

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

FERNANDO CAVALLIN

**ESTUDO SOBRE REDES DE COMUNICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO
INDUSTRIAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

FERNANDO CAVALLIN

ESTUDO SOBRE REDES DE COMUNICAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Monografia de Especialização,
apresentado ao Curso de Especialização
em Automação Industrial, do
Departamento Acadêmico de Eletrônica,
da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, como requisito parcial
para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber K. H. Nabas

CURITIBA
2016

AGRADECIMENTO

A Deus, pela existência e oportunidade de poder fazer este trabalho. A todos os que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, ao Orientador, professor Dr. Kleber Nabas, pelo incentivo, muito obrigado.

RESUMO

CAVALLIN, Fernando. **Estudo sobre Redes de Comunicação para Automação Industrial**. 2016. 60 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Baseado no estado da prática das Redes de comunicação Industrial, esse trabalho apresenta uma revisão acerca delas, suas principais características e aplicações. Buscando apresentar as informações necessárias para quem procura a implementação de redes industriais. Na primeira parte são detalhadas as características gerais das redes, suas especificações e características físicas e funcionais. Na segunda, é apresentado a classificação das redes, os protocolos mais utilizados no mercado e suas funcionalidades. Em seguida, são apresentados os sistemas para gerenciamento de informações, PIMS – *Plant Information Management System* e MES – *Manufacturing Execution system*, e por fim, o SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*.

Palavras chave: Automação Industrial.Redes Industriais.Comunicação de Dados.

ABSTRACT

CAVALLIN, Fernando. **Study about Communication Networks for Industrial Automation**. 2016. 60 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Based on the state of the practice of Industrial Communication Networks, this work presents a review about them, their main characteristics and applications. Seeking to present the necessary information for those looking for the implementation of industrial networks. In the first part are detailed the general characteristics of the networks, their specifications and physical and functional characteristics. In the second, the classification of the networks, the protocols most used in the market and their functionalities are presented. Next, the systems for information management, PIMS - Plant Information Management System and MES - Manufacturing Execution system, and finally SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition are presented.

Keywords: Industrial Automation. Industrial Networks. Data Communication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Níveis da Pirâmide de Automação	16
Figura 2: Arquitetura de sete camadas, padrão ISO.	17
Figura 3: Topologia barramento	20
Figura 4: Topologia	21
Figura 5: Topologia estrela.....	21
Figura 6: Topologia árvore.	22
Figura 7: Topologia malha.....	22
Figura 8: Barramento Pooling, cíclico e mudança de estado.	23
Figura 9: Modo de Operação.....	25
Figura 10: Tipos de cabos para transmissão de dados.	27
Figura 11: Barramento CANopen.....	33
Figura 12: Barramento DeviceNet.....	34
Figura 13: Barramento TCP.	36
Figura 14: Arquitetura de comunicação PROFIBUS	38
Figura 15: Barramento Profibus.	40
Figura 16: Sistema convencional(a), sistema AS-i (b).....	41
Figura 17: Transmissão protocolo Hart.	42
Figura 18: Conexão HART via multiplexador.	43
Figura 19: Barramento Fieldbus H1 e HSE.	45
Figura 20: Tipologia estrela, com <i>switch</i>	46
Figura 21: Especificações padrão OPC.	51
Figura 22: Pirâmide da automação	53
Figura 23: Exemplo de interface SCADA.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação geral das Redes Industriais (SMAR, 2011)	19
Tabela 2: Frame de dados transmitidos em rede CAN	31
Tabela 3: Comprimento cabo CANopen:.....	32
Tabela 4: Relação taxa de transmissão/tamanho da rede DeviceNet:	34
Tabela 5: Diferentes meios de comunicação utilizados pelo PROFIBUS:.....	39
Tabela 6: Comparação entre Profibus e ProfiNet:	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CIP	<i>Common Industrial Protocol</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
COM	<i>Component Object Model</i>
CPU	<i>Central Process Unit</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple /Collision Detection</i>
CSMA/CR	<i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Resolution</i>
DA	<i>Data Access</i>
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i>
DP	<i>Decentralized Peripheral</i>
EPS	<i>Enterprise Production Systems</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FF	<i>Foundation Fieldbus</i>
FMS	<i>Fieldbus Message Specification</i>
FSK	<i>Frequency Shift Key</i>
HDA	<i>Historical Data Access Specification</i>
HDLC	<i>High Level Data Link Control</i>
HSE	<i>High Speed Ethernet</i>
IEC	<i>International Eletrotechnical Commission</i>
IED	<i>Instrumentos Eletrônicos Inteligentes</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Eletronic Engineers</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>Intenational Organization for Stardardization</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MBP	<i>Manchester Bus Code Powered</i>
ODVA	<i>Open DeviceNet Vendors Association</i>

OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PA	<i>Process Automation</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PIMS	<i>Plant Information Management System</i>
RM-OSI	<i>Reference Model for Communication between Open Systems</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
STP	<i>Shield Twisted Pair</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TA	Tecnologia da Automação
TI	Tecnologia da Informação
UTP	<i>Unshield Twisted Pair</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Introdução as Redes Industriais	15
2.2	Classificação das Redes de Campo	15
2.2.1	Redes de Informação	15
2.2.2	Redes de Controle	15
2.2.3	Redes de Campo	16
2.3	Padrão ISO/OSI	16
2.4	Características Gerais das redes	19
2.4.1	Topologia Física	19
2.4.1.1	Topologia tipo Barramento	20
2.4.1.2	Topologia em Anel	20
2.4.1.3	Topologia Estrela	21
2.4.1.4	Topologia Árvore	21
2.4.1.5	Topologia de Malha	22
2.4.2	Modelos de Rede	22
2.4.2.1	Modelo Origem/Destino	22
2.4.2.2	Modelo Produtor/Consumidor	23
2.4.3	Troca de Dados	23
2.4.3.1	Pooling	23
2.4.3.2	Cíclico	24
2.4.3.3	Mudança de Estado	24
2.4.4	Tipo de Conexão	24
2.4.4.1	Ponto a Ponto	24
2.4.5	Taxa de Transmissão	24
2.4.7	Modo de Operação	25
2.4.7.1	Simplex	25
2.4.7.2	Half-Duplex	25
2.4.7.3	Full-Duplex	25
2.4.8	Tamanho das redes de comunicação	25
2.4.9	O Meio Físico de Transmissão	26
2.4.9.1	Cabo de Pares Trançados	27
2.4.9.2	Cabo de Fibra Ótica	28
2.4.9.3	Meio de Transmissão Sem Cabo	28
2.4.10	Componentes de uma rede industrial	29
2.4.11	Protocolos	29
3	CLASSIFICAÇÃO DAS REDES INDUSTRIAIS	30

3.1 CAN – Controller Area Network	30
3.1.1 CANopen	31
3.1.1.1 Frame de dados	31
3.1.1.2 Acesso a rede	31
3.1.1.3 Outras características da rede CANopen	32
3.1.2 DeviceNet	33
3.2 Modbus	35
3.2.1 Comunicação	35
3.2.2 Protocolos Modbus	36
3.3 PROFIBUS	37
3.3.1 Dispositivos em uma rede PROFIBUS	38
3.3.2 Meios de Transmissão	38
3.3.3 Ligação na rede PROFIBUS DP	39
3.4 AS-i <i>Actuator Sensor interface</i>	40
3.5 HART <i>Highway Addressable Remote Transducer</i>	41
3.6 FOUNDATION fieldbus (FF)	43
3.8 Ethernet	45
3.8.1 Profinet	46
3.8.1.1 ProfiNet I/O	46
3.8.1.2 ProfiNet I/O RT <i>Real Time</i>	47
3.9 Critérios para seleção de Redes Industriais	47
4 SISTEMAS PARA O GERENCIAMENTO DAS INFORMAÇÕES	50
4.1 OPC - Open Linking and Embedding for Process Control	50
4.2 Especificações OPC	50
4.3 MES - <i>Manufacturing Execution System</i>	52
4.4 PIMS <i>Plant Information Management System</i>	53
4.5 SCADA	54
4.5.1 Componentes SCADA	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

No início do século XX, apesar do conceito de indústria já estivesse praticamente consolidado, os processos fabris contavam ainda com sistemas de automação incipientes. A utilização de novas formas de energia, busca pelo lucro, melhora na produtividade e qualidade impulsionaram a busca pela melhora desse processo (SILVEIRA; LIMA, 2003).

A automação industrial é um segmento que atua na implementação e melhoramento do controle dos processos industriais, através da utilização de sistemas computacionais e eletrônicos (CASTRUCCI, MORAES, 2007). Através dela, é possível atingir melhoras significativas na produtividade, segurança, eficiência e na qualidade dos produtos fabricados.

Os sistemas de automação munidos de redes de campo, estão, cada vez mais, se difundindo. A superação em relação aos sistemas de controle do tipo ponto a ponto se dá, principalmente, por fatores econômicos e técnicos, o que os revela uma tecnologia extremamente vantajosa e atraente (LUGLI, SANTOS 2009).

A evolução da TI – Tecnologia da Informação, e da eletrônica, fornecem suporte para os sistemas de automação distribuídos. O barateamento da fabricação de componentes, como microcontroladores, memórias, possibilitam o desenvolvimento de dispositivos autônomos inteligentes. Ainda, com a evolução de sistemas operacionais tempo real, ferramentas de modelagem e simulação, técnicas de orientação a objetos, tem contribuído para a evolução dos sistemas de automação industrial (LUGLI, SANTOS, 2009).

Houve a necessidade de se desenvolver sistemas de redes que suportassem ambientes hostis, com interferências eletromagnéticas, umidade, poeira, capacidade de largo espectro de volume de informações (NOGUEIRA, 2009).

Com a utilização dessas ferramentas e métodos, torna-se possível o desenvolvimento de sistemas de automação compostos por uma gama de controladores, atuadores, sensores e outros tipos de dispositivos conectados entre si por uma rede, propriamente um barramento industrial, os quais cooperam todos para realização de tarefas.

Atualmente, a utilização de TA – Tecnologia de Automação, e TI – Tecnologia da Informação, possibilitam não só o controle de chão de fábrica, mas a interligação com administração e área de negócios, a automação continua pós produto acabado, atingindo fronteiras mais abrangentes: a automação do negócio (CASSIOLATO, 2016).

1.1 PROBLEMA

Ainda há fornecedores de soluções em redes de campo proprietárias, fazendo com que o cliente seja dependente de serviços, produtos e manutenção de um único fabricante. Esse casamento pode significar custos onerosos e dificuldades de se proceder melhorias e ampliações futuras.

Visando a flexibilidade e interoperabilidade de operação, há grupos de desenvolvedores que definem normas para o padrão aberto a fim de desenvolver redes de campo que possam ser compatíveis em todos os níveis. Com esse modelo, todos ganham; os desenvolvedores que seguem um padrão único, e o cliente, que não fica totalmente ligado e dependente de apenas um fornecedor.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo mostrando as principais características dos sistemas de barramento industriais mais difundidos no mercado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Listar os principais sistemas de redes disponíveis;
- Revisar o estado da prática desses sistemas;

- Demonstrar as principais características, a fim de auxiliar na escolha de uma rede de comunicação que melhor se adapta a aplicação desejada;

1.3 JUSTIFICATIVA

Visto o grau de importância das redes de comunicação tem na automação industrial, definir uma solução de rede para estabelecer comunicação em uma empresa é uma decisão muito importante.

