



**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ORLANDO DA SILVA TRINDADE

**ESTUDO DAS APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DA REDE
ETHERNET/IP COMO REDE DE I/O PARA AUTOMAÇÃO DE
PROCESSOS A EVENTOS DISCRETOS NO AMBIENTE
INDUSTRIAL**

**Salvador - Bahia
2009**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ORLANDO DA SILVA TRINDADE

**ESTUDO DAS APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DA REDE
ETHERNET/IP COMO REDE DE I/O PARA AUTOMAÇÃO DE
PROCESSOS A EVENTOS DISCRETOS NO AMBIENTE
INDUSTRIAL**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia e Ciências – FTC, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica com especialização em Automação e Controle Industrial, sob a orientação do professor. José Osvaldo Andrade de Souza.

**Salvador - Bahia
2009**

T832 Trindade, Orlando da Silva.

Estudo das aplicações e limitações das rede Ethernet/IP como rede de I/O para Automação de processos a eventos discretos no ambiente industrial / Orlando da Silva Trindade. – Salvador, 2008.

113: il.; 30 cm.

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica com habilitação em Automação – Faculdade de Tecnologia e Ciências.

Orientador: José Osvaldo Andrade de Souza.

1. Engenharia elétrica. 2. Automação. 3. Indústria. 4. Redes. 5. Arquiteturas. I. Título. II. Souza, José Osvaldo Andrade de, orient. III. Faculdade de Tecnologia e Ciências – FTC. Salvador.

CDU 681.5

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processamento Técnico da Biblioteca da Faculdade de Tecnologia e Ciências – FTC, Unidade Salvador - Bahia.

TERMO DE APROVAÇÃO

ORLANDO DA SILVA TRINDADE

Esta monografia foi julgada satisfatória para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica com ênfase em automação e controle industrial.

Conceito Final: _____

Prof. José Osvaldo Andrade de Souza
Departamento de Engenharia Elétrica, FTC
Orientador

EthernetUP Orlando

Às minhas mães, Olga e Lusenice, pelo amor incondicional que me sustenta. A Valber, meu querido irmão. A Giorggio e Antonio, pelo alimento sem nome e estímulos que me deram. O Giovanni Grosso, por despertar em mim a paixão pela ciência. À família Spinelli, pelo incentivo concreto. A Ana Paula e Luilma, pela fraternidade. A todos aqueles que lutam, porque insatisfeitos querem fazer um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força que me deu para vencer obstáculos desmedidos. Aos meus colegas e amigos da Faculdade pela força, incentivo e pelos sucessos e fracassos que experimentamos juntos. Ao professor e amigo José Osvaldo, por ter me orientado com sabedoria, por ter compartilhado seu conhecimento de forma simples e grandiosa, pelas oportunidades de crescimento profissional que me ofertou. Ao Ricardo Batista, colega de trabalho e amigo, pela colaboração com materiais importante para o desenvolvimento desse trabalho. A Dorinha e a toda Família Rodrigues, pela consideração e carinho motivadores. A Luílma, pela incansável ajuda antes, durante e quiçá depois dessa longa jornada. Ao professor Carlos Pimenta, pelo incentivo e exemplo acadêmicos. A todos os não citados aqui, mas que, de alguma forma, se entendem participantes dessa grande conquista.

Ethernet/1P Orlando

*“Divida cada dificuldade em quantas partes forem
possíveis e necessárias para resolvê-la.”*

RENÉ DESCARTES.

RESUMO

As redes de comunicação são partes indispensáveis para o processo de automação de sistemas industriais. Nesse contexto, as redes industriais são divididas em redes de informação e redes de controle. A rede Ethernet/IP é uma tecnologia consolidada como rede de informação no ambiente industrial. Os fabricantes de equipamentos de automação disponibilizam equipamentos de campo – drives, IHMs, módulos de E/S remoto, etc.- com interface de comunicação Ethernet/IP, incentivando o uso dessa tecnologia no nível de controle de dispositivos. Contudo, engenheiros e técnicos da área de automação industrial levantam questionamentos quanto ao desempenho da rede Ethernet/IP como rede de controle. Essa situação motivou a elaboração da presente obra. Considerando o contexto citado, esse estudo se propõe a apresentar uma análise da rede Ethernet/IP, buscando elucidar como as características dessa tecnologia podem impactar nas soluções de controle de sistemas de eventos discretos – soluções típicas da indústria de manufatura. Essa análise é feita tendo como base os conceitos do modelo OSI e a divisão proposta por Tanenbaum (2003) com seu modelo híbrido; os requisitos do ambiente de controle de sistema a eventos discretos como comunicação de tempo crítico e determinismo; e a evolução do padrão Ethernet que é a infraestrutura da rede Ethernet/IP. São considerados os aspectos tecnológicos dos switches, principal elemento das redes que usam o padrão Ethernet. A análise permite concluir que o padrão Ethernet atual – IEEE 802.3u ou posterior – associado às tecnologias específicas dos switches e o uso de cabeamento estruturado compatível com o ambiente industrial possibilitam a aplicação da rede Ethernet/IP como rede de controle.

Palavras-chave: Redes, Automação, Comunicação, Controle, Automatização, Arquiteturas.

ABSTRACT

The networks communication are essential for the automation process for industrial systems. In this context, the industrial networks are divided in information networks and control networks. The Ethernet/IP network is a consolidated technology as information network in the industrial environment. The automation equipment manufacturers make available field equipment - drives, IHMs, modules of remote I/O, etc. - with interface to Ethernet/IP communication, encouraging the use of this technology in the level of control devices. However, engineers and technician of the industrial automation discusses the performance of the Ethernet/IP network as control network. This situation gives the motivation to the present paper. So, this study offers an analysis of the Ethernet/IP network, trying to elucidate how the characteristics of this technology can influence in the solutions of control of events discrete system - typical solutions of the manufacture industry. This analysis is made based on the concepts of the OSI model and the division proposal for Tanenbaum (2003) with its hybrid model; the requirements of the environment of system control of events discrete system as critical time communication and determinism; and Ethernet standard evolution which is the Ethernet/IP network infrastructure. The technological aspects of switches are considered, are the main element of networks that use the Ethernet standard. The analysis allows concluding that current Ethernet standard - IEEE 802.3u or beyond - associated to the specific technologies of switches and the use of structured cabling fit to the industrial environment make possible the application of the Ethernet/IP networks for control.

Keywords: Networks, Automation, Communication, Control, Automatization, Architectures.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
AS DEFINIÇÕES.....	15
A EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	16
PARTE I – ABORDAGEM GERAL	18
CAPÍTULO 1	19
1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	19
1.1. ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO E SEUS SISTEMAS.....	20
1.2. ARQUITETURA DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	20
CAPÍTULO 2	23
2. FUNDAMENTOS DE REDES DE COMUNICAÇÃO	23
2.1. TOPOLOGIAS DE REDES DE COMUNICAÇÃO.....	24
2.1.1. Classificação da comunicação no enlace.....	27
2.2. ARQUITETURAS DE REDE DE COMUNICAÇÃO	28
2.2.1. Modelo de referencia OSI.....	29
2.2.2. Modelo de referencia Internet TCP/IP	33
CAPÍTULO 3	36
3. COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL	36
3.1. REDES INDUSTRIAIS E SISTEMAS DE CONTROLE	37
3.1.1. Sistema de E/S distribuída	37
3.1.2. Sistema de processamento distribuído.....	38
3.2. SOLUÇÕES DE REDE INDUSTRIAL – DIVERSIDADE TECNOLÓGICAS	38
3.2.1. Comportamento temporal	40
3.2.2. Protocolos de acesso ao meio.....	40
3.2.3. Tecnologia de comunicação – Paradigma da mensagem	42

3.2.3.1.	Quando o dispositivo precisa transmitir?	42
CAPÍTULO 5		47
4.	INTRODUÇÃO À REDE ETHERNET/IP	47
4.1.	A REDE ETHERNET/IP NO CENÁRIO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	48
4.2.	A INFRA-ESTRUTURA DA REDE ETHERNET/IP	49
4.2.1.	O surgimento da LAN Ethernet.....	49
5.	Padrão 802.3	52
5.1.1.	O surgimento padrão IEEE 802.3	53
5.1.2.	Ethernet Clássica – IEEE 802.3	54
5.1.2.1.	Ethernet 10BASE5	54
5.1.2.2.	Ethernet 10BASE2	55
5.1.2.3.	Ethernet 10BASE-T	56
5.1.3.	As colisões na Ethernet Clássica	57
5.1.3.1.	Algoritmo de recuo binário exponencial.....	57
5.1.4.	Limitações de desempenho como da Ethernet clássica no chão de fábrica	58
5.2.	ETHERNET MODERNA	59
5.2.1.	Ethernet comutada	59
5.2.2.	Fast Ethernet – IEEE 802.3u	60
5.2.3.	Ethernet de Gigabit – IEEE 802.3z	61
6.	CAMADA FÍSICA.....	64
6.1.	CABO PAR TRANÇADO	65
6.1.1.	Cabo sem blindagem.....	66
6.1.2.	Cabos blindados.....	66
6.1.3.	Sistema de conexão	67
6.2.	FIBRA ÓPTICA.....	68
6.3.	Sistema de sinalização	70
6.4.	CONSIDERAÇÕES PARA APLICAÇÃO DOS CABOS E CONECTORES EM AMBIENTE INDUSTRIAL	70
7.	CAMADA DE ENLACE DE DADOS	73
7.1.	SERVIÇOS OFERECIDOS PARA A CAMADA DE REDE	74

7.2.	SUBCAMADA MEC	75
7.2.1.	Enquadramento	75
7.2.1.1.	Controle de acesso ao meio	77
7.3.	LLC- LOGICAL LINK CONTROL - PARÃO IEEE 802.2	78
7.4.	RELACIONAMENTO DE ACESSO DETERMINÍSTICO NA REDE ETHERNET/IP	79
7.5.	DISPOSITIVOS DE CONEXÃO DA CAMADA DE ENLACE	81
7.5.1.	As Pontes ou Bridge – conexão entre LANs.....	82
7.5.2.	Switches	83
7.5.2.1.	Recomendações para switches industriais Ethernet/IP	85
7.5.2.1.1.	Tecnologias específicas	86
7.5.2.2.	A que camada do modelo RM-OSI os switches pertencem?.....	89
7.5.3.	Topologias.....	90
8.	CAMADA DE REDE	92
8.1.	CONGESTIONAMENTO - OCORRÊNCIA E CONTROLE.....	93
8.1.1.	Descarte de pacotes.....	93
8.1.2.	Pré-alocação de buffer	93
8.2.	TIPOS DE SERVIÇOS	94
8.2.1.	Serviço com conexão ou serviço de circuitos virtuais.....	94
8.2.2.	Serviço sem-conexão ou serviço de datagrama.....	94
8.3.	ENDEREÇAMENTO - PROTOCOLO IP (INTERNET PROTOCOL) 95	
8.3.1.	Endereço IP.....	97
8.3.2.	Sub-rede.....	98
8.3.2.1.	Máscara de rede.....	99
9.	CAMADA DE TRANSPORTE.....	100
9.1.	PROTOCOLOS DE TRANSPORTE	101
9.1.1.	Protocolo TCP (Transmission Control Protocol).....	101
9.1.2.	Protocolo UDP (User Datagram Protocol)	101
9.2.	CAMADA DE APLICAÇÃO.....	102
9.2.1.	Protocolo CIP	103

9.3.	INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS DE REDE, TRANSPORTE E	
	APLICAÇÃO NA REDE ETHERNET/IP	104
9.3.1.	Uso dos protocolos TCP e UDP na rede Ethernet/IP	104
	Conclusão	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

Ethernet/IP Orlando

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pirâmide de Automação. Fonte: do autor.	21
Figura 2 - Topologia ponto-a-ponto. Fonte: do autor.	24
Figura 3 - Topologia multiponto. Fonte: do autor.	24
Figura 4 - Topologia em anel. Fonte: RV Informática.	25
Figura 5 - Topologia em estrela. Fonte: Estudo sobre.com.	26
Figura 6 - Topologia em barra. Fonte: Datatri informática.	27
Figura 7 - Enlace Simplex. Fonte: do autor.	28
Figura 8 - Enlace Half-duplex. Fonte: do autor.	28
Figura 9 - Enlace Full-duplex. Fonte: do autor.	28
Figura 10 - Modelo OSI. Fonte: Soares, 1995.	30
Figura 11 - Arquitetura Internet TCP/IP. Fonte: do autor.	33
Figura 12 - Modelo Híbrido. Fonte: do autor.	35
Figura 13 - Sistema de E/S distribuída. Fonte: do autor.	37
Figura 14 - Sistema de Controle distribuído. Fonte: do autor.	38
Figura 15 - Divisão clássica das redes industriais. Fonte: do autor.	39
Figura 16 - Arquitetura da Ethernet/IP. Fonte: Rockwell Automation.	48
Figura 17 - Rede ETHERNT da XEROX. Fonte: Júlio Battisti.	50
Figura 18 - Especificações do Projeto IEEE 802. Fonte: Stemmer, 2001	53
Figura 19 - Topologia da Ethernet 10Base5. Fonte: Rockwell Automation.	55
Figura 20 - Topologia da Ethernet 10Base2. Fonte: Rockwell Automation.	55
Figura 21 - Estrutura interna do Hub. Fonte: Reynders, 2004.	56
Figura 22 - Cabeamento IEEE 802.3u. Fonte: do autor.	61
Figura 23 - Ethernet com estações e Switches. . Fonte: do autor.	62
Figura 24 -Cabeamento IEEE 802.3z. . Fonte: do autor.	62
Figura 25 - Capacidade de transmissão das CAT. 5, 6 e 7. Fonte: Furukawa.	65
Figura 26 - Cabo par trançado UTP CAT. 5e. Fonte: GDH Press.	66
Figura 27 - Cabo FTP. Fonte: GDH Press.	66
Figura 28 - Cabo STP. Fonte: GDH Press.	67
Figura 29 - Cabo SSTP ou SFTP. Fonte: GDH Press.	67
Figura 30 - a) -Conector RJ-45 macho simples; b) conector RJ-45 fêmeas cat. 6; Conector M12. Fonte: GDH Press	68
Figura 31 - Detalhe do cabo de fibra óptica. Fonte: ____ ⁴	69
Figura 32 - Tipos de fibra óptica. Fonte: Bydec	69
Figura 33 - Rede Ethernet com Uplink de fibra óptica. Fonte: do autor.	69

Figura 34 - Curva de atenuação para diferentes tipos de.....	71
Figura 35 - a) conector RJ-45 IP 67; b) cabos com características específicas. Fonte: Hartin, Belden .	72
Figura 36 - Relação entre pacotes e quadros na Ethernet. Fonte: do autor.....	73
Figura 37 - Quadro MAC IEEE 802.3. Fonte: do autor.	76
Figura 38 - Endereço MAC. Fonte: Rockwell Automation	77
Figura 39 - Controlador com E/S remotas em	80
Figura 40 - Controladores em rede	81
Figura 41 - Segmentos de uma LAN conectados por ponte. Fonte: do autor.	82
Figura 42 - Switches para aplicação em ambientes agressivos. Fonte: Global sources; INS	86
Figura 43 - Configuração da rede real. Fonte: do autor.....	88
Figura 44 - Configuração da VLAN. Fonte: do autor.	88
Figura 45 - Loop sem o protocolo STP.....	90
Figura 46 - Loop com o protocolo STP.	91
Figura 47 - Cabeçalho IPv4. Fonte: do autor.	97
Figura 48 - Divisão do endereço IP. Fonte: Rockwell Automation.	98
Figura 49 - Endereço IP com rede, sub-rede e host.....	99
Figura 50 - Arquitetura da rede Ethernet/IP. Fonte: ODVA.....	102

INTRODUÇÃO

A aplicação dos sistemas micro processados em ambiente industrial possibilitou o desenvolvimento do controle digital centralizado. Esses sistemas usavam redes de comunicação para conectar os terminais de entradas e saídas com a unidade central. Até meados da década de 1970, era típico o desenvolvimento de tecnologias de rede ditas proprietárias, por parte dos fabricantes de equipamentos e sistemas de controle industrial; o que punha o consumidor numa relação de dependência do fabricante do sistema. Entretanto, por volta de 1975, tem início os primeiros movimentos em direção a uma padronização das redes, movimento que levou ao surgimento do padrão IEEE 802.3. Esse padrão especifica uma infra-estrutura de rede – camada física e enlace – e, como outros originados no mesmo contexto; pretende colaborar para o desenvolvimento de tecnologia de comunicação industrial comum a vários fabricantes. No atual contexto da comunicação industrial, ainda existem sistemas baseados em redes proprietárias, entretanto predominam as soluções de rede de protocolo aberto.

O desenvolvimento de plantas industriais mais complexas levou à necessidade de soluções de automação mais elaboradas. Essas soluções dependem de plataformas de comunicação eficientes para alcançar o desempenho desejável. Diversos fabricantes de equipamentos de automação industrial disponibilizam diferentes redes para atender às necessidades dos vários níveis da pirâmide de automação [item 1.2]. A Rockwell Automation, fabricante de equipamentos para automação industrial, propõe as redes Devicenet, Controlnet e Ethernet/IP como soluções para os níveis de dispositivos, controle e informação, respectivamente. A rede Ethernet/IP parece

uma boa solução também para os níveis de controle; ainda que sua aplicação nesse nível seja questionada por muitos profissionais de automação industrial.

AS DEFINIÇÕES

O que se entende como automação atualmente está intimamente ligado às áreas de tecnologias Elétrica, Mecânica e Eletrônica - hardware e informática - software. Assim, a Automação, tal como é vista hoje, é resultado do desenvolvimento tecnológico que remota dos primórdios da história; e cuja influencia alcança todos os campos do conhecimento humano.

Segundo o Villar (2001) automação é a substituição do trabalho humano por máquinas; ou ainda, conjunto de equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos que associados formam um sistema cujo funcionamento demanda pouco interferência humana. Para Silveira (1998, p.23) “automação é um conceito e também um conjunto de técnicas sob as quais é possível construir sistemas capazes de atuação ótima, tendo como base as informações provenientes do meio em que atuam”. Na interpretação de Moraes (2007, p.12) a palavra automação tem origem no marketing da indústria da década de 1960; que busca com essa expressão enfatizar o uso do computador no controle automático industrial. Considerando essa visão, o controle automático pode ser entendido como uma etapa do processo evolutivo da Automação.

O termo automatização se difundiu desde a construção das primeiras máquinas e se consolidou com a Revolução Industrial; portanto, automatização está indissolivelmente ligada à sugestão de movimento automático, repetitivo, mecânico e é sinônimo de mecanização, então produz movimento. (SANTOS, 1998, p.23).

A EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O Homem, desde os primórdios, busca formas para minimizar os esforços necessários à própria sobrevivência. Nesse contexto, sem data muito certa, a invenção da roda favoreceu o desenvolvimento de diversas máquinas tais como: as carroças; os moinhos; teares movidos com a força dos ventos, da água, animais, etc. A máquina a vapor inventada por Thomas Newcomen (1712) e desenvolvida por James Watt (1765) - principal propulsora da primeira fase da Revolução Industrial – já possuía um mecanismo de controle sofisticado. Na segunda fase da Revolução Industrial com a invenção do dínamo (Gerador de Fluxo de corrente alternada) as máquinas a vapor são substituídas por máquinas elétricas, iniciando a era eletromecânica. Em 1804, Joseph Marie Jacquard desenvolve um tear automatizado. A programação e controle dessa máquina eram feitos por cartões perfurados – precursores do comando numérico.

