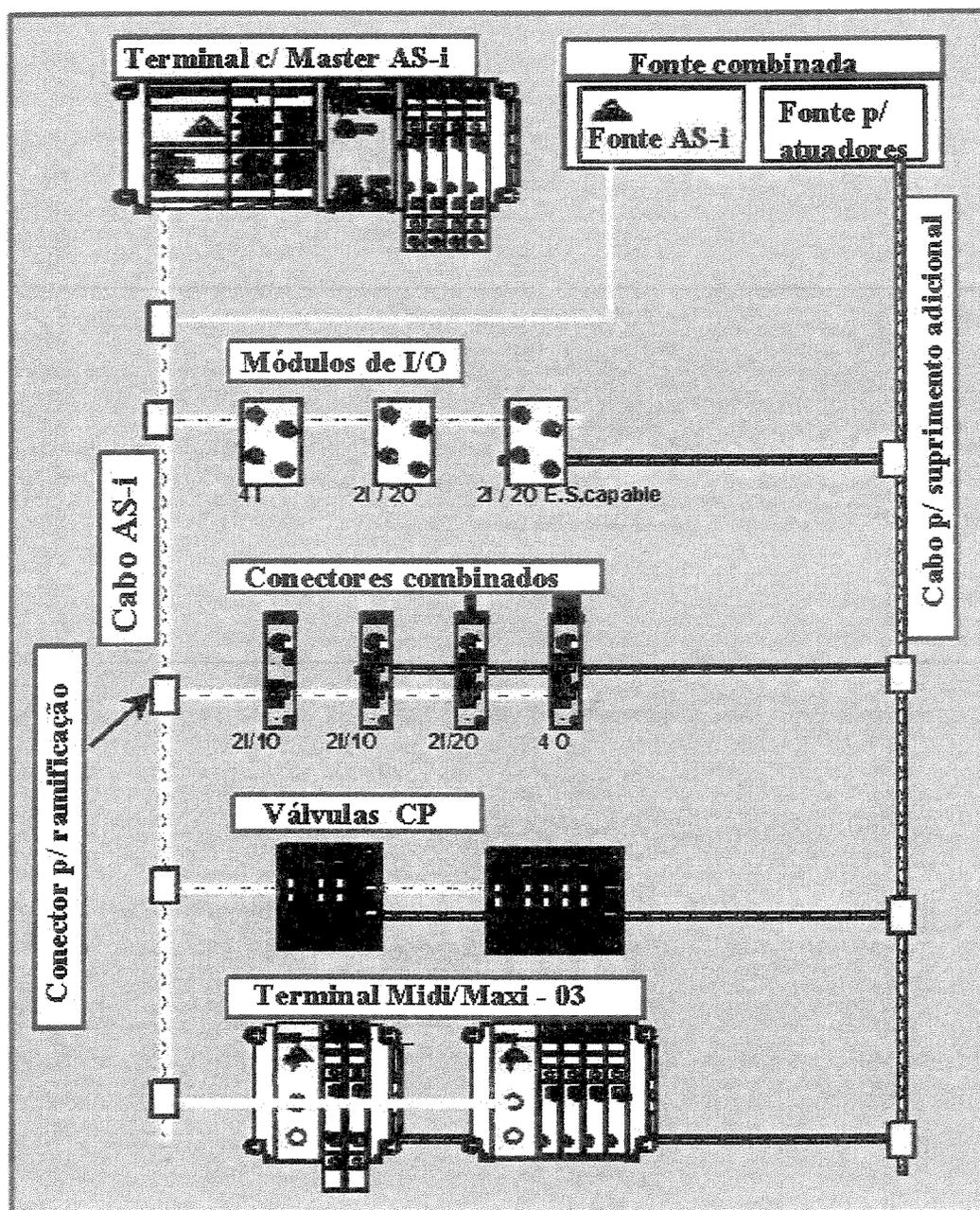


Figura 4.31 – Rede AS-I formada a partir do terminal Midi Maxi (Fonte – Festo AG e CO).

#### 4.3.3.3 Protocolo ou interface de comunicação do terminal.

Protocolos ou interfaces de comunicação, são basicamente a parte do sistema operacional da rede encarregada de ditar as normas para a comunicação entre os dispositivos, é o responsável pela comunicação entre o terminal e o mestre que controla a rede. Existem diferentes tipos de protocolos de comunicação.

## **Protocolos proprietários x abertos.**

Hoje existe uma variedade razoável de versões de especificações de protocolos de comunicação para barramentos de campo desenvolvidos pelos fabricantes de equipamentos de automação. Algumas empresas empregam seus protocolos apenas nos próprios fornecimentos, ou seja, fornecem ao cliente um pacote fechado de automação que inclui o fieldbus, os equipamentos de campo, de controle e o protocolo de comunicação.

O cliente não tem acesso à semântica do protocolo e depende do fabricante para realizar qualquer alteração ou ampliação do sistema. A esses fieldbuses fechados dá-se genericamente o nome de "protocolos proprietários".

Ao adquirir um sistema proprietário, o usuário está virtualmente preso a um único fabricante. Não conhece o sistema, não pode modificá-lo e, principalmente, apenas pode empregar componentes que sejam compatíveis com o protocolo utilizado, ou seja, fornecidos pelo próprio fabricante ou empresas a ele associados.

O ideal, na concepção da maioria dos usuários, seriam sistemas abertos, onde o sistema deixaria de ser algo impenetrável e no qual se poderia, no mínimo, conectar equipamentos de vários fabricantes, à escolha do usuário, sendo que estes componentes possam interagir.

Hoje é consenso geral que, para ser considerado aberto, um fieldbus deve possuir duas características fundamentais:

- Heterogeneidade: acolhimento de equipamentos de fabricantes diferentes; e
- Interoperabilidade: as informações devem ser interpretáveis pela entidade destinatária sem tradução de uma linguagem particular.

Como querem muitos usuários, o processo de abertura dos sistemas pode evoluir até mesmo para a intercambialidade, que seria a possibilidade de substituição de um dispositivo defeituoso por outro de mesma função, independentemente da marca.

Para que um sistema seja dotado de heterogeneidade, interoperabilidade e possivelmente intercambialidade, é pré-condição a existência de uma especificação padrão de protocolo de comunicação, que possa ser seguida pelos fabricantes dos diferentes componentes a serem conectados ao barramento. No capítulo 2, item 2.7.1, faz-se considerações sobre este assunto.

No terminal de válvulas, é necessária a existência de um elemento responsável para converter todos os sinais coletados no campo bem como todos os sinais que serão enviados para o campo em um padrão de comunicação (fig. 4.32).

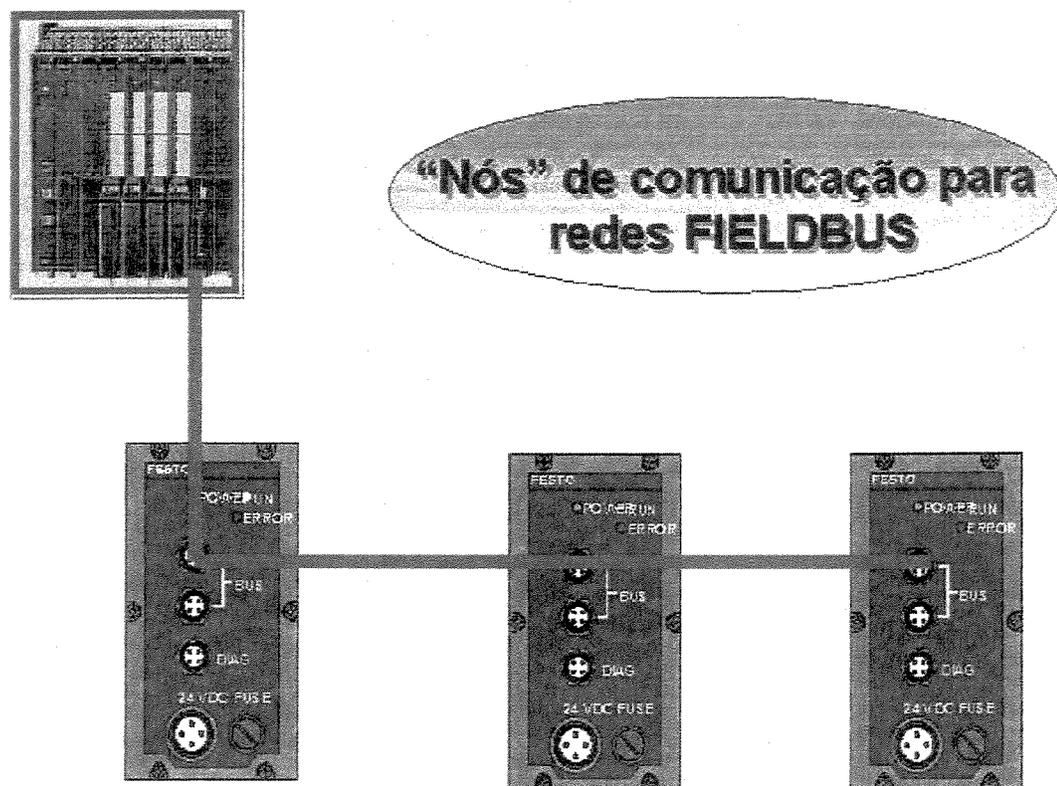


Figura 4.32 – Ligação entre protocolos (Fonte – Festo AG e CO).

### Opções de protocolos.

Uma série de protocolos foram desenvolvidos pelos fabricantes de controladores programáveis, estes responsáveis em gerenciar a rede fieldbus que estará sendo utilizada. No terminal Midi Maxi, é possível a utilização de diversos protocolos, proprietários ou não, dependendo da especificação do usuário (fig. 4.33).

## Open protocols



## Closed protocols

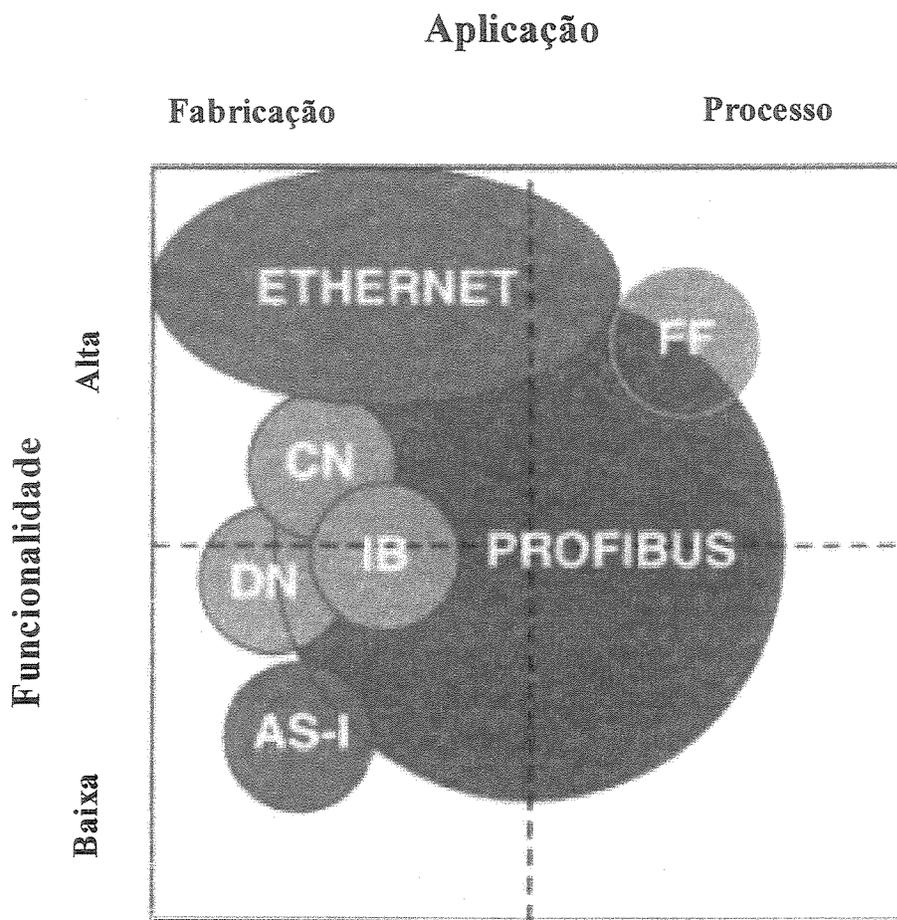
Figura 4.33 – Alguns protocolos (Fonte – Festo AG e CO).

Cada protocolo, possui suas especificações técnicas. Na tabela 4.1 temos algumas, referentes a vários protocolos utilizados pelo Terminal Midi Maxi, em função do padrão de rede Fieldbus.

Fieldbus	Protocolo para	n.º de I	n.º de O	Max. baud rate Kbit/s	Max. comp. da rede (m)
FB 5	ABB LS 31	60	64	187.5	500
	Klöckner-Moeller Suconet K	60	64	375	600
	Festo Fieldbus	60	64	375	4000
FB 6	INTERBUS	60	64	500	12800
FB7	Beckhoff I/O-Bus and comp.	28	32	2500	11000
FB 8	Allen Bradley 1771RIO	60	64	230.4	3000
FB 11	DeviceNet	60	64	500	500
	Philips DIOS	64 I/O		1000	1000
	Selectron SELECAN	64 I/O		1000	1000
FB 13	PROFIBUS-DP, 12 MB	96	74	12 000	100
FB 14	CIA CANopen	60	64	1000	
	Honeywell SDS	28	32	1000	450
FB16	ASA FIPIO	60	64	1500	1000
FB 21	INTERBUS fibre optic cable**	96	74	2000	12800

Tabela 4.1 – Características de alguns protocolos (Fonte – Festo AG e CO).

Na figura 4.34, temos a matriz Aplicação x Funcionalidade, que compara alguns protocolos mencionados. É de vital importância, a seleção do protocolo que irá gerenciar a rede. Por exemplo: o PROFIBUS é bastante abrangente, atende funcionalidade e aplicação.



FF – Fielbus Foundation; IB – Interbus; DN – DeviceNet;  
CN – ControlNet; AS-I – Actutor Sensor Interface.

Figura 4.34 – Matriz Aplicação x Funcionalidade de protocolos (Fonte – PROFIBUS).

#### 4.3.4 Terminal inteligente, uma evolução para o gerenciamento da rede fieldbus.

Uma outra forma de controlar os elementos de campo, é utilizar os Terminais de Válvulas Inteligentes. Estes terminais possuem uma CPU integrada, que os transformam em controlador, que pode ou não ficar independente do controlador principal da rede.