De acordo com Lugli (2009), é necessário desenvolver e manter a integridade e a funcionalidade das redes industriais, aperfeiçoando o desempenho, tornando-as mais seguras, escaláveis e confiáveis. O conhecimento em redes industriais permite:

- Segurança e operabilidade na aquisição de dados, através da escolha da melhor e mais segura opção de rede;
- Aprimoramento da execução, com a correta especificação da rede;
- Aprimoramento do desempenho da produção, com adequação dos tempos de resposta das redes de chão de fábrica;
- Produção e comunicação de maneira eficiente, através da correta aplicação das tecnologias exigidas pelas redes;
- Recuperação do investimento nas redes com sua melhor utilização.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura abaixo apresentada.

Capítulo 1 - Introdução: serão apresentados o tema, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo 2 – Serão abordados os aspectos gerais das redes, suas especificações e características físicas e funcionais.

Capítulo 3 – Serão apresentados os principais protocolos de redes de comunicação industria.

Capítulo 4 – Neste capítulo serão descritos os Sistemas PIMS, MES e SCADA.

Capítulo 5 – Considerações finais: serão retomados a pergunta de pesquisa e os seus objetivos e apontado como foram solucionados, respondidos, atingidos, por

meio do trabalho realizado. Além disto, serão sugeridos trabalhos futuros que poderiam ser realizados a partir do estudo realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução as Redes Industriais

As redes industriais surgiram da necessidade de se interligar CLP's – Controlador Lógico Programável, e PC's – *Personal Computer*, essas se multiplicaram de maneira independente. A interligação desses equipamentos possibilitou que fossem compartilhados recursos de dados, as quais passaram a ser únicas, não necessitando serem replicadas, trazendo mais segurança aos usuários da informação (ROSARIO, 2005).

No mercado brasileiro, elas surgiram, de fato, a cerca de 15 anos. Atualmente, muitas industriais ainda utilizam os sistemas convencionais com CLP – Controlador Lógico Programável, ponto a ponto.

2.2 Classificação das Redes de Campo

As redes são classificadas através de sua topologia física, modelo de rede, método de troca de dados, tipo de conexão, modo de transmissão, sincronização de bits, modo de operação e tipo de comutação.

2.2.1 Redes de Informação

De acordo com Cassiolato (2011), as redes de informação ocupam o nível mais elevado dentro de uma arquitetura. É comum, em grandes corporações, a escolha de um *backbone* de grande capacidade para a interligação dos sistemas ERP – *Enterprise Resource Planing*, gerenciamento da cadeia de suprimentos - *Supply Chain*, e EPS – *Enterprise Production Systems*.

2.2.2 Redes de Controle

As redes de controle são incumbidas de interligar os sistemas industriais de nível 2 (SCADA), aos sistemas de nível 1, que são representados por CLP's, remotas de campo responsáveis por aquisição de dados. É possível também que equipamentos pertencentes ao nível 3 possam estar interligados, como PIMS e MES, a esse barramento.

2.2.3 Redes de Campo

São sistemas de comunicação industrial que utilizam ampla variedade de meios físicos, como fibras óticas, cabos de cobre ou sem fio, para conectar os dispositivos de campo, como sensores, medidores, transmissores, a um sistema de controle ou gerenciamento (LUGLI, 2009).

A figura a seguir traz a conhecida pirâmide da automação, que mostra os diferentes níveis de atuação das redes industriais, do chão de fábrica, até o nível gerencial.

Níveis da pirâmide de Automação:

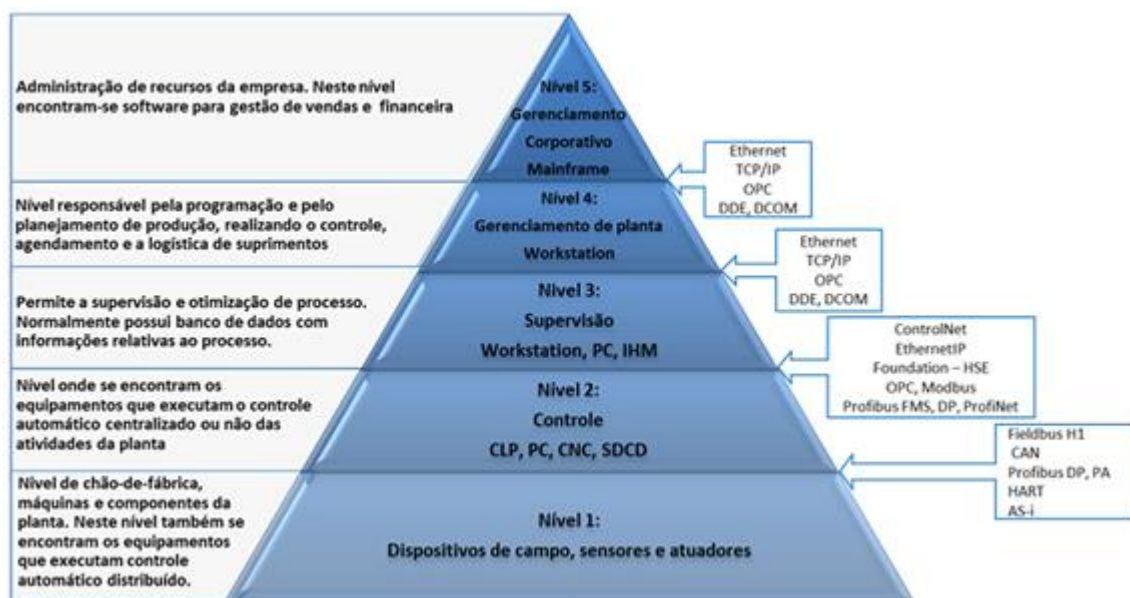


Figura 1: Níveis da Pirâmide de Automação

Fonte: SMAR 2011.

2.3 Padrão ISO/OSI

Inicialmente, cada fabricante desenvolveu sua arquitetura, de modo que seus computadores pudessem trocar informações entre si, são chamadas redes proprietárias, sendo controladas por uma única entidade, o desenvolvedor.

No ano de 1978, a fim de padronizar o sistema de comunicação de dados das redes, a ISO – International Organization for Standardization – definiu um modelo de referência. Esse padrão segue a filosofia de arquitetura multicamadas. Ela gerencia a estrutura da comunicação de dados, através de sete camadas. A figura 3 traz o esquema de organização das camadas:

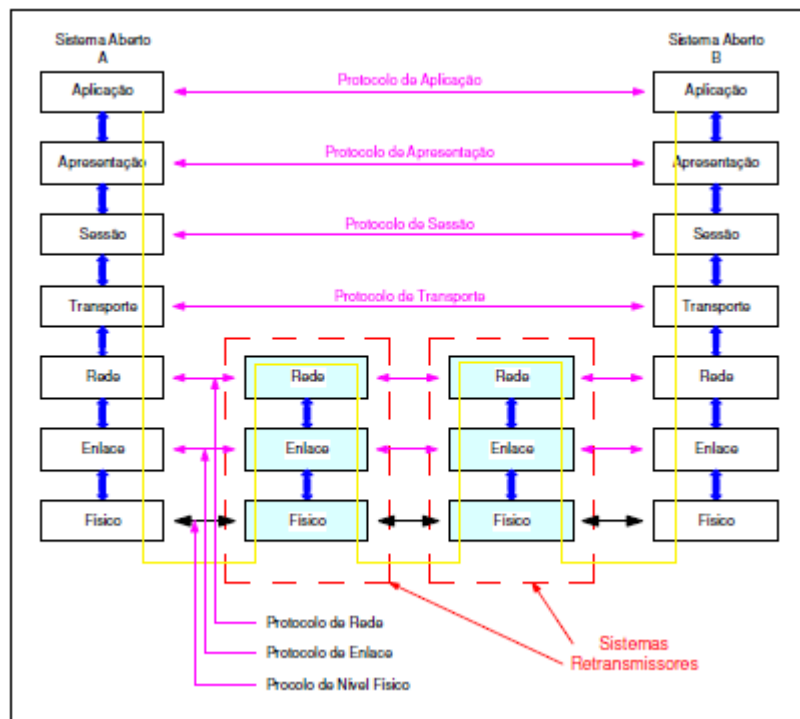


Figura 2: Arquitetura de sete camadas, padrão ISO.
Fonte: Bertolini 2015.

De acordo com os documentos da ISO (ISO 84 e ISO 92), o objetivo do padrão internacional 7498, denominado RM-OSI – *Open System Interconnection Reference Model*, é fornecer uma base comum para permitir o desenvolvimento coordenado de padrões para interconexão de sistemas.

De acordo com Rosário (2005), as principais funções das camadas desse padrão são:

- Camada Física: o meio físico fornece as características funcionais, elétricas, mecânicas e de procedimento para ativar, manter, desativar conexões físicas para transmissões de bits entre entidades de nível de enlace. A função desse nível é permitir o envio de uma cadeia de bits pela rede, sem se preocupar com problemas, como erros de transmissão.
- Camada de enlace de dados: seu objetivo é detectar e, opcionalmente corrigir erros que possam ocorrer no meio físico. Assim, ele converte um canal de transmissão não confiável em canal confiável para uso do nível de rede. São criados números sequenciais do lado da transmissão e recepção a fim de promover a validação das mensagens.
- Camada de Rede: tem como função principal, fornecer ao nível de transporte, uma independência quanto a considerações de chaveamento e roteamento associadas ao estabelecimento e operação de uma conexão de rede. Há dois modelos quanto ao serviço oferecido pelo circuito de rede: datagrama e circuito virtual.
- Camada de Transporte: o nível de rede não consegue garantir que um pacote de dados chegue ao seu destino. Assim, pacotes podem ser perdidos ou chegarem fora da sequência original da transmissão. O nível de protocolo transporte consegue fornecer uma transmissão fim a fim realmente confiável. Esse nível isola os demais níveis superiores da parte de transmissão da rede.
- Camada de Sessão: este nível fornece mecanismos que permite estruturar os circuitos fornecidos pelo meio de transporte. Aqui são gerenciados o *token*, gerenciamento de atividades e controle de diálogo.
- Camada de Apresentação: Sua função é realizar transformações adequadas nos dados, antes do envio para camada de sessão. Fazem parte dessas transformações a compressão de textos, criptografia, conversão de padrão de terminais e arquivos para padrões de rede e vice-versa. Além disso, ocorrem transformações

de dados, seleção de sintaxes, estabelecimento e manutenção de conexões de apresentação.

- Camada de Aplicação: Oferece aos processos de aplicação os meios para que estes utilizem o ambiente de comunicação OSI. Aqui são definidas funções de gerenciamento e mecanismos genéricos que servem de suporte à construção de aplicações distribuídas.

2.4 Características Gerais das redes

A tabela abaixo mostra a classificação geral das Redes Industriais:

Tabela 1: Classificação geral das Redes Industriais

Classificação Geral das Redes Industriais	
Topologia Física	<ul style="list-style-type: none"> • Barramento • Anel • Estrela • Árvore • Mista
Modelos de Redes	<ul style="list-style-type: none"> • Origem-destino • Produtor-consumidor
Método de Troca de Dados	<ul style="list-style-type: none"> • Pooling • Cíclica • Mudança de estado
Tipo de Conexão	<ul style="list-style-type: none"> • Ponto a ponto • Múltiplos pontos
Modo de Transmissão	<ul style="list-style-type: none"> • Serial • Paralela
Sincronização de bits	<ul style="list-style-type: none"> • Síncrona • Assíncrona
Modo de Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Simplex • Half Duplex • Full Duplex
Tipo de Comutação	<ul style="list-style-type: none"> • Comutação de circuitos • Comutação de pacotes

Fonte: SMAR(2011).

