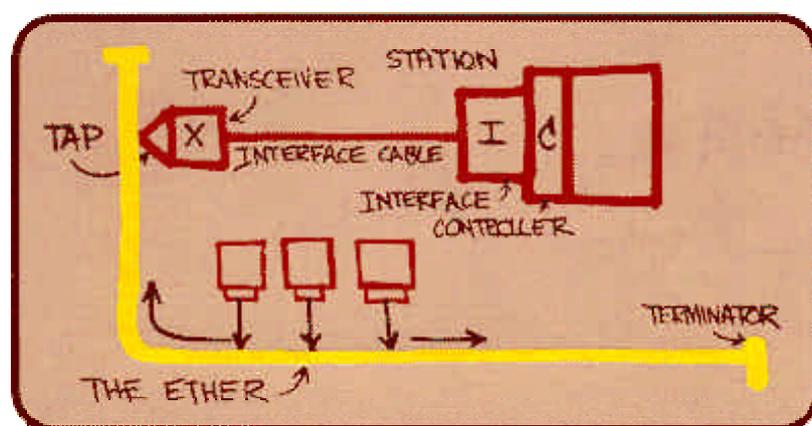


# Industrial Ethernet

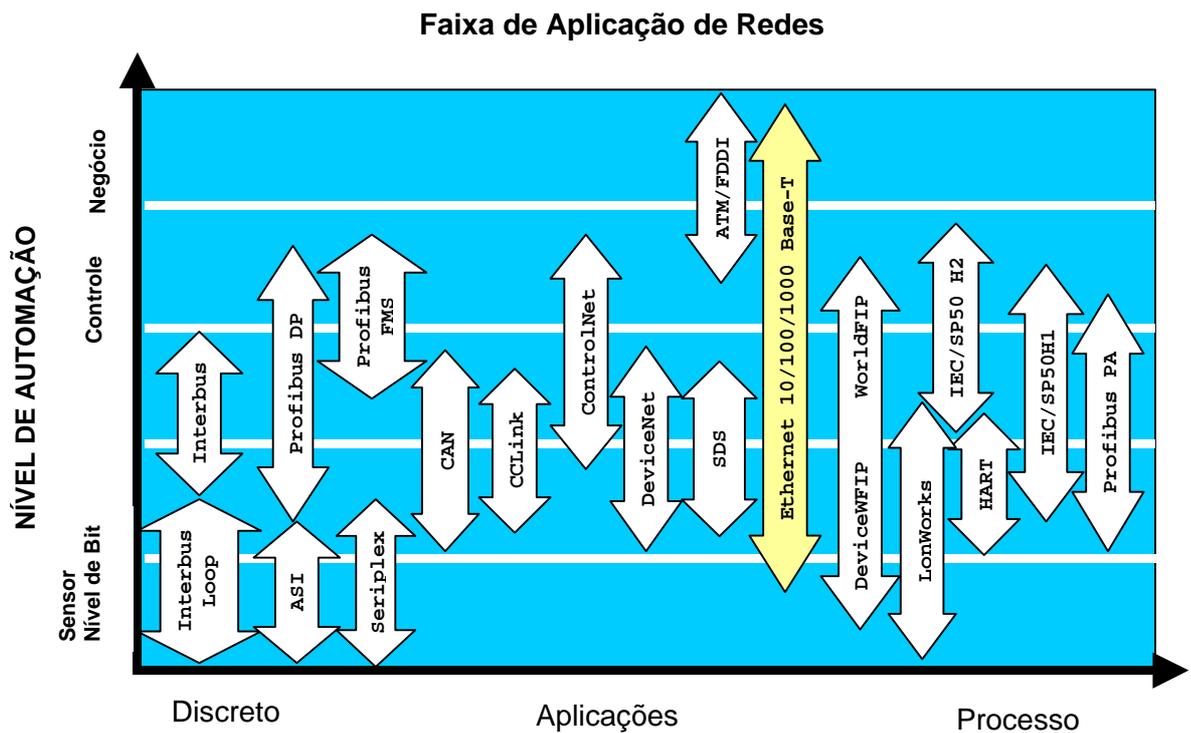


Esboço original da rede Ethernet feito por Metcalfe em um guardanapo em 1976

# Ethernet

## Introdução:

A rede Ethernet passou por uma longa evolução nos últimos anos se constituindo na rede de melhor faixa e desempenho para uma variada gama de aplicações industriais. A Ethernet foi inicialmente concebida para ser uma rede de barramento multidrop (10Base-5) com conectores do tipo vampiro (*piercing*), mas este sistema mostrou-se de baixa praticidade. A evolução se deu na direção de uma topologia estrela com par trançado. As velocidades da rede cresceram de 10 Mbps para 100 Mbps e agora alcançam 1 Gbps (IEEE802.3z ou Gigabit Ethernet). A Gigabit Ethernet disputa com a tecnologia ATM o direito de ser a espinha dorsal (*backbone*) das redes na empresa. A outra evolução se dá no uso de hubs inteligentes com capacidade de comutação de mensagens e no uso de cabos *full duplex* em substituição aos cabos *half duplex* mais comumente utilizados. Isto faz com que a rede se torne determinística e reduzem a probabilidade de colisão de dados.



**Figura 1: Ethernet e faixa de aplicação das redes de campo**

Outras iniciativas visam utilizar a rede Ethernet para como substrato para outras aplicações. Algumas iniciativas nesta direção são:

Desenvolvimento da rede Fieldbus HSE (*high speed Ethernet*):

A Fieldbus Foundation incorporou a rede Ethernet dentro de sua especificação H2. Esta rede não visa substituir a rede H1, mas estender seu espectro de aplicação para a interligação de dispositivos como CLPs e sistemas de supervisão. Esta rede usa UDP/IP sobre as camadas de enlace Ethernet.