Pode-se desenvolver e implementar no terminal inteligente um programa, onde o terminal de válvulas está controlando, monitorando e, reportando ao controlador principal apenas informações de problemas ou da produção alcançada. A comunicação entre o terminal inteligente e o controlador principal é também realizada por meio de uma rede Fieldbus, para o ganho de tempo de processamento.

Esta arquitetura defende a inteligência descentralizada, equipamentos cada vez mais inteligentes no campo ao invés de apenas elementos escravos. Na (fig. 4.35) o terminal inteligente é a estação de controle descentralizada no ponto de aplicação.

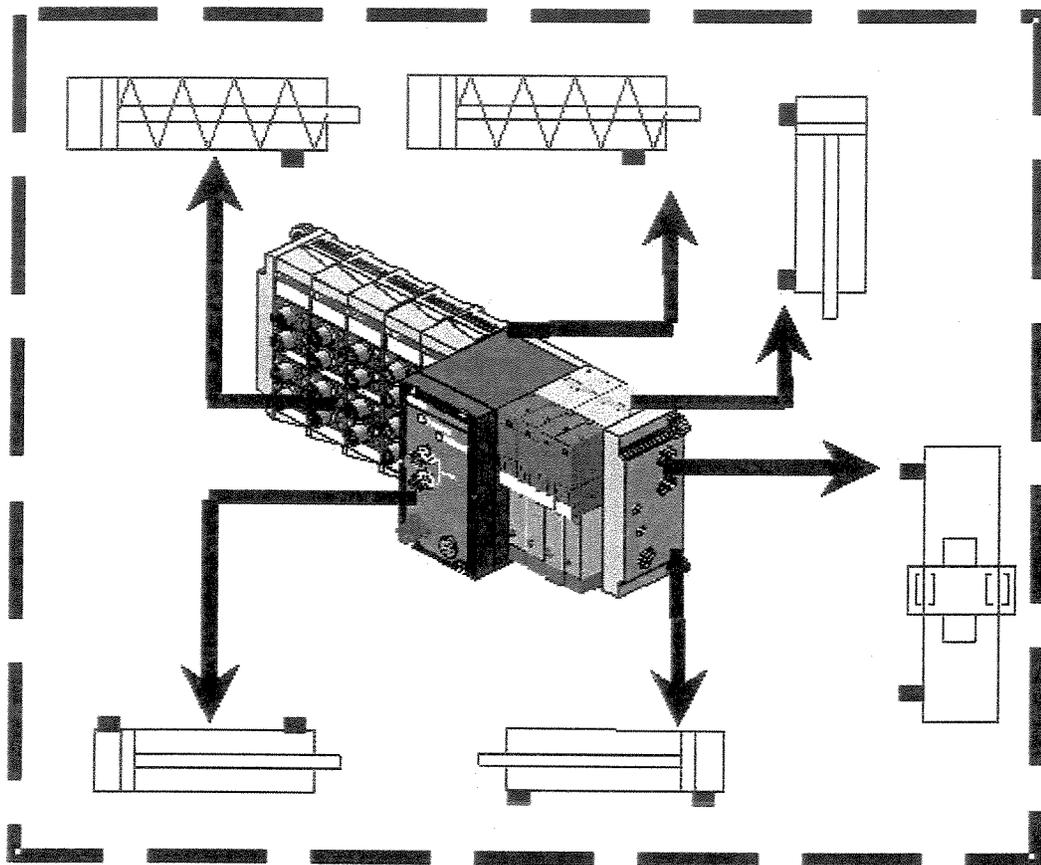
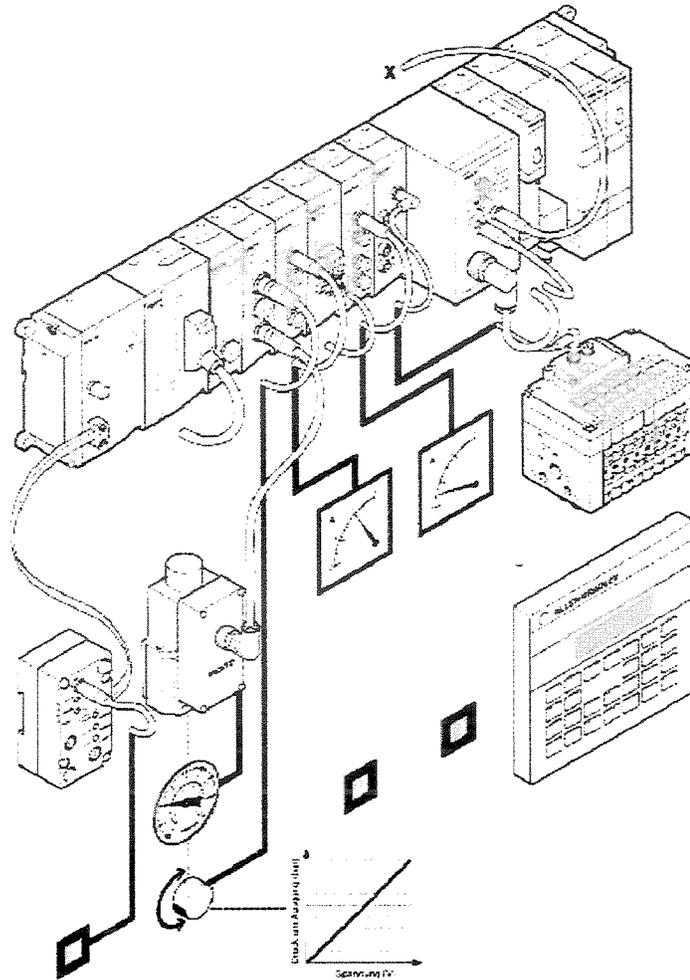


Figura 4.35 – Circuito com terminal inteligente (Fonte – Festo AG e CO).

O Terminal de Válvulas Midi Maxi é um equipamento completo, pronto para ser aplicado e cuja configuração modular, possibilita atender as mais diferentes necessidades, exigências de um participante de uma rede fieldbus (fig. 4.36).



Figuras 4.36 – Terminal de válvulas Midi Maxi, a modularidade (Fonte – Festo AG e CO).

#### 4.3.5 O sistema fieldbus.

A definição de fieldbus foi apresentada no item 4.3.1 na página 72. As inúmeras vantagens, benefícios técnicos e econômicos, que o sistema fieldbus oferece, fazem diferença para uma solução automatizada, desde o projeto até a manutenção, contribuindo para a produtividade e competitividade da empresa usuária.

Na (fig. 4.37) apresenta-se um circuito, um sistema fieldbus, onde pode-se perceber as grandes diferenças para estabelecer-se a rede, entre as quais destacamos: [IORIO, 1998]

- Maior facilidade de emprego de dispositivos inteligentes no campo.

- Os custos de engenharia serão reduzidos e os atuais procedimentos serão completamente mudados. Economia geral nos custos de projeto e instalação, do controle ao condutor, placas de I/Os não são mais necessárias e a atual conexão física, "ponto-a-ponto", entre equipamentos é substituída pelas conexões multiponto onde um condutor bifilar conecta todos os integrantes da rede, com a conseqüente redução de cabos, bandejas, borneiras e tempos de mão de obra da instalação até os procedimentos futuros de manutenção.
- Menor quantidade de produtos de instalação, painéis e racks menores; menos equipamentos na sala de controle, tem-se otimização de espaços, redução no custo da instalação por área ocupada.
- Os equipamentos de campo serão capazes de fornecer muito mais informação do que eles fornecem hoje. Aumento da robustez do sistema, dados digitais são mais confiáveis que analógicos. Como o sinal digital é menos sensível a ruído, a qualidade da informação também é melhor.
- O comissionamento da instalação, "start-up", partida, é feito em menor tempo uma vez que a comunicação digital permite verificar as conexões e o estado dos aparelhos à distância; o que poderá evitar muitas decorrentes por tempo de atraso na entrega da instalação e prejuízos de produção.
- Os equipamentos de campo poderão indicar falhas em tempo real, assim como indicar diagnóstico preventivo. Os problemas podem ser detectados antes deles se tornarem sérios, facilitando a manutenção e reduzindo assim o tempo de inatividade da planta.
- Maior facilidade de expansão futura com menor custo, uma vez que toda a instalação original é aproveitada, bastando montar os novos componentes, fazer o reconhecimento e os endereçamentos no software.

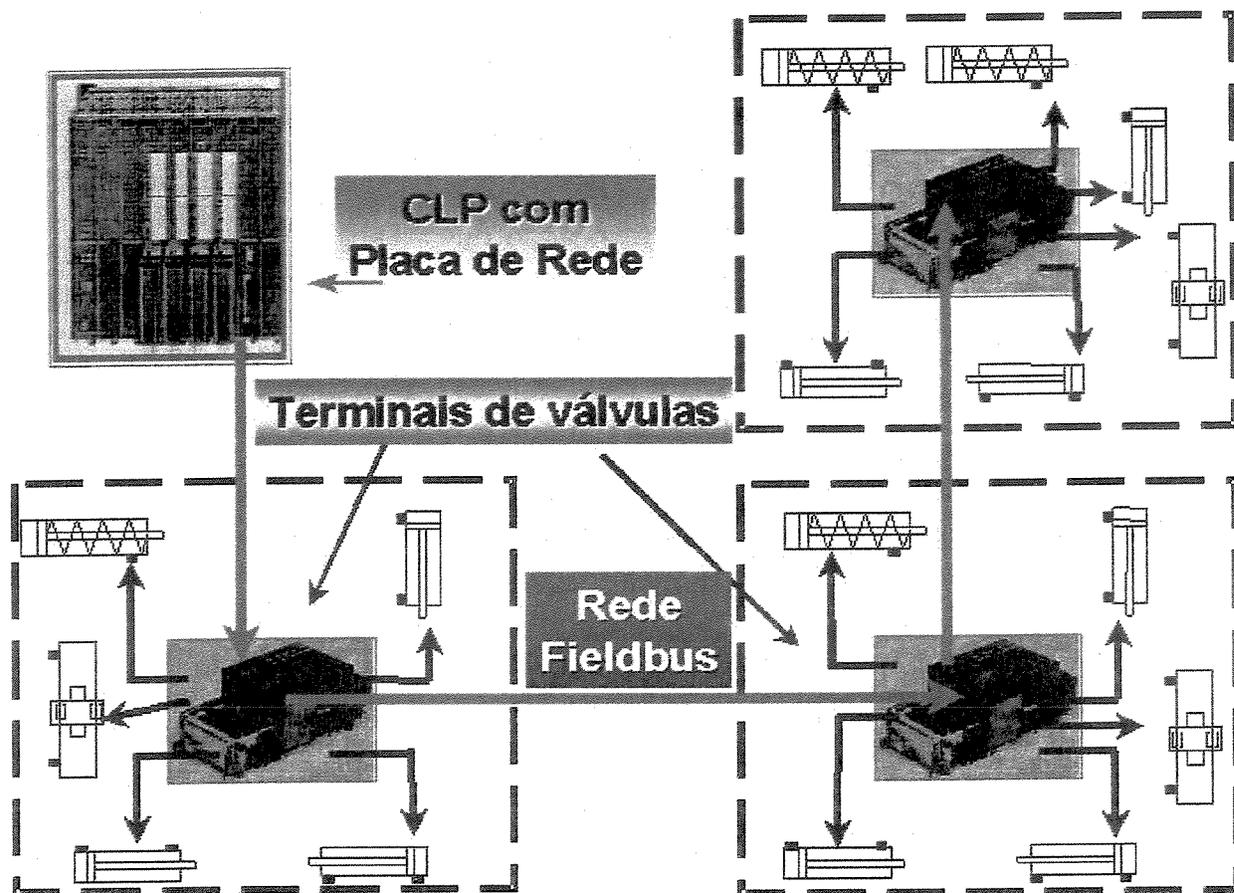


Figura 4.37 – Sistema fieldbus (Fonte – Festo AG e CO).

Neste capítulo, um conhecimento fundamental e imprescindível, com uma abordagem prática sobre a tecnologia de comando e monitoramento, foi desenvolvido. É para todos, técnicos, engenheiros, empresas etc, que possuem a responsabilidade de estudar, implantar, substituir e alterar sistemas automatizados com eficiência e economia, utilizando os meios atuais que a tecnologia de automação fornece.

O próximo capítulo 5, abordará Aplicações do Fieldbus, mostraremos várias aplicações e o projeto de implantação específico na plataforma PIPEFA, em sua estação de montagem.

## Capítulo 5

### Aplicações do Fieldbus.

#### 5.1 Exemplos de aplicações do sistema fieldbus.

O sistema fieldbus, pode ser aplicado praticamente em todos os segmentos industriais, onde a automação é fator de competitividade (fig. 5.1).

- **Indústria automobilística:**  
Nos sistemas de solda, para o fechamento da estrutura; linha de montagem de motores (fig. 5.2); dispositivo de fechamento da caixa de rodas, linha de montagem do veículo...
- **Indústria alimentícia:**  
Bebidas, cervejarias, controle do sistema de cozimento; envase de produtos (figs. 5.3 e 5.4); máquinas de embalagem, empacotamento (fig. 5.5)...
- **Indústria eletrônica:**  
Máquinas de inserção de componentes; linha de montagem, manipuladores...
- **Indústria madeireira (fig. 5.6):**  
Fabricação de tábuas; corte; sistemas de colar, montar...
- **Papel e papelão:**  
Nas máquinas de produção de papel dos diversos tipos de papéis...
- **Indústria de açúcar e álcool:**  
Comando do ciclo produtivo do açúcar e álcool, da moagem ao produto final ...

- Siderurgia:  
Comando dos diversos ciclos de produção, sinterização, alto forno...
- Transporte:  
Sistema embarcado para comando, monitoração de defeitos...
- Energia nuclear:  
Automação da produção de pastilhas enriquecidas...
- Defesa:  
Nos sistemas de comando de submarinos, porta aviões, fragatas; comunicações...