2.4.1 Topologia Física

Topologia é um termo adotado para ilustrar a forma de conexão física entre os componentes que compõe a rede. Geralmente, a rede é formada por inúmeros

pontos, de acordo a disposição dos mesmos, classifica-se a topologia (LOPEZ, 2000). De acordo com esse autor, podemos descrever os modelos dessas conexões:

2.4.1.1 Topologia tipo Barramento

Utiliza normalmente um cabo longo, comumente chamado *backbone*; os dispositivos são conectados a ele, usando conectores, em formato de “T”. O *backbone* é terminado nas extremidades. A maior parte das topologias permite que os sinais trafeguem nas duas direções, havendo restrição de distância e número de bifurcações, a fim de manter a integridade do sinal. No caso de falha, sua detecção é difícil e todos os dispositivos são afetados.



Figura 3: Topologia barramento
Fonte: teleco.com.br (2016).

2.4.1.2 Topologia em Anel

Neste arranjo, cada dispositivo se conecta diretamente ao anel, ou através de interface ou cabo trançado. Os sinais elétricos são transmitidos de um dispositivo a outro através de apenas uma direção. Cada dispositivo incorpora um transmissor no cabo de saída e um receptor no cabo de entrada, o que ajuda a preservar o sinal. Em caso de falha, no uso de loop simples, todos os dispositivos são afetados, porém a localização é fácil. No modelo de *loop* duplo com redundância, tem dois anéis separados fisicamente e cada transmissão é feita em uma direção diferente.



Figura 4: Topologia Anel
Fonte: teleco.com.br (2016).

2.4.1.3 Topologia Estrela

Utiliza um dispositivo central, com cabo trançado conectado em todas as direções. Cada dispositivo é conectado através de uma ligação ponto a ponto ao dispositivo central. Esse tipo de topologia pode ser usado em outras estrelas para formar topologias em forma de árvore ou hierárquica. No caso de falhas, os segmentos que permanecem em bom estado continuam funcionando e a falha é de fácil detecção.



Figura 5: Topologia estrela.
Fonte: teleco.com.br(2016).

2.4.1.4 Topologia Árvore

É disposta em um modelo de hierarquia, lembra ramos de uma árvore. Para se chegar a um nó, existe apenas um caminho, evitando problemas de roteamento. Em caso de falha na conexão, esta é interrompida, pois não há caminho alternativo.

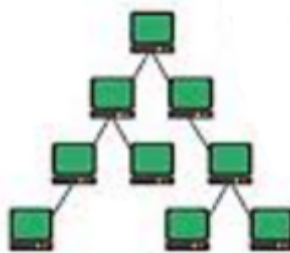


Figura 6: Topologia árvore.
Fonte: teleco.com.br(2016).

2.4.1.5 Topologia de Malha

Este modelo possui conexão ponto a ponto entre cada dispositivo da rede. Todos os dispositivos precisam ter interface entre si na rede. No caso de falha, sua localização é fácil, e a rede total continua em operação.



Figura 7: Topologia malha.
Fonte: teleco.com.br(2016).

2.4.2 Modelos de Rede

2.4.2.1 Modelo Origem/Destino

No protocolo de comunicação de cada estação, está incluído um conjunto de filas para receber e enviar arquivos. Quando uma estação deseja, por exemplo, receber a informação de um sensor de pressão, ela envia uma mensagem para a interface de comunicação para que seja lida a informação na estação Y. Assim, a mensagem de solicitação é mantida na fila e lançada para a rede na próxima vez

que a estação Y se comunicar. O sensor de pressão recebe o pedido, que é mantido numa fila de recepção. O sensor então mede e retorna o valor solicitado numa mesma frequência.

O principal fator no tempo de resposta do modelo é o tempo de espera nas filas. Uma estação com baixa performance afeta o desempenho de todo sistema. Devido a isso, os sistemas origem/destino são difíceis de configurar (FENG, 2015).

2.4.2.2 Modelo Produtor/Consumidor

São sistemas de fácil configuração, principalmente onde é requerida a operação cíclica. Esse modelo é limitado ao gerenciamento de eventos e transmissão de grande quantidade de informação. Utiliza um grupo de *buffers* no caminho de comunicação de cada estação. Cada *buffer* mantém o valor de uma variável de aplicação, aguardando para enviar via rede ou ser utilizado localmente. Além disso, cada *buffer* corresponde a uma variável de aplicação e é identificado por um rótulo lógico (FENG, 2015).

2.4.3 Troca de Dados

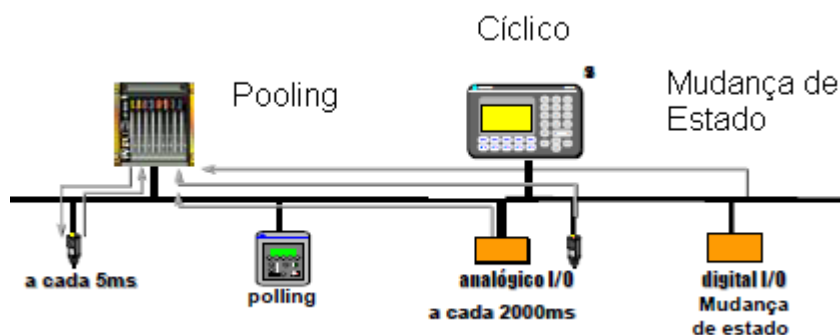


Figura 8: Barramento Pooling, cíclico e mudança de estado.
 Fonte: teleco.com.br(2016).

2.4.3.1 Pooling

O sistema de troca de dados do tipo *pooling* consiste no envio imediato dos dados, de modo instantâneo. É compatível com sistema mestre/escravo e multi-mestre, não sendo recomendado sua utilização com ponto a ponto.

2.4.3.2 Cíclico

Neste sistema, os dados são produzidos ciclicamente a uma taxa que é previamente definida pelo usuário. É um modelo eficiente pois os dados são transferidos a uma taxa adequado aos dispositivos participantes da transmissão/recepção. Apresenta também melhor determinismo, além de permitir que os recursos da rede são poupados para outros dispositivos (AFONSO, 2015).

2.4.3.3 Mudança de Estado

Aqui, os dispositivos produzem dados somente quando têm seu estado alterado. Desta forma, o tráfego na rede é reduzido drasticamente. Os recursos de rede não são desperdiçados processando dados antigos que se repetem. Um sinal é transmitido ciclicamente só para informar que o dispositivo está ok (ALDABÓ, 2001).

2.4.4 Tipo de Conexão

2.4.4.1 Ponto a Ponto

No método de conexão ponto a ponto, os dispositivos enquadrados na mesma categoria são livres para tomar a iniciativa de comunicação. As trocas de dados são feitas com mais de um dispositivo, ou múltiplas trocas com o mesmo dispositivo. Neste modelo, as mensagens explícitas são predominantes, todos os dispositivos “ouvem” (NOGUEIRA, 2009).

2.4.5 Taxa de Transmissão

Throughput é o termo utilizado para designar a taxa de transmissão de dados em uma rede. É considerado a quantidade média de dados a ser transmitida em um dado período de tempo. A unidade de medida é o kilobits por segundo (kbps) (NATALE, 2008).

2.4.7 Modo de Operação

A figura a seguir traz os modos de operação, *Simplex(a)*, *Half-Duplex (b)* e *Full-Duplex (c)*.

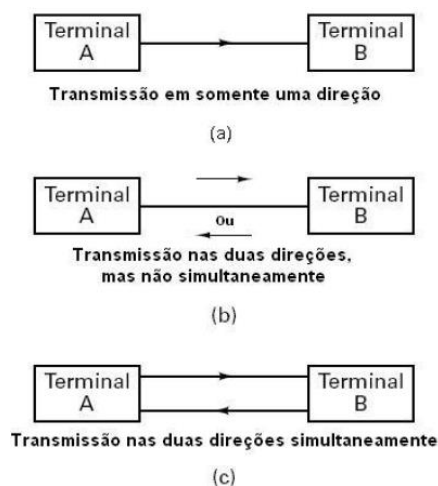


Figura 9: Modo de Operação.

Fonte: NOGUEIRA(2010).

2.4.7.1 Simplex

Aqui, o enlace é utilizado apenas em um dos dois possíveis sentidos de transmissão. É um método unidirecional.

2.4.7.2. Half-Duplex

O enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão, todavia apenas um por vez. É um sistema bi-direcional não simultâneo.

2.4.7.3 Full-Duplex

O enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão, simultaneamente. É um sistema bi-direcional simultâneo.

2.4.8 Tamanho das redes de comunicação

As redes podem ser classificadas também, quanto ao critério do atendimento a localidade, ou seja, a distância entre os usuários por elas interligados. Podem possuir de alguns metros, a até quilômetros de distância.

Em resumo, podemos citar as redes segundo a sua extensão, assim:

- *CAN (Campus Area Network)* significa a comunicação de computadores em uma unidade fabril, em prédios diferente ou mesmo em um campi. A extensão pode chegar a cinco quilômetros.
- *LAN (Local Area Network)* é a comunicação de computadores em um mesmo prédio, ou mesmo em uma sala. É uma rede local, pode ter até 200 metros de extensão;
- *PAN (Personal Area Network)* é uma rede de uso pessoal, é limitada no pequeno alcance e baixo desempenho. É utilizada para comunicação de pequenos dispositivos, com PC's, celulares, tablets.
- *WAN (Wide Area Network)* é um rede de longa distância. Conecta computadores em qualquer parte do mundo. Utiliza como meio físico a rede telefônica, satélites, mais diversas antenas. Sua extensão é acima de 50 quilômetros (SANCHES, 2007).

2.4.9 O Meio Físico de Transmissão

Meio de transmissão é o caminho físico pelo qual as ondas eletromagnéticas e os sinais elétricos se propagam. Na atualidade, os meios de transmissão dos dados mais populares são o cabo de pares trançados, cabo coaxial, cabo paralelo e o cabo de fibra ótica. Além disso, há a transmissão sem fio, que avançando em confiabilidade ao longo dos anos (LOPEZ, 2000).

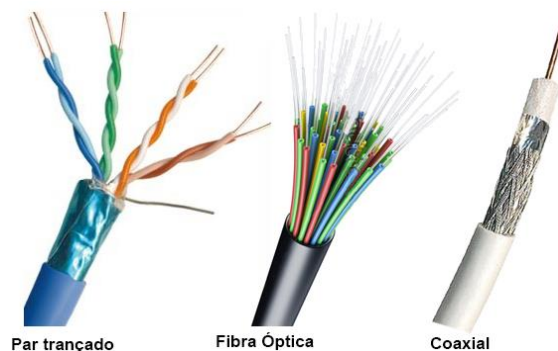


Figura 10: Tipos de cabos para transmissão de dados.
Fonte: NOGUEIRA(2010).

2.4.9.1 Cabo de Pares Trançados

Utilizam o cobre como cabo de comunicação. Quando dos fios de cobre muito próximos conduzem sinais elétricos, ocorre certa quantidade de interferência eletromagnética, chamada de diafonia. Ainda, devido à faixa eletromagnética usada, esse tipo de cabo transmite e recebe sinais indesejados de outras fontes. Desse modo, o arranjo trançado dos cabos reduz a diafonia e sinais indesejados, cada par trançado anula as ondas emitidos de outros pares.

Há basicamente dois tipos de cabos: não revestido (UTP) e revestido (STP)

- UTP: é o tipo de cabo comum em sistemas telefônicos e sistemas domésticos. Padronizado pela EIA – *Electrical Industries Association* – é classificado em 5 categorias, sendo a 5 a mais aperfeiçoada. Pode transmitir até 100 Mbps, com distancia de até 100 m, é mais barato e de fácil manuseio, porém menos imune a emissões eletromagnéticas.
- STP: é um cabo isolado composto por feixe de pares trançados por uma blindagem metálica. É mais indicado para ambientes com emissões eletromagnéticas. Custo médio, grande atenuação e capacidade até 500 Mbps (LOPEZ, 2000).