As guerras do séc. XX estimularam o desenvolvimento novas tecnologias e o aperfeiçoamento das já existentes. Nesse período o desenvolvimento da eletrônica baseada em semicondutores - invenção do transistor em 1947, invenção do CI (Circuito Integrado) na década de 1950- possibilitou a invenção dos microprocessadores e memórias. Essas últimas invenções foram definitivas para a concepção do computador moderno e outros dispositivos micro-processados, por volta da década de 1960.

Até a década de 1960, o controle de sistemas industriais baseados em eventos era feito por meio de relés eletromecânicos e alguns dispositivos de estado sólido. Entretanto, em 1969, a equipe da General Motors desenvolve o primeiro minicomputador dedicado ao controle de processo industrial. Na década de 1980, esse dispositivo é aprimorado dando origem ao CLP (Controlador Lógico Programável), equipamento que revolucionou o controle industrial.

Ethernet/IP Orlando

PARTE I – ABORDAGEM GERAL

CAPÍTULO 1

1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

É possível conceber a Automação Industrial como a aplicação de técnicas e tecnologias, baseadas na tríade Eletroeletrônica, Mecânica e Informática, que permitem aperfeiçoar o processamento/utilização de determinada matéria prima; gerando maior desempenho na infra-estrutura produtiva – entenda planta, níveis gerenciais e corporativos - e conseqüente aumento da qualidade dos produtos e/ou serviços. Nesse contexto, a matéria prima pode ser um elemento palpável – minerais, vegetais, insumos em geral - que dá origem a um produto como alimento, medicamento, vestiário, etc. Ou um elementos virtual, informação – banco de dados de uma corporação ou mesmo o ligado a uma planta de produção.

Num nível imediato ocorre um impacto direto no quesito econômico, pois os sistemas de produção automatizados precisam de pouca mão-de-obra com níveis elevados de especialização quando comparado aos sistemas de produção puramente eletromecânicos. No processo, proporciona maior eficiência, pois colabora para a diminuição dos desperdícios de energia e matéria prima, aumenta a segurança do sistema e dos usuários. Afeta positivamente nos quesitos quantitativos e qualitativos do produto final; pois permite, entre outras coisas, um melhor planejamento e gerenciamento da produção em seus vários níveis.

1.1. ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO E SEUS SISTEMAS

A Engenharia de Automação Industrial é uma abordagem multidisciplinar, porque os processos e respectivos sistemas são diversos. No âmbito de processos é possível conceber sistemas regidos por tempo e sistemas regidos por eventos; em ambos os casos, é possível encontrar elementos de controle baseados em tempo e baseados em eventos em proposições diversas proporções.

Nos processos regidos por tempo enquadram-se as Indústrias de processo como petroquímicas, metalúrgicas, indústria de polímeros, algumas indústrias de alimento; nesse caso predomina os sistemas de controle baseados em tempo e as variáveis contínuas.

Os processos regidos por evento característico das indústrias de manufatura, por exemplo, as diversas montadoras – de veículos, equipamentos eletrônicos, etc.; onde predominam os sistemas de controle baseados em eventos e as variáveis lógicas.

1.2. ARQUITETURA DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A Pirâmide de Automação é uma representação que divide a infraestrutura produtiva em vários níveis, permitindo uma melhor visualização das especificidades pertinentes a cada divisão. Dessa forma é possível estudar identificar as necessidades de cada um desses ambientes e propor soluções específicas.



Figura 1 - Pirâmide de Automação. Fonte: do autor.

A Fig.1 mostra a disposição dos vários níveis da Pirâmide automação industrial e resume os principais dispositivos neles presente. As principais características desses níveis são:

- Nível 1-Dispositivos e máquinas que interferem diretamente na planta – sistema – para realizar o sensoramento e atuação; exemplo: botões, vários tipos de sensores, motores (indução, servo motores, etc);
- Nível 2 - Dispositivos que processam informações do Nível 1 para realização do controle (controladores); exemplo: CLP - típico em controle lógico, SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) usado geralmente para controle de processos contínuos;
- Nível 3 - Controle e do processo produtivo no nível de planta, realizando algoritmos de otimização, aquisição e tratamento de dados para controle de qualidade e produtividade;
- Nível 4 - Planejamento de produção, controle logístico de suprimentos;

- Nível 5 - Administração de recursos, gerenciamento da empresa do ponto de vista global, decisões estratégicas.

É importante deixar claro que existem diferentes representações para a Pirâmide de automação e alguns autores usam mais que cinco níveis para representá-la.

Ethernet/IP Orlando

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS DE REDES DE COMUNICAÇÃO

As redes de computadores surgiram por volta da década de 1960, como resposta à necessidade de compartilhamento de recursos – impressora, banco de dados, etc. - entre vários usuários.

Uma *Rede de computadores* é formada por um conjunto de módulos processadores [...] [entenda módulos processador como qualquer dispositivo capaz de se comunicar em rede] capazes de trocar informações e compartilhar recursos, interligados por um sistema de comunicação [...]. (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995, p.10).

Rede de comunicação ou sistema de comunicação constitui um arranjo com topologia, organização física; interconexão dos dispositivos, enlaces físicos, meios de transmissão; e regras que organizam a comunicação, protocolos. Esses arranjos são classificados quando à dimensão espacial como:

- Local Area Network (LAN) - Rede Local, abrange distâncias de alguns poucas quilômetros;
- Metropolitan Area Network (MAN) – Rede metropolitana, abrange distâncias maiores que as LANs – várias dezenas de quilômetros;

- Wide Area Network (WAN) – Rede com distribuição geográfica que abrange países.

2.1. TOPOLOGIAS DE REDES DE COMUNICAÇÃO

A topologia de uma rede de comunicação se refere à forma como os enlaces físicos (com ou sem fio) conectam os vários equipamentos da rede - nós. Essa organização determina os caminhos físicos disponíveis para a comunicação entre qualquer ponto dois pontos (emissor/receptor) existentes na rede. Do ponto de vista ligação física a topologia pode ser ponto a ponto – dois dispositivos por enlace, Fig. 2 ou multiponto – três ou mais dispositivo por enlace, Fig. 3.

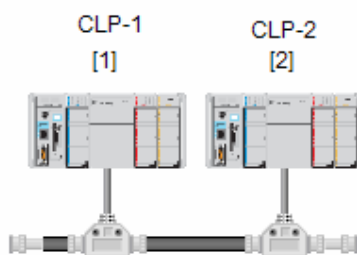


Figura 2 - Topologia ponto-a-ponto. Fonte: do autor.

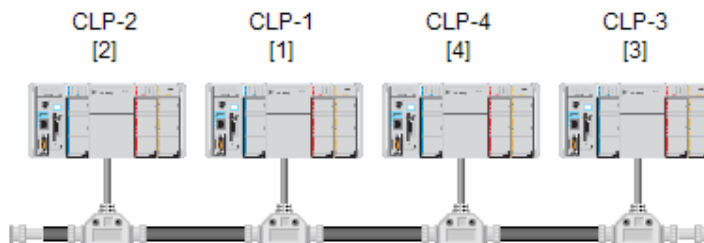


Figura 3 - Topologia multiponto. Fonte: do autor.

As formas de ligação – ponto a ponto e multiponto – são usadas para compor vários tipos de topologias. Aqui serão abordados três tipos básicos: anel, estrela, barra.

Topologia em Anel

Distribuição ponto a ponto onde cada nó é conectado ao outro formando um anel, Fig. 4. O sinal de comunicação circula no anel até chegar ao nó de destino; passando por todos os dispositivos situados entre o emissor e o receptor que funcionam como repetidores.

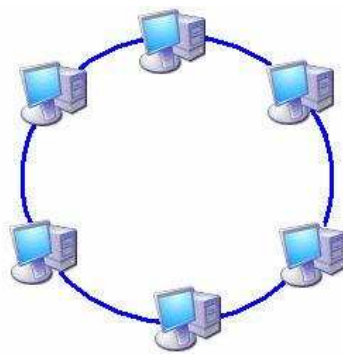


Figura 4 - Topologia em anel. Fonte: RV Informática.

Vantagens:

- Ausência de estação central;
- Apresenta caminhos redundantes;
- Suporta maiores distâncias em relação à topologia estrela.
- Aumento do custo de maneira incremental;

Desvantagens:

- Vulnerabilidade do enlace a uma falha do nó pode causar falha de toda rede;
- Comunicação limitada, apenas nó por vez;
- Possui limitação quanto à expansão devido ao aumento do retardo de transmissão;
- É necessário interromper a comunicação para inserir um novo nó na rede.

Topologia em Estrela

A comunicação entre os dispositivos é gerenciada por um nó central. Os dispositivos da rede se conectam a esse nó e através dele se comunica com os outros dispositivos da rede, Fig. 4. Nesse quesito é um tipo de topologia centralizada com baixo nível de confiabilidade.

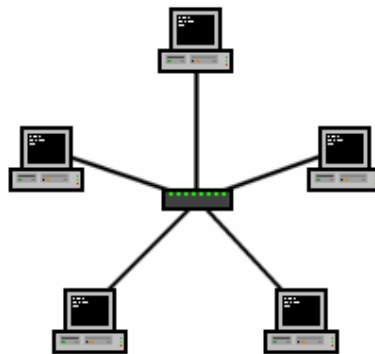


Figura 5 - Topologia em estrela. Fonte: Estudo sobre.com.

Vantagens:

- Simplicidade e custo relativamente baixo da interface do nó;
- Maior facilidade de gerenciamento;
- Falha em um nó periférico permanece isolada o que significa robustez.

Desvantagens:

- Sistema com gerenciamento centralizado;
- Número de conexões limitadas à capacidade do dispositivo central;
- Confiabilidade e desempenho dependem fortemente da estação central.

Topologia em Barra

Um mesmo meio de comunicação compartilhado por todos os dispositivos da rede. Nesse sistema as mensagens são recebidas por todos os nós, mas não há necessidade de repetição como ocorre na topologia em estrela. Permite mecanismos de controle centralizado e distribuído.

Vantagens:

- Ausência do nó central;
- A falha em um não necessariamente desabilita toda a rede;
- Maior capacidade de difusão da mensagem;
- Flexibilidade de crescimento da rede.

Desvantagens

- Vulnerabilidade do sistema de cabeamento;
- Interface complexa do nó.



Figura 6 - Topologia em barra. Fonte: Datatri informática.

2.1.1. Classificação da comunicação no enlace

Com relação à utilização do meio físico para a transmissão de dados existem três formas:

- Simplex: o tráfego no enlace ocorre apenas em um sentido;



Figura 7 - Enlace Simplex. Fonte: do autor.

- Half-duplex: o tráfego no enlace ocorre em ambos os sentidos, mas não simultaneamente;

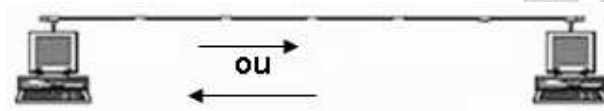


Figura 8 - Enlace Half-duplex. Fonte: do autor.

- Full-duplex: o tráfego no enlace ocorre nos dois sentidos ao mesmo tempo.



Figura 9 - Enlace Full-duplex. Fonte: do autor.

A solução de comunicação com enlace full-duplex pode ocorrer de várias formas, por exemplo, o enlace multi-fios, ou enlace com um só fio e sinais com frequências diferentes para cada sentido da transmissão.

2.2. ARQUITETURAS DE REDE DE COMUNICAÇÃO

A arquitetura de uma rede de comunicação se refere à forma como a rede é organizada logicamente. Nesse contexto as redes são organizadas de modo analítico em blocos chamados de níveis ou camadas; essa divisão é uma

abstração teórica que facilita o projeto e o estudo de arquiteturas de redes de comunicação. Existem duas importantes arquiteturas de rede: A Arquitetura ou modelo OSI e o Internet TCP/IP.

2.2.1. Modelo de referencia OSI

O modelo RM-OSI (Reference Model for Open Systems Interconnection) Modelo de Referência para Interconexão de Sistemas Abertos é uma proposta da ISO (International Standar Organization), num esforço para padronizar as arquiteturas de redes de comunicação.

O modelo OSI possui sete camadas (Fig. 10); elaboradas com base nos seguintes princípios fundamentais:

- Uma camada deve ser criada para cada grau de abstração;
- Cada camada possui funções específicas;
- A função da camada deve considerar as definições de protocolos padronizados internacionalmente;
- O número de camadas deve ser tal que funções distintas fiquem separadas.

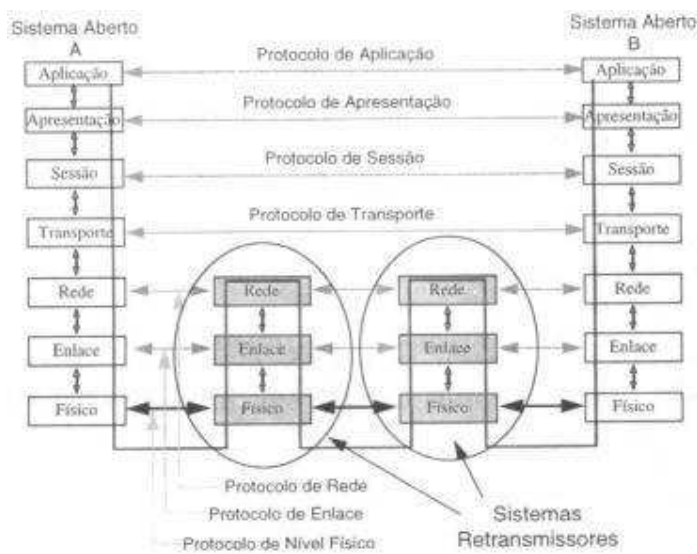


Figura 10 - Modelo OSI. Fonte: Soares, 1995.

Camada física

A camada física trata da transmissão dos bits para o meio físico (cabos ou ondas eletromagnéticas) e dos elementos necessários para tal. Nesse contexto incluem-se as interfaces de conexão mecânica como os conectores, pinagem – quantidade, ligação e função dos pinos. E também as características gerais da sinalização – nível de tensão, modo de transmissão, sincronização. Nessa camada não há preocupação com o significado dos bits transmitidos.

Camada de enlace de dados

A função básica do nível de enlace é tornar o canal de transmissão transparente ao nível de rede. Para tal, o protocolo desse nível transforma a cadeia de bits em quadros com tamanhos específicos. Muitos dos serviços relacionados ao envio dos quadros são realizados nesse nível, tais como controle de fluxo de dados entre o transmissor e o receptor, detecção e tratamento de erros (característica opcional nesse nível), confirmação de recebimento.

Camada de rede

A função principal da camada de rede é oferecer um serviço de roteamento de pacotes associados ao estabelecimento e operação de conexões de modo transparente para o nível de transporte. Esse roteamento ocorre entre redes que contêm os nós comunicantes (sub-redes). No processo de formação, envio e recebimento de pacotes o nível de rede desempenha as seguintes tarefas: início e encerramento de conexões, fragmentação e remontagem de pacotes, endereçamento e roteamento de pacotes, controle de congestionamento, qualidade de serviço (retardo, tempo em trânsito e instabilidade).

Camada de transporte

Ao nível de transporte cabe estabelecer uma comunicação fim a fim entre os nós comunicantes, tornando transparente para as camadas superiores as diversidades técnicas, tecnológicas e geográficas dos níveis inferiores. A expressão comunicação fim a fim significa que a entidades de transporte do nó de origem se comunica com a entidade de transporte do nó de destino.

As entidades se comunicam por elementos chamados de conexão; assim uma entidade de transporte usa conexões de rede para envio de dados e a entidade de rede usa conexões de transporte para enviar dados recebidos para as camadas superiores. Várias entidades de transporte podem usar uma mesma conexão de rede num processo de multiplexação; e uma conexão de transporte pode usar várias conexões de rede, num processo chamado de splitting. Esse processo é realizado para aumentar a vazão de dados no nível de transporte.

Outra importante tarefa do nível de transporte é o controle do fluxo de dados entre transmissor e receptor. Nesse contexto, existem mecanismos que possibilitam a comunicação entre dispositivo com diferentes velocidades de envio e recebimento – caso dos dispositivos 10BASE-T e 100BASE-T. Além disso, realiza controle de seqüência e detecção de erro fim a fim; segmentação, etc.

Nível de sessão

O nível de sessão permite estruturar e controlar os circuitos –virtuais, entenda- realizados pelo nível de transporte. Os principais serviços fornecidos por esse nível são: gerenciamento de token (impede que dois dispositivos realizem a mesma operação crítica simultaneamente), controle de diálogo, gerenciamento de conexões. No controle de diálogo, esse nível implementa o conceito de ponto de sincronização o que permite que um diálogo seja continuado a partir do ponto de interrupção. O conceito de atividade que permite a interrupção de uma mensagem de baixa prioridade caso a entidade de sessão receba uma solicitação de mensagem de alta prioridade; nesse caso a atividade pode ser continuada na mesma sessão, ou na sessão seguinte.

Nível de apresentação

O nível de apresentação trata da formatação dos dados para apresentá-los da forma compreensível para o nível de aplicação ou para os inferiores. Suas atividades podem ser resumidas em: conversão de padrões, seleção de sintática para dos dados – interface de sintaxe entre sistemas local e de rede, estabelecimento e gerenciamento de conexão de aplicação.

Nível de aplicação

Contém os protocolos necessários para rodar os aplicativos dos usuários. Esses protocolos permitem usar os vários aplicativos dos usuários, com aplicativos de correio, navegadores Web. Por exemplo, o protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol) é um protocolo de aplicação usado pelos navegadores Web -Microsoft Explorer, por exemplo- para solicitação de páginas aos servidores.

2.2.2. Modelo de referencia Internet TCP/IP

A arquitetura TCP/IP apresenta as seguintes bases: serviço orientado à conexão, fornecido pelo protocolo TCP (Transmission Control Protocol), e um serviço de rede não-orientado à conexão (datagrama não-confiável), oferecido pelo protocolo IP (Internet Protocol). O desenvolvimento e modificações dos protocolos dessa arquitetura são de responsabilidade do comitê Internet Activity Board (IAB). Diferente do RM-OSI, o modelo TCP/IP é mais resumido apresentando apenas cinco camadas, como mostra a Fig. 10.



Figura 11 - Arquitetura Internet TCP/IP. Fonte: do autor.

A idéia principal dessa arquitetura é possibilitar a comunicação entre usuários de diferentes tipos de redes (redes com diferentes tecnologias) através da conexão inter-redes; onde um serviço sem conexão possibilita a troca de dados entre quaisquer máquinas conectadas à rede.

Os níveis da arquitetura TCP/IP serão abordados de forma, pois o intuito é permitir uma comparação entre os modelos, OSI e TCP/IP.

Nível hos/rede

O modelo de referência TCP/IP não especifica esse nível, apenas deixa claro que o host deve se conectar a rede, e que seja capaz de enviar e receber pacotes IP através de algum protocolo, não definido.

Nível Inter-redes

A função dessa camada é permitir que os hosts (máquina conectada à rede) enviem seus pacotes a partir de qualquer rede, e garantir que esses pacotes trafegarão de forma independente até o destino. Essa função é baseada no protocolo IP, que realiza um serviço de datagrama não-orientado à conexão e, portanto não-confiável, para entregar os pacotes IP. O serviço do protocolo IP é não confiável em comparação ao serviço orientado à conexão; entretanto é bastante simples e prático. Em resumo, o roteamento de pacotes e o controle de congestionamentos são as principais tarefas desse nível.

Nível de transporte

A função dessa camada é permitir comunicação fim a fim entre os hosts de origem e destino, tal como a camada de transporte do RM-OSI. Esse nível implementa dois principais protocolos: o TCP (Transmission Control Protocol – Protocolo de Controle de Transmissão), que oferece um serviço orientado à conexão; e o UDP (User Datagram Protocol – Protocolo de Datagrama do Usuário), que oferece um serviço de datagrama sem conexão, não-confiável, usado para mensagens que precisam de elevada rapidez e não requer alta confiabilidade na entrega.