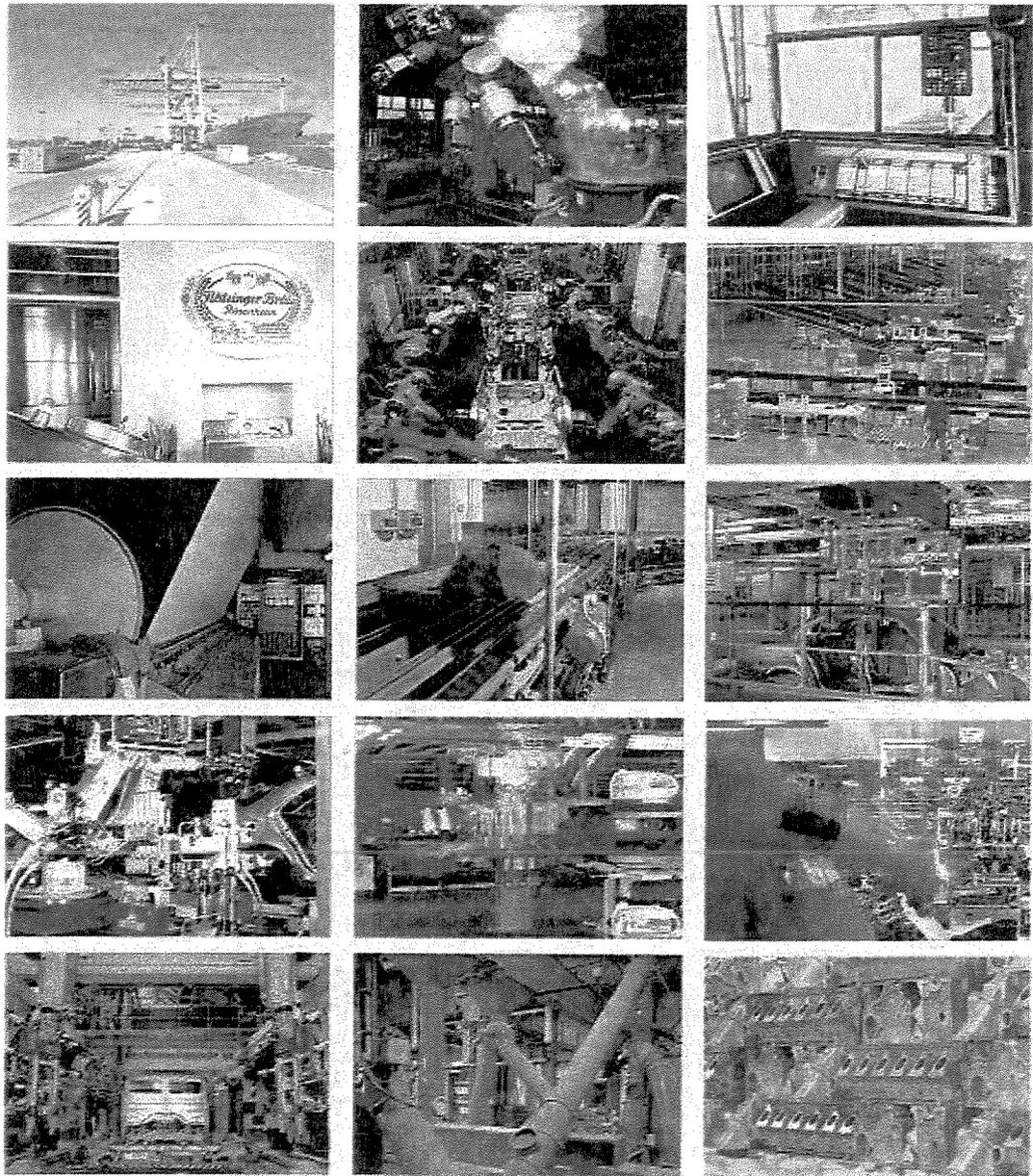


Figura 5.1 – Aplicações do sistema fieldbus.

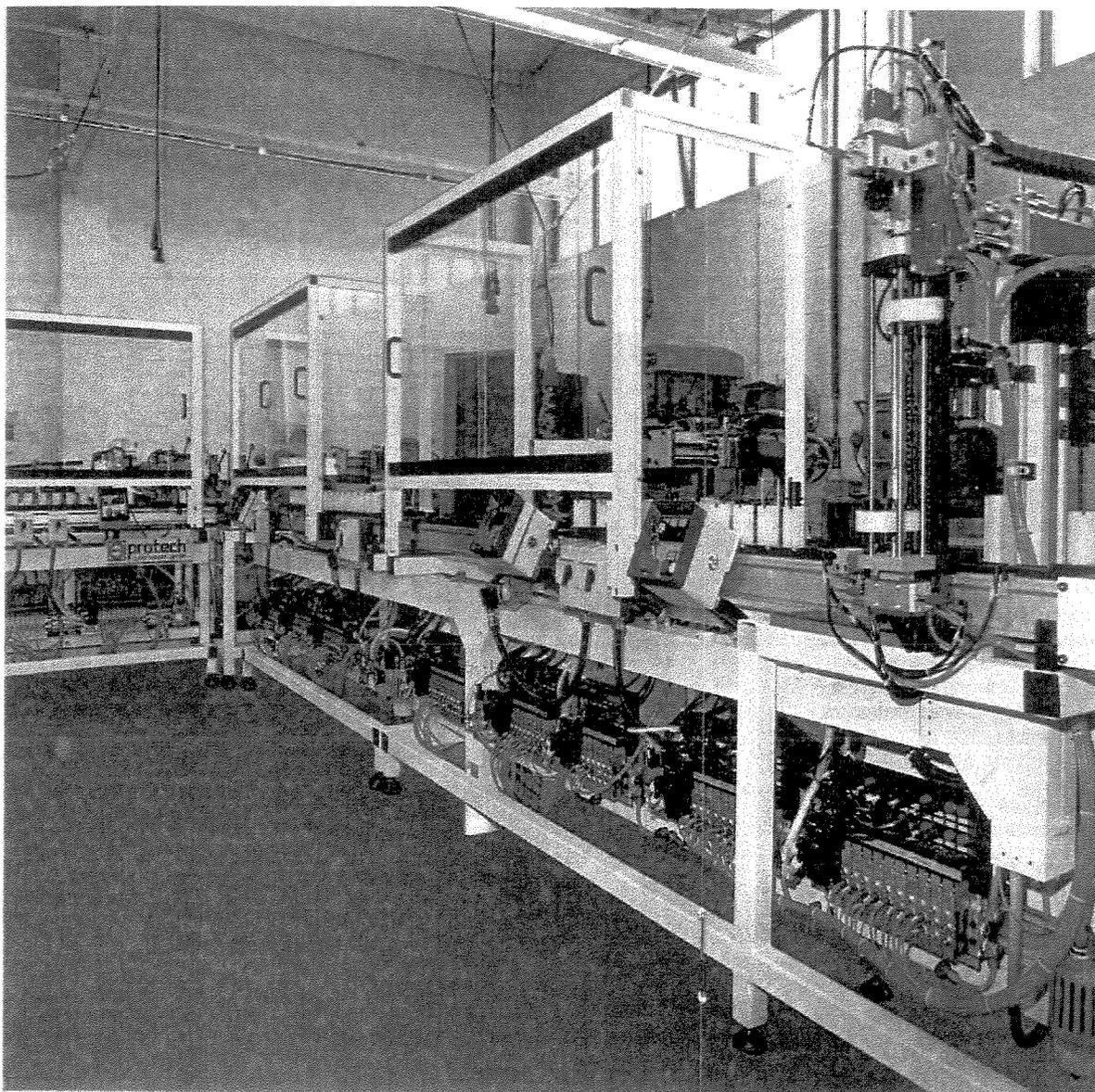


Figura 5.2 – Fieldbus aplicado em linha de montagem de motores  
(Fonte – Festo AG e CO).

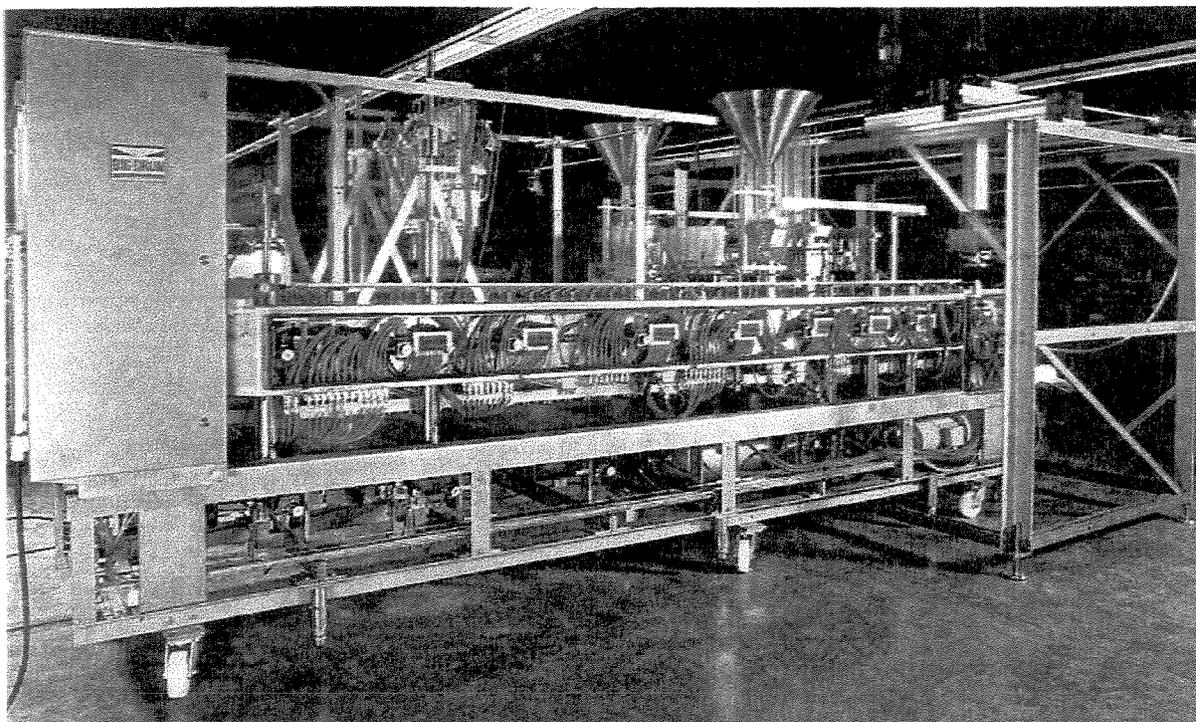


Figura 5.3 – Fieldbus aplicado em máquina de envase (Fonte – Festo AG e CO).

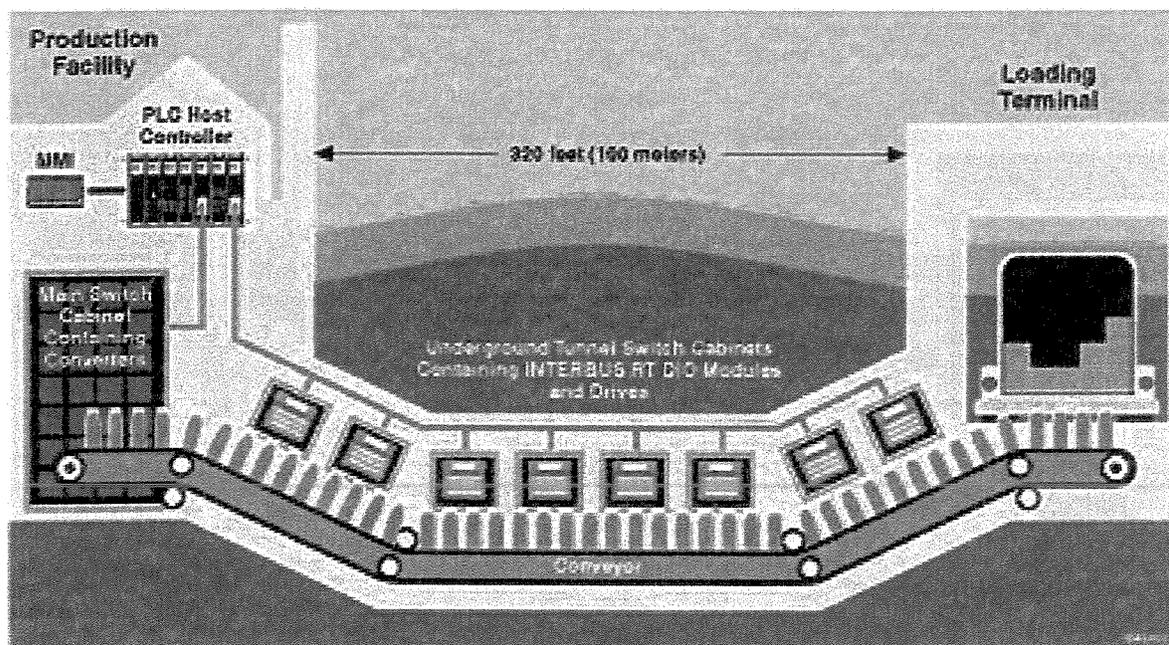


Figura 5.4 – Fieldbus aplicado em linha de envase (Fonte – INTERBUS).

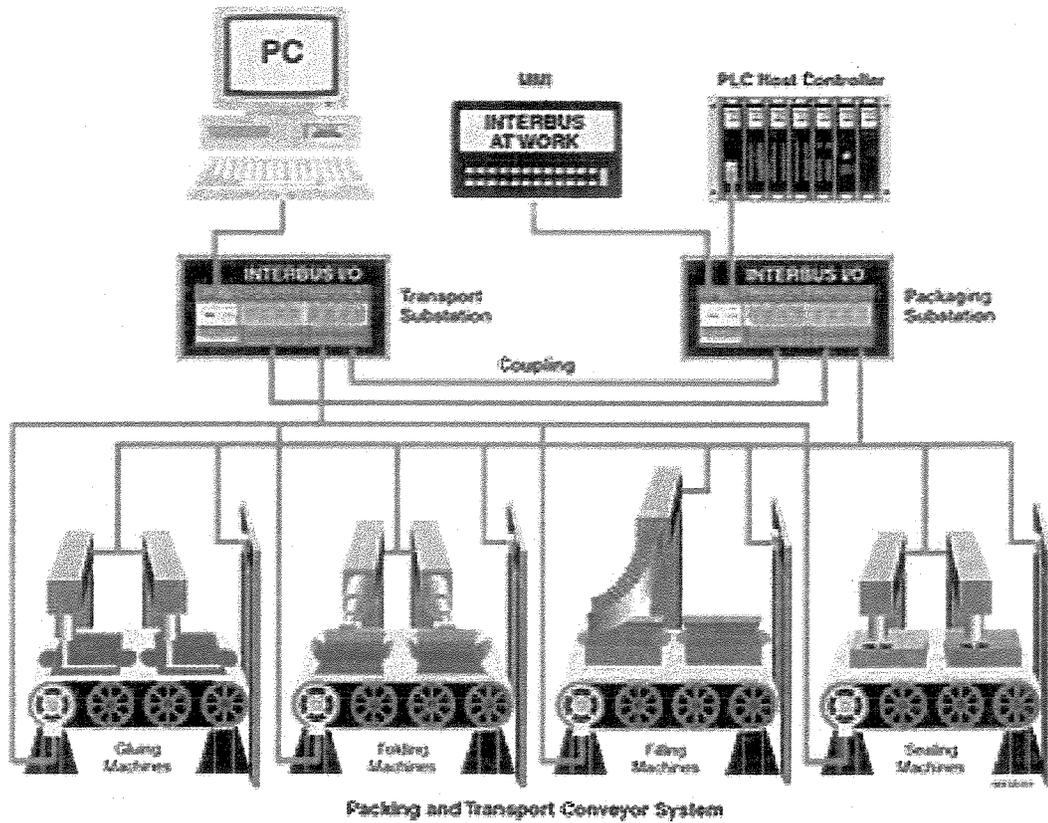


Figura 5.5 – Fieldbus aplicado em máquina de embalagem (Fonte – INTERBUS).