2.4.9.2 Cabo de Fibra Ótica

Os sistemas de fibra ótica utilizam pulsos de luz ao invés de correntes elétricas para transmitir o sinal. É ideal para locais com grande ruído elétrico ou eletromagnético, é imune a transientes de tensão. Cabos com fibras plásticas transmitem até 100 metros, já os de vidro até 100 km. A transmissão com alta velocidade e grande largura de banda, até 2 Gbps.

Para transmissão de dados é usado um transmissor ótico, que converte sinais elétricos em luminosos, enviado através da fibra. O receptor faz o processo inverso. O custo é relativamente alto, em relação ao cabo de cobre, além de exigir pessoal qualificado para o manuseio e instalação (MORIMOTO, 2008 *apud* NOGUEIRA, 2009).

2.4.9.3 Meio de Transmissão Sem Cabo

Nos últimos anos, a tecnologia das redes sem fio sofreu avanços significativos, proporcionando hoje estabilidade, confiabilidade, segurança, auto-organização (*mesh*), baixo consumo de energia, sistemas de gerenciamento de potência e baterias de longa vida.

Alguns benefícios podem ser listados das redes sem fio:

- Integridade física das instalações, com menor probabilidade de danos físicos e elétricos (rompimento de cabos, curto-circuito no barramento, etc)
- Redução de custos de manutenção, devido à simplicidade das instalações;
- Redução de custos e simplificação das instalações;
- Monitoração de locais remotos de difícil acesso ou expostos a situações de risco.

Há hoje no mercado varias redes proprietárias e também algumas padronizadas. Há protocolos relacionados com as camadas superiores da tecnologia (WirelessHART, ISA SP100, ZigBee) e para as camadas inferiores, o protocolo IEEE 802.15.4 (2006). O protocolo IEEE 802.15.4 define as características da camada

física e dos meios de acesso para as LR-WPAN – *Low Rate Wireless Personal Area Network*(CASSIOLATO, 2011).

2.4.10 Componentes de uma rede industrial

2.4.11 Protocolos

A arquitetura de rede é formada por níveis, interfaces e protocolos. Um protocolo de nível N é um conjunto de regras e formatos (semântica e sintaxe), através dos quais dados ou informações do nível N são trocados entre as entidades do nível N, localizados em sistemas distintos, com intuito de realizar as funções que implementam os serviços de níveis. Um ou mais protocolos podem ser definidos em um nível (BORTOLINI, 2015).

São elementos de maior importância nas redes, tanto é, que essas redes de automação industrial passam a ser chamadas pelos protocolos utilizados (CASTRUCCI, MORAES, 2001). Os protocolos são desenvolvidos através do padrão ISO/OSI, sendo os mais utilizados o Ethernet, CanOpen, Foundation Fieldbus, Modbus, Profibus, etc (LUGLI, SANTOS, 2009).

3 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES INDUSTRIAIS

Faça aqui o resumo deste capítulo 3, citando quais serão as seções e, sucintamente, o que será tratado em cada seção.

3.1 CAN – Controller Area Network

O protocolo CAN é um protocolo de comunicação serial que descreve os serviços da camada 2, a camada de enlace de dados, segundo o padrão ISO/OSI. Nela, são definidos os diferentes tipos de telegramas (*frames*), validação, arbitração de mensagens e a forma de detecção de erros (WEG, 2015).

Foi desenvolvido inicialmente pela Bosch, em 1986, para aplicações automotivas, e que, atualmente vem sendo utilizado em sistemas de automação industrial. É baseado na técnica de CSMA/CR – *Carrier Sense Multiple Access/Collision Resolution* de acesso ao meio de transmissão. Isso quer dizer que, sempre que ocorrer uma colisão entre duas ou mais mensagens, a de mais alta prioridade terá acesso assegurado ao meio físico e poderá prosseguir a transmissão (LUGLI, SANTOS, 2009).

Algumas características deste protocolo:

- Flexibilidade de configuração;
- Detecção e sinalização de erros;
- Distinção entre falhas permanentes e erros provisórios nos nós;
- Multi mestre, produtor/consumidor;
- Priorização de mensagens;
- Topologia barramento ou estrela;
- Comprimento máximo do barramento a 125 kbps: 1000 m;
- Até 16 nós;
- Transmissão via fibra óptica ou par trançado;

- Retransmissão de mensagens corrompidas quando o barramento retorna ao modo normal (LUGLI, SANTOS, 2009).

3.1.1 CANopen

A rede CANopen é uma rede baseada em CAN, ou seja, utiliza telegramas CAN para troca de dados na rede. Foi desenvolvida como uma rede embarcada padronizada com capacidade de configuração altamente flexível. Originalmente foi projetada para redes de controle de máquinas orientadas por sinal, como sistemas manuais, evoluiu para mais diversos campos de aplicação (LUGLI, SANTOS, 2009). Existem diversos protocolos baseados em CAN, como DeviceNet, CANopen, J1939, etc, que utilizam *frames* CAN para comunicação. Todavia, eles não podem operar em conjunto na mesma rede.

3.1.1.1 Frame de dados

Os dados em uma rede CAN são transmitidos através de um frame de dados. Ele é composto principalmente por um frame de 11 *bits* (*arbitration field*), e um campo de dados (*data field*), que pode conter até 8 *bytes* de dados.

Tabela 2: Frame de dados transmitidos em rede CAN

Identificador	8 bytes de dados							
11 bits	byte 0	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4	byte 5	byte 6	byte 7

Fonte: WEG (2016)

Além do frame de dados, há ainda um frame remoto (RTR frame). Ele possui apenas identificador, sem frame de dados, serve de requisição para que outro dispositivo da rede transmita o frame de dados desejado (WEG, 2015).

3.1.1.2 Acesso a rede

Qualquer elemento ligado a rede CAN pode transmitir um *frame* para a rede em dado momento. Caso haja uma tentativa de acessar a rede ao mesmo tempo, conseguirá transmitir quem possuir a mensagem com prioridade mais alta. A prioridade da mensagem é definida pelo identificador do *frame* CAN, quanto menor o valor deste identificador, maior a prioridade (MORAES, CASTRUCCI, 2007).

3.1.1.3 Outras características da rede CANopen

Na utilização do barramento CAN para transmissão de telegramas, todos os dispositivos conectados a rede CANopen têm os mesmos direitos de acesso à rede, onde o identificador de prioridade resolve conflitos em acessos simultâneos. Isso possibilita a comunicação entre os escravos da rede, os dados são disponibilizados de maneira otimizada, sem necessidade de um mestre para controlar a comunicação fazendo acesso cíclico a todos os dispositivos para atualizar os dados. Além disso:

- Uso de par trançado com sinal elétrico diferencial;
- Utilização do modelo produtor/consumidor;
- Um mestre, e até 127 escravos;
- Endereço único para cada escravo, que vai de 1 a 127;
- Cada escravo possui um dicionário de objetos, que contém todos os dados que são acessíveis via rede;
- Utiliza resistores de terminação nos extremos do barramento principal;
- Taxa de comunicação (*baude rate*) depende do comprimento do cabo utilizado na instalação (WEG, 2016).

A tabela a seguir traz a relação comprimento do cabo/taxa de comunicação em CANopen:

Tabela 3: Comprimento cabo CANopen:

Taxa de comunicação	Comprimento do cabo
1 Mbit/s	25 m
800 Kbit/s	50 m
500 Kbit/s	100 m
250 Kbit/s	250 m
125 Kbit/s	500 m
100 Kbit/s	600 m
50 Kbit/s	1000 m
20 Kbit/s	1000 m
10 Kbit/s	1000 m

Fonte: WEG (2016)

A ligação na rede, através da interligação dos diversos nós, deve ser feita através do cabo principal, evitar derivações, de acordo com a figura a seguir:

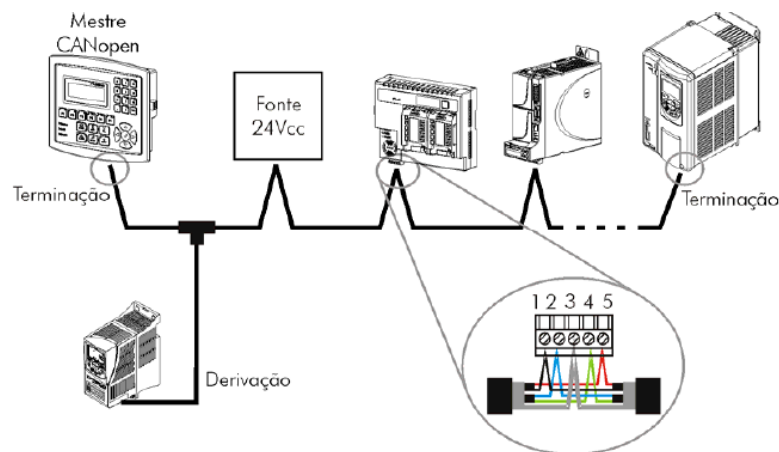


Figura 11: Barramento CANopen.
Fonte: WEG (2016).

3.1.2 DeviceNet

Protocolo baseado em CAN, possui as mesmas características de *frame* de dados, acesso a rede, controle de erros do protocolo CANopen. DeviceNet foi apresentado em 1994, é uma implementação do protocolo CIP – *Common Industrial Protocol* – para redes de comunicação industrial. Foi desenvolvido originalmente pela Allen-Bradley, teve sua tecnologia transferida para a ODVA, que, desde então divulga, mantém e promove o DeviceNet, além de outras redes (WEG, 2016).

Podemos enumerar algumas características de DeviceNet:

- Utilizado principalmente na interligação entre controladores industriais e dispositivos de I/O – *Input/Output*;
- Utilização do modelo produtor/consumidor;
- Prioridade entre as mensagens;
- Pode operar na arquitetura mestre/escravo, quanto ponto a ponto;
- Define dois tipos de mensagens: *I/O* e *explicit* (configuração e parametrização);
- Detecta endereços duplicados e pode isolar um nó em caso de defeitos críticos;
- Utiliza resistores de terminação nos extremos do barramento principal;

- Uma rede DeviceNet pode conter até 64 dispositivos, endereçados de 0 a 63;
- Topologia de rede do tipo tronco/derivação;
- Camada de aplicação, utilizando protocolo CIP;
- Taxa de comunicação (*baude rate*) depende do comprimento do cabo utilizado na instalação.

A tabela a seguir traz a relação comprimento do cabo/taxa de comunicação em DeviceNet:

Tabela 4: Relação taxa de transmissão/tamanho da rede DeviceNet:

Taxa de transmissão	Tamanho da rede	Derivação	
		Máximo	Total
125kbps	500m	6m	156m
250kbps	250m		78m
500kbps	100m		39m

Fonte: WEG (2016)

A ligação na rede, através da interligação dos diversos nós, deve ser feita através do cabo principal, evitar derivações, de acordo com a figura a seguir:

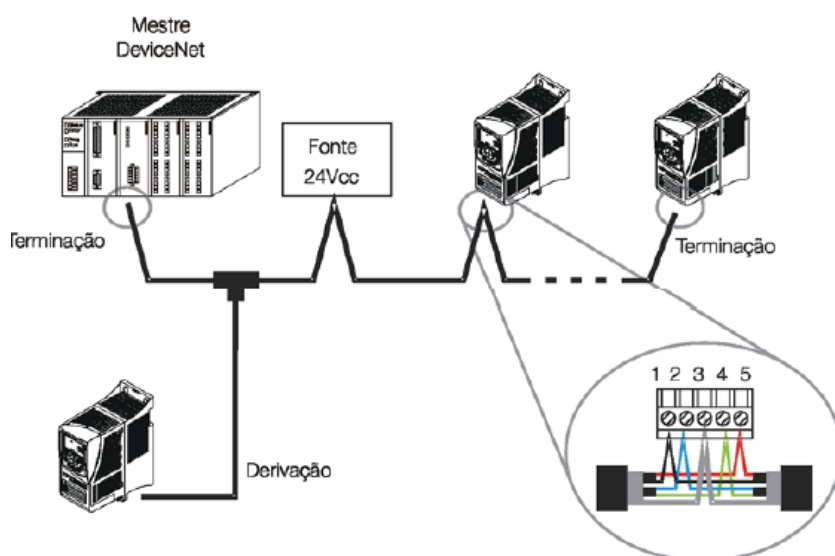


Figura 12: Barramento DeviceNet
Fonte: WEG (2016).