Nível de Aplicação

Na camada de aplicação, tal como no modelo OSI, contém os protocolos de alto nível, que estão diretamente relacionados com os aplicativos do usuário. Um exemplo desses protocolos é o DNS (Domain Name System), que realiza o mapeamento dos nomes dos hosts dados em os respectivos endereços de rede.

Uma crítica ao modelo de referência TCP/IP

Os protocolos e o modelo TCP/IP também tiveram seus problemas. Em primeiro lugar, o modelo não diferencia com necessária clareza os conceitos de serviços, interface e protocolo. A boa prática de engenharia de software exige uma diferenciação entre especificação e implementação [...]. [...] o modelo TCP/IP não é o melhor dos guias para a criação de novas redes com base em novas tecnologias.

Em primeiro lugar, o modelo TCP/IP não é nem um pouco abrangente e não consegue descrever outras pilhas de protocolos que não a pilha TCP/IP.

Em segundo lugar, a camada de host/rede não é realmente uma camada no sentido em que o termo é usado no contexto dos protocolos hierarquizados.

[...]

Em resumo, apesar de seus problemas, o modelo OSI (sem as camadas de sessão e apresentação) mostrou-se excepcionalmente útil para a discussão das redes de computadores. Por outro lado, os protocolos OSI jamais conseguiram se tornar populares. Ocorre exatamente o contrário com o TCP/IP: o modelo é praticamente inexistente, mas os protocolos são usados em larga escala [...] (TANENBAUM, 2003 pg. 52-53).



Figura 12 - Modelo Híbrido. Fonte: do autor.

Para o estudo da rede Ethernet/IP será usado o modelo híbrido proposto por TANENBAUM para estudo de redes TCP/IP. Esse modelo usa a praticidade das primeiras camadas do RM-OSI e a representação mais resumida do Internet TCP/IP, como mostra a Fig. 12.

CAPÍTULO 3

3. COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

A comunicação industrial pode ser separada em dois grandes blocos: comunicação para automação controle e comunicação para automação da informação; no contexto as redes industriais são ferramentas fundamentais em ambos os casos.

Na automação do controle as redes industriais são usadas para conectar e integrar os diversos dispositivos – controladores, sensores, atuadores, interfaces de visualização, estações de controle, etc.; que realizam o controle e a supervisão da planta. Possibilitando a troca de informações entre os dispositivos com inteligência (CLPs, Drives, etc.) e a conexão desses com os módulos de E/S (entradas e saídas) remotos. Possibilitam também o controle local – próxima dos dispositivos; ou remoto – a partir de pontos distantes das máquinas, como da sala de controle.

Na automação da informação as redes industriais possibilitam a aquisição de dados do processo produtivo para controle de qualidade, logística de produção, estatísticas de falha, etc.; gerenciamento de ativos que é uma forte ferramenta na manutenção preventiva; ações remotas como downloads e uploads de aplicativos, programação on-line, reset de falhas, parametrização; integração entre a planta produtiva –fábrica – e o ambiente corporativo.

3.1. REDES INDUSTRIAIS E SISTEMAS DE CONTROLE

Além de permitir a interconexão entre os vários níveis de pirâmide de automação (Fig. 1), as redes industriais se justificam pela aplicação de sistema de E/S distribuídas, mas particularmente, pela aplicação sistemas de processamento distribuído.

3.1.1. Sistema de E/S distribuída

Num sistema de E/S distribuída o controle é centralizado em uma unidade central (geralmente um CLP), que se conecta aos módulos de E/S remotos através de uma rede de comunicação, como mostrado na Fig. 13. A unidade central gerencia a comunicação da rede e realiza o controle dos módulos remotos. Esse sistema é fraco nos quesitos responsividade, confiabilidade, disponibilidade; contudo corresponde às primeiras aplicações de sistemas microprocessados em ambientes industriais.

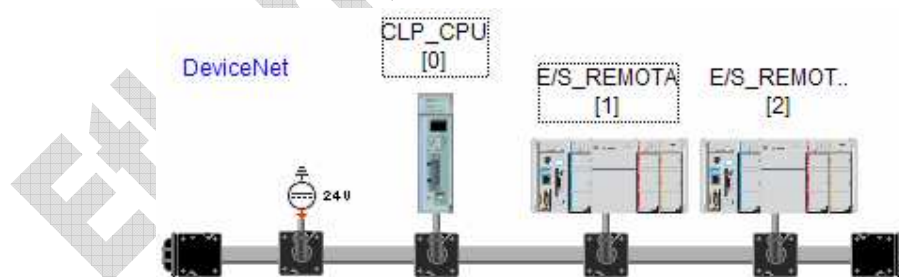


Figura 13 - Sistema de E/S distribuída. Fonte: do autor.

3.1.2. Sistema de processamento distribuído

Eckhouse (1975 Apud COLCHER; LEMOS; SOARES, 1995, p. 7) define os sistemas de processamento como “uma coleção de elementos de processamento interconectados, tanto lógica quanto fisicamente, para a execução cooperativa de programas de aplicação, com controle geral dos recursos descentralizados”. Esse tipo de sistema se diferencia dos sistemas centralizados, pois permite a distribuição da inteligência –processamento- ao longo da planta. A Fig. 14 mostra os vários módulos processadores interconectados por uma rede, formando uma sistema de comunicação em uma topologia de controle distribuído. A rede de comunicação desse sistema deve ter de elevado desempenho, nos quesitos tempo-real e confiabilidade, pois os processadores partilham podem dados de suas memórias com outros processadores para fins de cooperação nas tarefas de controle.

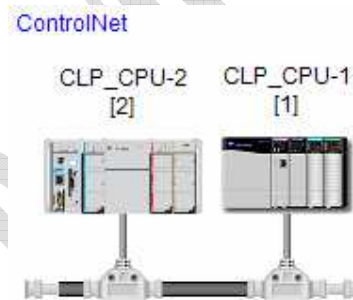


Figura 14 - Sistema de Controle distribuído. Fonte: do autor.

3.2. SOLUÇÕES DE REDE INDUSTRIAL – DIVERSIDADE TECNOLÓGICAS

As modernas plantas industriais se utilizam de sistemas de controle distribuído, pois esses apresentam elevados graus de modularidade, confiabilidade, responsividade e expansividade; requisitos fundamentais para resistir às necessidades de constantes mudanças impostas pela elevada concorrência.

As redes industriais apresentam papel fundamental no ambiente de controle distribuído, entretanto existem várias tecnologias, vários tipos de rede de comunicação, à disposição de engenheiros e projetistas, pessoas que estudam e decidem qual tecnologia comunicação será usada para automatizar a planta. A Fig. 15 é baseada na divisão proposta pela pirâmide de automação (Fig. 1) e mostra a forma clássica de se aplicar as soluções de rede; vale destacar que a rede Ethernet/IP tem ganhado espaço nos níveis inferiores.

A escolha da (s) solução de rede mais para determinada automação, entretanto, deve considerar, entre outros aspectos, organização lógica da rede. Ou seja, a forma como funcionam os protocolos das várias camadas [arquitetura de rede]: comportamento temporal; protocolo de acesso ao meio - protocolo de acesso ao barramento; forma de alocação de canais; tecnologia de comunicação, forma de troca de mensagens; pois esses têm impactos notáveis no desempenho lógico da rede.

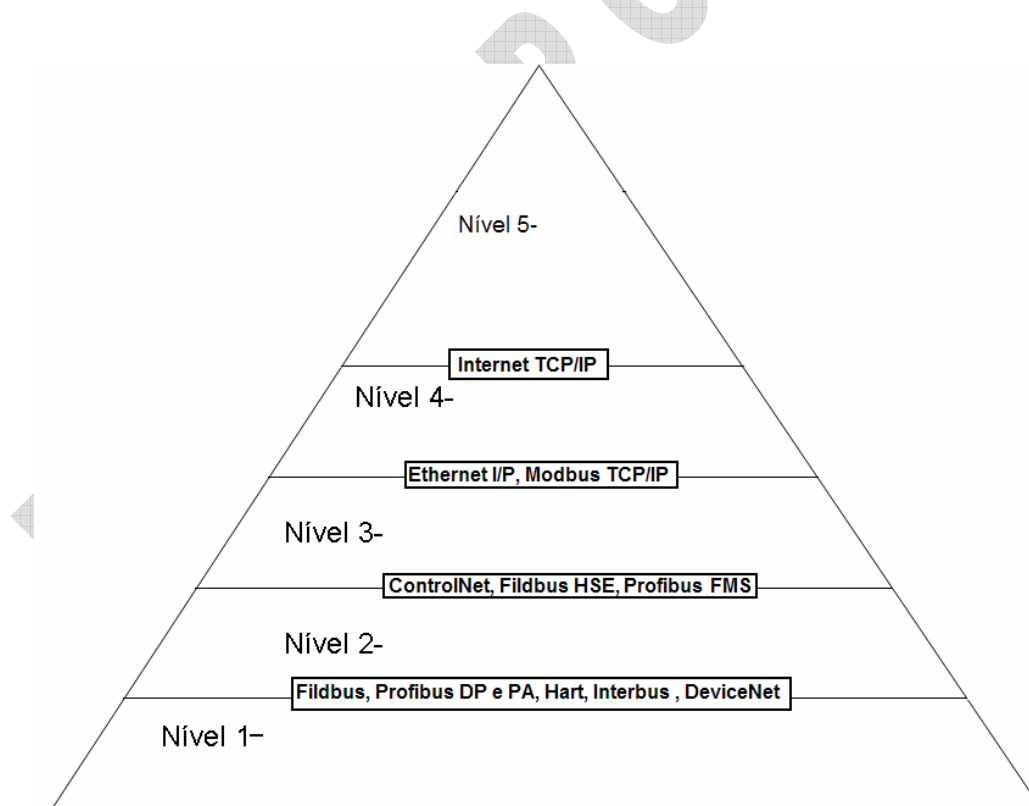


Figura 15 - Divisão clássica das redes industriais. Fonte: do autor.

3.2.1. Comportamento temporal

Esses protocolos permitem dividir as redes industriais –ou qualquer outra rede de comunicação- em dois grandes grupos: redes determinísticas e redes probabilísticas. Numa rede de comunicação probabilística não é possível determinar com exatidão o tempo de transmissão da informação; ou seja, esse tempo é calculado com base em probabilidade. Em redes determinísticas esse tempo é configurável – pelo menos o tempo máximo.

3.2.2. Protocolos de acesso ao meio

Define sob quais condições um dispositivo pode acessar o barramento para transmitir suas informações. Note que não se trata de quando o deve acessar o meio, pois o dispositivo já “decidiu” que precisa transmitir.

Passagem de permissão (Token passing)

Nesse esquema o nó só transmite quando está de posse da permissão bastão (token). Ao terminar a transmissão, a permissão é passada para o nó seguinte de forma seqüencial. A ordem lógica da transmissão, normalmente, independe da ordem física dos nós; exceto nas topologias em anel, onde geralmente as ordens física e lógica coincidem. Existem duas variantes principais desse protocolo: token bus, para topologias em barra; token ring, passagem de permissão em anel, para topologias em anel.

CSMA

No método CSMA (Carrier Sense Multiple Access – Acesso Múltiplo por Detecção de Portadora) a estação que deseja transmitir deve “escutar” o meio físico para verificar se existe alguma transmissão em andamento. Caso o meio esteja livre – nenhuma estação está transmitindo no momento, a estação poderá dar início à própria transmissão. Se o canal tiver ocupado – outra

estação com transmissão em andamento, a estação que deseja transmitir pode ter duas ações distintas: aguardar um tempo aleatório após o qual tenta novamente, estratégia de CSMA-não persistente; ou escutar o canal até que o mesmo esteja livre, estratégia de CSMA-persistente. Em ambas as estratégias é passível à ocorrência de colisões, devido ao envio simultâneo de dados por duas ou mais estações. Assim algumas modificações foram adicionadas ao CSMA para o tratamento e detecção de colisão, por exemplo: CSMA com detecção de colisão (CSMA - with collision detection - CSMA/CD), onde o tratamento da colisão é feita pelo algoritmo de recuo binário exponencial [Item 6.1.31]; CSMA multi-canais (Multichannel CSMA, M-CSMA), etc.

Mestre-escravo

Entende-se como escravo um dispositivo inteligente (Drives, válvulas, IHM, etc.) que envia dados do processo para o mestre e usa as informações do mestre – geralmente um CPL - para atuar na planta. Num ambiente de rede multimestre, as imagens dos dados dos escravos estão disponíveis para todos os mestres; entretanto, apenas um mestre assume o controle de determinado escravo. Os nós escravos só enviam dados quando são solicitados pelo dispositivo mestre.

Varredura (Cyclic Pollin)

Nesse método de acesso as estações só enviam mensagem quando são requisitadas pelo nó que controla a rede (mestre). Caso o nó interrogado não tenha informações para enviar, ele enviará uma mensagem de status para confirmar seu estado de funcionamento. Em outra técnica de polling, se a estação não tem quadro para enviar passa o controle para a estação fisicamente mais próxima. Caso a estação responda o polling com um quadro, o controlador central assume e em seguida passa o controle para a próxima estação. É uma rede com gerenciamento centralizado, indicada para aplicações onde os módulos não precisam enviar dados com muita frequência. Por outro lado, é uma solução de rede de baixo custo e simples funcionamento.

CTDMA (Concurrent time Domain Multiple Access)

Esse método usa um modo de acesso baseado em slots de tempo (time slice), responsável por regular o intervalo de transmissão de dados de cada nó. Esse intervalo NUT (Network Update Time) é configurável, sendo que o menor NUT é 2ms. Os dados transmitidos no NUT – transmitidos em intervalos de tempo fixos previamente configurados - são chamados de mensagens agendadas (Scheduled); os demais dados são chamados de mensagens não-agendadas.

3.2.3. Tecnologia de comunicação – Paradigma da mensagem

É importante entender que o protocolo de acesso ao meio determina como determinada nó da tem acesso à rede – acesso ao meio - para transmitir seus dados. Entretanto, vale as seguintes perguntas: de que forma é determinado o momento em que o nó deve enviar seus dados; uma vez enviada a mensagem, quem a receberá; ou quantos destinatários podem usar uma mesma mensagem? Essas respostas são dadas pelo paradigma da mensagem.

3.2.3.1. Quando o dispositivo precisa transmitir?

Os itens seguintes respondem a essa pergunta:

Poll

O Polling é um processo usado geralmente em redes do com acesso do tipo mestre-escravo. Nesse caso o dispositivo mestre possui uma lista na qual seleciona o primeiro dispositivo da envia uma mensagem requisitando dados, do dispositivo escravo, e aguarda a resposta. A lista é seguida na ordem, do primeiro para o último, ciclicamente.

CoS

Nesse método os dispositivos tentam enviar dados para o nó scanner sempre que ocorre uma mudança no estado; por exemplo, uma mudança de posição na chave de on para off. Se um dispositivo passar um determinado tempo sem mudar de estado, ele enviará um sinal (heartbeat), para indicar seu estado normal de funcionamento.

Evento (Event)

O dispositivo tentará enviar uma mensagem sempre que determinado evento ocorrer. Esse tipo de comunicação é usado no ambiente de controle industrial através da instrução de programação MSG (mensagem).

Cíclico (Cyclic)

Os dispositivos tentam enviar os dados em intervalos de tempo previamente determinado – envio periódico de dados. É uma solução eficiente para controle de processo contínuo.

Uma vez enviada a mensagem, quem deve recebê-la?

Os paradigmas Poll, CoS, Event e Cyclic não responderam à seguinte pergunta: Uma vez enviada a mensagem, quem deve recebê-la? Essa resposta é vista nos paradigmas seguintes:

Origem/destino

No modelo origem/destino os dados são enviados para uma fonte específica, geralmente, um endereço da rede – um nó específico. A mensagem origem/destino é do tipo unicast, ou seja, enviada para um único destinatário. Isso significa que se cinco nós precisarem da mesma informação, a mesma mensagem deverá ser enviada cinco vezes. Fica claro que ocorre uso ineficiente da largura de banda da rede.

Produtor/Consumidor

No modelo produtor consumidor, apenas a origem é especificada e a mensagem recebe uma etiqueta - no campo Msg. ID - com um número. Dessa forma, qualquer nó da rede pode ser configurado para receber a mensagem, tendo como referência a etiqueta (Msg. ID). Como consequência, se um nó precisa enviar uma mesma mensagem para cinco estações, o envio será feito apenas uma vez. Além disso, esse modelo permite o envio de mensagens multicast (mensagem enviadas para um endereço de grupo, e que é recebida por todas as estações do grupo) e mensagens broadcast (enviada para um endereço específico e recebida por todas as estações da rede). Isso deixa claro que a eficiência do modelo produtor/consumidor é superior ao modelo origem/destino.

PARTE II – ANÁLISE DA REDE ETHERNET/IP

INTRODUÇÃO II

As soluções de controle distribuído em ambiente industrial são desenvolvidas com o apoio das redes de comunicação industriais. Ao contrário do das redes comerciais, as redes industriais – resumidas em redes de informação e de controle - apresentam características específicas para responder aos requisitos típicos do ambiente industrial. As redes de controle de sistemas a eventos discretos devem ter como características comunicação determinística, mensagens de tempo real, robustez e elevada disponibilidade. Nesse contexto, a rede Ethernet/IP, que utiliza a infra-estrutura Ethernet, já é consolidada como rede industrial de informação e tem ganhado espaço em aplicações de controle de sistemas a eventos discretos, sob o incentivo de vários fabricantes, que disponibilizam dispositivos de chão-de-fábrica com interfaces de comunicação para rede Ethernet/IP. Não obstante, algumas características da Ethernet clássica, como ocorrência de colisões, ainda geram dúvidas entre técnicos e engenheiros sobre o desempenho da tecnologia Ethernet/IP no ambiente de controle. Sendo assim, a presente obra faz um estudo da arquitetura dessa solução, analisando e comparando o padrão Ethernet, e demais características da rede Ethernet/IP, com os requisitos do ambiente de controle de sistema a eventos discretos.

CAPÍTULO 5

4. INTRODUÇÃO À REDE ETHERNET/IP

A Ethernet/IP (IP – Industrial Protocol) é uma LAN desenvolvida pelas organizações O ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), IONA (Industrial Open Ethernet Association), CI (Control Net International) e a IEA (Industrial Ethernet Association); para aplicações de controle e informação em ambientes industriais. Essa rede utiliza o padrão Ethernet TCP/IP, e implementa o protocolo CIP (Protocolo de Controle e Informação) no nível de aplicação do como mostra a Fig. 16. O CIP, desenvolvido pela Rockwell Automation, é um protocolo aberto, gerenciado pela ODVA, e é comum às redes as redes ControlNet e DeviceNet.

Aceitação da Ethernet/IP no ramo industrial é notável, pois grandes fabricantes de equipamentos de equipamentos para Automação Industrial, como Rockwell Automation, Endress + Houser, Cisco Systems, entre outros; disponibilizam dispositivos com essa tecnologia no mercado. Além disso, os produtos com a tecnologia Ethernet/IP são compatíveis totalmente compatíveis com os dispositivos baseados na Ethernet comercial; ou seja, esses produtos são compatíveis com as tecnologias – Switches, roteadores, sistema de conexão, etc. – desenvolvidos para Internet TCP/IP. Esse é mais um fator que colabora para a aceitação dessa tecnologia.

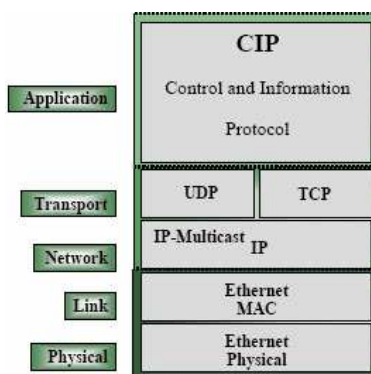


Figura 16 - Arquitetura da Ethernet/IP. Fonte: Rockwell Automation.