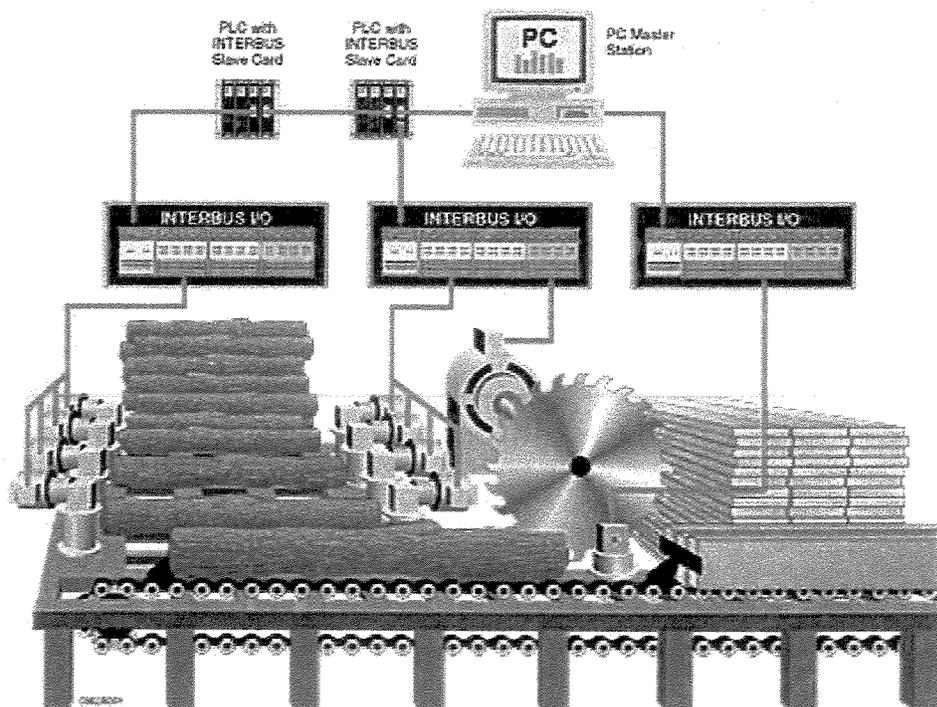


Figura 5.6 – Fieldbus aplicado na indústria madeireira (Fonte – INTERBUS).

## **5.2 Proposta de implementação do fieldbus na plataforma PIPEFA.**

Aplicando o Sistema Fieldbus à Plataforma Industrial para Pesquisa, Ensino e Formação em Automação, Plataforma Didática PIPEFA UNICAMP, que representa um chão de fábrica, em sua estação de montagem.

### **5.2.1 O L . A . I . R .**

O LAIR – Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, vem trabalhando fortemente, já há algum tempo, na linha de pesquisa de Mecatrônica, com ênfase nas áreas de Sistemas de Controle, Modelagem Matemática de Sistemas Dinâmicos, Informática e Automação Industrial. A forte abrangência desta linha de pesquisa permitiu a união de competências diferentes em torno de um projeto temático: "Métodos e Ferramentas em Automação Industrial e Produção para o Desenvolvimento da Qualidade e Produtividade nas PME/PMI". Este projeto visa a cooperação entre o Laboratório de Automação Integrada e Robótica, no Brasil, e o LIISI - Laboratoire d'Ingénierie Intégrée des Systèmes Industrielles, na França, pela transferência tecnológica estabelecida através da construção de uma plataforma para desenvolvimento em automação e controle industrial, que retrate aspectos reais de produção, tais como integração, flexibilidade e técnicas de gestão de produção, com um baixo custo operacional e de implementação.

A forte ênfase industrial desse trabalho de pesquisa, levou à realização de trabalhos de cooperação envolvendo outras instituições de pesquisa e indústrias. Dentro deste contexto podemos citar trabalhos na área de Gestão de Produção e Protocolos de Comunicação envolvendo pesquisadores do CEMPRA (antigo Instituto de Automação do Centro Tecnológico para a Informática, Fundação CTI).

### **5.2.2 A Plataforma Industrial para Pesquisa Ensino e Formação em Automação.**

A plataforma PIPEFA (fig. 5.7 e 5.8), é composta por uma parte operacional, correspondente a um "chão de fábrica" constituído de postos de trabalho com sistemas de

comando independentes, e por um sistema de supervisão cooperativa e de planejamento de produção, que realiza a confecção de um produto genérico constituído de uma placa de base e cubos menores, do tipo Lego, que além de apresentarem um baixo custo, possuem uma boa precisão mecânica. O produto é realizado a partir da montagem nas placas de base de cubos em diferentes posições e em até dois níveis. Dependendo do número, posições e, futuramente, das cores dos cubos montados nessas placas, os produtos finais serão considerados diferentes.

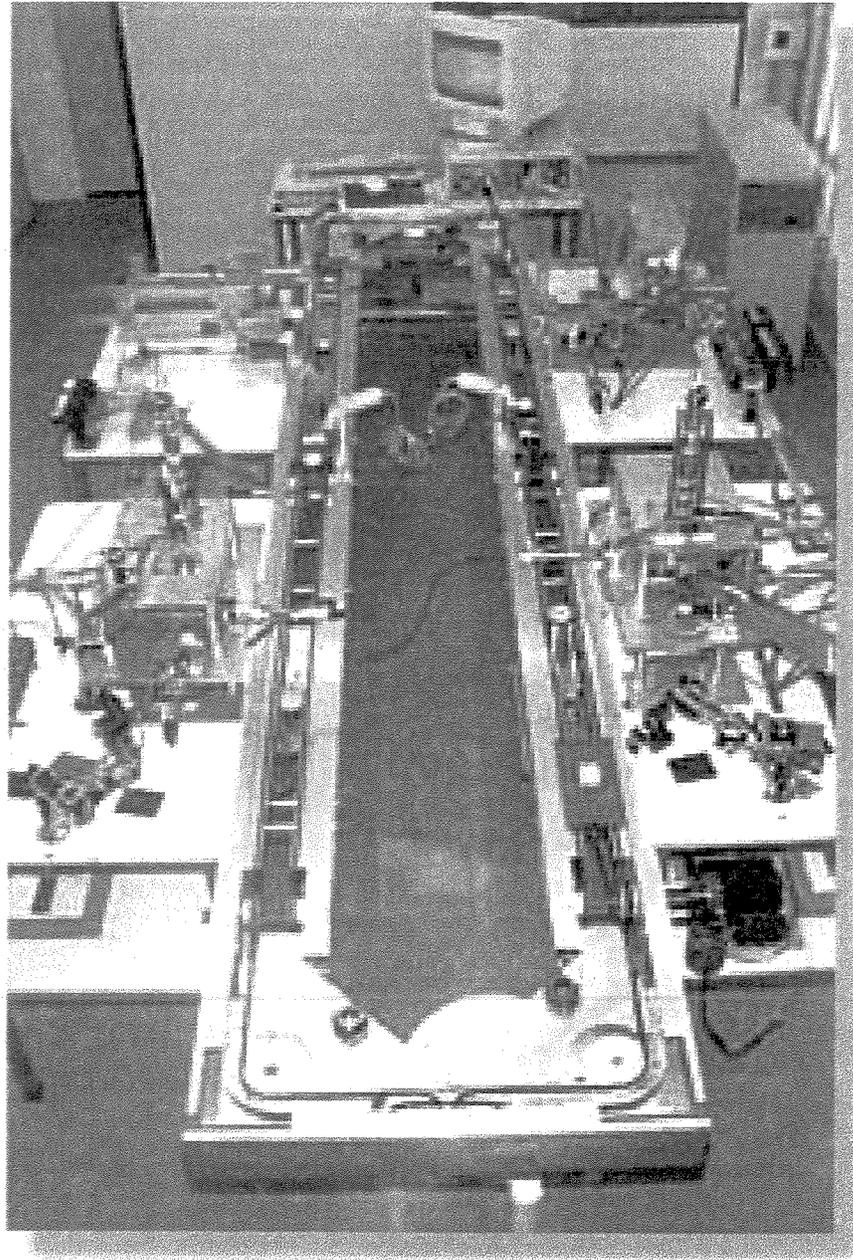


Figura 5.7 – Vista geral da Plataforma PIPEFA (Fonte – LAIR UNICAMP).

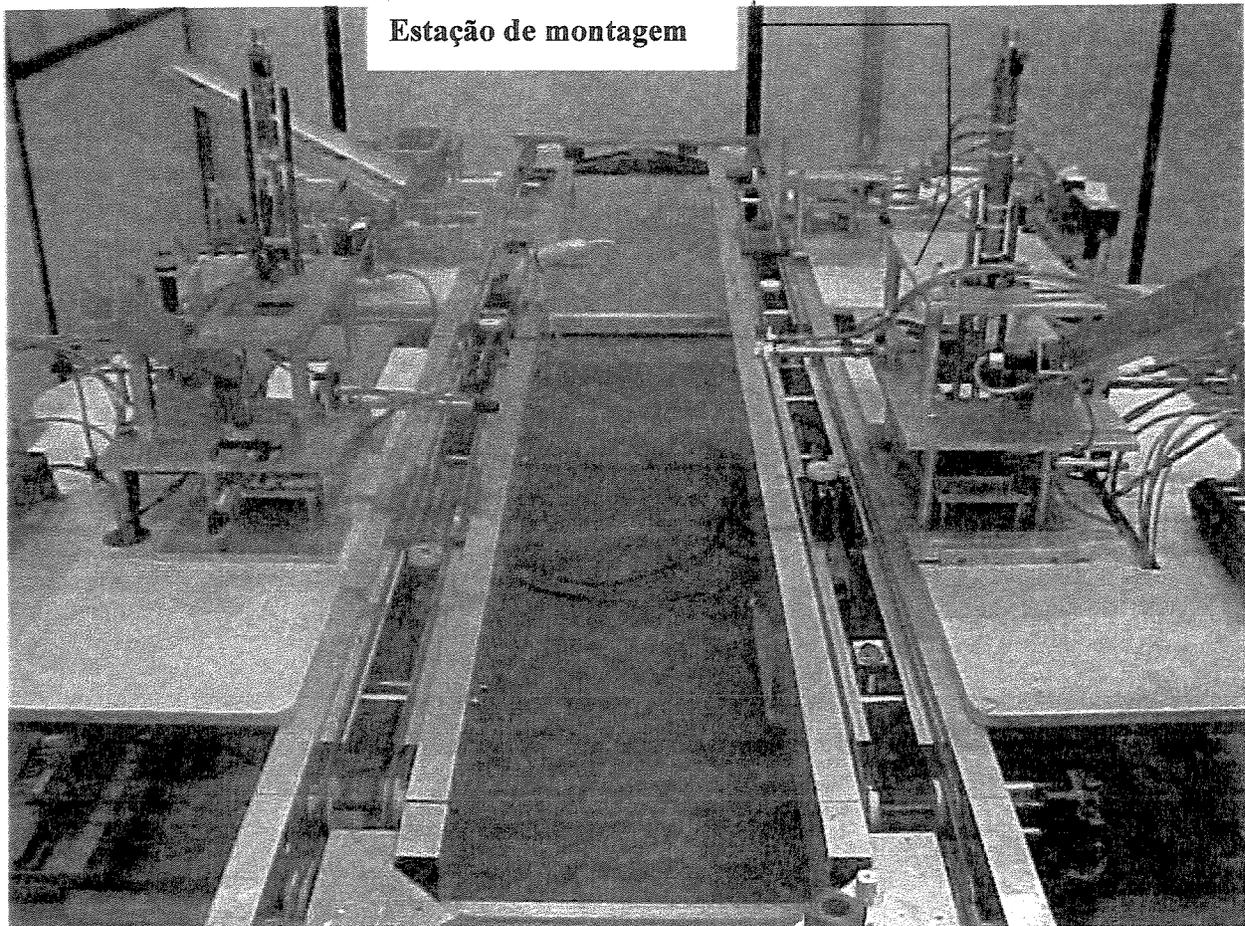


Figura 5.8 – Linhas de transferências e estações de montagens (Fonte – LAIR UNICAMP).

A plataforma retrata totalmente um sistema de produção discreta, aplicando um sistema de comando convencional, sendo constituída dos seguintes postos de trabalho:

- Sistema de Transferência
- Posto de Carregamento/Descarregamento, com sistema de armazenamento
- Posto de Montagem/Desmontagem Lateral
- Posto de Montagem/Desmontagem Central
- Posto de Controle de Qualidade

Cada um desses postos de trabalho é constituído de uma Parte de Comando e uma Parte Operativa. A Parte de Comando consiste em um CLP. A Parte Operativa consiste nos motores,

atuadores elétricos, pneumáticos, hidráulicos, e todos outros elementos físicos que participam da manipulação e processamento dos produtos.

O processo de produção se inicia com o recebimento de uma placa de base, inserida no Sistema de Transferência pelo Posto de Carregamento, sobre a qual podem ser encaixados cubos em três diferentes posições e em até dois níveis. A colocação dos cubos é feita nos dois Postos de Montagem (designados Central e Lateral), totalizando uma família de 26 produtos diferentes. Os Postos de Montagem são alimentados por meio de um Robô Industrial, que neles insere cubos. Este robô poderá atuar também como um sistema para estocagem intermediária, em seguida, o Posto de Controle de Qualidade recebe as placas montadas e verifica se o produto em questão teve uma montagem perfeita. Caso produto seja aprovado, o mesmo deverá ir para o Posto de Descarregamento para ser estocado. No caso de haver um defeito de montagem, esses produtos poderão ser rejeitados ou desmontados nos Postos de Desmontagem (os mesmos: Central e Lateral), para retomar ao sistema sob a forma de matéria-prima (cubos e placas individuais). Essas diferentes formas de montagem possibilitarão a utilização do conceito de família a ser explorado através de um sistema de gestão de produção, que poderá ajudar na determinação da melhor seqüência de fabricação em função da capacidade de máquinas, prazo de entrega, lucro, etc.