3.2 Modbus

Nas interfaces seriais, os *bits* de dados são transmitidos seqüencialmente através de um barramento ou canal de comunicação. Varias tecnologias utilizam comunicação serial, entre elas, as interfaces RS-232 e RS-485.

As normas que de especificação dos padrões RS-232 e RS-485 não tratam da sequencia, nem do formato de caracteres para a transmissão e recepção de dados. Além da interface, é necessário especificar o protocolo, nesse sentido, entra um dos protocolos mais utilizados pela indústria: Modbus RTU (WEG, 2015).

Desenvolvido pela Modicon, tornou-se padrão na indústria e suas normas e especificações foram colocados em domínio público. Por esta razão, foi utilizado em milhares de equipamentos e uma das soluções de redes mais baratas disponíveis para automação industrial (NOGUEIRA, 2010).

As topologias utilizadas por Modbus são ponto a ponto, com RS-232 e Barramento multiponto, com RS-485.

3.2.1 Comunicação

Os dispositivos que utilizam esse protocolo, se comunicam através da técnica mestre/escravo, assim, somente o dispositivo mestre inicie as transações. Os dispositivos escravos respondem de acordo com o pedido do mestre, ou de acordo com a tarefa a ser realizada. Depois de realizada a tarefa, o escravo envia a informação ao mestre (SOUZA, 2016). As mensagens podem ser de dois tipos:

- Mensagem tipo *Broadcast*: o mestre envia a requisição a todos os escravos, sem respostas de nenhum dos escravos;
- Mensagem tipo *Unicast*: o mestre envia uma requisição a um escravo específico, e esse responde com mensagem ao mestre.

Além disso, há dois modos de transmissão: ASCII – *American Code for Information Interchange* – e RTU – *Remote Terminal Unit*, no primeiro, cada *byte* de caractere em uma mensagem é enviado dois caracteres sem geração de erros. No

segundo, cada mensagem de 8 *bits* possui dois caracteres hexadecimais de 4 *bits*(SOUZA, 2016).

3.2.2 Protocolos Modbus

- Modbus TCP/IP: é utilizado para comunicação entre sistemas de supervisão e CLP's. Esse protocolo é embutido no protocolo TCP/IP, e transmitido através de redes padrão Ethernet, com controle de acesso por CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection* .
- Modbus Plus: é utilizado para comunicação entre CLP's, módulos de I/O, inversores, IHM's – Interface Homem-Máquina - , etc. usa interface de comunicação RS-485, taxa de transmissão de até Mbps, controle de acesso por HDLC – *High Level Data Link Control*.
- Modbus Padrão: para comunicar CLP's, com dispositivos de I/O de dados, IED's - Instrumentos Eletrônicos Inteligentes -, como controladores de processos, atuadores, transdutores, etc. Usa interface RS-232, ou RS-485, em conjunto com o protocolo mestre-escravo (MELLO, 2005 *apud* NOGUEIRA, 2010).

A figura a seguir mostra o mestre conectado a alguns escravos, utilizando interface RS-485; e o sistema de supervisão ligado ao CLP, via TCP:

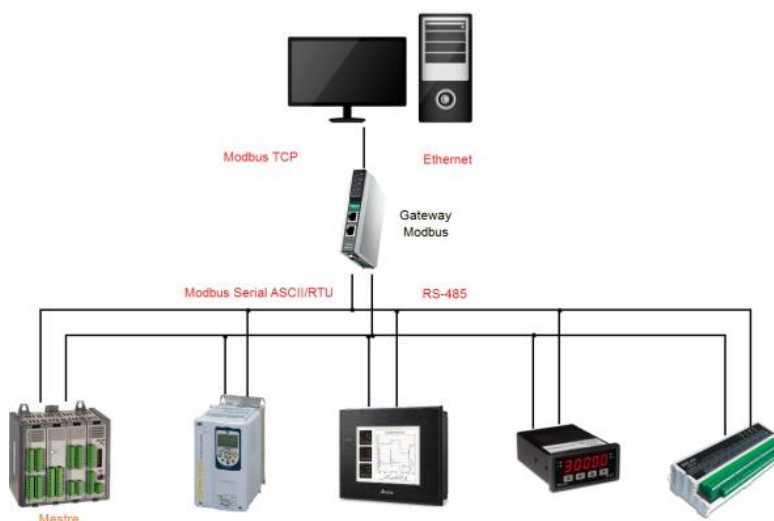


Figura 13: Barramento TCP.
Fonte: embarcados.com.br (2016).

3.3 PROFIBUS

PROcess Field BUS , esse termo é utilizado para designar um sistema de comunicação digital que pode ser implementado em diversas áreas de aplicação. Trata-se de um sistema aberto e padronizado pelas normas IEC 61158 e IEC 61784, que engloba desde o meio físico, até perfis de dados para determinados conjuntos de equipamentos (WEG,2015).

Os principais protocolos de comunicação são:

- PROFIBUS DP (*Decentralized Peripheral*) : é a solução da alta velocidade (*high speed*) da PROFIBUS. Foi desenvolvido para sistemas de automação e sistemas descentralizados, com ênfase na automação da manufatura. É o mais utilizado entre os protocolos PROFIBUS.
- PROFIBUS FMS (*Field Message Specification*) : é uma solução padrão para comunicação universal, suporta comunicação entre sistemas de automação, assim como a troca de dados entre equipamentos inteligentes.
- PROFIBUS PA (*Process Automation*) : empregado onde há conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processos com equipamentos de campo, tais como transmissores de pressão, temperatura, posicionadores. Pode ser usado para substituir padrão 4 a 20 mA (PROFIBUS, 2003).

Todos os protocolos PROFIBUS seguem o modelo de comunicação das redes OSI, de acordo com o padrão ISO 7498. Devido aos requisitos de campo, apenas os níveis 1 e 2, e o nível 7 no FMS, são implementados devido à busca pela eficiência.

A figura a seguir traz a arquitetura de comunicação do protocolo PROFIBUS:

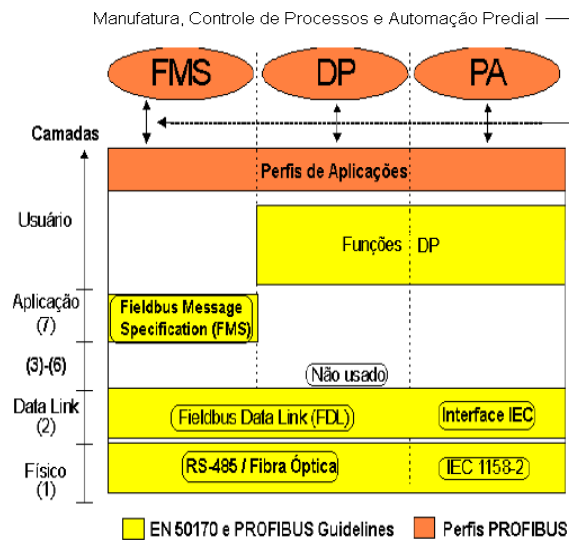


Figura 14: Arquitetura de comunicação PROFIBUS
Fonte: SMAR (2016).

3.3.1 Dispositivos em uma rede PROFIBUS

Em uma rede PROFIBUS, são especificados três tipos de equipamentos:

- Mestre Classe 1: é responsável pela troca cíclica de dados. Geralmente é um CLP ou *software* de controle do processo ou planta.
- Mestre Classe 2: permite a comunicação através de mensagens na rede PROFIBUS DP. Geralmente representado por uma ferramenta de engenharia ou configuração, para manutenção ou comissionamento da rede.
- Escravos: são estações passivas na rede, que apenas respondem as requisições feitas pelo mestre (WEG, 2015).

3.3.2 Meios de Transmissão

De acordo com as exigências de aplicação, diferentes meios de comunicação são especificados. Os principais meios são:

- Fibra óptica: utilizada onde é necessária alta imunidade a interferências eletromagnéticas, também em ligação de grande distância.
- MBP (*Manchester code Bus Powered*) : tecnologia de comunicação aplicada na indústria química/petroquímica em áreas de segurança intrínseca. Dispõe possibilidade de alimentar os dispositivos pelo barramento de comunicação e possui taxa de comunicação de 31,25 Kbps.
- RS-485 : É a tecnologia de comunicação mais empregada em redes PROFIBUS. Tem como característica principal instalação simples de baixo custo, e altas taxas de transmissão de dados e informações (LUGLI, SANTOS, 2009).

A tabela a seguir traz uma comparação entre os diferentes meios de comunicação utilizados pelos protocolos PROFIBUS:

Tabela 5: Diferentes meios de comunicação utilizados pelo PROFIBUS:

	MBP	RS485	RS485-IS	Fibra Ótica
Taxa de Transmissão	31,25 Kbits/s	9,6 a 12000 Kbits/s	9,6 a 1500 Kbits/s	9,6 a 12000 Kbits/s
Cabeamento	STP	STP	STP -4 Fios	Fibra de Vidro multimodo ou monomodo, plástico.
Alimentação	Opcional (cabo do sinal)	Opcional (cabo do adicional)	Opcional (cabo do adicional)	Opcional (linha híbrida)
Topologia	Barramento e/ou árvore	Barramento	Barramento	Estrela e anel, barramento também possível
Número de estações	32 por segmento, 126 por rede	32 por segmento sem repetidor, 126 com repetidor	32 por segmento sem repetidor, 126 com repetidor	126 por rede

Fonte: NOGUEIRA (2016)

3.3.3 Ligação na rede PROFIBUS DP

O protocolo DP é o mais difundido na indústria. Utilizando a interface RS-485, permite a conexão de até 32 dispositivos por seguimentos. Com uso de repetidores, pode chegar a até 126. Cada repetidor deve ser incluído como dispositivo conectado ao segmento, apesar de ocupar um endereço na rede. São utilizados resistores de terminação e não são recomendadas derivações a partir da linha principal (CASTRUCCI, MORAES, 2007).

A figura a seguir mostra um exemplo de conexão com interface RS-485 e PROFIBUS DP:

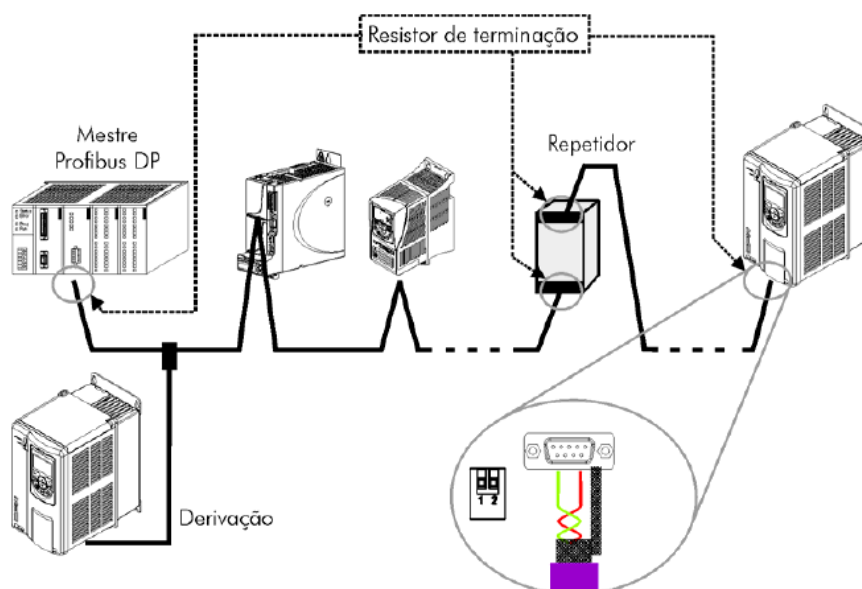


Figura 15: Barramento Profibus.
Fonte: WEG(2016).