4.1. A REDE ETHERNET/IP NO CENÁRIO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

As estruturas de redes mais clássicas encontradas nas indústrias apresentam redes típicas como DeviceNet, Profibus DP, ControlNet, etc. no nível de I/Os, [item 3.2]. Essas tecnologias já são consolidadas como soluções para controle de E/S. Portanto, são usadas largamente pelos profissionais de automação ora cientes quanto ao desempenho dessas redes no quesito comunicação de tempo crítico; característica do nível de E/S. Entretanto, muitos fabricantes já disponibilizam dispositivos (sensores, drives de potência, etc) com capacidade de comunicação em rede Ethernet/IP; o que deixa claro a tendências de expandir a rede Ethernet/IP para o nível de dispositivos de chão de fábrica.

Entretanto, como as redes baseadas no padrão Ethernet não fazem parte das redes clássicas de campo, surgem muitas dúvidas por partes de usuários, engenheiros, técnicos e projetistas quanto ao desempenho dessa tecnologia no controle de dispositivos de campo em ambiente industrial. Nesse contexto é possível levantar a seguinte questão: quais os impactos da rede Ethernet/IP no nível de controle de dispositivos – primeiro nível da pirâmide de Automação (Fig. 1); e, quais os diferenciais dessa tecnologia com relação às redes típicas de campo? Nos itens seguintes é feita uma análise da infraestrutura Ethernet TCP/IP com o intuito de verificar o desempenho dessa

solução no nível de I/O, considerando os requisitos necessários para as redes de comunicação desse nível.

4.2. A INFRA-ESTRUTURA DA REDE ETHERNET/IP

A rede Ethernet/IP usa a infra-estrutura padrão Ethernet para a camada física, enlace; tal como a Internet TCP/IP. Portanto, para um melhor entendimento das características da Ethernet/IP faz-se necessários entender o padrão Ethernet.

4.2.1. O surgimento da LAN Ethernet

A LAN Ethernet tal como é conhecida hoje, tem suas origens mais primitivas no Havaí por volta da década de 1970, na University of Hawaii. Nesse contexto, a necessidade de estabelecer a comunicação dos vários usuários situados em ilhas distantes com um computador central, motivou o desenvolvimento de um sistema de comunicação via ondas curtas.

Nesse sistema, cada unidade possuía um rádio com dois canais: ascendente (no sentido do computador central) e descendente (no sentido da unidade periférica – usuário). Quando uma unidade queria se comunicar com o computador central, enviava um pacote pelo canal ascendente e aguardava uma resposta pelo canal descendente. Se o canal estivesse ocupado, com certeza a unidade não receberia uma confirmação e tentaria novamente. Note que nesse sistema há possibilidade de ocorrência de colisão no canal ascendente, pois a comunicação se dava apenas em um sentido, do computador central para cada usuário. Essa solução, chamada de ALOHANET, respondia satisfatoriamente quando havia baixa demanda pelo canal ascendente, contudo com o aumento do tráfego, esse canal ficava congestionado.

O sistema ALOHANET foi a base usada por pesquisadores do PARC (Palo Alto Research Center), pertencente à XEROX, para projetar a primeira LAN. Essa rede local, batizada com o nome de ETHERNET, apresentava as seguintes características (Fig. 17):

- Meio de transmissão - cabo coaxial grosso com comprimento máximo de 2,5 Km com repetidores;
- Número máximo de máquinas: 256 conectadas ao cabo por meio de transceptores;
- Velocidade: 2,94Mbps;
- Topologia: barramento.

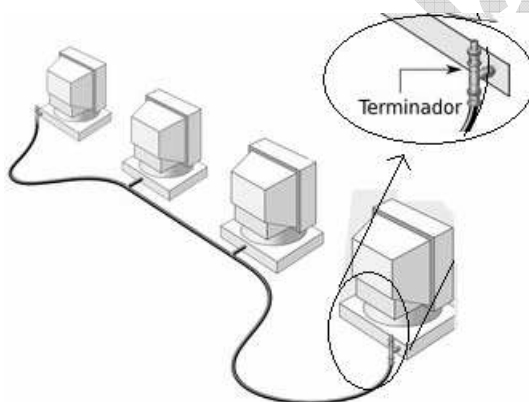


Figura 17 - Rede ETHERNET da XEROX. Fonte: Júlio Battisti.

No sistema ETHERNET, antes de iniciar uma transmissão, a estação verificava o estado do meio de transmissão verificar havia transmissão em andamento. Caso o meio tivesse ocupado, a estação ficava impossibilitada de transmitir até que o meio fosse desocupado. Essa característica diminuía a ocorrência de transmissões simultâneas, tornando o sistema ETHERNET mais eficiente quando comparado ao ALOHANET. Mesmo assim, um problema importante precisava ser resolvido nesse sistema: quando o canal se tornava livre e mais de uma máquina desejava iniciar uma transmissão, como solucionar essa disputa já que era suficiente que o canal ficasse livre para que qualquer máquina pudesse transmitir?

A solução encontrada pelos pesquisadores da XEROX foi estabelecer um protocolo de controle de acesso ao meio, onde cada

computador deve escutar o canal enquanto transmite e, quando escutar interferência, deve bloquear o meio de transmissão para informar aos demais transmissores que houve uma colisão. Nesse caso, a estação que interrompeu a transmissão e todas as outras que desejam transmitir devem esperar um tempo aleatório antes de tentar iniciar uma nova tentativa de transmissão. Nesse sistema, o tempo de espera aumenta à medida que ocorrem colisões sucessivas até que a disputa seja solucionada.

Ethernet/IP Orlando

CAPÍTULO 6 – O PADRÃO ETHERNET

5. Padrão 802.3

Por volta da década de 1980, os fabricantes de equipamentos para automação industrial priorizavam o desenvolvimento de redes industriais de protocolo proprietário. Essa postura mantinha o usuário industrial em constante dependência de determinado fabricante, pois essas redes não permitiam a inserção de equipamentos de terceiros.

“A Ethernet da Xerox foi tão bem-sucedida que a DEC, a Intel e Xerox criaram em 1978 um padrão para uma Ethernet de 10Mbps, chamado **padrão DIX**. Com duas pequenas modificações, o padrão DIX se tornou o padrão IEEE 802.3 em 1983.” (grifo do autor) (TANENBAUM, 2003, p. 72).

A necessidade de criar padrões de arquiteturas de rede industrial, capaz de permitir a interconexão dispositiva de diversos fabricantes nos vários níveis da plataforma produtiva, motivou o surgimento de vários projetos com o objetivo de padronizar redes industriais. Entre esses se cita: o Projeto PROWAY (Process Data Highway) da IEC (International Electrotechnical Commission), o IEEE 802 do IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

O Projeto 802, Fig. 18, do IEEE especifica vários padrões, para o nível Físico e de Enlace do RM-OSI [item 2.2.1], que vão do IEEE 802.1 até o IEEE 802.12. Nesse contexto, o nível Físico é dividido nas subcamadas MAC – Médium Access Control (Controle de Acesso ao Meio) – e LLC – Logical Link Control (Controle de Enlace Lógico), como mostra a Fig. 18. Contudo, o

interesse do presente estudo se limita ao IEEE 802.3 e suas versões, que tem como base o padrão Ethernet.

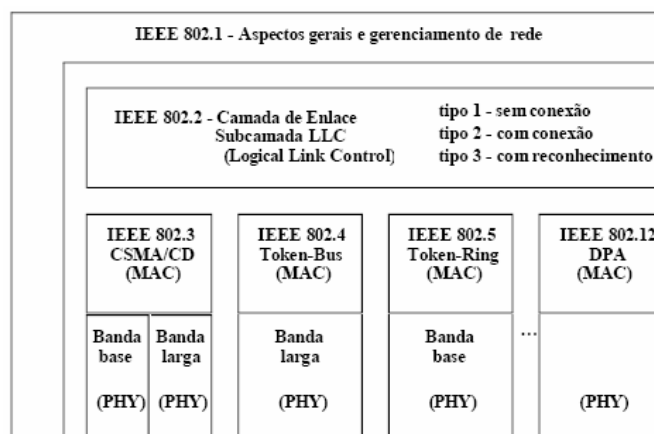


Figura 18 - Especificações do Projeto IEEE 802. Fonte: Stemmer, 2001 .

5.1.1. O surgimento padrão IEEE 802.3

O padrão IEEE 802.3, também conhecido como ISO 8802-3, padroniza a camada Física e de Enlace do RM-OSI para redes em barramento que usam o CSMA/CD como protocolo de acesso ao meio. Essa especificação abrange redes de banda larga de 10Mbps e de banda básica com velocidades de 1 a 10Mbps. No caso das redes de sinalização em banda básica, esse padrão converge para o modelo de comunicação Ethernet da Xerox; que são aproveitadas quase por completo pelo padrão 802.3, salvo pequenas modificações. “[...] O padrão Ethernet e o IEEE 802.3 são idênticos, exceto por duas diferenças secundárias [...], muitas pessoas utilizam os termos “Ethernet” e “IEEE 802.3” de modo intercabiável [...]” (TANENBAUM, 2003, p.289).

A constante demanda por melhorias no desempenho da infraestrutura definida pelo padrão 802.3 motivou a ocorrência de várias revisões desse padrão, resultando nos adendos IEEE 802.3u – Fast Ethernet- e 802.3z – Ethernet Gigabit.

5.1.2. Ethernet Clássica – IEEE 802.3

Originalmente o padrão IEEE 802.3 padroniza redes com velocidade de no máximo 10Mbps. Nesse contexto, foram lançadas versões que inseriam mudanças significativas na infra-estrutura. Preferiu-se aqui, apresentar resumidamente essas versões para elucidar as modificações importantes; entretanto será dada maior atenção às versões mais notáveis.

5.1.2.1. Ethernet 10BASE5

A expressão 10Base (ou BASE) é uma notação onde o primeiro número indica a velocidade, nesse caso o 10 para 10Mbps; a palavra entre os números indica o tipo de sinalização, no caso Base (ou BASE) para banda básica; o último número – o número 5 - indica o comprimento máximo do segmento, que é 500m. Esse padrão utiliza o cabo coaxial grosso (o padrão IEEE 802.3 sugere que seja de cor amarela) com marcações espaçadas de 2,5m para indicar a posição correta das derivações e terminadores de 50Ohm. As estações são ligadas ao cabo principal através do MAU – Media Access Unit- que possui conectores vampiro; essa topologia é mostrada na Fig. 19. O MAU é um transceptor que gerencia a parte de sinalização-deteção de portadora e colisões- durante os processos de envio e recebimento de dados. O cabo AUI – Attachment Unit Interface- realiza a conexão e alimenta o transceptor com energia fornecida pela estação.

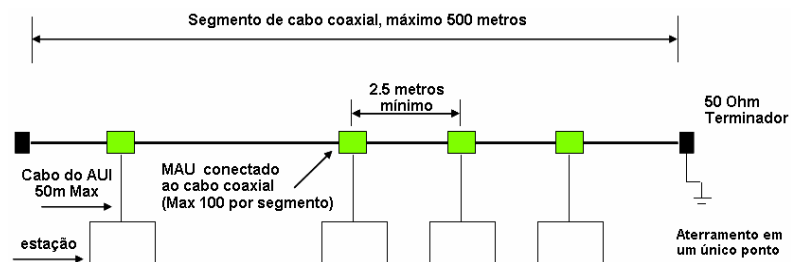


Figura 19 - Topologia da Ethernet 10Base5. Fonte: Rockwell Automation.

5.1.2.2. Ethernet 10BASE2

A versão 10Base2 usa o cabo coaxial fino e segmentos de no máximo 185m, uma solução à dificuldade de manusear o cabo coaxial grosso da versão 10Base5. Esse padrão apresenta o MAU interno às estações e a conexão – derivações – dessas ao cabo principal é feita com conectores BNC tipo T; sendo que os conectores dos extremos do cabo possuem terminadores de 50 Ohms. A topologia é apresentada na Fig. 20.

Mesmo com o segmento limitado a 185m, o sistema 10Base2 é mais atrativo que o 10Base5; por ser mais econômico e de instalação mais fácil. Contudo, os diversos problemas relacionado à manutenção das conexões desse sistema, conectores folgados, rompimento de cabos, etc.- motivou a busca de um novo sistema de conexão e cabeamento.

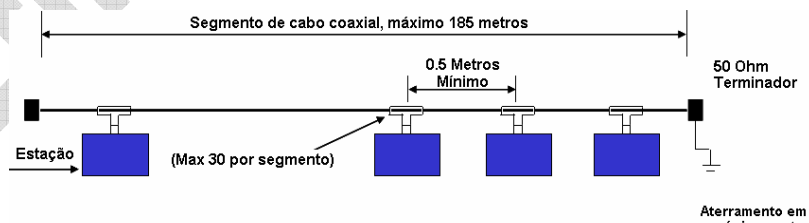


Figura 20 - Topologia da Ethernet 10Base2. Fonte: Rockwell Automation.

5.1.2.3. Ethernet 10BASE-T

A versão 10Base-T utiliza cabo UTP (Unshield Twisted Pair - cabo para trançado sem blindagem) cat. 3 com quatro pares trançado, dos quais apenas dois pares são utilizados. Com esse padrão, tentou-se apresentar uma opção de fácil instalação e solucionar os problemas de conexão apresentados pelas versões anteriores, usando Hubs, Fig. 21, e conectores do tipo RJ-45.

Os Hubs, do ponto de vista físico, são concentradores de conexões por meio dos quais as máquinas são conectadas ao cabo principal, formando uma topologia estrela - nó central. Eletricamente, esses dispositivos são repetidores de sinais que simulam um barramento lógico para as máquinas conectadas a ele. Essa topologia ponto a ponto, permite distância máxima de 100m a partir do nó central; permite atingir distâncias maiores com a aplicação do cabo par trançado cat. 5.

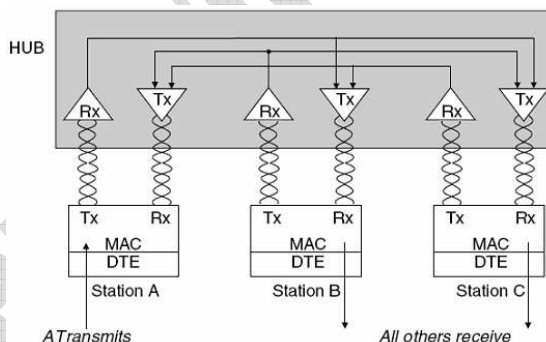


Figura 21 - Estrutura interna do Hub. Fonte: Reynders, 2004.

Principais vantagens

- Fácil localização de cabos rompidos;
- Infra-estrutura mais econômica;
- Flexibilidade para expansão;
- Melhor robustez, pois na topologia estrela um cabo rompido afeta apenas um nó.

Principais desvantagens

- Número de dispositivos limitado ao número de portas do nó central;
- Comprimento do cabo máximo do cabo limitado em 100m;
- O cabo UTP não é resistente às interferências eletromagnéticas do ambiente industrial.

5.1.3. As colisões na Ethernet Clássica

A ocorrência de colisões no sistema Ethernet foi uma preocupação, desde a sua concepção pelos especialistas da XEROX. As poucas modificações inseridas padrão DIX para transformá-lo no IEEE 802.3 não solucionaram esse problema, se muito fizeram foi minimizar a ocorrência dessas colisões ¹.

5.1.3.1. Algoritmo de recuo binário exponencial

Como a ocorrência de colisões é inevitável, sua detecção é garantida pelo CSMA/CD realizado na subcamada MAC; mas como se comporta a rede ao final do processo de detecção de uma colisão, como se reinicia a disputa pelo canal? O protocolo de recuo binário exponencial responde essas perguntas.

Considere uma rede com uma quantidade de estações que vai de N1 – estação 1- até Nn – enésima estação; nela foi detectada uma colisão na tentativa de comunicação feita pela estação N1. O algoritmo de recuo binário exponencial fará o seguinte:

¹ Tanenbaum trata detalhadamente desse assunto em Redes de Computadores.

O tempo será dividido em slots com largura igual a $2t$ – tempo máximo de propagação de ida e volta de um frame de mensagem no éter- e cada estação espera 0 ou 1 tempo de largura de slot para tentar novamente. Isso é aplicado á primeira colisão. Se duas estações escolherem o mesmo slot, ocorrerá uma segunda colisão, então cada estação escolhe de modo aleatório os 0, 1, 2 ou 3 e aguarda durante esse tempo de slot para tentar uma nova transmissão. Para a ocorrência da 'iésima' – número i de colisões - colisão consecutiva, as estações em disputa deverão escolher aleatoriamente um número de slot no espaço $2^i - 1$. O algoritmo é limitado a um número máximo de dez colisões, garantindo que o número de slots se mantém em 1023, após a décima colisão. Quando ocorre a décima sexta colisão, o sistema de controle interrompe as tentativas. Nesse caso, a recuperação da comunicação caberá às camadas superiores.

5.1.4. Limitações de desempenho como da Ethernet clássica no chão de fábrica

Os pré-requisitos elementares de uma rede de controle de E/S – comunicação de tempo crítico, determinismo - não são encontrados no padrão clássico da Ethernet, IEEE 802.3, que se utiliza do CSMA/CD.

O protocolo CSMA/CD é uma solução para a disputa do canal e detecção de colisão no mesmo, mas a ausência de colisões não garante que os dados foram recebidos sem alterações. Nesse caso, a estação receptora deve realizar o algoritmo de checagem de erro, CRC (Cyclic Redundancy Check), nos dados recebidos e enviar uma confirmação positiva para a origem. Esse envio está submetido à disputa de canal com todas as possíveis estações que desejam transmitir, isso pode gerar atrasos aleatórios no processo de confirmação; impossibilitando determinar a duração do processo envio/confirmação.

O protocolo CSMA/CD é livre de colisão quando a captura do canal é consolidada, ou seja, quando todas as estações sabem que o canal está

ocupado. Entretanto, a estação que está enviando deve mantê-la lógica de recebimento ocupada escutando o canal para detectar possível colisão. Isso deixa claro que esse padrão é um sistema half-duplex, é impossível o envio/recebimento simultâneo.

Essas características mostram que o padrão IEEE 802.3 – Ethernet Clássica – não apresenta a confiabilidade necessária para aplicação em ambiente de controle. As colisões afetam o tráfego da rede e aumentam o tempo de resposta – retardo.

5.2. ETHERNET MODERNA

A Ethernet clássica não respondeu às crescentes exigências impostas pela evolução dos sistemas de comunicação; sobretudo no campo da TI (Tecnologia da Informação) com as exigências de tráfego multimídia e conseqüente necessidade de aumento de velocidade. Como resposta, novos comitês foram organizados para estudar novas alternativas para melhorar o padrão IEEE 802.3.

5.2.1. Ethernet comutada

A Ethernet comutada é uma infra-estrutura que tem semelhante o padrão 10BaseT, mas introduz o Switch (comutador) como elemento central ao invés do hub.

O switch não é apenas um elemento passivo como o repetidor, nele existem várias placas que se conectam através de um backplane (barramento) de alta velocidade; as estações são conectadas diretamente a elas através de conectores RJ-45. Quando uma máquina deseja se comunicar com outra, envia um quadro padrão Ethernet [item 6.2.2] à placa do switch, a placa verifica o

destino da mensagem e, se for para uma porta da mesma placa, é transmitido diretamente; caso seja para uma máquina conectada a outra placa, o quadro é copiado e transferido via backplane.