#### **Posto de montagem/desmontagem.**

Dois postos realizam a função de transformação de forma e características das peças através de operações de montagem e desmontagem dos cubos Lego nas placas de base, em função do plano de produção. As placas são identificadas por um sistema de código de barras fixado em cada uma delas, e sobre elas são montados cubos em três posições (lateral direita, central e lateral esquerda) e em dois níveis de altura.

Com o objetivo de simular um sistema multi-produto e de criar um elenco de seqüências de montagem ou desmontagem de produtos, foi construído um posto para realização de operações de montagem/desmontagem de cubos na posição central e outro para montagem/desmontagem de cubos na posição direita e/ou esquerda (lateral). Este último tem operação idêntica ao primeiro,

mas seu sistema de transferência dispõe de um cilindro giratório que se encarrega de dar uma rotação de 180° na placa de base. Uma vez completado o giro, este posto deve apenas realizar a mesma operação, com a diferença de que está acontece no lado oposto.

#### **Posto de carregamento/descarregamento.**

Este posto, na realidade é constituído de duas operações independentes: o carregamento de placas de base no sistema de transferência e o descarregamento e posterior estoque de peças finalizadas.

**Operação de Carregamento:** As placas de base são introduzidas ao sistema de transferência, de acordo com as ordens de produção previamente estabelecidas no Sistema de Supervisão. Um conjunto de placas de base codificado fica disponível num armazém elevador, esperando uma ordem para entrada no sistema de transferência.

**Operação de Descarregamento:** Após o produto final passar pelo Posto de Controle de Qualidade, e este ser aprovado para ir ao estoque (produto final), o mesmo ficará posicionado em frente ao posto para leitura do código do produto e posterior descarregamento e estoque.

#### **Posto de controle de qualidade.**

O Posto de Controle de Qualidade verificará a qualidade do produto. Ele deve decidir se uma placa segue os padrões estabelecidos pelo Sistema de Informação e Gestão de Produção a respeito da qualidade do produto quanto ao tipo de montagem mecânica. Isto é verificado através de transdutores de fibra ótica dispostos em dois níveis para detecção da presença de cubos, montagens incorretas, etc.

As informações obtidas neste posto são muito importantes para a Supervisão e Gestão da Produção. O Sistema de Supervisão (fig. 5.9), a partir de estatísticas dinâmicas, pode saber se um posto de montagem apresentou bom desempenho ou não, e atuar no sentido de corrigir distorções (em caso de níveis de qualidade abaixo do desejado).

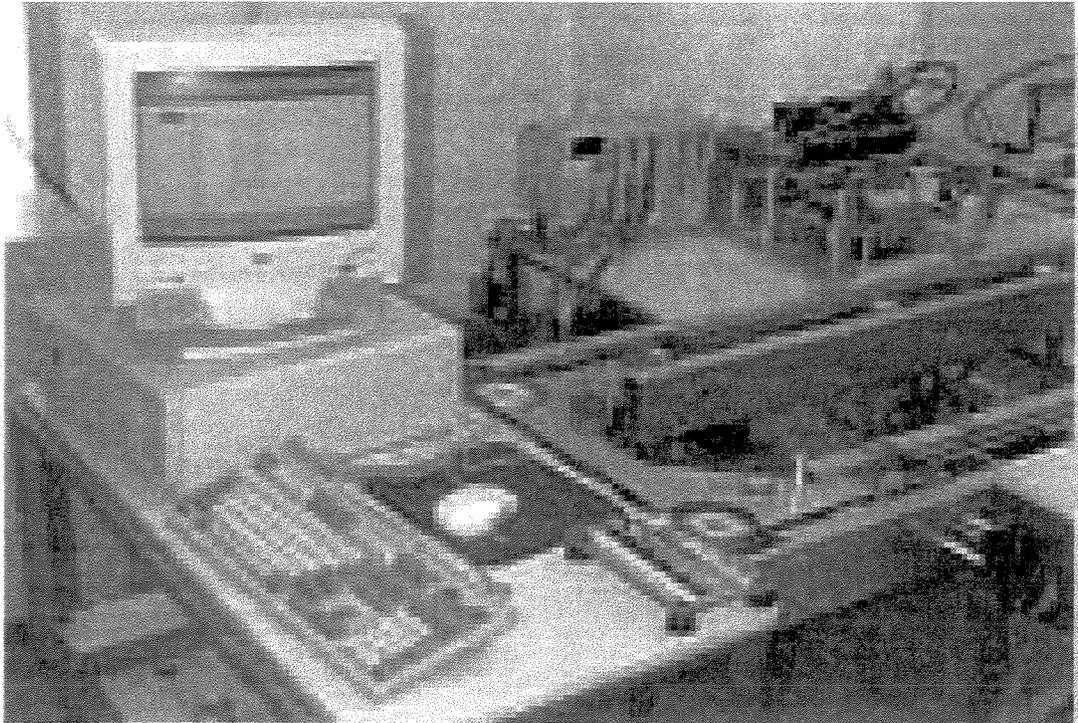


Figura 5.9 – Posto de supervisão da plataforma (Fonte – LAIR UNICAMP).

### **Sistema de transferência.**

Cada posto de trabalho possui um Sistema de Transferência próprio, constituído de uma esteira acionada por um motor de corrente contínua. A Parte Comando é centralizada por um Controlador Lógico Programável, que é responsável pela integração mecânica dos postos existentes na célula.

O Sistema de Supervisão, baseado nas informações de cada produto (etiquetado a partir de código de barras), tomará decisões de parada, montagem e desmontagem, carregamento e descarregamento de placas, baseados num plano de produção.

#### **5.2.2.1 A automação da PIPEFA hoje.**

No capítulo 4, item 4.1, páginas 61 a 65, o sistema convencional e figuras apresentadas, retrata a automação atual da PIPEFA. A seguir temos o descritivo [ LAIR, UNICAMP]

DESCRITIVO FUNCIONAL DA PIPEFA - LAIR

A plataforma é composta de 4 postos, mais o sistema de transferência:

- 1 posto de Carregamento e Descarregamento.
- 1 posto de Montagem e Desmontagem central.
- 1 posto de Montagem e Desmontagem lateral.
- 1 posto de Verificação da montagem.

O posto de Carregamento e Descarregamento.

Este posto é dividido em 2 blocos:

Carregamento - coloca a placa de base de cubos no sistema de transferência.

Descarregamento - retira a placa de base de cubos, montada, do sistema de transferência.

O posto de Carregamento é constituído de:

**POSTO/SISTEMA:** Posto de Carregamento  
**PLC:** 1

**Totais Pontos Entrada:** 06 (X40-X47)  
**Totais Pontos Saída:** 04 (Y40-Y47)

Elemento	Dispositivo de Entrada	Dispositivo de Saída	Função	Nickname	Ref. PLC		Régua Borne
					Entrada	Saída	
Cilindro Pneumático da Gaveta Alimentadora de Base	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	GAV_ALM_BAS	X40	Y40	17
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	gav_alm_bas_rec	X41		2
			Cilindro Avançado	gav_alm_bas_avd			3
Cilindro Pneumático do Alimentador de Base	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	ALM_BAS	X42	Y41	18
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	alm_bas_rec	X43		5
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Avançado	alm_bas_avd			6
Cilindro Pneumático da Trava de Base da Gaveta Alimentadora		Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	TRV_BAS_GAV		Y42	19
Cilindro Pneumático da Trava de Base do Magazine		Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	TRV_BAS_MGZ		Y43	20
Verificador de Base na Gaveta Alimentadora	Sensor Óptico 24 VDC		Base Presente	bas_prs_gav_alm	X44		4
Verificador de Base na Trava do Magazine	Sensor Óptico 24 VDC		Base Presente	bas_prs_trv_mgz	X45		7

Início do processo

O posto em estado de descanso esta:

Gaveta levantada; trava da gaveta erguida (quando aciona ele abaixa); Cilindro alimentador de base recuado; Trava do magazine recuado.

( 1 – peça na posição; 0 - nenhuma peça na posição).

Deve-se carregar todo o magazine:

-Start

-Sobe elevador

-Sensor da trava do magazine 1 -aciona trava do magazine

-Sensor da trava do magazine 0 -não aciona trava do magazine

-Sensor da gaveta 1 -aciona a trava da gaveta.

-tempo 1 segundo

-aciona o cilindro da gaveta (quando chegar no final de curso).

-aciona o cilindro posicionador da placa de base de cubos no elevador. (quando chegar no final de curso).

-desaciona o cilindro posicionador (quando chegar no final de curso).

-desaciona o cilindro da gaveta (quando chegar no final de curso).

-desaciona a trava da gaveta.

-tempo de 2 segundos

-desaciona a trava do magazine

-Sensor da gaveta 0

-tempo 3 segundos

-aciona alarme de falta de peça na gaveta

-Sensor da gaveta 0 + sensor de peça no magazine 1 -aciona alarme de falha.

POSTO DE MONTAGEM E DESMONTAGEM CENTRAL

Este posto é constituído de:

Elemento	Dispositivo de Entrada	Dispositivo de Saída	Função	Nickname	Ref. PLC	
					Entrada	Saída
Cilindro Pneumático da Gaveta Receptora de Base (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	GAV_RCP_CTR	X0 X1	Y0
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	gav_rcp_ctr_rec		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Avançado	gav_rcp_ctr_avd		
Cilindro Pneumático da Mesa Posicionadora de Cubos (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	MES_POS_CTR	X2 X3	Y1
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	mes_pos_ctr_rec		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Avançado	mes_pos_ctr_avd		
Cilindro Pneumático da Trava da Mesa Posicionadora de Cubos (Posto Mont/Desm Central)		Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	TRV_MES_CTR		Y2
Cilindro Pneumático do Alimentador de Cubos (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	ALM_CUB_CTR	X4 X5 X6	Y3
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	alm_cub_ctr_rec		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Avançado	alm_cub_ctr_avd		
	Sensor Óptico 24 VDC		Cubo Presente	cub_alm_ctr_prs		
Cilindro Pneumático do Extrator de Cubos (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	EXT_CUB_CTR	X7 X10	Y4
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado	ext_cub_ctr_rec		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Avançado	ext_cub_ctr_avd		
Cilindro Pneumático do Manipulador de Cubos (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	MAN_CUB_CTR	X11 X12 X13 X14 X15	Y5
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Recuado *	man_cub_ctr_rec		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Intermediário 1 *	man_cub_ctr_it1		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Intermediário 2 *	man_cub_ctr_it2		
	Sensor Magnético 24 VDC		Cilindro Intermediário 3 *	man_cub_ctr_it3		
Cilindro Pneumático da Trava do Alimentador de Cubos (Posto Mont/Desm Central)	Sensor Magnético 24 VDC	Solenóide 24 VDC	Avanço do Cilindro	TRV_ALM_CTR		Y10

**\* Posições do Manipulador de Cubos:**

**Recuado:**

**Intermediário 1:**

**Intermediário 2:**

**Intermediário 3:**

**Avançado:**

Manipulador Em Posição de Repouso  
Manipulador Avançado Sobre Mesa Posicionadora Com 02 Cubos  
Manipulador Avançado Sobre Mesa Posicionadora Com 01 Cubo  
Manipulador Avançado Para Montagem/Desmontagem Cubo Superior  
Manipulador Avançado Para Montagem/Desmontagem Cubo Inferior

**MONTAGEM:**

Supondo que a montagem será completa, 2 peças centrais.

Início do processo:

- Elevador na posição alta
  - Abre gaveta (quando chegar no final de curso).
  - Desce elevador (quando chegar no final de curso).
  - Fecha gaveta (quando chegar no final de curso).
  - Avança gaveta superior (quando chegar no final de curso).
  - Avança cilindro alimentador de cubos (quando chegar no final de curso).
  - Recua cilindro alimentador de cubos (quando chegar no final de curso).
  - Avança cilindro manipulador de cubos (quando chegar na posição intermediária 2)
  - Fecha garra
  - Tempo 1 segundo
  - Recua cilindro manipulador de cubos (quando chegar no final de curso).
  - Recua gaveta superior (quando chegar no final de curso).
  - Avança cilindro manipulador de cubos (quando chegar no final de curso).
  - Solta garra
  - Tempo 1 segundo.
  - Recua cilindro manipulador de cubos
- para a colocação do segundo cubo repete até o passo “\*\*” neste caso a posição avançada do cilindro manipulador de cubos, será na posição intermediária 3, continuando....
- Abre gaveta inferior (quando chegar no final de curso).
  - Sobe elevador (quando chegar no final de curso).

-Fecha gaveta inferior

#### DESMONTAGEM:

Na desmontagem em alguns casos quando existe 2 cubos na placa de base, a garra saca normalmente sempre os dois cubos, a separação deve de ser feita na gaveta superior do posto, para isso o cilindro manipulador de cubos tem dois sensores (intermediário 1 para 2 cubos e intermediário 2 para 1 cubo na gaveta superior) que verificarão se foram sacados 1 ou 2 cubos.

Vou supor no meu descritivo funcional que foi sacado 2 peças da placa de base:

Início do processo:

- Elevador na posição alta
- Abre gaveta (quando chegar no final de curso).
- Desce elevador (quando chegar no final de curso).
- Fecha gaveta (quando chegar no final de curso).
- Avança cilindro manipulador de cubos (até a posição intermediária 3).
- Fecha garra
- Tempo 1 segundo
- Recua cilindro manipulador de cubos (quando chegar no final de curso).
- Avança gaveta superior (quando chegar no final de curso).
- Avança cilindro manipulador de cubos (quando chegar na posição intermediária 1 (dois cubos))
- Aciona a garra da gaveta superior
- Tempo 1 segundo
- Recua cilindro manipulador de cubos (quando chegar no final de curso).
- Recua gaveta superior (quando chegar no final de curso).
- Solta garra da gaveta superior
- Tempo 1 segundo
- Aciona cilindro extrator de cubos (quando chegar no final de curso).
- Recua cilindro extrator de cubos (quando chegar no final de curso).
- Avança gaveta superior (quando chegar no final de curso).
- Avança cilindro manipulador de cubos (quando chegar na posição intermediária 2 (1 cubo))
- Abre a garra do cilindro manipulador de cubos.
- Tempo 1 segundo
- Recua cilindro manipulador de cubos (quando chegar no final de curso).