3.4 AS-i Actuator Sensor interface

É um sistema de barramento para rede de sensores e atuadores, cujo nível hierárquico é orientado a *bit*. Utiliza princípio de cabo comum, onde todos os periféricos são conectados. Cabo padronizado de cor amarela, com apenas dois condutores que servem também para alimentá-los. Pode chegar a 500 metros, com utilização de repetidores (SMAR, 2016).

A tecnologia *AS-Interface* é compatível com qualquer outra rede ou barramento de campo. Há *gateways* para conexão a Interbus, Profibus, FIP, LON, CANopen, RS-232, RS-485, I/O remotas. Está enquadrada nas normas europeias EN50295 e IEC 62026-2 (NOGUEIRA, 2010).

Ela suporta qualquer topologia de cabeamento: anel, estrela, barramento, árvore, ou qualquer outra configuração de cabo até 100 metros, e com uso de

repetidores, até 300 metros de cabo, sem necessidade de terminadores nas extremidades do cabo(SMAR, 2016).

A rede AS-i tipicamente reduz o custo com cabeamento em relação a outros modelos de redes. O uso de um único cabo para ligação reduz a necessidade do uso de gabinetes, conduítes e bandejas.

A figura a seguir mostra um sistema convencional (a), diante de um sistema de rede AS-i (b):

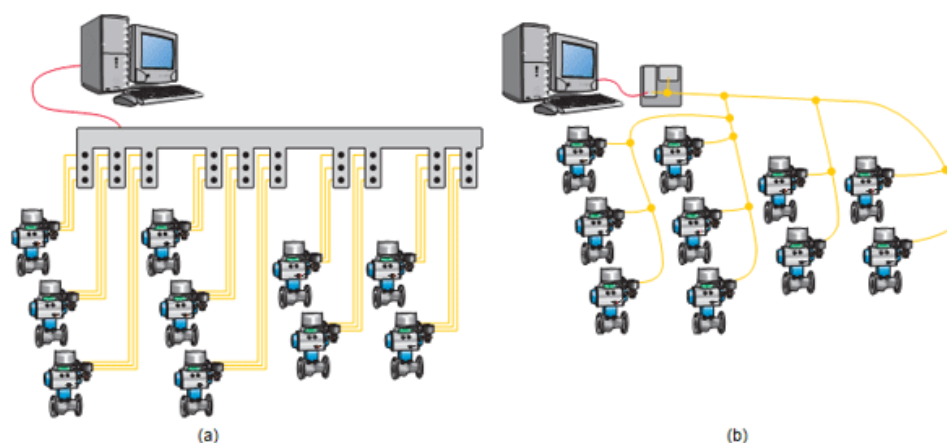


Figura 16: Sistema convencional(a), sistema AS-i (b).

Fonte: SMAR(2016).

É possível adicionar ou substituir escravos durante a operação normal da rede AS-i, sem que haja qualquer interferência com os demais já conectados. Cada dispositivo possui seu endereço (único) na rede, devendo ser endereçado de 1 até o número máximo suportado pela rede, de acordo com a versão (até 62, na versão 2.1) (SOUZA, 2011).

3.5 HART *Highway Addressable Remote Transducer*

HART é um protocolo digital que utiliza de forma flexível o sinal digital sob o 4-20 mA para parametrização e monitoração das informações. As duas tecnologias, analógica e digital convivem nesse protocolo.

Ele propicia a comunicação digital bidirecional em instrumentos de campo inteligentes, sem que haja interferência no sinal analógico de 4-20 mA. Os dois sinais podem ser transmitidos simultaneamente no mesmo cabo. A variável primária

é transmitida pelo 4-20mA, enquanto medições adicionais, parâmetros de processo, configurações de parâmetros, calibrações, etc (SMAR, 2011).

Algumas das principais características do protocolo HART:

- Projeto relativamente simples, de fácil operação e manutenção;
- Compatível com instrumentação analógica;
- Sinal analógico e comunicação digital;
- Acesso de dados flexível, usando até 2 mestres;
- Método mestre/escravo;
- Comunicação ponto-a-ponto ou multi-drop;
- Suporta equipamentos multivariáveis;
- 500ms de tempo de resposta, com até duas transações;
- Totalmente aberto, vários fornecedores;
- Utiliza cabo de par trançado;
- Modulação em FSK – *Frequency Shift Key* – e é sobreposto ao sinal analógico de 4-20 mA. O *bit* “1” é transmitido através de um sinal de 1mA, pico a pico, na frequência de 1200 Hz, enquanto o *bit* “0” na frequência de 2400 Hz.
- Desenvolvido segundo modelo OSI;
- Padrão Bell 202, para deslocamentos de frequência FSK (CASSIOLATO, 2003).

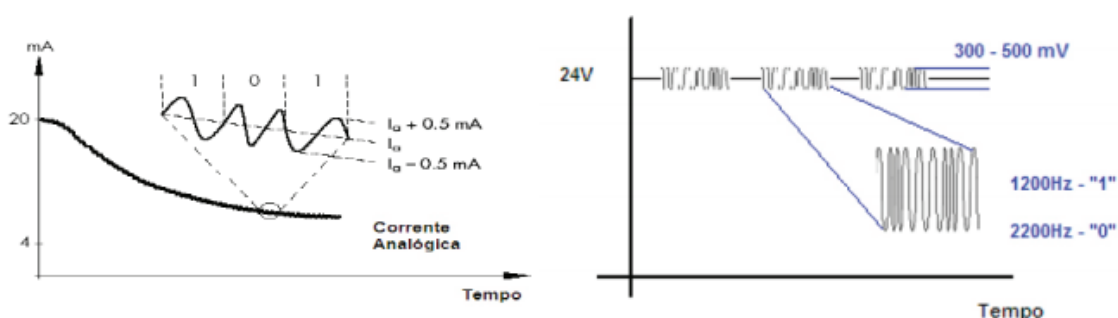


Figura 17: Transmissão protocolo Hart.
Fonte: SMAR(2016).

Para o cabeamento, utiliza-se um par de cabos trançados, atentando a resistência total, já que esta soma-se diretamente com a carga total, agindo na

atenuação e distorção do sinal. Para distâncias de até 3000 m, usar cabo com blindagem, aterrado em um único ponto para evitar *loop* de corrente.

Em sistemas grandes, pode-se utilizar multiplexadores para acessar uma grande quantidade de equipamentos via protocolo HART. O usuário seleciona o *loop* de corrente para comunicar via *host*. Neste caso de ligação em cascata, o *host* pode comunicar com mais de 1000 equipamentos, todos com endereço zero (CASSIOLATO, 2003).

A seguir, uma conexão HART via multiplexador:

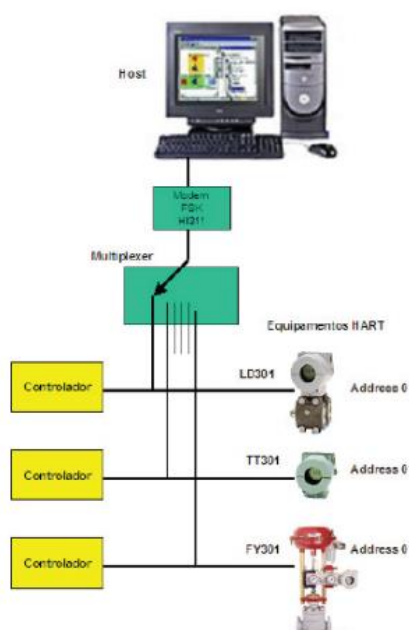


Figura 18: Conexão HART via multiplexador.
Fonte: SMAR (2016).

3.6 FOUNDATION fieldbus (FF)

É um sistema de comunicação digital, em série e bi-direcional que conecta equipamentos fieldbus. É um protocolo OPC - *Open Linking and Embedding for Process Control* – totalmente aberto.

Mantém muitas das características operacionais do sistema analógico ainda, o sistema 4-20 mA, tais como fiação padronizada, os dispositivos alimentados pelo mesmo cabo de comunicação (par de fios), e as opções de segurança intrínseca (SMAR, 2016).

Uma das funções dos equipamentos de campo – *Field* – é justamente executar a aplicação de execução e controle do usuário que foi distribuída na rede.

Reside aí a grande diferença de FF para as outras tecnologias, como HART ou Profibus, que dependem de um controle central para executar os algoritmos FF (PERES FILHO; MATA, 2009 *apud* NOGUEIRA, 2010).

Há dois modelos principais de protocolos FF, o H1 e o HSE – *High Speed Ethernet*, incluída na norma internacional IEC (IEC 61158), segue na breve descrição:

- H1: Foundation H1 destina-se principalmente ao controle de processo, interface de nível de campo e integração de dispositivos. Funcionando a 31,25 kbit / s, a tecnologia interliga dispositivos como transmissores e atuadores em uma rede de campo. H1 é projetado para operar em cabos de par trançado existentes com alimentação de dispositivos e sinal no mesmo fio. Pode operar também com cabos de fibra óptica. Suporta aplicações de Segurança Intrínseca (IS), ainda permite que instrumentos de campo e outros dispositivos executem funções de controle reduzindo a carga em computadores e estações de trabalho (FOUNDATION.ORG, 2016).
- HSE – *High Speed Ethernet*: oferece os mesmos benefícios que o H1, mas no nível de integração do subsistema em vez do nível do dispositivo de campo. Suporta a interoperabilidade entre controladores e *gateways* diferentes, da mesma forma que o H1 suporta interoperabilidade entre transmissores e atuadores de diferentes fornecedores. É ideal para uso como um *backbone* de controle. Funcionando a 100 Mbit / s, a tecnologia é projetada para o dispositivo, subsistema e integração empresarial. (FOUNDATION.ORG, 2016).

Sistema FF integrado, com os protocolos H1 e HSE operando em uma planta industrial:

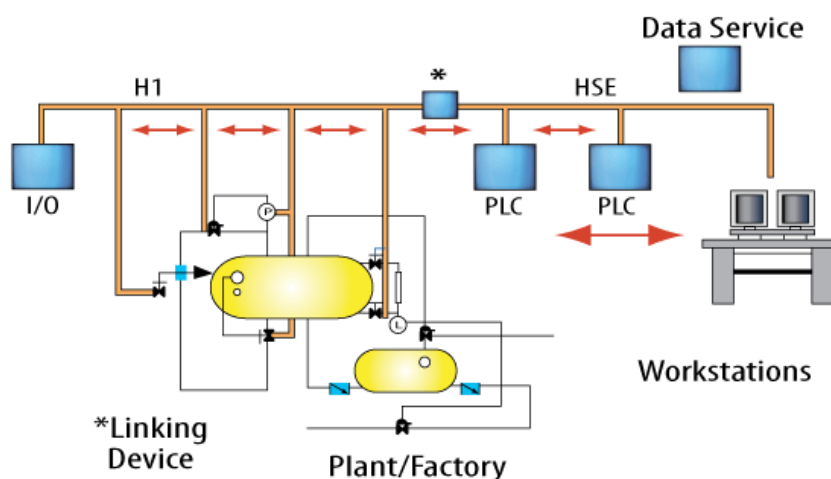


Figura 19: Barramento Fieldbus H1 e HSE.
Fonte: Fieldbus.org (2016).