Nesse padrão de switch existem dois tipos de placa: no primeiro, cada placa forma um domínio de colisão, apenas uma porta de cada placa de expansão pode transmitir e todas as placas transmitem em paralelo. No segundo, todas as portas de todas as placas podem transmitir ou receber dados ao mesmo tempo, caracterizando uma transmissão full-duplex com domínio de colisão. Note que nesse último caso o domínio de colisão é reduzido a cada porta, tornado praticamente inexistente a ocorrência de colisões.

5.2.2. Fast Ethernet – IEEE 802.3u

A inserção do switch garantiu o isolamento ou anulação das colisões, mas não resolveu o problema principal: aumento da velocidade. Nesse contexto, o IEEE comitê 802.3 se reuniu, em 1993, com a finalidade de desenvolver um padrão de LAN mais rápida. O resultado desse trabalho é o IEEE 802.3u, oficializado em 1995. É importante deixar claro que o esse resultado não é um novo padrão e sim um adendo ao IEEE 802.3.

Principais características do adendo IEEE 802.3u:

- Compatibilidade com o padrão Ethernet 10Base T e seus dispositivos;
- Implementa sistema 100Base-4 com sinalização 8B/6T (8 bits mapeados em 6 trits) 2 para superar as limitações do cabo UTP cat. 3 (4 pares trançados e limitado á transmissão de 20MHz) e permitir sua aplicação nesse padrão;

² Consulte TANENBAUM, 2003 para maiores informações sobre sinalização.

- Esquema 100Base TX, com 2 pares trançados UTP cat. 5 e sinalização 4B/5B com clock de até 125MHz, compatível com o sistema FDDI (Fiber Distributed Data interface – Interface de Dados Distribuída por Fibra) ;
- Esquema 100Base-FX, com dois filamentos de fibra óptica multimodo – um para cada sentido de comunicação - em operação full-duplex.

No caso específico do sistema 100Base FX não há possibilidade de comunicação com hubs (comunicação half-duplex), pois a distância (máx. de 2km entre os segmentos) impossibilita o tratamento de colisões; devendo ser usado um switch.

Os dispositivos do padrão IEEE 802.3u, possuem protocolo de auto-negociação que lhes permite comunicar dispositivos de 10Mbps e 100Mbps.

A Fig. 22 resume as opções do padrão IEEE 802.3u¹.

Nome	Cabo	Tam. Máx. do Seg. (m)	Obs.
100Base T4	Quatro Pares trançados	100	Cabo UTP cat. 3.
100Base TX	Dois Pares trançados	100	Cabo UTP cat. 5; full-duplex a 100Mbps
100Base FX	Dois filamentos de fibra óptica.	2000	Full-duplex a 100Mbps.

Figura 22 - Cabeamento IEEE 802.3u. Fonte: do autor.

5.2.3. Ethernet de Gigabit – IEEE 802.3z

A Ethernet Gigabit surge motivada pela mesma necessidade que gerou o adendo IEEE 802.3u; ou seja, maior velocidade.

Na configuração da Fig. 23 computadores e switches são livres para enviar quadros a qualquer momento, pois os quadros das linhas – agora consideradas apenas com dois dispositivos comunicantes - são armazenados em buffers; não há necessidade disputa de canal, portanto, o IEEE 802.3z

dispensa o protocolo CSMA/CD nessa configuração. Na configuração da Fig. 23, se for considerado um hub no lugar do switch 002; haverá disputa pelo canal no domínio do hub. Nesse caso, o protocolo CSMA/CD será aplicado, pois há possibilidade de ocorrência de colisões.

EtherNet/IP_1/Switch001

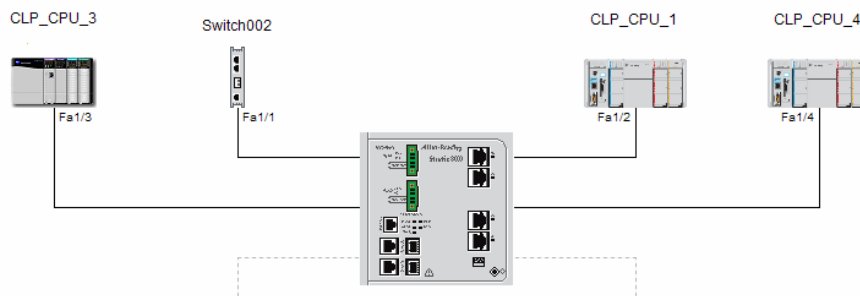


Figura 23 - Ethernet com estações e Switches. . Fonte: do autor.

A Ethernet de Gigabit usa cobre ou fibra como meio físico com algumas modificações no processo de sinalização. No sistema com fibra a sinalização de Manchester não é usada, pois implicaria um desperdício de largura de banda, a solução foi aplicar o sistema de sinalização 8B/10B. No sistema 1000Base -T é usada um esquema de sinalização que permite codificar dois bits num único símbolo; isso porque é muito difícil verificar a sinalização a 1Gb em um fio de cobre com a sinalização usada na Fast Ethernet. A Fig. 24 mostra uma síntese dos sistemas de transmissão possíveis na Ethernet de Gigabit, para maiores detalhes, consulte Tanenbaum (2003).

Nome	Cabo	Tam. Máx. do Seg. (m)	Obs.
1000Base-SX	Fibra óptica	550	Fibra multimodo (50, 62,5 microns)
1000Base-LX	Fibra óptica	5000	Monomodo (10 microns) e multimodo (50, 62,5 microns)
1000Base-CX	Dois pares STP	25	Par trançado
1000Base-T	Quatro pares UTP	100	UTP cat. 5.

Figura 24 -Cabeamento IEEE 802.3z. . Fonte: do autor.

O controle de fluxo no IEEE 802.3z é uma questão crítica por dois motivos. Primeiramente, considerando a velocidade de transmissão de 1Gb, se uma switch tiver ocupado em determinada tarefa e deixar de esvaziar o buffer de um de suas linhas no por um intervalo de 1ms; é possível que sejam acumulados até 1.953 quadros nesse intervalo de tempo, ocasionando sobrecarga no buffer. O mesmo problema de sobrecarga ocorre quando um sistema Ethernet Gigabit se comunica com um em Ethernet Clássica, devido às diferenças de velocidade. Esses problemas são evitados pelo protocolo de auton-egociação.

O desenvolvimento do padrão Ethernet não para no IEEE 802.3z. Em 2002 foi aprovado o padrão IEEE 802.3ae; a presente abordagem se limita ao estudo considerando a evolução do padrão IEEE 802.3 até a Ethernet de Gigabit.

Os padrões IEEE 802.3u e 802.3z são imprimiram mudanças que justificam a aplicação da rede Ethernet/IP no ambiente de controle. Entretanto, um entendimento amplo da aplicabilidade da rede Ethernet/IP, exige uma análise da infra-estrutura a partir das várias camadas; para entender a influência dos aspectos técnicos e tecnológicos, que podem justificar o desempenho dessa rede no controle dispositivos no nível de E/S da pirâmide de automação [Item 2.2]. Aos capítulos seguintes apresentam análise da topologia e arquitetura da Ethernet/IP com base no modelo híbrido [Item 2.2.2].

CAPÍTULOS 7 - ETHERNET/IP – CAMADA FÍSICA

6. CAMADA FÍSICA

Na camada física se inclui o meio de transmissão, e suas conexões, e o sistema de sinalização.

Os meios de transmissão podem ser guiados, quando usa algum guia de onda como cabos metálicos (de cobre, no caso) ou fibra óptica; ou transmissão sem fio, onde se utiliza o espectro eletromagnético (onda de rádio, microondas, infravermelho). Nesse estudo, por se tratar de uma análise voltada para aplicações de controle em ambientes industriais, onde predominam as LANs; os meios de transmissão sem fio não serão abordados.

No contexto das redes Ethernet Industrial moderna predominam a transmissão via par trançado ou fibra. Em geral, no ambiente industrial, os cabos tipo par trançado são a principal mídia usada para LANs e as fibras são usadas para conectar partes distantes, ou para fazer Uplink (conexão de alta velocidade entre sub-redes).

6.1. CABO PAR TRANÇADO

Um par trançado é constituído de dois fios finos (1 mm de espessura, geralmente) enrolados de forma helicoidal, que podem transmitir sinais analógicos ou digitais. O trançado helicoidal é feito para cancelar as ondas de diferentes partes do fio; pois, caso não sejam trançados, o sinal transmitido por um fio causará interferência no outro. A quantidade de voltas por unidade de comprimento presente no par depende do limite de largura de banda do cabo. Os cabos da categoria 3 (cat 3) são formados por quatro pares trançados envolvidos por uma capa plástica e possuem capacidade de transmissão de até 16MHz. Os cabos cat. 5 são parecido com os cat. 3; contudo, possuem uma maior quantidade de voltas por unidade de comprimento o que garante um sinal com maior qualidade e capacidade para comunicação em alta velocidade (100MHz). Atualmente os cabos cat.5e (e de “enhanced” acentuado) é uma versão melhorada do cabo cat. 5. Os cabos categoria 6 e 7 possuem largura de 250 e 600 MHz, respectivamente, como mostra a Fig. 25.

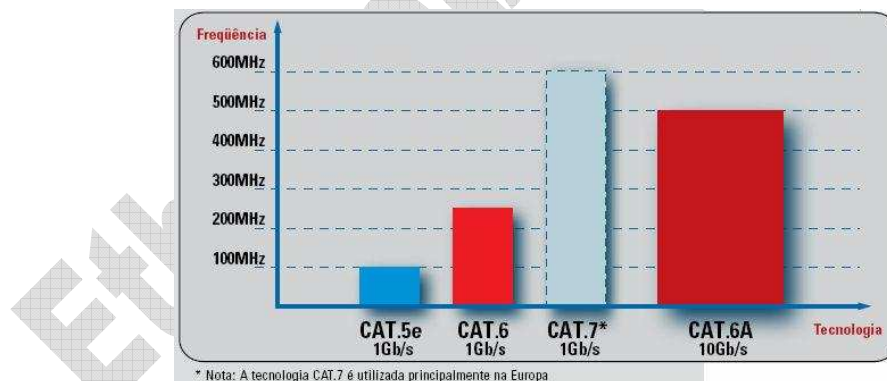


Figura 25 - Capacidade de transmissão das CAT. 5, 6 e 7. Fonte: Furukawa.

6.1.1. Cabo sem blindagem

Os cabos pares trançados podem ser do tipo UTP, ou STP. O cabo UTP (Unshield Twisted Pair - cabo para trançado sem blindagem), Fig. 26, é indicado para ambientes com níveis de interferência eletromagnética desprazíveis.



Figura 26 - Cabo par trançado UTP CAT. 5e. Fonte: GDH Press.

6.1.2. Cabos blindados

Os cabos blindados apresentam proteções contra interferências entre os pares e externas; podem ser dos tipos FTP, STP e SSTP.

- Cabos FTP (Foiled Twisted Pair – Par Trançado com Folha de alumínio), Fig. 27, apresentam blindagem simples constituída por uma folha metálica geralmente de aço ou liga de alumínio que envolve todos os pares do cabo, evitando interferência de perturbações eletromagnéticas externas.



Figura 27 - Cabo FTP. Fonte: GDH Press.

- Os cabos STP (Shielded Twisted Pair – Par Trançado Blindado), Fig. 28, apresentam blindagem separada para cada

par do cabo. Isso diminui a interferência tanto de sinais externos quanto dos sinais que circulam entre os pares.



Figura 28 - Cabo STP. Fonte: GDH Press.

- Os cabos SSTP (Screened Shielded Twisted Pair – Par Trançado Blindado com Tela), ou SFTP (Screened Foiled Twisted Pair - Par Trançado com Folha de alumínio e Tela), Fig. 29, combinam a blindagem individual dos pares e a dos pares com tela, ou folha de alumínio. Esses cabos são adequados para ambientes como elevados níveis de interferência eletromagnética.



Figura 29 - Cabo SSTP ou SFTP. Fonte: GDH Press.

6.1.3. Sistema de conexão

O conector RJ-45 (Fig. 30a) é o tipo de conexão mais usado nos dispositivos da infra-estrutura Ethernet. Entretanto, outros conectores, como o M12 (Fig. 30c), representam uma opção para superar as limitações do conector RJ-45 clássico, e atender às aplicações em conformidade com as categorias dos cabos.

O sistema de conexão é um ponto crítico para nas aplicações industriais, sobretudo na presença de vibrações, respingos ou elementos fluidos em suspensão, umidade e/ou presença de água.

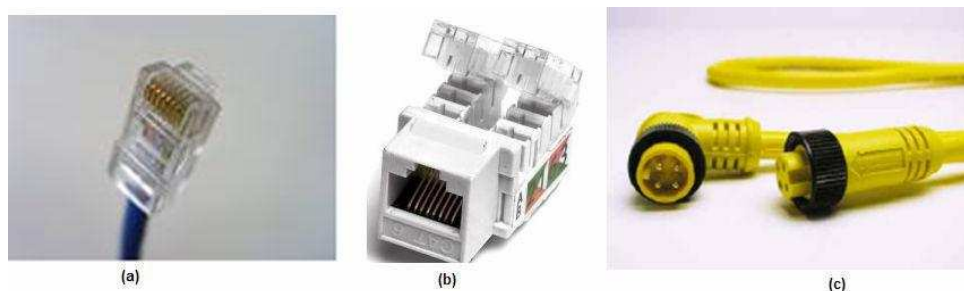


Figura 30 - a) -Conector RJ-45 macho simples; b) conector RJ-45 fêmeas cat. 6; Conector M12.
Fonte: GDH Press ³.

6.2. FIBRA ÓPTICA

Os sistemas baseados em fibra óptica são usados para aplicações que envolvem longas distâncias ou pequenas distâncias com altas velocidades. Os cabos de fibras são formados por um filamento de Silício ou Plástico chamado de núcleo por onde os raios de luz se propagam. Esse filamento é revestido por um material com menor índice de refração chamado de casca, assim os raios são refletidos no interior do material central – Silício ou Plástico, Fig. 31a e 31b. As fibras podem ser do tipo monomodo, como a mostrada na Fig. 32a, quando transmitem apenas um feixe de luz por filamento; ou multimodo, quando vários feixes de luz, injetados com diferentes ângulos de incidência, se propagam num único filamento, Fig. 32b.

³Montagem do autor.

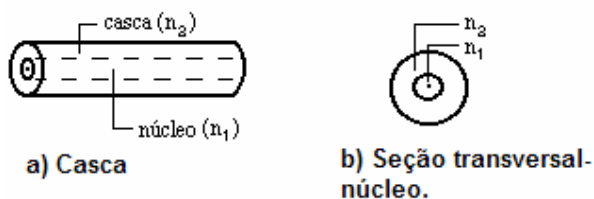


Figura 31 - Detalhe do cabo de fibra óptica. Fonte: ____⁴.

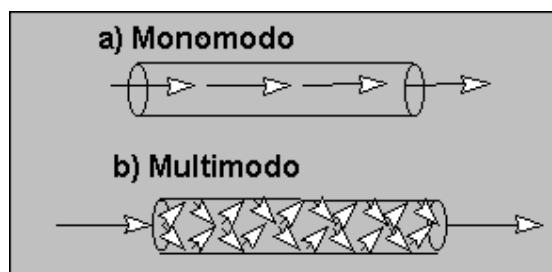


Figura 32 - Tipos de fibra óptica. Fonte: Bydec⁴.

Nas redes Ethernet Industrial, nos níveis de controle de dispositivos da pirâmide de Automação Industrial, os enlaces de fibras ópticas são geralmente usados para fazer Uplink de alta velocidade (1Gbps, ou superior) entre switches próximos, como mostra a Fig. 33, ou segmentos para pequenos distancias de uma LAN Industrial.

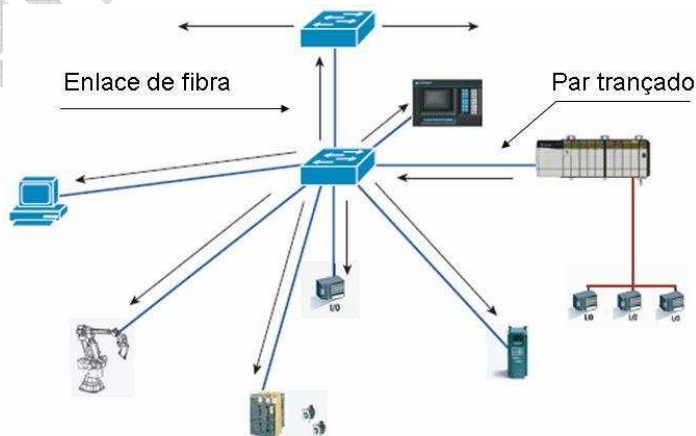


Figura 33 - Rede Ethernet com Uplink de fibra óptica. Fonte: do autor.

⁴ Imagem modificada.

6.3. Sistema de sinalização⁵

Aqui não se pretende discorrer sobre os sistemas de sinalização, mas valem os seguintes comentários:

O com o padrão IEEE 802.3u a sinalização em Codificação Manchester usada nas versões anteriores, não é mais usada devida devido a sua incompatibilidade com as novas características desse adendo. As novas formas de sinalização são mais, tais como 8B/6T e 4B/5B .

6.4. CONSIDERAÇÕES PARA APLICAÇÃO DOS CABOS E CONECTORES EM AMBIENTE INDUSTRIAL

A necessidade de uma comunicação robusta nos vários aspectos é uma exigência no nível de controle de dispositivos – chão de fábrica - no ambiente industrial. Na infra-estrutura de rede Ethernet, como em qualquer outra comunicação baseada em cabos, as características físicas influenciam no quesito robustez.

Nesse contexto, o sistema de cabeamento das redes de dispositivos está exposto às características típicas dos ambientes industriais, tais como:

- Condições severas de temperatura que interferem nas características mecânicas, alterando as características de isolamento e elétricas que podem interferir na atenuação do sinal;

⁵ Consulte TANENBAUM, 2003 para maiores informações sobre sinalização.

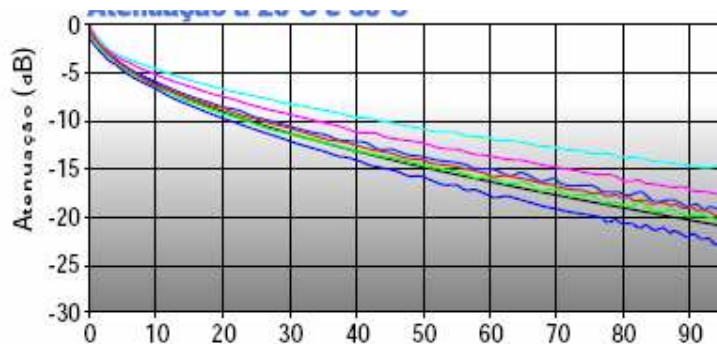


Figura 34 - Curva de atenuação para diferentes tipos de cabos sob temperaturas de 20°C e 60°C. Fone: Belden.

- Exposição a respingos de diversas substâncias químicas – óleos, umidade e exposição respingos e/ou imersão em água;
-
- Exposição a agressões mecânicas como corte, abrasão, esmagamento, flexão, tração;
-
- Elevada poluição eletromagnéticas que interferem na qualidade do sinal.

Devido a essas condições, os cabos e conexões para aplicação na Ethernet industrial são específicos. As tecnologias de conexão disponíveis apresentam características especiais para resistir aos vários ambientes. Como exemplo, cita-se os sistemas de conexão com grau de proteção IP 67, Fig. 35 a. Pelos mesmos motivos, existem cabos com características específicas para os mais variados ambientes industriais, mostrados na Fig. 35 b. A escolha da infra-estrutura (cabos e sistema de conexão) correta nesse nível vai impactar diretamente na integridade física e elétrica da rede.



Figura 35 - a) conector RJ-45 IP 67; b) cabos com características específicas. Fonte: Hartin, Belden

⁶

⁶ Montagem do autor.