- Recua gaveta superior (quando chegar no final de curso).
- Acciona cilindro extrator de cubos (quando chegar no final de curso).
- Recua cilindro extrator de cubos (quando chegar no final de curso).
- Abre gaveta inferior (quando chegar no final de curso).
- Sobe elevador (quando chegar no final de curso).
- Fecha gaveta inferior

No posto de MONTAGEM E DESMONTAGEM LATERAL, o funcionamento de montagem e desmontagem é igual, ficando a responsabilidade de montagem esquerda ou direita para o sistema de transferência, o mesmo acontece com todos os elevadores, onde pegamos os sinais dos sensores das gavetas, abertas ou fechadas, para fazer a sincronização do trabalho.

Para uma análise rápida, a tabela 5.1 resume o seu sistema convencional atual, levando em conta os principais componentes da automação.

Sistema Convencional Principais componentes	Quantidade
Atuadores pneumáticos	6
Válvulas solenóide	6
Sensores	13
n.º de I/Os	25
Condutores (m)	69,60
n.º de pontos de ligações	154
Tempo só para as ligações	13860 s
Na plataforma completa	6 módulos com 16 I cada 6 módulos com 16 O cada

Tabela 5.1 – Sistema convencional PIPEFA, principais elementos de análise.

### 5.2.3 O sistema fieldbus aplicado à plataforma PIPEFA.

No capítulo 4, Tecnologia de Comando, sistema convencional, muitos aspectos funcionais da plataforma foram apresentados e, no item anterior 5.2.2.1 temos dados que permitirá uma análise técnica após a nova proposta para a automação.

Conhecido o funcionamento da plataforma, pode-se apresentar o projeto de implementação do sistema fieldbus à estação de montagem, que foi desenvolvido seguindo os seguintes passos:

- Levantamento e execução do diagrama trajeto passo ou funcional da estação de montagem e lista de alocações de entradas e saídas;
- Definição do protocolo de comunicação a ser utilizado na rede;
- Definição do mestre da rede fieldbus;
- Seleção dos elementos de trabalho;
- Definição do terminal de válvulas;
- Desenvolvimento do software;
- Circuito esquemático de comando da estação.

### 5.2.3.1 Diagrama trajeto passo da estação de montagem e lista de alocações.

Um dos itens mais importantes de um projeto, é conhecer com precisão o funcionamento da máquina, dispositivo a ser automatizado e fazer sua representação. Para a representação funcional, existem vários tipos de diagramas, como por exemplo o GrafCet da (fig.5.10).

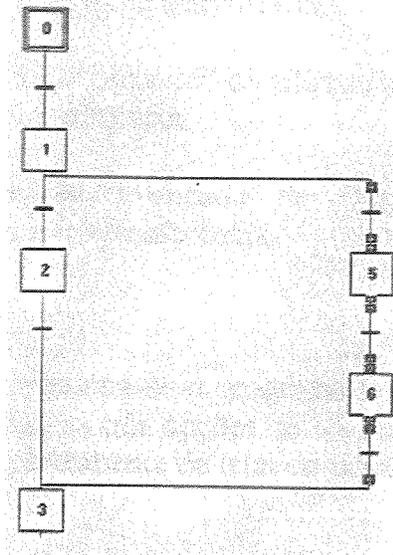


Figura 5.10 – Exemplo de Diagrama GrafCet.

Em nosso trabalho, decidimos utilizar a diretriz VDI 3260 - Verein Deutsche Ingenieur, baseada na Norma DIN 19 226 DIN – Deutsche Industrie Normem, que ocupa-se entre outros assuntos, com as possibilidades de representações de seqüenciamentos funcionais de máquinas operatrizes e instalações de fabricação.

Entre os vários tipos de diagramas existentes, sem duvida alguma, o diagrama trajeto passo apresentado pela VDI 3260, é a ferramenta mais difundida e utilizada pela indústria, para uma representação gráfica, clara e precisa dos movimentos seqüenciais executados por uma máquina ou dispositivo.

É possível representar-se tudo de forma clara e precisa: passos escalonados; as dependências dos movimentos entre si, com ou sem a representação das diversas funções lógicas; dependência de tempo, pressão etc. Para tal, é necessários conhecer a VDI 3260 em seus detalhes e, utilizar um formato, tamanho adequado de papel, para desenhar-se o diagrama com todos os

detalhes que permite. O diagrama trajeto passo simplificado, da estação de montagem da Plataforma PIPEFA esta representado na (fig. 5.11).

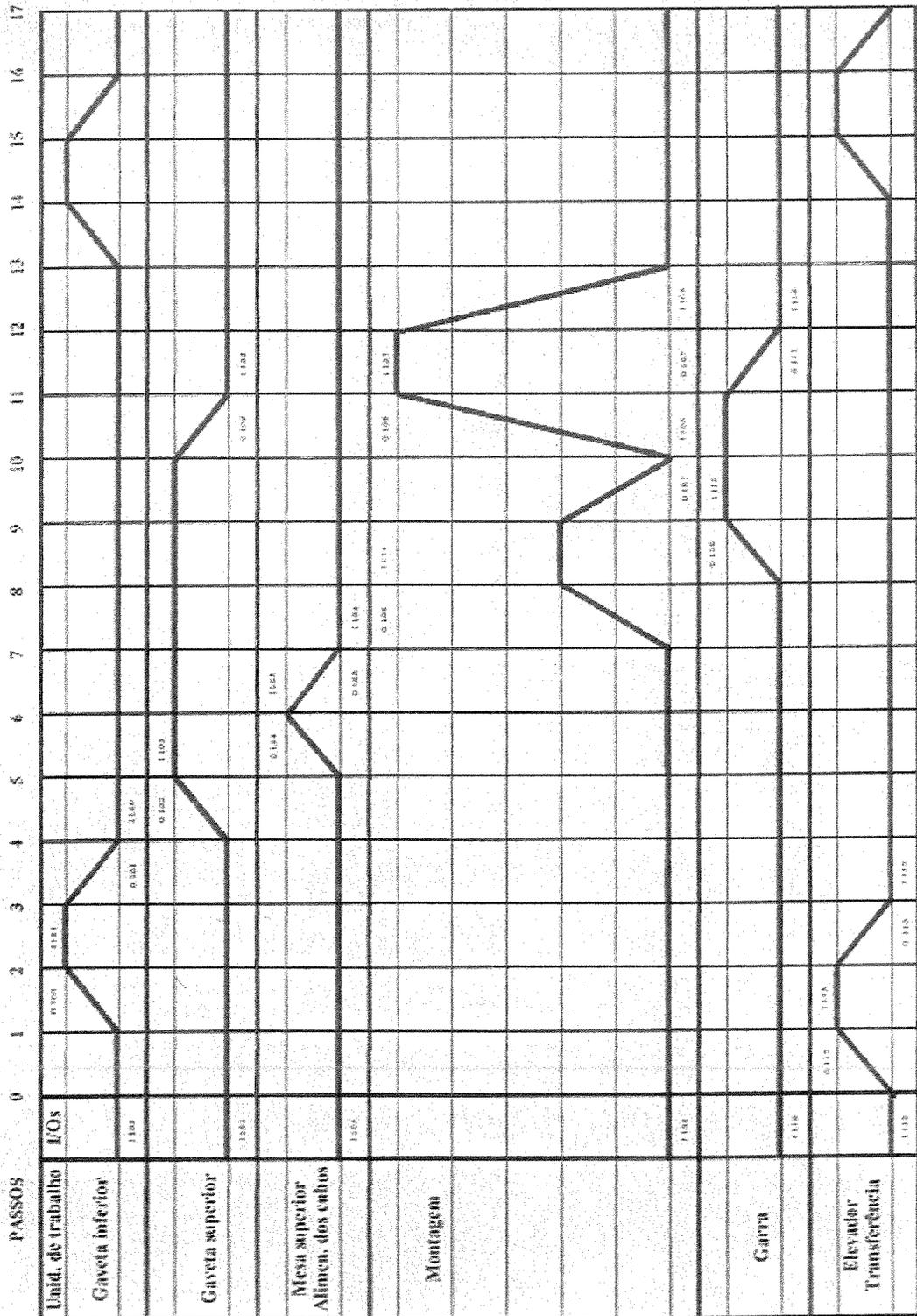


Figura 5.11 – Diagrama trajeto passo simplificado da estação de montagem (Fonte – Iorio).

**Lista de alocações.**

FST IORIO HC1X Projeto UNICAMP

Operand	Symbol	Comment
O1.0.0		AVANÇA GAVETA INFERIOR
O1.0.1		RECUA GAVETA INFERIOR
O1.0.2		AVANÇA GAVETA SUPERIOR
O1.0.3		RECUA GAVETA SUPERIOR
O1.0.4		AVANÇA ALIMENTADOR DE CUBOS
O1.0.5		RECUA ALIMENTADOR DE CUBOS
O1.0.6		AVANÇA MONTAGEM
O1.0.7		RECUA MONTAGEM
O1.1.0		AVANÇA GARRA
O1.1.1		RECUA GARRA
O1.1.2		AVANÇA ELEVADOR
O1.1.3		RECUA ELEVADOR
II.0.0		GAVETA INFERIOR RECUADA
II.0.1		GAVETA INFERIOR AVANÇADA
II.0.2		GAVETA SUPERIOR RECUADA
II.0.3		GAVETA SUPERIOR AVANÇADA
II.0.4		ALIMENTAÇÃO DE CUBOS RECUADO
II.0.5		ALIMENTADOR DE CUBOS AVANÇADO
II.0.6		MONTAGEM RECUADO
II.0.7		MONTAGEM AVANÇADA
II.1.0		GARRA FECHADA
II.1.1		GARRA AVANÇADA
II.1.2		ELEVADOR RECUADO
II.1.3		ELEVADOR AVANÇADO
II.1.4		SENSOR MÉDIO DA MONTAGEM
P1		Programa seqüencial da máquina
T0		TEMPO DE ESPERA DA MONTAGEM
TP0		TEMPORIZADOR DA MONTAGEM

### **5.2.3.2 Protocolo de comunicação.**

O protocolo de comunicação a ser utilizado é o Festo Fieldbus, FB 5, pelos benefícios que apresenta:

- Semelhante ao PROFIBUS;
- Software de programação muito simples e amigável;
- Facilidade de interoperabilidade;
- Possibilitará ganho de tempo no comissionamento da instalação;
- Suas principais especificações técnicas atendem muitas necessidades das aplicações:  
Taxa de transmissão – 375 Kbits e Comprimento da rede – 4000 m.
- Preço vantajoso em relação a outros protocolos;

### **5.2.3.3 Mestre da rede fieldbus.**

O CLP - controlador lógico programável, será o mestre, gerenciador do comando fieldbus centralizado, do barramento mestre-escravo por onde serão transmitidos os dados. Este CLP, neste projeto, será um Industrial Personal Computer – IPC PS1, composto por:

- Barramento (PS1-BP11) – barramento com 3 posições de slot, 10...36 Vdc para composição do IPC.
- Fonte de alimentação (PS1 PS11) – alimentação de energia do IPC, tensão de 10...36 Vdc; saída 5 Vdc; 6A; 30 W.
- CPU (PS1-HC16FST) – PC/CHIP CPU; 20 MHz; 1 Mbyte RAM; real time clock; controlador gráfico CGA-RGB 256 x 128...640 x 128; consumo 390 mA.
- Placa de comunicação (PS1-CP61) – protocolo de comunicação Festo Fieldbus; gerenciamento de acesso/topologia, bus master slave; taxa de transmissão de 31,25 - 375 Kbits; comprimento da rede até 4000 m.
- Software de programação – Festo Software Tool – FST 4.02, IEC 1131/FST/C.

#### **5.2.3.4 Seleção dos elementos de trabalho.**

Em função da pressão disponível, força de trabalho requerida, fixação no local de trabalho, forma de detecção dos movimentos, condições de trabalho, os cilindros pneumáticos ou atuadores são selecionados.

Esta fase foi suprimida no trabalho, porque a plataforma encontra-se em pleno funcionamento e as especificações atuais atendem as necessidades.

#### **5.2.3.5 Configuração do terminal de válvulas.**

O terminal de válvulas, é um equipamento pronto e completo para ser aplicado. Será ligado à rede fieldbus como escravo, comandará os elementos de trabalho no campo e enviará ou receberá informações dos mesmos.

No capítulo 4, abordou-se detalhadamente o produto. Existem diversos tipos de terminais de válvulas. No projeto, é aplicado o terminal modular Festo Midi Maxi , cuja configuração para atender o projeto será (fig. 5.12):

- Parte pneumática, responsável pelo comando dos elementos de trabalho, formada pelas seguintes válvulas direcionais e placa de fechamento:
  - 5 válvulas, 5/2 duplo solenóide (JMT2H-5/2-4,0-S-VI),
  - 1 válvula, 5/3 duplo solenóide, centro fechado (MT2H-5/3 G-4,0-S-VI),
  - Placa de fechamento, com regulador de pressão, (IEPR-03-4,0-LR),
  - Suporte de montagem (IBGW-03).
  
- Parte eletroeletrônica, responsável por todos os Inputs e/ou Outputs, provenientes/ enviados para o mestre da rede, neste terminal teremos:
  - 1 módulo de entradas de sinais com 8 inputs PNP, 5 pinos (VIGE-03-FB-8-5POL),
  - 1 módulo de entradas de sinais com 4 inputs PNP, 5 pinos (VIGE-03-FB-4-5POL),
  - 1 módulo de saídas de sinais com 8 outputs PNP (opcional no projeto),
  - 1 conector de alimentação de energia ( NSTD-WD-9 ),

2 conectores para rede (FBSD-WD-7),  
8 conectores para sensores (SEA-GS-7).

- Protocolo ou interface de comunicação.

1 módulo de comunicação (FB5 IFB5-03), permite a comunicação do mestre da rede com o terminal de válvulas, por meio do padrão RS 485. Para toda a rede de comunicação, existe um software que permite a elaboração do conjunto de instruções, que faz a varredura da rede em busca dos componentes instalados, identificação do estado das entradas e saídas, detecção de falhas etc, o software de programação para esta rede é o FST 202C.