3.8 Ethernet

Ethernet, desenvolvida para conexão de computadores pessoais, utilizada largamente para interconexão para redes locais LAN, é baseada no envio de pacotes. Ela define sinais elétricos e cabeamento para a camada física, além do formato de protocolos e pacotes para a camada de controle de acesso ao meio MAC *Media Access Control* do modelo OSI(WEG, 2015).

A partir do Ethernet, diversos serviços e protocolos foram de mais alto nível foram desenvolvidos, para permitir maior número de serviços na rede, como estabelecimento de conexão, roteamento de pacotes, transmissão e recepção de arquivos. Vários dos protocolos criados foram largamente utilizados: IP *Internet Protocol*, TCP *Transmission Control Protocol*, entre outros(WEG, 2015).

Além da aplicação para interconexão de computadores em escritórios, a tecnologia Ethernet também passou a ser usada em campo, para interconexão de equipamentos. Para o ambiente industrial também surgiram protocolos baseados na tecnologia, podemos citar EtherNet/IP, Modbus TCP, PROFINET(WEG, 2015).

No início, o padrão Ethernet não foi considerado um padrão ideal para indústria devido a não ser determinística. No meio de acesso CSMA/CD, as colisões são detectadas e em seguida, ocorre uma contagem de tempo para uma nova transmissão. Podem ocorrer varias colisões sucessivas, e as informações podem perder sua importância durante uma sucessão de conflitos, o que acabava comprometendo a confiabilidade do sistema. A utilização de *switches* amenizou o problema(LUGLI;SANTOS;FRANCO, 2010).

A figura a seguir traz a representação da tipologia típica, em estrela, e utilização de *switch*:



Figura 20: Tipologia estrela, com *switch*.
Fonte: WEG (2016).

3.8.1 Profinet

É um padrão aberto de Ethernet industrial para automação. Utiliza TCP/IP, é um protocolo em tempo real e permite a conexão com outras redes de campo. Fornece serviços de TI e de tempo real simultaneamente, em um único cabo, ainda a integração de sistemas distribuídos baseados em componentes.

A arquitetura do ProfiNet é similar ao Profibus DP, inclusive com a comunicação mestre/escravo. O mestre DP corresponde ao I/O do ProfiNet (LUGLI;SANTOS;FRANCO, 2010).

3.8.1.1 ProfiNet I/O

É um protocolo utilizado para conectar I/O (remotas, *drives*, etc) com rápida troca de dados. Descreve o modo como se processa a troca de dados com o controlador - Mestre, como se dá no Profibus, e os dispositivos escravos. Utiliza o

conceito de tempo real de varredura para troca de dados, além de permitir parametrização e diagnósticos (BORTOLINI, 2003).

3.8.1.2 ProfiNet I/O RT *Real Time*

Algumas características do ProfiNet I/O RT:

- Dados de alarme e processo são sempre transmitidos em tempo real;
- Tempo real para ProfiNet é baseado nas definições da IEEE e IEC para alta performance na troca de dados de I/O.
- Os dados são trocados em alta prioridade quando comparado ao TCP/IP;
- A troca de dados desse protocolo se dá na casa dos milissegundos;
- Canal *full duplex* para evitar colisões de dados (BORTOLINI, 2003).

A tabela a seguir traz uma comparação de desempenho entre PROFIBUS e ProfiNet:

Tabela 6: Comparação entre Profibus e ProfiNet:

Parâmetro	PROFIBUS	PROFINET
Numero de nós	126	> 16.777.216
Numero de bytes	244	1440
Velocidade da rede	12 Mbps	100 Mbps

Fonte: ALVES (2016)

3.9 Critérios para seleção de Redes Industriais

De acordo com Lugli, *et al.* (2011), definir uma solução de redes industriais para estabelecer comunicação em uma empresa é uma decisão importante. Os profissionais envolvidos precisam desenvolver e manter a integridade e

funcionalidade das redes industriais, promover o aperfeiçoamento do desempenho e torná-las mais confiáveis, escaláveis e seguras.

O conhecimento em redes industriais permite:

- Facilidade e confiança na aquisição dos dados através da escolha da melhor e mais segura opção de rede;
- Melhora no desempenho da produção com a adequação dos tempos de resposta das redes de chão de fábrica;
- Melhora na execução com a correta especificação da rede;
- Produção e comunicação com eficiência através da correta aplicação das tecnologias exigidas pelas redes;
- Retorno do investimento em redes com melhor uso de delas(LUGLI; SANTOS, 2011).

Ao criar uma solução de qualquer natureza em automação, é necessário primeiramente desenhar a arquitetura do sistema, organizando seus elementos vitais, tais como módulos de aquisição de dados, CLP's, instrumentos, sistema de supervisão, em torno das redes de comunicação de dados apropriadas (LUGLI;SANTOS, 2011).

A diferença fundamental entre os protocolos de comunicação reside basicamente no volume, complexidade e velocidade das informações que serão transmitidas e processadas. A escolha do protocolo depende não só do tipo de informação a ser processada, mas também dos equipamentos disponíveis para execução da tarefa(ROSÁRIO, 2005). A rede é interligada desde o chão de fábrica, através de sensores e atuadores, até de processamento de dados PIMS, MES, SCADA.

A aplicação de redes está associada aos meios de transmissão e a métodos de comunicação. Não há uma forma genérica de rede que satisfaça aos requisitos operacionais das diferentes aplicações (ROSÁRIO, 2005).

A alguns pontos a serem verificados:

- As áreas de processo envolvidas, as distâncias entre as áreas e o *layout* da instalação industrial;

- Existência da necessidade de sala de controle;
- Condições ambientais, existência de campo magnético intenso ou interferência eletromagnética;
- Necessidade futura de expansão do sistema;
- Existência de locais remotos a serem monitorados e controlados;
- Familiaridade com novas tecnologias de redes de campo para instrumentação, sensoriamento e acionamentos;
- Necessidade de dispositivos em termos de velocidade de transmissão dos dados;
- Existência de suporte técnico no país;
- Compatibilidade entre as famílias de produtos(LUGLI;SANTOS, 2011).

A implementação ou substituição de um sistema existente por um barramento industrial possui algumas desvantagens aparentes: (LUGLI;SANTOS, 2011).

- Necessidade de aquisição de *know-how*;
- Alto investimento inicial;
- Interoperabilidade nem sempre garantida.

Todos esses pontos citados precisam ser levados em consideração quando se pretende implementar um sistema de redes industriais com sucesso.

4 SISTEMAS PARA O GERENCIAMENTO DAS INFORMAÇÕES

4.1 OPC - Open Linking and Embedding for Process Control

OPC - *Open Linking and Embedding for Process Control* é um padrão industrial de interconectividade, mantido pela Fundação OPC. Seu funcionamento é baseado no OLE- *Open Linking and Embedding*, de componentes orientados a objeto, através das tecnologias da Microsoft, COM *Component Object Model* e DCOM *Distributed Component Object Model*, permitem que aplicações troquem informações que podem ser acessadas por um ou mais computadores que utilizam a arquitetura cliente/servidor, mesmo que as aplicações trabalhem com protocolos diferentes de comunicação(ANJOS;RIBEIRO 2008).

A utilização dessas tecnologias. OLE COM e DCOM permitem a especificação do formato do padrão de objetos, métodos e interfaces para uso em sistemas de automação e controle, que facilitam a interoperabilidade. Elas fomentam o procedimento padrão para criação de *softwares* que tem por objetivo a integração de equipamentos. Baseado nessa tecnologia, foram desenvolvidos centenas de OPC de acesso, tanto em clientes, como servidores (ANJOS;RIBEIRO 2008).

O OPC sugere uma interface amigável entre sistemas que trabalham usando protocolos diferentes. Segundo Iwanitz (2006) *apud* Anjos;Ribeiro(2008):

O OPC unifica o padrão de comunicação de dados de controle de processo e a permite que diferentes produtos sejam interfaceados com uma única tecnologia, promovendo interações dos sistemas de operação e integração de vários processos em um só sistema, isto com custo e tempo de implementação reduzidos.

4.2 Especificações OPC

De acordo com Fonseca(2002), o padrão OPC possui as seguintes funcionalidades:

- *OPC Overview* (Versão 1.0) : é a descrição geral dos campos de aplicação das especificações OPC;
- *OPC Common Definitions and Interfaces* (Versão 1.0): definição das funcionalidades básicas para as demais especificações OPC.
- *OPC Data Access Specification (DA)* (Versão 3.0): definição da interface para escrita/leitura de dados em tempo real.
- *OPC Alarms e Events Specification* (Versão 1.1): definição de interface para monitoramento de eventos;
- *OPC Historical Data Access Specification (HDA)* (Versão 1.2): define o acesso a dados históricos, já armazenados;
- *OPC Batch Specification* (Versão 2.0): traz informações e define a interface para acesso aos dados inerentes ao processo de batelada. É uma extensão da especificação *DA*.
- *OPC Security Specification* (Versão 1.0): definição de interface para utilização de políticas de segurança, a fim de controle de acesso a parâmetros de processo;
- *OPC and XLM* (Versão 1.05): Integração entre OPC e XLM para aplicações via internet (*web*).

A figura a seguir traz uma visão das especificações do padrão:

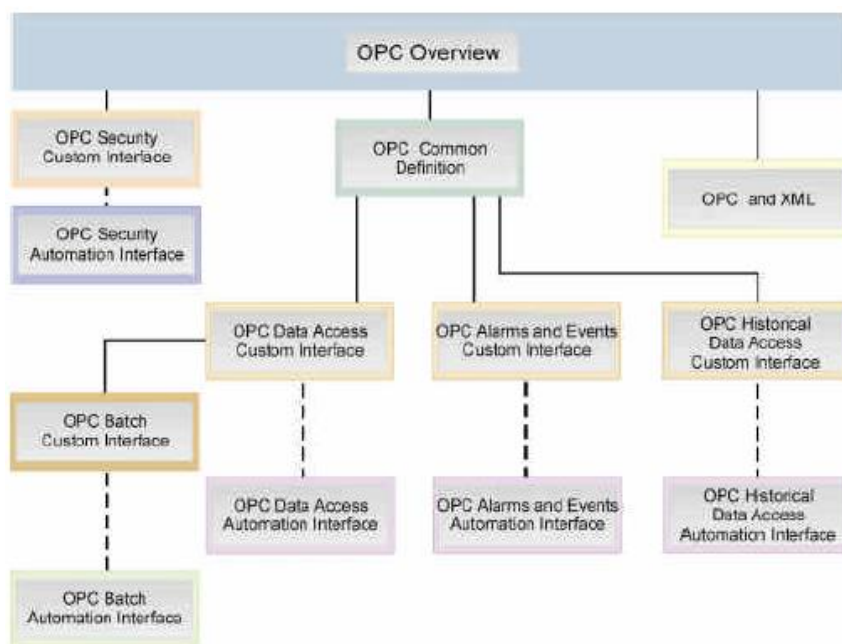


Figura 21: Especificações padrão OPC.
Fonte: CEFET – MG (2003).

Essas especificações possuem a finalidade de orientar os desenvolvedores para a implementação das aplicações cliente/servidor. Na verdade, os usuários finais não necessitam conhecer a fundo essas especificações, sendo necessário conhecer as características para a utilização do padrão. (FONSECA, 2002).