CAPÍTULOS 8 - ETHERNET/IP – CAMADA ENLACE DE DADOS

7. CAMADA DE ENLACE DE DADOS

Conforme comentado no item [2.2] a camada de Enlace de Dados oferece serviços para a cada de rede.

Do ponto de vista do processo de transmissão/recepção de dados na infra-estrutura Ethernet, essa camada realiza as seguintes funções principais: controle de fluxo de dados, verificação de erros de transmissão, organização dos pacotes da camada de rede em quadros (Fig. 36), controle de acesso ao meio e oferece serviços à camada de rede. A camada de enlace da Ethernet é dividida em duas entidades importantes (Fig. 18): a entidade MEC (Medium Access Control) e LLC (logical Link Control).

É importante deixar claro que a presente abordagem pretende apresentar os aspectos da camada de enlace de dados que são fundamentais para a análise e entendimento da rede Ethernet/IP⁴.

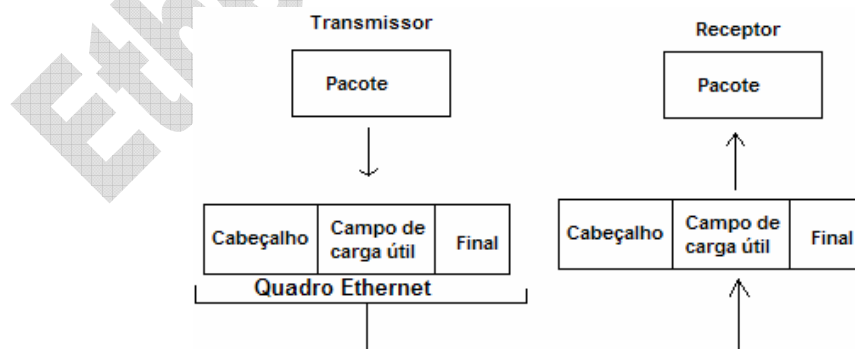


Figura 36 - Relação entre pacotes e quadros na Ethernet. Fonte: do autor.

7.1. SERVIÇOS OFERECIDOS PARA A CAMADA DE REDE

O nível de enlace pode oferecer três tipos de serviço para a camada de rede: serviço sem conexão e sem confirmação; serviço sem conexão com confirmação; serviço orientado a conexão sem confirmação. Esse serviço é oferecido com base no tipo de pacote definido pelas camadas superiores.

“A função principal da camada de enlace de dados é oferecer serviços à camada de rede. O principal serviço é transferir dados da camada de rede da máquina de origem para a camada de rede da máquina de destino.” (TANENBAUM, 2003, p. 196).

Serviço sem conexão – Nesse tipo de serviço a máquina de origem envia quadros à máquina de destino, não há confirmação de recebimento; não há detecção de perda ou recuperação no nível de enlace de dados apenas nas camadas superiores. Sua aplicação é indicada para sistemas com baixa taxa de erro, e sistemas de tráfego em tempo real onde integridade dos dados não seja um fator crítico; como sistemas de envio de voz.

Serviço sem conexão com confirmação – Os quadros são enviados sem estabelecimento de qualquer tipo de conexão virtual, contudo o receptor envia uma confirmação de recebimento de cada pacote individualmente. Esse tipo de serviço é indicado para comunicação através de canal não confiável como conexão sem fio, por exemplo.

Serviço orientado a conexão com confirmação – Nesse serviço ocorre estabelecimento de conexão entre as máquinas origem e destino. A camada de enlace garante a entrega contínua e ordenada dos quadros, ou

seja, eles serão entregues de uma única vez e na ordem correta. Esse processo pode ser resumido em três fases:

- Estabelecimento da conexão e inicialização das entidades de controle;
- Transmissão dos quadros;
- Desconexão e liberação das entidades inicializadas.

7.2. SUBCAMADA MEC

A subcamada MEC é uma entidade da camada de enlace de dados. Essa entidade gerencia o acesso ao meio através do protocolo CSMA/CD, a sincronização entre o emissor e receptor e realiza o enquadramento—transforma pacotes em quadros padrão Ethernet (Fig.36). A sincronização não será explorada, pois não fará diferença notável nos objetivos da análise em questão.

7.2.1. Enquadramento

Os bits de dados na infra-estrutura Ethernet são organizados em quadros de comprimentos padronizados, comprimento máximo e mínimo, e divisão conforme Fig. 37. Os quadros dos padrões anteriores à Ethernet de Gigabit apresentam comprimento mínimo de 64 bytes – do campo endereço de destino até o total de verificação. No padrão Ethernet de Gigabit [Item 5.2.3] o comprimento mínimo foi aumentado para 512 bytes no mesmo intervalo para evitar a diminuição do raio máximo por segmento; consulte TANENBAUM (2003, p. 306) para maiores detalhes.

Preâmbulo (8 bytes)	SFD (6 bytes)	Endereço de destino (6 bytes)	Endereço de origem (6 bytes)	Comprimento (2 bytes)	Dados bytes) (0-1500 Preen- chimento (0-46 bytes)	Total de verificação (4 bytes)

Figura 37 - Quadro MAC IEEE 802.3. Fonte: do autor.

O Preâmbulo - contém bits de sincronização do emissor e receptor;

SFD (Start Frame Delimiter) - Indica o final de um preâmbulo (bits de sincronização) e o início dos dados.

Endereços de origem (emissor) e destino (receptor) – São endereços das máquinas (nós da rede). Os dois primeiros bits de mais alta ordem são usados para diferenciar mensagens individuais e de grupos. O bit de mais alta ordem é zero para endereços individuais - mensagem do tipo unicast; e 1 para endereços de grupos – mensagens multidifusão (multicast). Os quadros enviados para o endereço de grupo são recebidos por todas as estações do grupo. Uma mensagem enviada para um endereço destino com todos os bits 1 é recebida por todas as estações, e são chamadas de mensagens de difusão - broadcast. Os endereços de máquinas são ditos locais, quando são atribuídos pelo administrador da rede e não tem significado fora da rede. Os endereços globais, chamados de endereço MAC ou endereço Ethernet (Fig. 38), são endereços globais, pois esse número é único para cada dispositivo de rede que existe no mundo. O IEEE administra a distribuição das faixas de endereços globais entre os fabricantes de equipamentos de rede para garantir a unicidade desses números. “Com os $48-2=46$ bits disponíveis, existem cerca de 7×10^{13} endereços globais. (TANENBAUM, pg. 294).”

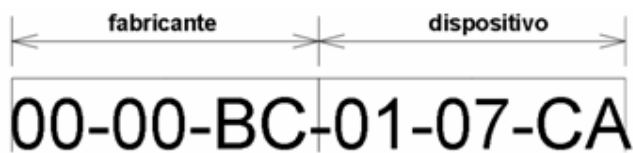


Figura 38 - Endereço MAC. Fonte: Rockwell Automation ⁷.

Comprimento – Indica a quantidade de bytes que existe no campo de dados.

Dados – É o campo que contém a carga útil de informação, a quantidade máxima desse campo é 1500 bytes. Se os pacotes dados enviado pelas camadas superiores forem menor que o valor mínimo de 64 bytes, o campo preenchimento será usado para completar o campo de dados até o valor mínimo. No caso oposto, pacote com comprimento superior a 1500 bytes, será realizado a fragmentação do pacote em quadros Ethernet padrão.

Total de verificação – Esse campo contém os 32 bits necessários para a realização do algoritmo de verificação de erros CRC (Cyclic Redundancy Check). No caso da Ethernet, não há correção de erros nesse nível, apenas a detecção.

7.2.1.1. Controle de acesso ao meio

Na Ethernet clássica [Item 5.1.2], o controle de acesso ao meio é feito através do protocolo CSMA/CD. Entretanto, a partir do padrão IEEE 802.3u a existência de a colisão deixa de ser uma realidade, devido à aplicação de switches com buffers na infra-estrutura.

Na linha entre um dispositivo final e um switch, visto na Fig. 23, o dispositivo pode enviar dados a qualquer momento, pois cada porta do switch possui um buffer. Nesse caso não há possibilidade de colisão, pois na linha de comunicação (ponto a ponto e full-duplex) entre o switch e um dispositivo final não há disputa pelo canal de transmissão; dessa forma é impossível a

⁷ Imagem modificada.

ocorrência de colisão. Assim, o máximo que pode ocorrer é perda de pacote por sobrecarga no buffer.

7.3. LLC- LOGICAL LINK CONTROL - PARÃO IEEE 802.2

A entidade LLC é especificada pelo padrão IEEE 802.2. Essa unidade é uma interface entre a entidade MEC e o nível de rede; onde é responsável pelas seguintes funções: multiplexação entre os usuários do nível de rede, controle de fluxo de dados; controle de erro e definição de vários tipos de serviço.

Aqui será feito um resumo dos serviços apresentados pela entidade LLC; contudo é possível encontrar mais detalhes sobre essa entidade e suas funções em Lemos et. al. (1995, p. 287).

Três tipos diferentes de serviço são oferecidos pela entidade LLC à camada de rede: serviço sem conexão e sem confirmação; serviço sem conexão com confirmação; serviço orientado a conexão sem confirmação. Esse serviço é oferecido com base no tipo de pacote definido pelas camadas superiores.

Serviço sem conexão – Nesse tipo de serviço a máquina de origem envia quadros à máquina de destino, não há confirmação de recebimento; não há detecção de perda ou recuperação no nível de enlace de dados apenas nas camadas superiores. É indicado para sistemas com baixa taxa de erro e em sistemas de tráfego em tempo real onde integridade dos dados não seja um fator crítico; como sistemas de envio de voz.

Serviço sem conexão com confirmação – Os quadros são enviados sem estabelecimento de qualquer tipo de conexão virtual, contudo o receptor envia uma confirmação de recebimento de cada pacote individualmente. Esse tipo de

serviço é indicado para comunicação via canal não confiável como conexão sem fio, por exemplo.

Serviço orientado a conexão com confirmação – Nesse serviço ocorre estabelecimento de conexão entre as máquinas origem e destino. A camada de enlace garante a entrega contínua e ordenada dos quadros, ou seja, eles serão entregues de uma única vez e na ordem correta. Esse processo pode ser resumido em três fases:

1. Estabelecimento da conexão e inicialização das entidades de controle;
2. Transmissão dos quadros;
3. Desconexão e liberação das entidades inicializadas.

7.4. RELACIONAMENTO DE ACESSO DETERMINÍSTICO NA REDE ETHERNET/IP

A rede Ethernet/IP apresenta o determinismo necessário para o controle de E/S (entradas e saídas). Numa rede determinística o tempo de acesso de cada nó é conhecido e configurável; por exemplo na rede Controlnet esse tempo é chamado de NUT. Para ilustrar as características de determinismo da rede Ethernet/IP será usado um como exemplo, baseado numa configuração de controle de E/S.

No ambiente de controle especificamente, existem dois contextos importantes a considerar. No primeiro a comunicação envolve módulos de E/S remotas que interagem com um controlador como mostrado na Fig. 39. Nesse contexto, o controlador atualiza os valores dos módulos de E/S no Intervalo de Pacote requisitado (RPI) definido pelo usuário. Essa atualização ocorre de modo independente da execução da lógica do controlador. O valor do RPI, geralmente milisegundos (ms), é definido com base em nas necessidades específicas de cada aplicação; contudo, existe um limite de pacotes pode ser

enviado por cada módulo e limites de pacotes que cada módulo de comunicação pode receber.

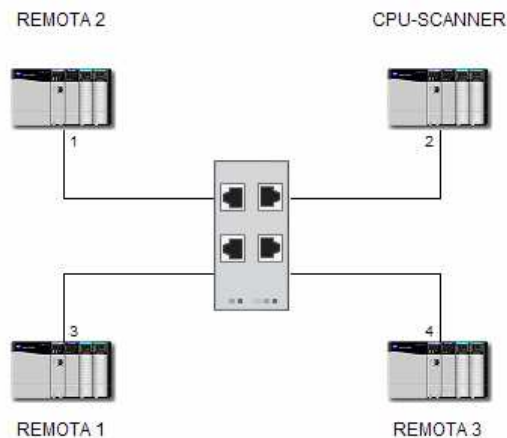


Figura 39 - Controlador com E/S remotas em Ethernet/IP. Fonte: do autor.

Outro contexto é a comunicação entre controladores (Fig. 40). No caso geralmente existe algum intertravamento envolvido no processo. A comunicação pode ser do tipo via instruções (uso da instrução MESSEGE - MSG) que depende de uma lógica de programação o que foge ao do escopo dessa análise; ou na forma produtor consumidor [Item 3.2.3]. O controlador que gera as informações é chamado de produtor e os que controladores consomem as informações são chamados de consumidores. As informações consumidas são atualizadas no RPI do consumidor configurado previamente, numa comunicação determinística. É importante deixar claro que existem outras configurações na forma produtor/consumidor no ambiente de controle com uso da Ethernet/IP.

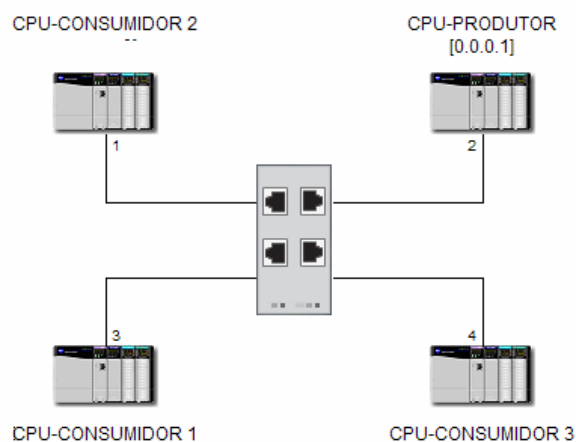


Figura 40 - Controladores em rede Ethernet/IP. Fonte: do autor.

7.5. DISPOSITIVOS DE CONEXÃO DA CAMADA DE ENLACE

A infra-estrutura física da tem uma influência notável no desempenho das redes de modo geral. Na presente análise – Ethernet no ambiente industrial - a topologia merece atenção especial devido ao seu impacto no desempenho da rede Ethernet/IP; bem como na solução de aplicações específicas. Uma parte da análise estrutural foi apresentada em [6.1] onde se falou sobre os requisitos de meio físico e cabeamento. Entretanto, a pretensão atual é fazer uma consideração mais completa no nível de topologia. Nesse contexto, topologia e conexão entre LANs industriais, dois equipamentos são fundamentais: as pontes e os switches.

7.5.1. As Pontes ou Bridge – conexão entre LANs

Uma necessidade comum na infra-estrutura de comunicação é o agrupamento de dispositivos em diferentes LANs. No ambiente industrial, essa divisão pode ser justificada por vários motivos, tais como: separação dos vários setores da produção ou ainda separação entre produção e o ambiente corporativo. Algumas vantagens são notadas nessa situação; tais como isolamento de tráfego e de falhas.

As pontes solucionam o problema comum de integrar – conectar – LANs distintas ou segmentos de uma rede, Fig. 41. Isso permite comunicação transparente entre os dispositivos das diferentes redes; e mantém características de positivas da fragmentação da rede. Esse equipamento atua camada de enlace de dados onde realiza o roteamento com base no endereço da camada dessa camada. Assim, considerando a Fig. 41, o tráfego de informações do segmento A não interfere no segmento B, e o oposto é verdadeiro, pois a ponte realiza uma seleção de pacotes na camada de enlace. Mas, os dispositivos dos diferentes segmentos podem se comunicar quando necessário.

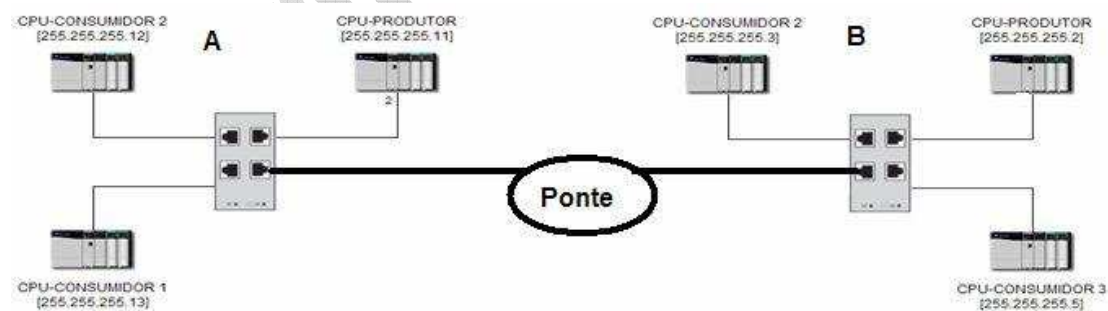


Figura 41 - Segmentos de uma LAN conectados por ponte. Fonte: do autor.

7.5.2. Switches

Após o advento da Ethernet comutada [Item 5.2.1], a topologia estrela se tornou uma parte básica da infra-estrutura Ethernet; no centro dessa estrutura encontram-se os switches. A topologia em estrela (Fig. 40) concentra o gerenciamento da comunicação no elemento central, e, devido a isso, é necessários dar especial atenção a esse dispositivo.

O switch é um dispositivo comutador que permite comunicação entre vários dispositivos conectados a ele, fazendo uso do endereço MAC. Esses dispositivos realizam comutação de pacotes para fragmentar os pacotes das camadas superiores em unidades básicas – quadro ethernet padrão. De modo geral os switches atuam na camada de enlace de dados, contudo existem switches que realizam funções relacionadas com a camada 3, nível de rede.

Os switches podem ser classificados, quanto à forma de envio de pacotes, da seguinte forma:

- **Store and Forward (Armazenar e Encaminhar)**

Nesse tipo de switch os quadros são recebidos e armazenados em buffer onde é realizada a checagem de erro (CRC). Em seguidas são encaminhados para o destino. Esse método diminui a ocorrência de erros de pacote, mas insere um retardo de transporte razoável no sistema.

- **Cut-through**

Um outro tipo de funcionamento muito parecido com o anterior é o chamado “cut-through”. Nesse o envio do pacote pelo switch não implica no total recebimento do pacote nem na realização do CRC; apenas é necessários que o endereço de destino tenha chegado e o buffer de saída esteja vazio. Essa opção tem como objetivo eliminar os atrasos presente no método Store and Forward.

- **Adaptative Cut-through**

São switches que podem funcionar nas duas configurações - Store and Forward e cut-through. Esse funcionamento pode ser configurado manualmente pelo administrador da rede, ou automaticamente. No modo automático o switch escolhe o tipo de recebimento de pacotes com base no número de pacotes com erro vindo de cada porta. A seleção é inteligente (envolve ferramentas de Inteligência Artificial) e dinâmica, ou seja, pode ser modificada a qualquer momento com base na ocorrência de erros.

Os switches são classificados também como gerenciáveis e não-gerenciáveis. A diferença básica entre os dois tipos de switch está na aplicação do SNMP (Simple Network Management Protocol), que permite gerenciar a rede.

- **Os switches não-gerenciáveis**

Os switches não-gerenciáveis realizam apenas a conexão entre os dispositivos da rede. Esse dispositivo pode ser usado no ambiente industrial para sistema simples que reúnem as seguintes características:

- Não há comunicação de tempo crítico;
- Quando a arquitetura de rede é isolada do nível de comunicação através de scanners diferentes;
- Não há necessidade de gerenciamento;
- Para arquiteturas de controle baseadas em mensagens (MSG, IHM – interface homem máquina)

Os switches gerenciáveis usam o SNMP, entre outras tecnologias, mostradas no tópico Tecnologias específicas. Algumas características úteis para o ambiente de controle de E/S apresentadas por esses dispositivos são:

- Controle do número de pacotes enviados e recebidos por cada porta;

- Ajuste de parâmetros de comunicação;
- Download e upload de parâmetros;
- Apresentação de estatísticas de comunicação – número de pacotes enviados e recebidos, número de erros, status.