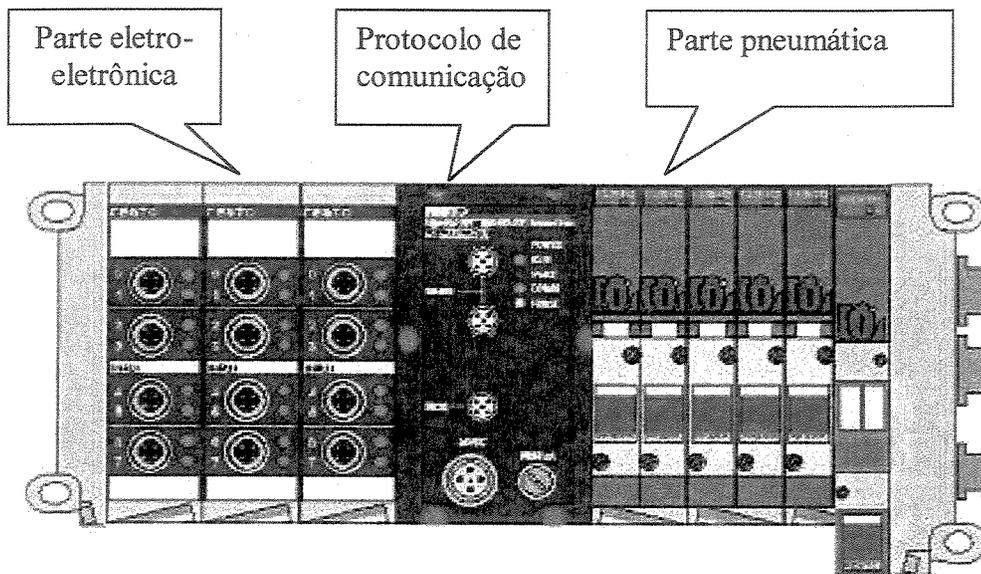


Figura 5.12 – Terminal de válvulas para a estação de montagem (Fonte – Festo AG e CO).

### 5.2.3.6 Software para a estação de montagem.

Para o desenvolvimento do comando da estação, utilizamos o software Festo Software Tool – FST 4.02, IEC 1131/FST/C, linguagem Statement List, que possui interoperabilidade com o mestre da rede, terminal de válvulas.

FST IORIO HC1X Projeto UNICAMP

Program 1 (V1) - Programa seqüencial da estação de montagem da Plataforma PIPEFA.

0001	Programa seqüencial da máquina		
0002			
0003	STEP 1		
0004			
0005	IF	I1.0.0	'GAVETA INFERIOR RECUADA
0006	AND	I1.0.2	'GAVETA SUPERIOR RECUADA
0007	AND	I1.0.4	'ALIMENTAÇÃO DE CUBOS RECUADO
0008	AND	I1.0.6	'MONTAGEM RECUADO
0009	AND	I1.1.0	'GARRA FECHADA
0010	AND	I1.1.2	'ELEVADOR RECUADO
0011	THEN RESET	O1.1.3	'RECUA ELEVADOR
0012	SET	O1.1.2	'AVANÇA ELEVADOR
0013			
0014	STEP 2		
0015			
0016	IF	I1.1.3	'ELEVADOR AVANÇADO
0017	THEN RESET	O1.0.1	'RECUA GAVETA INFERIOR
0018	SET	O1.0.0	'AVANÇA GAVETA INFERIOR
0019			
0020	STEP 3		
0021			
0022	IF	I1.0.1	'GAVETA INFERIOR AVANÇADA
0023	THEN RESET	O1.1.2	'AVANÇA ELEVADOR
0024	SET	O1.1.3	'RECUA ELEVADOR
0025			
0026	STEP 4		
0027			
0028	IF	I1.1.2	'ELEVADOR RECUADO
0029	THEN RESET	O1.0.0	'AVANÇA GAVETA INFERIOR
0030	SET	O1.0.1	'RECUA GAVETA INFERIOR
0031			

0032	STEP 5		
0033			
0034	IF	I1.0.0	'GAVETA INFERIOR RECUADA
0035	THEN RESET	O1.0.3	'RECUA GAVETA SUPERIOR
0036	SET	O1.0.2	'AVANÇA GAVETA SUPERIOR
0037			
0038	STEP 6		
0039			
0040	IF	I1.0.3	'GAVETA SUPERIOR AVANÇADA
0041	THEN RESET	O1.0.5	'RECUA ALIMENTADOR DE CUBOS
0042	SET	O1.0.4	'AVANÇA ALIMENTADOR DE CUBOS
0043			
0044			
0045	STEP 7		
0046			
0047	IF	I1.0.5	'ALIMENT. DE CUBOS AVANÇADO
0048	THEN RESET	O1.0.4	'AVANÇA ALIMENTADOR DE CUBOS
0049	SET	O1.0.5	'RECUA ALIMENTADOR DE CUBOS
0050			
0051	STEP 8		
0052			
0053	IF	I1.0.4	'ALIMENTAÇÃO DE CUBOS RECUADO
0054	THEN RESET	O1.0.7	'RECUA MONTAGEM
0055	SET	O1.0.6	'AVANÇA MONTAGEM
0056			
0057	STEP 9		
0058			
0059	IF	I1.1.4	'SENSOR MÉDIO DA MONTAGEM
0060	THEN SET	TO	'TEMPO DE ESPERA DA MONTAGEM
0061	RESET	O1.0.6	'AVANÇA MONTAGEM
0062	RESET	O1.1.1	'RECUA GARRA

0063	SET	O1.1.0	'AVANÇA GARRA
0064			
0065	STEP 10		
0066			
0067	IF	N TO	'TEMPO DE ESPERA DA MONTAGEM
0068	AND	I1.1.1	'GARRA AVANÇADA
0069	THEN SET	O1.0.7	'RECUA MONTAGEM
0070			
0071	STEP 11		
0072			
0073	IF	I1.0.6	'MONTAGEM RECUADO
0074	THEN RESET	O1.0.2	'AVANÇA GAVETA SUPERIOR
0075	SET	O1.0.3	'RECUA GAVETA SUPERIOR
0076			
0077	STEP 12		
0078			
0079	IF	I1.0.2	'GAVETA SUPERIOR RECUADA
0080	THEN RESET	O1.0.7	'RECUA MONTAGEM
0081	SET	O1.0.6	'AVANÇA MONTAGEM
0082			
0083	STEP 13		
0084			
0085	IF	I1.0.7	'MONTAGEM AVANÇADA
0086	THEN RESET	O1.1.0	'AVANÇA GARRA
0087	SET	O1.1.1	'RECUA GARRA
0088	SET	T0	'TEMPO DE ESPERA DA MONTAGEM
0089			
0090	STEP 14		
0091			
0092	IF	N TO	'TEMPO DE ESPERA DA MONTAGEM
0093	THEN RESET	01.0.6s	

0094	SET	O1.0.7	'RECUA MONTAGEM
0095			
0096	STEP 15		
0097			
0098	IF	I1.0.6	'MONTAGEM RECUADO
0099	THEN RESET	O1.0.1	'RECUA GAVETA INFERIOR
0100	SET	O1.0.0	'AVANÇA GAVETA INFERIOR
0101			
0102	STEP 16		
0103			
0104	IF	I1.0.1	'GAVETA INFERIOR AVANÇADA
0105	THEN RESET	O1.1.3	'RECUA ELEVADOR
0106	SET	P1.1.2	'AVANÇA ELEVADOR
0107			
0108	STEP 17		
0109			
0110	IF	I1.1.3	'ELEVADOR AVANÇADO
0111	THEN RESET	O1.0.0	'AVANÇA GAVETA INFERIOR
0112	SET	O1.0.1	'RECUA GAVETA INFERIOR
0113			
0114	STEP 18		
0115			
0116	IF	I1.0.0	'GAVETA INFERIOR RECUADA
0117	THEN RESET	O1.1.2	'AVANÇA ELEVADOR
0118	SET	O1.1.3	'RECUA ELEVADOR
0119			
0120	STEP 19		
0121			
0122	IF	NOP	
0123	THEN	JMP TO 1	
0124			

### **5.2.3.7 Projeto do comando da estação.**

O circuito (fig. 5.13), representa o projeto do comando da estação de montagem, em seus detalhes para instalação.

Após a montagem mecânica dos elementos, ajustes, estabelecimento da rede fieldbus, feitas as ligações, elétricas, pneumáticas, faz-se o comissionamento da instalação.

Por meio do computador, em conjunto com o mestre da rede, faz-se uma varredura, identificando todos os participantes da rede fieldbus, neste caso, o terminal de válvulas, estabelece-se a comunicação. É carregado o software de comando da estação e passo a passo o comando é verificado, procede-se aos ajustes de sensores, velocidades dos atuadores etc. Estando a automação funcionando conforme o previsto, o controle passa a ser feito pelo mestre da rede.

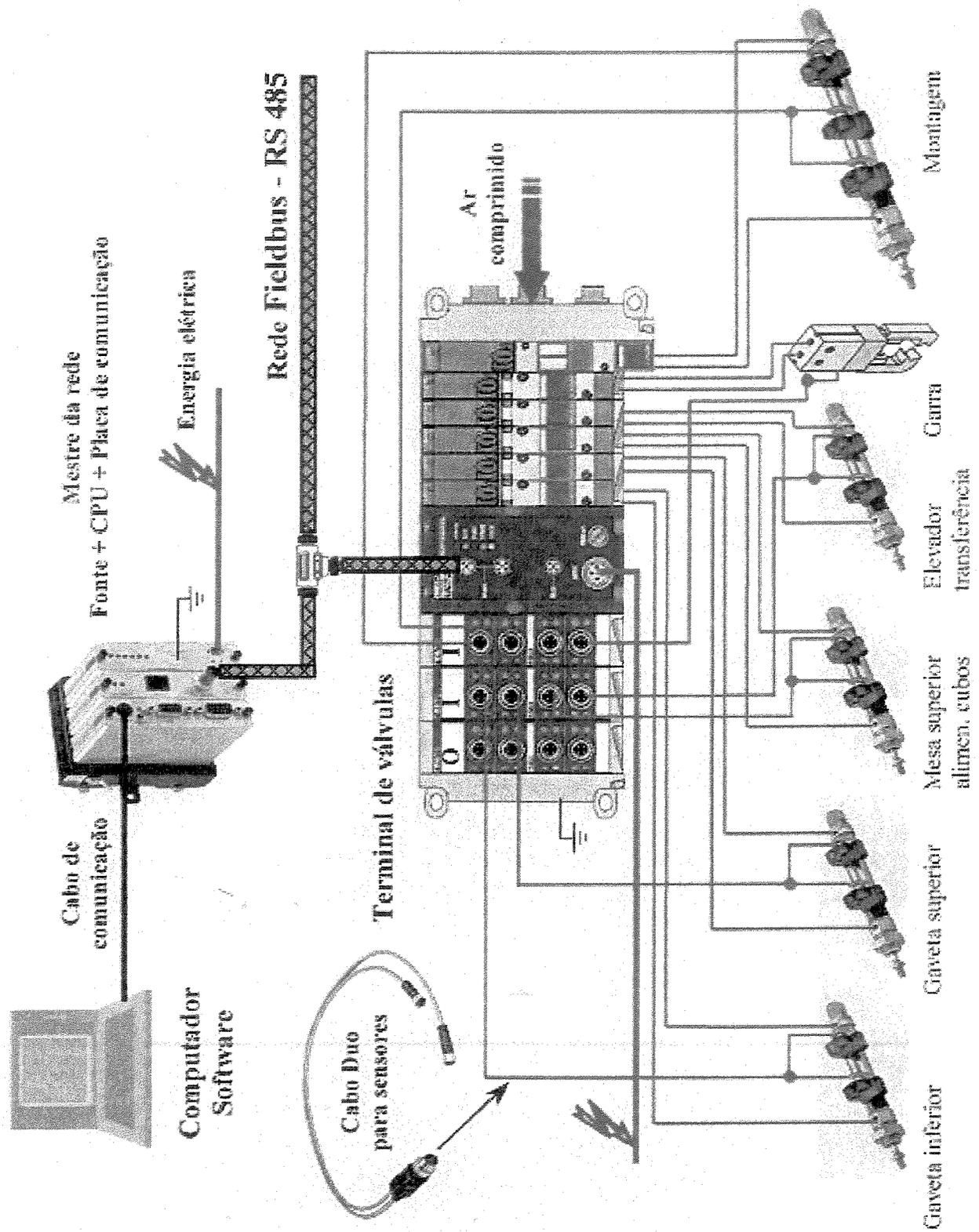


Figura 5.13 – Circuito geral da estação de montagem (Fonte – Iorio)

### 5.2.3.7.1 As diferenças entre os sistemas de comando e os resultados obtidos.

Para uma análise geral, a tabela 5.2, apresenta um comparativo entre o sistema convencional e o sistema fieldbus, onde pode-se verificar algumas das principais diferenças. Deve-se ressaltar que a plataforma representa um chão de fábrica para pesquisa, onde as distâncias entre o controle central, equipamentos etc, são pequenas. Para o fieldbus, quanto mais complexa for a automação, a instalação, trajeto de cabos..., mais econômico o sistema torna-se.

Sistema Convencional	Quantidade	Sistema com Rede Fieldbus	Quantidade
Cil. pneumáticos	6		6
Válvulas sol.	6		x
	x	Terminal com 6 válvulas solenóide	1
Sensores	13		13
n.º de I/Os na CPU	25		Zero
	x	Terminal com módulos	2 módulos para 12 I 1 módulo para 8 O
	x	Interface de comunicação	1 FB 5
Condutores	69,60 m	Cabo para rede	4 m
n.º de pontos de ligações	154		34
Tempo só para as ligações	13860 s		3060 s
Controlador da plataforma	CPU + 6 módulos de I + 6 de O, com 16 controles cada		CPU + módulo de comunicação para rede

Tabela 5.2 – Sistema convencional x Sistema fieldbus (Fonte – LAIR/Iorio).

E quais são os resultados que o fieldbus traz para este projeto, para a automação?

Pode-se apresentar em 5 frases, os grandes e significativos resultados técnicos e econômicos que a aplicação do fieldbus realmente traz e que são:

1. IMPACTO NA CONCEPÇÃO – os custos de engenharia; mão de obra; tempo são reduzidos significativamente e os atuais procedimentos completamente mudados;
2. IMPACTO NA INSTALAÇÃO – a atual conexão física, "ponto-a-ponto", entre equipamentos é substituída pela conexão multiponto. Conseqüentemente tem-se redução de materiais como: cabos, bandejas, borneiras, caixas de passagem...e área de instalação (Quanto custa 1 m<sup>2</sup> em um galpão industrial?). Tem-se ainda significativa economia com a configuração do CLP, o mestre da rede, I/Os não são mais necessários;
3. IMPACTO NA OPERAÇÃO – os equipamentos de campo são capazes de fornecer mais informações. Como o sinal digital é menos sensível a ruídos, a qualidade da informação também é melhor. Aumenta a robustez do sistema, dados digitais são mais confiáveis que analógicos;
4. IMPACTO NO COMISSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO – geralmente no contrato de prestação de serviço de engenharia, existe cláusula de multa por atraso na entrega da instalação, entrada em operação; indenização por perda de produção etc. O comissionamento de uma automação com rede de comunicação, é feito em menor tempo, o que pode evitar a incidência de multas;
5. IMPACTO NA MANUTENÇÃO E EXPANSÃO – os equipamentos de campo podem indicar falhas em tempo real, indicar diagnósticos preventivos, o que reduz o tempo de inatividade da planta, perda de produção. Num processo de melhoria, a expansão é facilmente realizada, parte-se do ponto em que se esta, implementa-se os novos equipamentos, amplia-se à rede de comunicação, atualiza-se o software e endereçamentos, tudo pronto para o funcionamento da melhoria desejada.