Além disso, ainda de acordo com Fonseca (2002), a divulgação dessas especificações para o padrão OPC, propiciou o desenvolvimento de diversos produtos voltados para a automação industrial, trazendo vantagens aos seus usuários:

- Eliminada a necessidade de utilização de *drivers* de comunicação específicos (proprietários);
- Facilidade de desenvolvimento e manutenção de sistemas e produtos para comunicação em tempo real;
- Facilidade de treinamento;
- Interoperabilidade entre sistemas de diversos fabricantes;
- Integração com sistemas MES, ERP e aplicações Windows;
- Redução dos custos e tempo para desenvolvimento de interfaces e *drivers* de comunicação, com conseqüente redução do custo de integração de sistemas.

A interoperabilidade e integração de sistemas independe do protocolo utilizado na comunicação dos dispositivos de campo, medidores e dos CLP's . A conversão da informação é realizada pelo servidor OPC, interligando os diferentes níveis da pirâmide de automação (ANJOS;RIBEIRO, 2008).

4.3 MES - *Manufacturing Execution System*

O MES, Sistema de Execução da Manufatura, foi desenvolvido para controle do fluxo de produção, incluindo produtos em processamento, *status* das máquinas, estoques de matéria-prima, etc. É uma ferramenta de controle da produção, aplicada no chão de fábrica e possibilita visualizar e monitorar processos em tempo real, trazendo informações que conduzem a uma melhor eficiência operacional (VANDERLEI, *et al*, 2009).

Ele trabalha relacionado a várias atividades da produção, como: ordens de produção, qualidade, padrões de operador, entre outros. Funciona integrado com o ERP da empresa, trabalhando de maneira complementar.

Segundo Vanderlei, *et al.* (2009):

“o MES compreende 12 funcionalidades: planejamento detalhado, gerenciamento de recursos, registro e visibilidade dos recursos, gerenciamento de documentos, gerenciamento de materiais, gerenciamento do processo, análise de desempenho, gerenciamento de mão-de-obra direta, gerenciamento de manutenção, gerenciamento da qualidade, coleta de dados e registros e por fim, rastreabilidade e genealogia do produto”.

A necessidade de se automatizar os processos, a fim de conquistar agilidade nos processos fabris, são exigências dos clientes, e uma preocupação para as empresas. Nesse contexto, a automatização foca nos negócios e objetivos a serem alcançados, a disponibilidade de informações confiáveis em tempo real corrobora para alcançar esses objetivos (CARVALHO (2004) *apud* NOGUEIRA, 2010).



Figura 22: Pirâmide da automação
Fonte: Schneider (2016).

4.4 PIMS *Plant Information Management System*

São sistemas que adquirem dados de processo de diferentes fontes, armazena-os em um banco de dados históricos, os quais ficam disponíveis para diversas formas de representação (SEIXAS FILHO, 2003). É um programa onde ficam armazenados os dados e informações relevantes do processo, coleta informação dos sistemas de supervisão e controle, armazena em um banco de

dados específico de acesso rápido e de alta compactação (GUTIERREZ, PAN, 2008).

A principal função de um PIMS é concentrar a massa de dados e possibilitar transformar dados em informação e informação em conhecimento. É uma ferramenta fundamental para a engenharia de processo, que permite tirar conclusões sobre o processo atual e o comportamento passado da planta (GUTIERREZ, PAN, 2008).

Principais partes constituintes de um PIMS:

- Historiador de processos, é responsável pela aquisição dos dados e armazenamento;
- Interface gráfica para visualização dos dados armazenados;
- Aplicações clientes suplementares.

4.5 SCADA

Os sistemas supervisórios permitem o acompanhamento em tempo real de informações de um processo produtivo ou instalação física. As informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados, em seguida manipuladas, armazenadas, e posteriormente apresentadas aos usuários. Esses sistemas também são chamados de SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* (SALVADOR; SILVA, 2011).

Na atualidade, eles utilizam sistemas de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle de processos industriais. Coletam as informações e apresentam, de forma amigável ao operador com recursos gráficos elaborados. Para isso, os sistemas SCADA identificam as *tags*, que são todas as variáveis numéricas e alfanuméricas envolvidas no processo, podendo executar funções computacionais ou representar entradas/saídas de dados do processo que está sendo controlado/monitorado. Assim, correspondem as variáveis do processo real, como temperatura, níveis, pressão, vazão, etc. Fazendo, dessa forma, a ligação entre o controlador e o processo. É com base nos valores das *tags* que os dados coletados são apresentados ao usuário (SALVADOR; SILVA, 2011).

4.5.1 Componentes SCADA

Podemos relacionar os componentes físicos e lógicos de um sistema SCADA básico. Dos componentes físicos (SALVADOR; SILVA, 2011):

- Sensores e atuadores;
- Rede de comunicação;
- Estações remotas de aquisição e controle;
- Monitoração central via sistema computacional SCADA.

Internamente, os sistemas SCADA dividem suas principais tarefas em blocos ou módulos, que podem possibilitar maior ou menor robustez e flexibilidade, de acordo com a solução desejada.

De acordo com Salvador; Silva (2011), os componentes lógicos:

- Históricos e banco de dados;
- Núcleo de processamento;
- Comunicação com CLP's,
- Gerenciamento de alarmes;
- Interface gráfica;
- Relatórios;
- Comunicação com outras estações SCADA;
- Lógica de programação interna, *scripts*.

Através do uso de tecnologias relacionadas à internet, e padrões como Ethernet, TCP/IP, HTTP e HTML, é possível acessar e compartilhar dados entre plantas diversas, áreas de produção. Através de um *browser* de internet é possível controlar em tempo real um equipamento localizado em qualquer parte do mundo (SALVADOR; SILVA, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da automação através da utilização de redes de comunicação em automação industrial é um processo irreversível para a modernização industrial. É evidente a importância dos sistemas automatizados que utilizam redes de comunicação, diante daquilo que propiciam à indústria em geral, levando-se em conta as melhorias em produtividade e competitividade.

A utilização das redes de campo possibilita a comunicação rápida e confiável entre equipamentos e os mecanismos padronizados em linhas de produção, fatores imprescindíveis quando se busca produtividade e confiabilidade.

O uso de sistemas abertos, ao invés de proprietários, permite a interligação de varias marcas de equipamentos ao mesmo *fieldbus* pode trazer redução significativa de custos, mão de obra, quantidade de cabos, ganhos nas velocidades de transmissão de dados e de comando e resposta dos sistemas.

É necessário conhecer as diversas tecnologias utilizadas em automação, bem como seus elementos envolvidos: atuadores, sensores, CLP's, processadores, *softwares*, as especificidades dos diferentes níveis da pirâmide da automação. Isso é essencial para que possa planejar com clareza a implementação de comunicação industrial.

Buscou-se aqui trazer uma compilação dos protocolos que atuam nas diferentes áreas da pirâmide da automação. Partindo de sua base, de sensores e atuadores – *fieldbuses*, depois no controle e supervisão – CLP'S, operação e supervisão – SCADA, e finalmente, o gerenciamento de dados e da manufatura - PIMS e MES. Obviamente, devido à complexidade de cada segmento, apresentou-se os aspectos julgados mais relevantes.

Dada a relevância que as redes de automação industriais têm em toda cadeia de produção, definir uma solução de redes para a comunicação industrial é uma decisão importante. É preciso avaliar com bastante cuidado a implementação desse sistema, visando à interoperabilidade, a possibilidade de expansão do sistema, modularidade, retorno do investimento.

Estamos no limiar de uma nova era tecnológica, a aplicação de sistemas *wireless*, a IOT - *Internet of Things* Industrial estará certamente consolidado num futuro próximo das comunicações industriais. Fica a sugestão para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, Rinaldo.; RIBEIRO, Denise F. **Utilização do Driver OPC na Integração de Sistemas de Automação Industrial**. 3º Seminário Nacional de Sistemas Industriais e Automação . Belo Horizonte: SSIA. Disponível em: <http://www.cck.com.br/artigos/palestras/drive_opc.pdf>. Acesso em 08 nov. 2016.
- BORTOLINI, Silvio C. **Protocolos de Comunicação Industrial**. Material apresentado em sala de aula. 2015.
- CASSIOLATO, César. **Redes Industriais**. Site Smar. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index150.html> >. Acesso em: 05 nov. 2016.
- CASTRUCCI, Plínio de L.; MORAES, Cícero C. de M. **Engenharia de Automação Industrial**. 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- ELIPSE SOFTWARE; **Tutorial do E3 para Desenvolvedores**. Versão 4.6.161, atualização set. 2015.
- LOPEZ, Ricardo A. **Sistemas de redes para Controle e Automação**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Book Express.
- LUGLI, Alexandre B.; SANTOS, Max M.D. **Sistemas Fieldbus para automação industrial**: DeviceNet, CANopen, SDS e Ethernet. 1ª Edição, 4ª reimpressão. São Paulo: Érica, 2009.
- LUGLI, A. B.; SANTOS M. M. D.; FRANCO, L.R. H. R. **Uma visão dos protocolos para Redes Ethernet industriais e suas aplicações**. Disponível em: <www.inatel.br/ic/docman/artigos-publicados-s763609-1/...1/...ethernet.../file>. Acesso em: 08 nov. 2016.
- NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial**. 10ª edição, 6ª reimpressão. São Paulo: Érica, 2008.
- NOGUEIRA, Thiago A. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. Monografia de conclusão de curso. Ouro Preto, 2009. Disponível em: <www.em.ufop.br/cecau/monografias/2009/THIAGO%20AUGUSTO.pdf>.
- GUTIERREZ, R.M.V.; PAN, S.S.K. **Complexo Eletrônico: Automação do Controle Industrial** - Disponível em:<<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2807.pdf>>. Acesso em 02 nov. 2016.
- PERES FILHO, G.F.; MATA, R.S. da – **Tecnologia Foundation Fieldbus**. Revista Mecatrônica Atual. Disponível em:<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/453>>.
- ROSÁRIO, João M. **Princípios de Mecatrônica**. 1ª Edição, 4ª reimpressão. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

SANCHES, Carlos A. **Projetando Redes WLAN: Conceitos e práticas**. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2007.

SALVADOR, Marcelo; SILVA Ana P. G. **O que são sistemas supervisórios?**. Elipse Knowledge base. Artigo técnico, 2011.

Disponível em:

<<http://kb.elipse.com.br/ptbr/questions/62/O+que+são+sistemas+supervisórios%3F>>

Acesso em: 03 nov. 2016

SEIXAS FILHO, C. **PIMS - Process Information Management System – Uma introdução**. 2003c. Disponível em:

<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/Paginall/Download/DownloadFiles/Pims.PDF>

Acesso em: 03 nov. 2016

SOUZA, F. **As-i Interface, a solução mais simples em rede de automação**. Artigo técnico. Disponível em: <redesindustriais-asinterface.blogspot.com/.../as-interface-solucao-mais-simples-em.htm> . Acesso em 20 out. 2016.

SILVEIRA, L.; SILVA, W. Q.; **Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial**. Artigo. UFRN. Disponível em: <www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf>. Acesso em 02 jul. 2014.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <

http://www.eap.ap.gov.br/poseducacao/arquivo/metodologia_de_pesquisa.pdf>.

Acesso em: 12 dez. 2012

VANDERLEI, Marcelo Leite; et AL. **Implantação de Controle Baseado no Sistema de Execução Da Manufatura (MES): análise em empresa de usinagem No setor aeronáutico**. Revista Produção Online, v.9, n.4, p. 727-746, dez. de 2009. Disponível em <<http://www.producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/380>>.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA Federal do Paraná. **Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos/ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos**. - Curitiba : UTFPR, 2008.

WEG AUTOMAÇÃO. **Catálogos Técnicos Weg**. CFW500 Manual de Comunicação. Disponível em:

<<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW500>>. Acesso em 20 out. 2016.