De modo geral, o ambiente controle de dispositivos exige a aplicação dos switches gerenciáveis. Contudo, algumas características podem ser usadas para confirmar a necessidade de aplicação desse dispositivo:

- Arquiteturas que integram vários níveis (controle, informação, etc);
- Presença de tráfego de tempo crítico;
- Necessidade de tecnologias específicas mostradas no item Tecnologias Específicas;
- Necessidade de redundância.

7.5.2.1. Recomendações para switches industriais Ethernet/IP

A topologia em estrela pode não parecer uma boa opção para controle de E/S onde disponibilidade e confiabilidade são requisitos importantes. Entretanto, as tecnologias atuais permitem superar as limitações da topologia em estrela (presença de nó central que pode falhar) e ao mesmo tempo oferecem ferramentas únicas do ambiente Ethernet.

Na configuração da rede Ethernet/IP é importante observar essas características técnicas e tecnológicas específicas dos switches, pois elas causarão impacto direto no desempenho da comunicação.

Aplicação em ambiente agressivo

A presença de agressores físicos (mecânicos, térmicos e elétricos) e químicos (substâncias em suspensão, respingos de substâncias) citados em [Item 6.1.5], específicos de cada ambiente deve ser considerada para se decidir a localização dos switches.

Geralmente os switches são dispostos em painéis, contudo, muitos fabricantes já disponibilizam dispositivos para aplicação em ambientes agressivos e/ou para aplicações “On-machine” (na máquina), como mostra a Fig. 42.

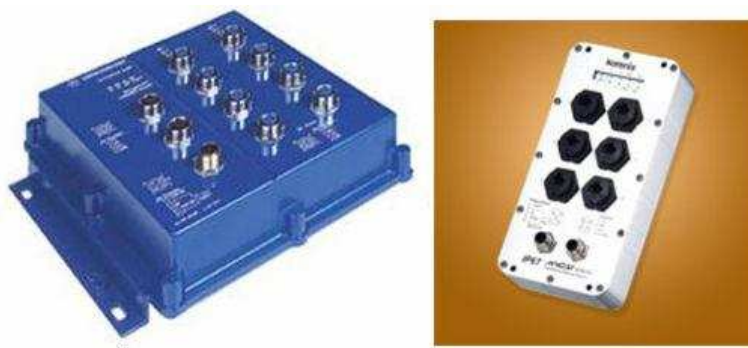


Figura 42 - Switches para aplicação em ambientes agressivos. Fonte: Global sources; INS ⁸.

7.5.2.1.1. Tecnologias específicas

Comunicação Full-duplex

Elimina a possibilidade de colisão e conseqüentes atrasos de transmissão relacionados, isso garante a comunicação em tempo real – determinística – requerida para controle de E/S.

IGMP SNOOPING

Na rede Ethernet/IP as mensagens implícitas (mensagem de tempo crítico usadas no controle de E/S), são enviadas para múltiplos consumidores sob a forma de mensagem IP multicast no modelo produtor/consumidor. Considerando que, geralmente, os switches tratam as mensagens multicast como mensagem broadcast; essas mensagens são enviadas para todas as portas, gerando um tráfego desnecessário. Os switches que usam o modo IGMP SNOOPING verificam cada porta que faz parte do grupo multicast e envia

⁸ Montagem do autor.

a mensagem apenas para as portas que fazem parte do grupo em questão. É importante ressaltar que esses switches devem ser do tipo nível 3 (camada de rede) do contrário precisarão do auxílio de outros componentes para realizar.

Wire-Speed Switching Fabric

A expressão switch fabric refere-se ao tráfego máximo suportado pelo switch sem a ocorrência de perda de pacotes ou armazenamento em buffer. A expressão Wire-speed switching fabric é usada para switches que suportam o tráfego máximo da rede em cada uma de suas portas.

SNMP (Simple Network Management Protocol)

Protocolo de Gerenciamento de Rede baseado em TCP/IP. É usado para gerenciar dispositivos de qualquer fabricante em uma rede Ethernet/IP.

QoS (Quality of Service) Qualidade de Serviço

Esse protocolo é definido pelo padrão IEEE 802.1p e possibilita, entre outras coisas, a priorização do tráfego de determinado tipo de mensagem. As mensagens prioritárias são configuradas via software e recebem um indicador de prioridade (CoS – Classe de Serviço) no nível do quadro MEC. Por exemplo, as mensagens de tempo crítico (mensagens de tempo-real) do nível de controle podem ser priorizadas com relação às mensagens de aquisição e transferência de dados (downloads e uploads).

VLAN - IEEE 802.1Q

A tecnologia de LANs Virtuais (VLAN) para o padrão Ethernet é definida pelo padrão IEEE 802.1Q, de 1998. Essa ferramenta permite fazer agrupamentos de dispositivos independente da topologia física da rede. Em outras palavras, é possível agrupar dispositivos de LANs diferentes em VLANs; onde os dispositivos se comportam como se pertencessem a uma mesma LAN física. Do mesmo modo, dispositivos de uma mesma LAN podem

ser agrupados em VLANs com tráfego isolado, alocação de banda para acesso as uplink, etc; como se formassem uma LANs fisicamente separada.

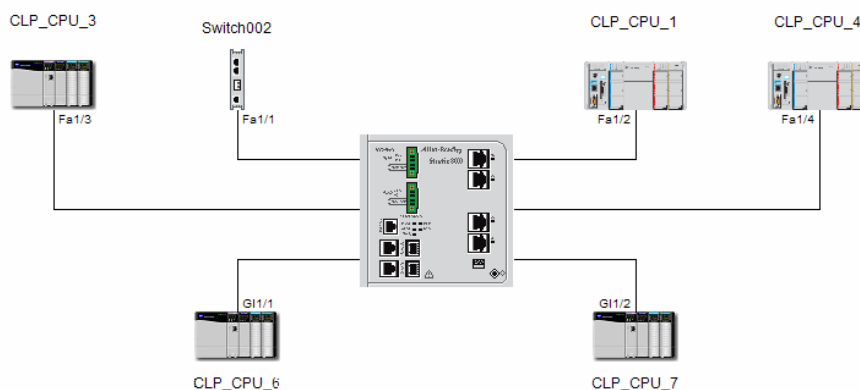


Figura 43 - Configuração da rede real. Fonte: do autor.

A Fig. 43 mostra uma rede real, a Fig. 44 mostra uma configuração de VLAN configurada dentro dessa rede real. Esse é um exemplo de aplicação dessa ferramenta no ambiente de controle. Note que é possível criar uma rede virtual isolada que reúne os dispositivos que, por motivos específicos precisam de garantia de tráfego mínimo. A tecnologia VLAN representa uma ferramenta importante, pois permite realizar segmentação lógica; o que pode ser bastante interessante em aplicações de controle de E/S.

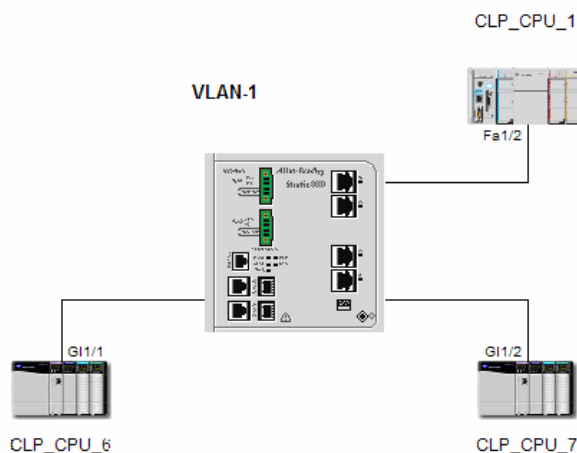


Figura 44 - Configuração da VLAN. Fonte: do autor.

Algumas vantagens oferecidas pelas VLANs:

- Agrupamento baseado em segmentação lógica, permitindo flexibilidade na reconfiguração de grupos;
- Agrupamento independente da topologia e da localização geográfica dos dispositivos;
- Isolamento de tráfego resultante das mensagens broadcast ou multicast, característica da comunicação produtor/consumidor;
- Possibilita a restrição de acesso de usuários a determinados grupos, isso pode ser útil para limitar o acesso de determinados usuários aos controladores em uma estrutura de automação;
- Facilita o gerenciamento já que o mesmo pode ser feito através dos grupos lógicos.

7.5.2.2. A que camada do modelo RM-OSI os switches pertencem?

É importante notar que os switches mais modernos apresentam serviços que atingem a camada de rede. Esses dispositivos são chamados de switches nível 3. Algumas tecnologias citadas no tecnologias específicas, como VLAN, SNMP, etc. só são realizadas com switches nível 3; contudo existem switches de nível 2 que implementam esses serviços com o auxílio de roteadores.

7.5.3. Topologias

A topologia em estrela, Fig. 43, é presente em qualquer sistema baseado no padrão Ethernet devido à presença dos switches. Contudo, outras topologias são possíveis, tais como anel e barramento. Aqui será dada atenção especial à configuração em anel terá devido à sua característica de redundância.

Redundância em anel

As redes de controle geralmente atendem ao quesito redundância; essa ferramenta é usada para aumentar a disponibilidade da rede. A rede Ethernet/IP possibilita aplicação de topologia redundante em anel, estrela ou barramento.

A topologia loop (caminho fechado) apresenta, entre outros problemas, o “storms” (tempestade). Esse problema ocorre quando em um anel uma mensagem se propaga continuamente semelhante a uma tempestade de mensagens broadcast, Fig. 45. Isso gera tráfego desnecessário no anel e diminui o desempenho da rede.

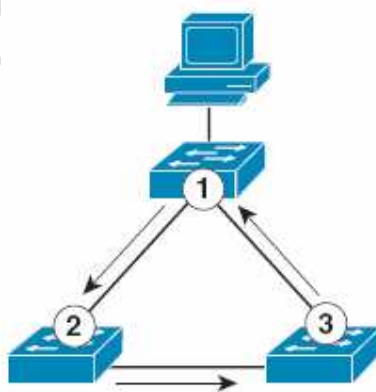


Figura 45 - Loop sem o protocolo STP.
Fonte: Rockwell Automation, CISCO.

O padrão IEEE 802.1D especifica o Spanning Tree Protocol (STP) – Protocolo Spanning Tree. Esse protocolo detecta o loop e calcula o caminho

mais eficiente para envio do pacote, desabilitando os caminhos menos eficientes. Caso o caminho mais eficiente entre em falha, esse protocolo utiliza outro caminho possível para envio do pacote; ou seja, reabilita o caminho menos eficiente. Ao desabilitar logicamente os caminhos menos eficiente a ocorrência de storms é eliminada; como mostra a Fig. 46. Esse protocolo é implementado nos switches e pontes e deve ser observado quando da escolha dos switches caso a aplicação de automação precise de topologia redundante.

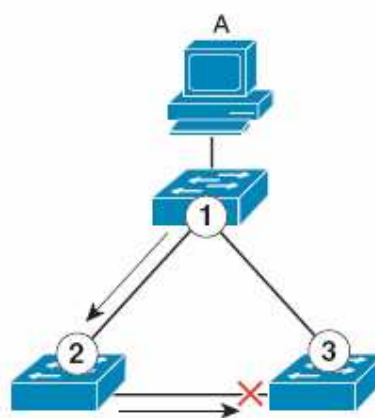


Figura 46 - Loop com o protocolo STP.
Fonte: Rockwell Automation, CISCO.

A velocidade em que o novo caminho é reabilitado depende do número de nós da rede, do número de pacotes por segundo, entre outros fatores. Atualmente é possível a reabilitação do novo caminho em 50ms para uma rede de 50 nós.

CAPÍTULOS 9 - ETHERNET/IP – CAMADA REDE

8. CAMADA DE REDE

O nível de rede tem como principal objetivo a transmissão dos dados entre as entidades do nível de transporte, fazendo uso de transmissões orientadas e não-orientadas a conexão. Nesse processo, todas as características das camadas inferiores – elementos de enlace, meio físico, etc. – devem ser transparentes para as camadas de transporte dos pontos comunicantes.

Os principais serviços oferecidos pela cama de rede são:

- Controle de tráfego e congestionamento;
- Estabelecimento e gerenciamento de conexão;
- Roteamento e endereçamento;
- Multiplexação.

A camada de rede realiza várias outras funções bastante complexas para oferecer os serviços necessários à camada de transporte. Entretanto, será dada uma visão resumida da camada de rede Ethernet; para uma visão completa consulte TANENBAUM, (2003, p. 365).

8.1. CONGESTIONAMENTO - OCORRÊNCIA E CONTROLE

O congestionamento ocorre quando existe um grande número de pacotes em numa rede ou sub-rede. Nessa condição o desempenho da rede é fortemente afetado ocasionando perda de pacotes e aumento do retardo. Os principais motivos desse distúrbio são: nós com processamento lento, tráfego de entrada maior que o de saída em um nó - switch, por exemplo.

O controle de congestionamento pode ser feito por vários algoritmos; tais como:

8.1.1. Descarte de pacotes

Se um pacote chegar num nó e não houver espaço no buffer para armazená-lo ele será descartado. Caso o pacote seja uma liberação de buffer ele será recebido. O descarte do pacote consome banda passante e pode piorar o congestionamento. Uma melhoria para esse algoritmo é a alocação ótima de buffer por linha, baseada no número mínimo e máximo de buffer por linha.

8.1.2. Pré-alocação de buffer

Ocorre com conexões de circuitos virtuais característica dos serviços de conexão. Nesse caso, o buffer é alocado durante o processo de estabelecimento da conexão. Caso o pacote de solicitação de buffer não tenha sucesso e não exista uma nova rota, a conexão não será estabelecida. Esse método elimina a ocorrência congestionamento; contudo causa uso ineficiente dos recursos por ocorrência de circuitos virtuais ociosos. Uma variante é a

aplicação de temporização de buffer, onde o circuito virtual é temporariamente usado para outra conexão caso esteja ocioso.

8.2. TIPOS DE SERVIÇOS

A camada de rede oferece basicamente dois tipos de serviço à camada de transporte: com conexão e sem-conexão. Esses serviços podem ser oferecidos de forma combinada tanto no ambiente inter-rede quanto no ambiente de rede (sub-rede).

8.2.1. Serviço com conexão ou serviço de circuitos virtuais

Nesse tipo de serviço, um caminho lógico (circuito virtual) é estabelecido entre os nós origem e destino e permanece durante toda a comunicação, é feita pré-alocação de buffer e os pacotes são entregues em ordem. É um serviço de implantação mais complexa, mas oferece alto nível de confiabilidade.

8.2.2. Serviço sem-conexão ou serviço de datagrama

Nesse tipo de serviço os pacotes ou fragmento de pacote – chamados de datagramas - é tratado de modo individual. Não há estabelecimento de conexão prévia, não há compromisso com a ordem de entrega nem com a própria entrega de pacotes. É um serviço prático, porém não-confiável.

8.3. ENDEREÇAMENTO - PROTOCOLO IP (INTERNET PROTOCOL)

O protocolo IP é um protocolo do nível de rede que tem a função de encaminhar datagramas entre os pontos de origem e destino independente da topologia da rede e da posição geográfica dos elementos comunicantes. É um protocolo para redes que realizam comutação de pacote e seu serviço não garante a entrega dos datagramas, nem tem compromisso com a ordem de entrega dos pacotes. Portanto, é um tipo de serviço sem conexão; nesse serviço nenhum mecanismo de controle de erros ou confirmação de entrega de pacote é realizado.

A comunicação do protocolo IP é do tipo não-confiável e apresenta as seguintes características principais:

- Serviço de datagrama não-confiável;
- Endereçamento hierárquico;
- Facilidade de fragmentação e remontagem dos pacotes;
- Roteamento adaptativo;
- Descarte e controle do tempo de vida dos pacotes na rede.

A Fig. mostra o formato do cabeçalho IPv4 que apresenta os seguintes campos:

Version: Identifica a versão do IP;

Extensão do cabeçalho IP: Padrão é 5. Quando maior que 5 indica presença de opções, quando menor que 5 indica um cabeçalho ilegal.

HLEN Header Length (Extensão Total do): Indica o comprimento total do cabeçalho do datagrama IP, em palavras de 32bits;

Type of Service (Tipo de Serviço): Indica a qualidade e tipo do serviço – confiabilidade e velocidade - que deve ser prestado pelas redes por onde o pacote passar;

Total Length (Comprimento Total): Comprimento total do pacote IP incluindo cabeçalho e dados, na prática esse valor é no máximo 64 bytes;

Identification (Identificação): Permite que o host de destino identifique o datagrama ao qual pertence o fragmento recebido;

DF – Don't Fragment (não fragmentar): Ordem para os roteadores não fragmentarem o datagrama;

MF-More fragment (mais fragmentos): indica a existência de mais fragmentos;

Fragment offset: Informa a posição do fragmento no datagrama que está sendo recebido;

Time to Live (Tempo de Vida): Quanto tempo o pacote pode permanecer na rede (tempo máximo 255s), após esse tempo o pacote é descartado e o nó de origem recebe um comunicado de descarte de pacote;

Protocol (Protocolo): Indica a que entidade de transporte o datagrama deve ser entregue;

Header Checksum: Verifica se as informações do cabeçalho IP estão corretas;

Source Address (Endereço de Origem): Endereço IP da máquina de origem;

Destination Address (Endereço Destino): Endereço IP da máquina de destino;

Options (opções): Usado para informações de segurança, relatório de erros, etc.

VERSION	(HLEN) HEADER LENGTH	TYPE OF SERVICE			TOTAL LENGTH
IDENTIFICATION		DF	MF		FRAGMENT OFFSET
TIME TO LIVE		PROTOCOL			HEADER CHECKSUM
SOURCE ADDRESS					
DESTINATION ADDRESS					
OPTIONS					

Figura 47 - Cabeçalho IPv4. Fonte: do autor.

8.3.1. Endereço IP

O endereço IP é um número de 32 bits geralmente escrito na seguinte forma em notação decimal: 128.60.4.7. Esse endereço é dividido em duas partes para indicar a rede e a interface de rede de um dispositivo a ela conectado, como mostra a Fig. 48. As interfaces de rede que pertencem à mesma rede devem possuir o mesmo endereço IP.

Esses endereços são divididos em classes A, B, C, D, E. Essas classes contêm uma faixa de IP, como mostrado a seguir:

Classe A - de 1 até 127: 1.0.0.0 até 127.255.255.255;

Classe B - de 128 até 191: 128.0.0.0 até 191.255.255.255;

Classe C – de 192 até 223: 192.0.0.0 até 223.255.255.255;

Classe D- 224 até 239: 224.0.0.0 até 239.255.255.255;

Classe E - de 240 até 247: 240.0.0.0 até 247.255.255.255;

Os endereços de IP são administrados pela ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), entidade responsável pela distribuição de faixas de endereços IP para várias entidades que utilizam a Internet.

Os Roteadores e Gateways, dispositivos de conexão inter-redes, reconhecem apenas os endereços das redes que conectam; dessa forma os endereços definidos localmente não influenciam na rede externa. Isso permite criar novas redes e sub-redes privadas com endereços de qualquer classe tenham endereço com qualquer das formas apresentadas pelas classes. Recomenda-se não usar os valores 0.0.0.0 e 255.255.255.255.

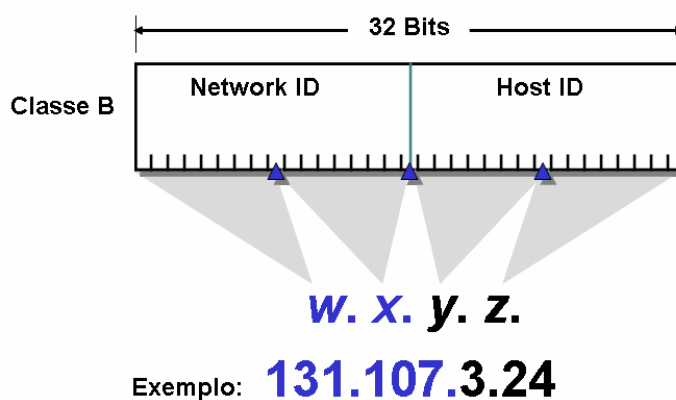


Figura 48 - Divisão do endereço IP. Fonte: Rockwell Automation.