#### 5.2.3.8 Conclusões finais.

Neste capítulo, foram apresentados os fundamentos para desenvolver-se uma automação com rede de comunicação, que visa validar o desenvolvimento do projeto, para melhoria tecnológica de um sistema de comando. O projeto foi realizado a partir do sistema convencional de automação existente na plataforma PIPEFA e, desse ponto de partida procurou-se como objetivo modernizar o modelo conceitual, a Plataforma PIPEFA – UNICAMP, uma ferramenta estratégica que contribui, para uma maior utilização dos recursos científicos empresariais, disponíveis na pesquisa da Engenharia de Controle e Automação. Verificou-se a aplicação da automação com a rede fieldbus, como uma nova tecnologia de automação.

Como critério central, na formulação de uma modernização dos sistemas de automação, o trabalho focaliza a fase inicial de geração de idéias, os aspectos técnicos envolvidos, as diferentes soluções, tendo como parâmetro os recursos tecnológicos existentes no mercado.

Com base em experiências, pesquisas e materiais desenvolvidos, este trabalho, procura apresentar informações significativas e fundamentar nos 5 capítulos anteriores, um estudo tecnológico, realizado sobre um dos fatores preponderantes nas mudanças, as Redes de Comunicação, a Comunicação e, também tem-se a possibilidade em dar continuidade aos objetivos idealizados pelos criadores da plataforma, com o aprimoramento de uma massa crítica de pesquisadores no domínio da Engenharia de Automação Integrada, que utilizam a plataforma PIPEFA como base para Pesquisa, Ensino e Formação em Automação.

## Capítulo 6

### Conclusão e perspectivas futuras.

A aplicação da Automação utilizando Redes de Comunicação em Automação Industrial é um processo irreversível para a modernização industrial, justificando assim, o desenvolvimento desta dissertação de mestrado relacionada com a Plataforma Industrial para Pesquisa Ensino e Formação em Automação - PIPEFA, com parte operacional, correspondente a um "chão de fábrica" constituída de postos de trabalho (carregamento, montagem/desmontagem central e lateral, inspeção e descarregamento) com sistemas de comando independentes, por um sistema de supervisão cooperativo, planejamento de produção e, produz um produto genérico.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu o aprofundamento de conhecimentos no domínio da concepção, realização do ponto de vista material e sua utilização em sistemas automatizados de produção, com o aprimoramento, atualização dos conceitos sobre a tecnologia de automação hoje aplicada, que para tal, previamente é necessário conhecer-se as diversas tecnologias de automação, os seus elementos: processadores; sensores; atuadores; software e redes de comunicação.

Neste trabalho de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, foram apresentadas informações fundamentais para a implementação de redes de comunicação fieldbus, que visa contribuir com a automação, em toda sua abrangência de aplicação e sua engenharia.

Para tal tarefa, foram aplicados conceitos de Pneumática, Sensórica, Elétrica, Controladores Lógicos Programáveis, Desenvolvimento de Software e Redes de Comunicação, nos estudos:

1. Na análise da situação atual da automação e posicionamento para implementar a sua modernização;
2. No estudo sobre a importância e a diferença, que a automação com redes de comunicação esta fazendo para as indústrias, melhorando métodos de produção e competitividade;
3. Estudo dos vários tipos de sistemas de automação, vantagens e benefícios;
4. Estudo funcional dos movimentos seqüenciais de operação;
5. Elaboração de diagrama passo a passo;
6. Estudo e configuração dos equipamentos industriais indicados para compor a aplicação;
7. Desenvolvimento de aplicativo computacional para o controle da automação;
8. No desenvolvimento de uma estrutura seqüencial com as etapas fundamentais para desenvolver-se o projeto;
9. Execução do circuito de comando, aplicando rede fieldbus.

Para validação dos conceitos apresentados no corpo desse trabalho foi desenvolvido um estudo relacionado com a evolução dos sistemas de comando, aplicando os conceitos do Sistema Fieldbus a um dos postos constituintes da Plataforma PIPEFA (Posto de Montagem e Desmontagem Central), onde foram comparados os sistemas convencionais com a tecnologia Fieldbus.

Os resultados obtidos a partir do desenvolvimento deste trabalho são de suma importância, e imprescindível para a atualização do conhecimento tecnológico, no ensino, dos profissionais, no sentido de conhecerem o que faz a diferença e, a industrialização mundial, está vivendo uma nova era, a Era da Competitividade, onde novas filosofias, conceitos ou métodos, ferramentas e técnicas, estão diferenciando as empresas e profissionais e assegurando seu futuro.

### **Um futuro.**

Os romancistas e os visionários prevêm o que a humanidade irá criar no futuro. Mas, os cientistas costumam fazer outro tipo de previsão: algo deve existir mesmo que nunca tenha sido observado. Tais previsões costumam ser alvo de gozações, mas o gênio capaz de compreender a existência de algo por descobrir pode dizer:

— "Aguardem e verão".

As empresas defrontam-se com uma envolvente competitividade e mudança cada vez mais acelerada. E um dos grandes desafios da gestão atual é precisamente o de responder e antecipar mudanças.

Adivinhar o futuro é um sonho antiquíssimo da humanidade, mas não são apenas horóscopos, oráculos que cometem erros, mas também muitos prognósticos científicos.

Como um dos muitos exemplos que conhecemos na história, citamos o Prêmio Nobel de Física de 1907, o físico Albert Michelson, que fez grandes estudos sobre a propagação e medição da velocidade da luz. Antes de ser um Nobel, Michelson em 1903 disse:

— "As leis fundamentais mais importantes das ciências físicas já foram descobertas, e agora estão firmemente estabelecidas que a possibilidade de virem a ser superadas é excessivamente remota".

Michelson errou, somente quatro anos após esse pronunciamento, ele mesmo descobrir que: o Vento Cósmico Éter, como meio de propagação de luz não existia; o que lhe valeu o prêmio máximo em relação às conquistas e progressos obtidos pela humanidade.

Todas as visões indicam que a ciência e a tecnologia, estarão diante de grandes desafios. Os pesquisadores terão que se confrontar com uma explosão de conhecimentos. E mais do que nunca, serão questionados os limites do progresso e seus efeitos sobre o ser humano e natureza.

Na sociedade da informação, não basta considerar definitivo o que aprendeu-se uma vez. O aperfeiçoamento profissional será muito exigente. O desenvolvimento da técnica está sendo tão rápido que o conhecimento adquirido não pode ser aplicado por muito tempo.

Aprender a vida toda não é apenas um ideal que se almeja, mas uma necessidade vital.

O futuro da automação mundial está indiscutivelmente ligado à tecnologia das redes de comunicação ou aperfeiçoamentos, que estão causando e causarão profundas transformações.

Novos termos, procedimentos, novas estruturas para os sistemas, nova cultura, atualização permanente do conhecimento. Os sistemas de comunicações, as redes, serão sem dúvida, os elementos fundamentais para uma transformação.

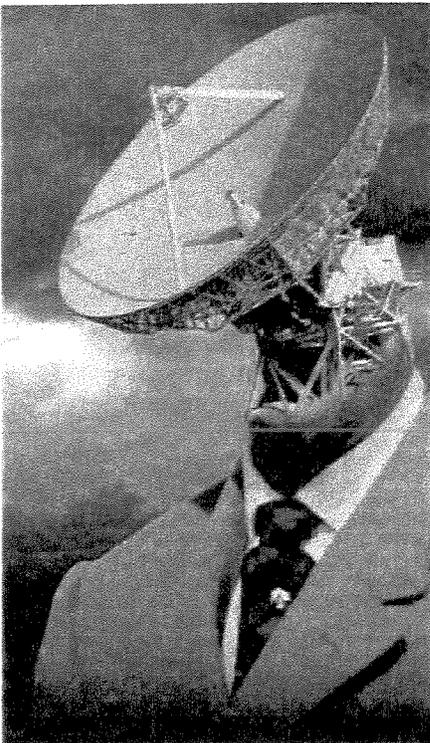
Em pouco mais de uma geração, nossas definições técnicas, de vida e o próprio significado da existência estarão radicalmente alterados.

Entre as futuras ferramentas para a remodelação podemos vislumbrar:

- Redes de comunicação neural artificial,
- Adeus silício,
- Bioautomação,
- Lógica Fuzzy
- Biocomputador,

- Nanotecnologia,
- Biotecnologia,
- Lógica por DNA,
- Chip optoeletrônico,
- Neuro-chip
- Biochips,
- Brainchip,
- Protômica,
- Reposição de partes do corpo humano, com a pneumática e eletrônica;
- Biomateriais;
- Memória holográfica,
- Memória em três dimensões...

Contextos cada vez mais complexos caracterizarão o progresso da humanidade e, é irreversível a aplicação da Automação, quando em um processo, a questão for gerir lucros e/ou prejuízos, diferenças tecnológicas, vantagens competitivas.



" O progresso tecnológico significa **Reorientação**.

As novas filosofias, conceitos e, técnicas ferramentas; estão produzindo mudanças rápidas que encontrarão resistências, gerarão conseqüências e impactos.

Os aspectos psicossociais causados, deverão ser vencidos, estamos vivendo a Era da Informação, onde as novas filosofias e técnicas, estão diferenciando as Organizações e o próprio Homem."

**L. C. Iorio.**

## Referências Bibliográficas

- [ ARAÚJO ] EMERSON dos Santos Araújo. Modelagem e Descrição da Parte Comando de um Sistema Automatizado de Produção utilizando o GRAFCET - Aplicado à uma Plataforma Industrial em Automação. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 91 p. Tese de Mestrado.
- [ ASFAHL ] Ray C. ASFAHL. Robots and Manufacturing Automation 2<sup>th</sup> USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992, 487 p.
- [ BITTAR ] R. C. S. M. BITTAR. A Utilização do GRAFCET como Ferramenta na Automação Industrial. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1993, 105 p. Tese de Mestrado.
- [ BOLLMANN ] Arno BOLLMANN. Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica, ABHP, São Paulo, 1997.
- [ CASTRUCCI ] Plínio B. L. CASTRUCCI. Controle Automático Teoria e Projeto. Editora da Universidade de São Paulo, 1969, 280 p.
- [ 1 FESTO AG e CO, 1997 ] FESTO AG e CO. Documentation Valve Terminal Type 03/05, 7 ed, Esslingen, 1997.

- [ 2 FESTO AG e CO, 2000 ] FESTO AG e CO. Info 191, Valve Terminal Midi Maxi, Esslingen, 2000.
- [ 3 FESTO AG e CO, 2000 ] FESTO AG e CO. Info 164, Valve Terminal Midi Maxi, Esslingen, 2000.
- [ 4 FESTO AG e CO, 2000 ] FESTO AG e CO. Info 142, Multi-functional Valve Terminal, Esslingen, 2000.
- [ 5 FESTO AG e CO, 2000 ] FESTO AG e CO. Valve Terminal With PROFIBUS, Esslingen, 2000.
- [ 6 FESTO, 2001 ] FESTO Automação Ltda. Terminal de Válvulas, São Paulo, 2001.
- [ FRANCO, GA II ] FRANCO, Lúcia R. H. R. Grupo de Automação e Informática Industrial. Escola Federal de Engenharia de Itajuba. Apostila de Redes Industriais.
- [ IEC ] INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION. IEC-60848: Preparation of Function Charts for Control Systems. Genebra, 1988, 99p.
- [ IORIO, 1995 ] IORIO, Luís Carlos. Terminais de Válvulas, a Evolução. Festo Atual. São Paulo, n.º 20, ago. 1995.
- [ IORIO, 1998 ] IORIO, Luís Carlos. Redes Industriais de Automação. Palestra Festo Automação, 1998.
- [ IORIO, 1998 ] IORIO, Luís Carlos. Sistema de comunicação industrial. Uma realidade e suas viabilidades econômicas e técnicas. Trabalho apresentado no VI Seminário Nacional de Hidráulica e Pneumática. PUC-ICMG - Cel. Fabriciano, MG, set. 1998.

- [ IORIO, 2000 ] IORIO, Luís Carlos. Redes Industriais de Automação. Palestra Festo Automação, 2000.
- [ JÚNIOR, 1988 ] JÚNIOR, José Zakir. Redes Locais, O Estudo de Seus Elementos. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- [ LAIR ] LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E ROBÓTICA, Documentação PIPEFA. Campinas 1998.
- [ MENDES, 1991 ] MENDES, Manoel de Jesus. Redes Industriais de Chão de Fábrica. Apostila de redes. Campinas, 1991.
- [ MEMBERS TRIPOD, 1994 ] MEMBERS TRIPOD. Artigos Técnicos Especializados. Coletânea. 1994.
- [ PROFIBUS, Description ] PROFIBUS. Technical Description. PROFIBUS Nutzeorganisatione e. V. 1997.
- [ PROFIBUS, Solution ] PROFIBUS. The Solution of the Future. PROFIBUS Nutzeorganisatione e. V. 1997.
- [ SANTOS ] José J. Horta SANTOS. Automação Industrial. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979, p. 10 - 23.
- [ STIUBINER, 1995 ] STIUBINER, Stefânia. Arquitetura de Redes de Computadores. São Paulo : Makron Books, 1995.
- [ WWW ISA ] The Instrumentation, Systems and Automation Society. Article Archive. Available: <http://www.isa.org> ; [fieldbus.isa.org](http://fieldbus.isa.org) [2001, nov. 17]

- [ WWW FF ] Fieldbus Foundation. About FF, Products e Services, News. Available: <http://www.fieldbus.org> [2001, nov. 30]
- [ WWW INTERBUS ] INTERBUS, Club. Press Releases, Product Catalogue, Technical Description. Available: <http://www.interbusclub.com> [2001, dez. 12].
- [ WWW PROFIBUS ] PROBIBUS, User Organisation. Technical Description, Press Releases, Product Catalogue, Library. Available: <http://profibus.com>[2001, dez. 12].
- [ WWW WorldFIP ] World Factory Instrumentation Protocol. About WorldFIP, Press Release, Overview, Newsletter. Available: <http://www.worldfip.org> [2001, dez. 28].