8.3.2. Sub-rede

Como dito anteriormente, os elementos que pertencem à mesma rede devem ter o mesmo endereço IP da rede. A Fig. 48 mostra como endereço IP é dividido para indicar a rede e o elemento a ela conectado, host. Se tratando do ambiente Internet, a divisão do endereço IP da forma mostrada na Fig. 48 significou um entrave ao aumento do número de dispositivos que podiam acessar a Internet através de uma mesma rede, mesmo endereço de IP. Essa limitação se dava porque não era possível fragmentar a rede principal – conectada à Internet – em redes menores.

Por exemplo, se em uma instituição qualquer tinha uma faixa de IP classe B para conectar sua rede à Internet; ao esgotar o número de

dispositivos suportados pela referida faixa de IP, seria impossível a adição de um novo dispositivo com acesso à Internet.

Esse problema foi solucionado com a modificação do endereço IP, usando parte do endereço IP para indicar uma nova subunidade, a sub-rede. Dessa forma a hierarquia do endereço IP assume a seguinte formatação: esta rede, esta sub-rede, host; necessariamente nessa ordem, como mostrado na Fig.49. É importante ressaltar essa divisão a divisão é diferente para cada classe de IP.

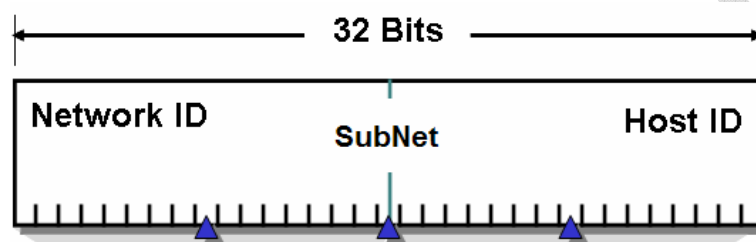


Figura 49 - Endereço IP com rede, sub-rede e host.
Fonte: Rockwell Automation.

8.3.2.1. Máscara de rede

A máscara de rede é uma numeração que indica ao roteador ou switch a divisão entre o número da sub-rede e do host no endereço IP. Isso facilita o roteamento; pois permite que os roteadores ou switches diferenciem os elementos de sua sub-rede através operação simples usando a lógica AND. Um exemplo de máscara de sub-rede para a sub-rede mostrada na Fig. 48 é 255.255.0.0. Cada classe de IP possui uma forma diferente de máscara de sub-rede.

CAPÍTULOS 10 - ETHERNET/IP – CAMADAS DE TRANSPORTE E APLICAÇÃO

9. CAMADA DE TRANSPORTE

A função do nível de transporte, resumidamente, é prestar um serviço de transferência de dados entre os processos do usuário; tornando as diversidades das camadas inferiores transparente ao usuário. Essa atividade possibilita a comunicação dos softwares dos usuários comunicantes (origem e destino) numa configuração fim a fim.

Dependendo da classe de serviço selecionado durante o estabelecimento da conexão, a camada de transporte pode executar algumas das seguintes funções:

- Transporte de unidade de dados;
- Detecção e correção de erros fim a fim;
- Multiplexação ou splitting;
- Transporte prioritário de dados.

9.1. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

A rede Ethernet/IP utiliza a arquitetura Internet TCP/IP para transporte de dados. Essa arquitetura é baseada em dois tipos de serviços de transporte de dados: serviço com conexão –TCP- e sem conexão – UDP.

9.1.1. Protocolo TCP (Transmission Control Protocol)

É um protocolo que fornece um serviço de conexão confiável - serviço de conexão. Foi projetado para aplicação combinada com o serviço não confiável do nível de rede (serviço não-confiável inter-redes), onde sua robustez compensa as diversas falhas das camadas inferiores. Algumas das funções do protocolo TCP são: controle de erro e retransmissão de dados, ordenação de datagramas.

A conexão TCP é do tipo full-duplex (tráfego em ambos os sentidos) baseada em fluxo de bytes iniciado após estabelecimento e confirmação da conexão; não há divisão entre uma mensagem e outra. Outra observação importante nesse protocolo é a entrega de dados urgentes; onde o flag URGENT indica à unidade receptora que esse dado é prioritário. Ao receber esse tipo de dado, as demais tarefas são suspensas e o dado recém chegado é imediatamente processado.

9.1.2. Protocolo UDP (User Datagram Protocol)

O protocolo UDP é do tipo não-orientado a conexão, fornecendo um serviço de datagrama não-confiável. Sendo assim, não realiza controle de fluxo, controle de erros ou retransmissão. Contudo, esse protocolo é uma forma de envio de dados baseada em simplicidade de rapidez.

Em resumo, o protocolo UDP realiza a entrega das mensagens da camada de aplicação ao IP para que sejam enviadas; no destino, recebe os datagramas e os encaminha às devidas entidades de aplicação. Dessa forma pode ser entendido como uma simples interface entre o IP e os processos do usuário. Qualquer outra necessidade – verificação de erro e reenvio, por exemplo - deverá ser realizada pelos processos do usuário.

9.2. CAMADA DE APLICAÇÃO

Os níveis abaixo da camada de aplicação têm como função oferecer serviços aos aplicativos de rede do usuário, entretanto eles não atuam diretamente nesse nível. A camada de aplicação executa protocolos de suporte que permitem o funcionamento dos aplicativos de rede do usuário; tais como: serviços de e-mail, serviços de Web, com o uso dos protocolos WWW, http, entre outros como mostrado na Fig.50. No caso particular da rede Ethernet/IP o protocolo CIP é específico para controle e informação em aplicações industriais; outros protocolos dessa camada não serão abordados aqui, pois não apresentam interferência direta no ambiente de controle.

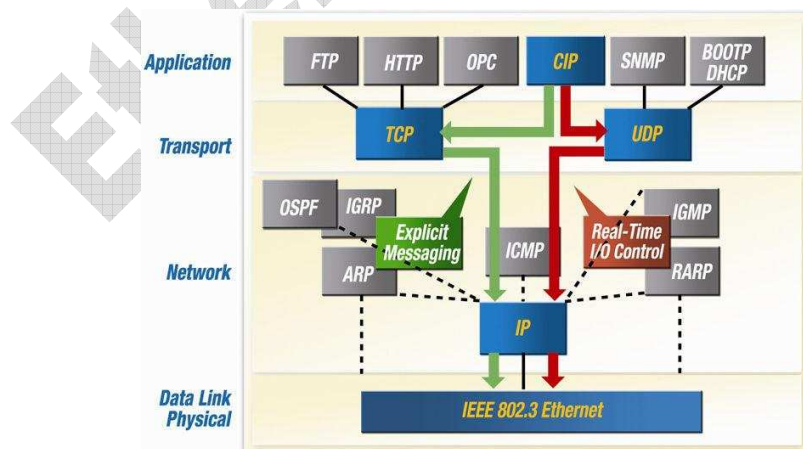


Figura 50 - Arquitetura da rede Ethernet/IP. Fonte: ODVA.

9.2.1. Protocolo CIP

O protocolo CIP pertence à camada de aplicação onde encapsula mensagens implícitas e explícitas nos conjuntos de protocolos TCP/IP e UDP/IP; oferece interoperabilidade entre os módulos de controle de E/S em tempo-real e transferência de dados.

O Protocolo CIP possibilita a comunicação entre módulos através de troca de mensagens numa relação produtor consumidor. O módulo produtor de dados possui as informações para envio de mensagens aos módulos consumidores. O ciclo de envio de mensagens para o consumidor depende do parâmetro de configuração, podendo ser envio cíclico no tempo (RPI) configurado no consumidor, ou CoS (Change of State – mudança de estado) abordado em [Item 3.2.3]. Os módulos de entrada são produtores de dados; os controladores consomem e produzem dados, portanto é pode ser um produtor e/ou consumidor de dados.

Uso do CIP (Protocolo industrial comum)

Os módulos de comunicação EtherNet/IP usam o CIP (protocolo industrial comum). O CIP é o protocolo na camada da aplicação específico para a EtherNet/IP, o Protocolo Industrial Ethernet, bem como para ControlNet e DeviceNet. O CIP é um protocolo baseado em mensagens que implementa um caminho relativo para enviar uma mensagem do módulo produtor em um sistema para os módulos consumidores.

O módulo produtor tem as informações do caminho que orientam a mensagem por toda a rota correta até alcançar seu consumidor. Como o módulo produtor retém estas informações, outros módulos ao longo do caminho simplesmente passam estas informações; eles não precisam ser armazenados. Isto tem dois benefícios significativos:

Você não precisa configurar as tabelas de roteamento no módulo ponte o que simplifica enormemente a manutenção e a substituição do módulo.

Você mantém total controle da rota tomada por cada mensagem o que permite selecionar caminhos alternativos para o mesmo módulo final.

O CIP usa o modelo de rede produtor/consumidor ao invés de um modelo fonte/destino (mestre/escravo). O modelo produtor/consumidor reduz o tráfego da rede e aumenta a velocidade de transmissão. (ROCKWELL AUTOMATION, 2006, p.112).

9.3. INFLUÊNCIA DOS NÍVEIS DE REDE, TRANSPORTE E APLICAÇÃO NA REDE ETHERNET/IP

A rede Ethernet/IP usa tipos de conexões CIP para transferência de dados ponto-a-ponto entre as aplicações dos nós comunicantes. Essas conexões podem usar qualquer dos protocolos de transporte, TCP ou UDP, associados com o protocolo IP, como mostrado na Fig. 50. Os diversos elementos da rede com IHMs (interface homem-máquina), racks de E/S remotas, terminais de programação e/ou supervisão, etc.; usam tipos diferentes de mensagens – diferentes tipos de serviços de transporte – para estabelecer comunicação na rede. Nesse contexto, as mensagens podem ser explícitas (mensagem de tempo não-crítico) e mensagens implícitas (mensagens de tempo crítico).

9.3.1. Uso dos protocolos TCP e UDP na rede Ethernet/IP

O protocolo TCP é usado para conexão TCP/IP. Essa conexão é orientada fim a fim para transferência de mensagens de forma segura. Esse tipo de conexão é usado na rede Ethernet/IP para transmissão de grandes volumes de dados e para transporte de mensagens explícitas. Alguns exemplos de aplicação da conexão TCP são:

- Comunicação de HMI com controlador;
- Transferência de instruções MSG;
- Aplicativos como OPC ou DDE que acessam dados de controladores;
- Sistemas de supervisão.

O protocolo UDP é usado juntamente com o IP (UDP/IP) para transferência de mensagens implícitas, que podem ser multicast ou unicast.

Nas mensagens implícitas o campo de dados não contém protocolos de informação apenas o dado de tempo-real, pois essas mensagens são pré-programadas e os nós já sabem como usá-las. O protocolo UDP oferece um serviço sem conexão, portanto não garante a entrega nem a integridade dos dados. Por outro lado, as mensagens UDP são pequenas e podem ser processadas mais rapidamente que as mensagens explícitas; essa rapidez é fundamental para responder ao requisito de tempo-real. A o protocolo CIP detecta eventuais problemas de entrega de dados, elevando a confiabilidade na aplicação de controle de E/S e troca de dados entre CLPs.

Conexões CIP

A conexão CIP (camada de aplicação) é usada para envio de mensagens implícitas e explícitas. Algumas funções suportadas pela conexão CIP:

- Troca de mensagens (MSG) entre controladores;
- E/S e dados produzidos e compartilhados controladores;
- Uploads de programas;
- Aplicativos RSLinx como cliente DDE/OPC.

CONCLUSÃO

A flexibilidade apresentada pela rede Ethernet/IP permite que ela seja aplicada tanto como rede de controle, quanto como rede de informação; isso é um forte motivador o alargamento do uso dessa tecnologia no ambiente industrial. Um outro fator é sua compatibilidade com os equipamentos – switches, roteadores, interfaces de computadores, etc. – e com softwares - usados pela Ethernet comercial. Essa característica de compatibilidade permite o uso direto de dispositivos comuns como notebooks dispensando a necessidade de qualquer interface.

Os requisitos robustez do ambiente de controle, tais como comunicação de tempo crítico, determinismos e robustez, são garantidos pela arquitetura de comunicação, baseada no protocolo de aplicação CIP; desde que as características de infra-estrutura da rede sejam observadas. Arquitetura produto/consumidor, implementada pela Ethernet/IP é uma forma de comunicação bastante eficiente comparada com as opções clássica, como origem destino; pois aperfeiçoa o envio de mensagem com a solução multicast, proporcionando uma melhor utilização da largura de banda.

A fragilidade da topologia em estrela, centralizada em switch, é compensada pela elevada pelo grau de desenvolvimento dos switches, que permitem, entre outras coisas, a configuração da rede em topologia com mídia redundante. Isso aumenta a robustez e a disponibilidade da rede, características necessárias para o ambiente de controle de E/S.

Numa visão mais geral, a solução Ethernet/IP permite repensar a possibilidade de aplicação de uma rede única para os vários níveis da automação. Isso se justifica pelo fato de essa tecnologia, ora pensada como solução para automação no nível de dispositivos, ser compatível com as

tecnologias do ambiente de TI. Essa abordagem constitui um bom caminho para dar continuidade ao presente estudo.

Ethernet/IP Orlando

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOUAISS, Antônio e VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SALOMON, Dêlcio Vieira. **Como fazer uma monografia**. 10. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma nova abordagem**. Rio de Janeiro: A. Wesley, 2003.

SOUSA, Lindeberg Barros de. **Redes de computadores: dados, voz e imagem**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2001.

SOARES, Luiz Fernando de; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

SILVEIRA, Paulo Rogério da,; SANTOS, Winderson E. dos,. **Automação e controle discreto**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2004.

OPEN DEVICENET VENDOR ASSOCIATION, INC. (ODVA). **Network Infrastructure for EtherNet/IP™**. Ann Arbor,, 2007.

ALTERA CORPORATION. **A Flexible Solution for Industrial Ethernet**. San Jose, 2007.

STEMMER, Marcelo Ricardo. **Das 5331-sistemas distribuídos e REDES de computadores para controle e AUTOMAÇÃO industrial**. Material didático. Centro Tecnológico-Departamento de Automação e sistemas, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA UFSC. Santa Catarina, 2001.

REYNDERS, Deon; WRIGHT, Edwin; MACKAY, Steve. **Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting**. Perth: Elsevier, 2004.

ROCKWELL AUTOMATION. **Módulos EtherNet/IP em Sistemas de Controle Logix5000**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2006. Disponível em: < http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_category.hcst >. Acesso em 20 jan. 2008.

ROCKWELL AUTOMATION. **EtherNet/IP Performance**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2004. Disponível em: <

http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_category.hcst >. Acesso em 20 jan. 2008.

CISCO SYSTEMS INC, Rockwell Automation. **Ethernet-to-the-Factory 1.1 Design and Implementation Guide**. San Jose, 2007.

ROCKWELL AUTOMATION. **Manual de Instalação e Planejamento de Meio EtherNet/IP**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2001. Disponível em: <
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_category.hcst >. Acesso em 10 jan. 2008.

FURUKAWA. **Soluções Inteligentes para Infra-estrutura de Redes**.

Disponível em:

<http://www.furukawa.com.br/portal/page?_pageid=393,139163&_dad=portal&_schema=PORTAL >. Acesso em 15 jan. 2008.

BELDEN. **Guia do Usuário de Ethernet Industrial**. Disponível em: <
http://www.belden.com.br/pdf/guia_ethernet_industrial.pdf >. Acesso em 12 jan. 2008.

OPEN DEVICENET VENDOR ASSOCIATION, INC. (ODVA). **Networks Infrastructure for Ethernet/IP Introduction and Consideration**. Ann Arbor: ODVA Inc, 2007. Disponível em:< <http://www.odva.org/default.aspx?tabid=76>>.
Acesso em: 25 fev. 2008.

OPEN DEVICENET VENDOR ASSOCIATION, INC. (ODVA). **EtherNet/IP™ - CIP on Ethernet Technology**. Ann Arbor: ODVA Inc, 2006. Disponível em:< HYPERLINK "http://www.odva.org/default.aspx?tabid=76" >. Acesso em: 10 fev. 2008.

ROCKWELL AUTOMATION. **EtherNet/IP Performance**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2004.

INDUSTRIAL ETHERNET UNIVERSITY. **Core Courses**. Disponível em < <http://industrial ethernet u.com/>>. Acesso em: 04 Nov. 2007.

RV INFORMÁTICA. Altura: 258 pixels. Largura: 248 pixels. 30 Mb. Formato JPEG. Disponível em: < <http://www.rvinformatica.conectasp.com.br/redes.htm> >. Acesso em 20 jul. 2008.

ESTUDO SOBRE. COM. Altura: 205 pixels. Largura: 200 pixels. 2 Mb. Formato PNJ. Disponível em:<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Netzwerktopologie_St ern.png>. Acesso em 20 jul. 2008.

DATATRI INFORMÁTICA. Altura: 116 pixels. Largura: 52 pixels. 1,6 Mb. Formato JPEG. Disponível em:<http://www.datatri.com.br/imgsuportredes/suport_mredes02_clip_image00 2.jpg>. Acesso em 20 jul. 2008.

FORUNSB.B.COM. Altura: 116 pixels. Largura: 52 pixels. 1,6 Mb. Formato JPEG. Disponível

em:<http://www.datatri.com.br/imgsuportredes/suport_mredes02_clip_image002.jpg>. Acesso em 20 jul. 2008.

JÚLIO BATTISTI. Altura: 119 pixels. Largura: 79 pixels. 2,5 Mb. Formato JPEG. Disponível

em:<http://www.juliobattisti.org/tutoriais/paulocfarias/redesbasico011_clip_image002.jpg>. Acesso em 20 jul. 2008.

GDH PRESS. Altura: 600 pixels. Largura: 131 pixels. 25 Mb. Formato JPEG.

Disponível em:< <http://www.gdhpress.com.br/redes/leia/index.php?p=cap1-8>>.

Acesso em 20 jul. 2008.

BYDEC, Alvaro André. Cabeamento Estruturado - Parte 3. Altura: 600 pixels.

Largura: 131 pixels. 2 Mb. Formato JPEG. Disponível em:<

http://core.abusar.org/cab_est_3.html?top> . Acesso em 20 jul. 2008.

_____. Altura: 313 pixels. Largura: 255 pixels. 2 Mb. Formato GIF.

Disponível em:< <http://penta.ufrgs.br/redes.94-2/nunes/fibras.html>>. Acesso em 20 jul. 2008.

HARTING. Altura: 255 pixels. Largura: 98 pixels. 4 Mb. Formato JPEG.

Disponível em:< <http://www.harting.pt/pt/news/press-news/11856/>>. Acesso em 20 jul. 2008.

GLOBAL SOURCES. IP67-rated industrial Ethernet switch sports shock-resistant aluminum case. Altura: 180 pixels. Largura: 180 pixels. 7 Mb. Formato JPEG. Disponível em:<<http://www.computerproducts.globalsources.com/gsol/I/Ethernet-switch/a/9000000098533.htm>>. Acesso em 25 jul. 2008.

INDUSTRIAL NETWORKING SOLUTIONS (INS). Altura: 240 pixels. Largura: 204 pixels. 8 Mb. Formato JPEG. Disponível em:<<http://www.industrialnetworking.com/Manufacturers/Hirschmann-OCTOPUS-Switches/OCTOPUS-8M>>. Acesso em 20 jul. 2008.