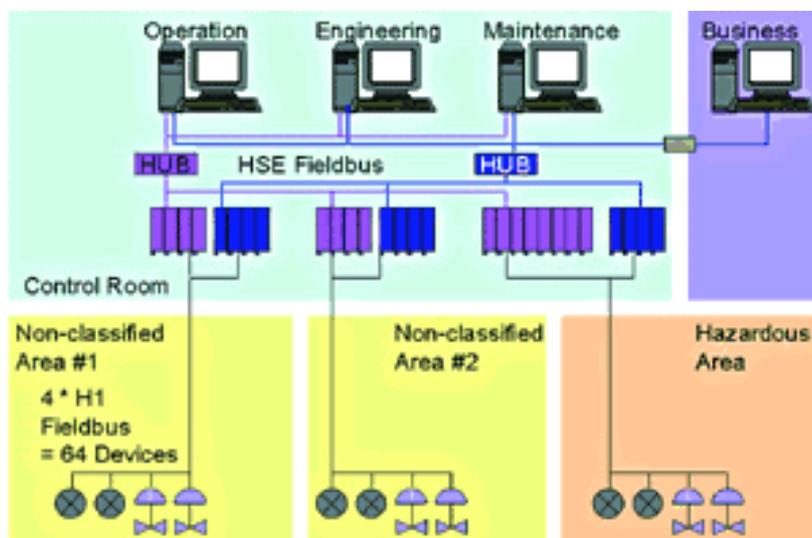


Figura 2: Rede HSE e rede H1 [Berge 2000]

	H1	HSE
Velocidade	31.25 kbps	100 Mbps
Distância	1900 m	100 m
Dois fios	Sim	Não
Multidrop	Sim	Não
Alimentação pelo barramento	Sim	Não
Segurança Intrínseca	Sim	Não
Redundância do meio	Não	Sim
Determinístico	Sim	Sim

Tabela 1: Tabela comparativa rede H1 x HSE [Berge 2000]

A rede HSE suporta todas as funcionalidades da camadas de enlace de dados da especificação H1. Isto teve de ser feito para possibilitar o sincronismo de uma ligação em cascata entre malhas localizadas entre segmentos H1 independentes. A interligação entre uma rede H1 e rede HSE se dá através de um “*linking device*” que converte o dado de diversos segmentos H1 em mensagens, utilizando os protocolos standards da Internet. Os instrumentos de campo também podem bypassar o protocolo H1 e transmitir usando o protocolo HSE diretamente.

Ethernet/IP:

Ethernet/Ip é o nome comercial da especificação da camada de aplicação Control Net sobre TCP/UDP/IP sobre Ethernet. A especificação foi gerada pela

ControlNet International e agora está sendo adotada pela ODVA (*Open Device Net Vendors Association*). A especificação da ControlNet consiste do *Control and Information Protocol* (CIP) rodando sobre a canaleta CTDMA (*Concurrent Time Domain Multiple Access*). O protocolo DeviceNet é uma especialização do CIP rodando sobre CAN. Ethernet/IP é uma especialização do protocolo CIP rodando sobre TCP/UDP/IP, que por sua vez roda sobre a rede Ethernet.

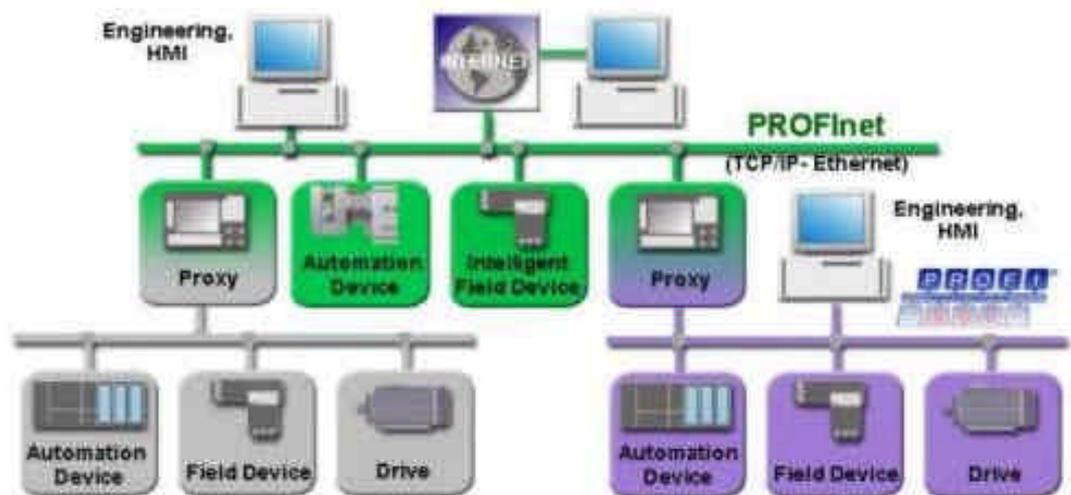
#### PROFINet:

Existe um esforço em se buscar o acoplamento transparente entre as rede Profibus e Ethernet. O que se busca é uma redução dos custos de engenharia e promover uma comunicação mais uniforme entre aplicativos de alto nível e dispositivos de campo.

Os principais objetivos são:

- Mapear todos os serviços de engenharia do PROFIBUS para TCP/IP, incluindo acesso ao status das variáveis de processo, dados de diagnóstico, parametrização e a definição de interfaces relevantes de SW com base em OPC. O usuário poderá monitorar dispositivos localmente ou remotamente através da Ethernet/Internet.
- Roteamento direto de TCP/IP para Profibus. Uma das idéias é se permitir o uso de *web server* em dispositivos de campo.
- Dispositivos de campo complexos serão representados como sistemas orientados a objeto distribuídos.

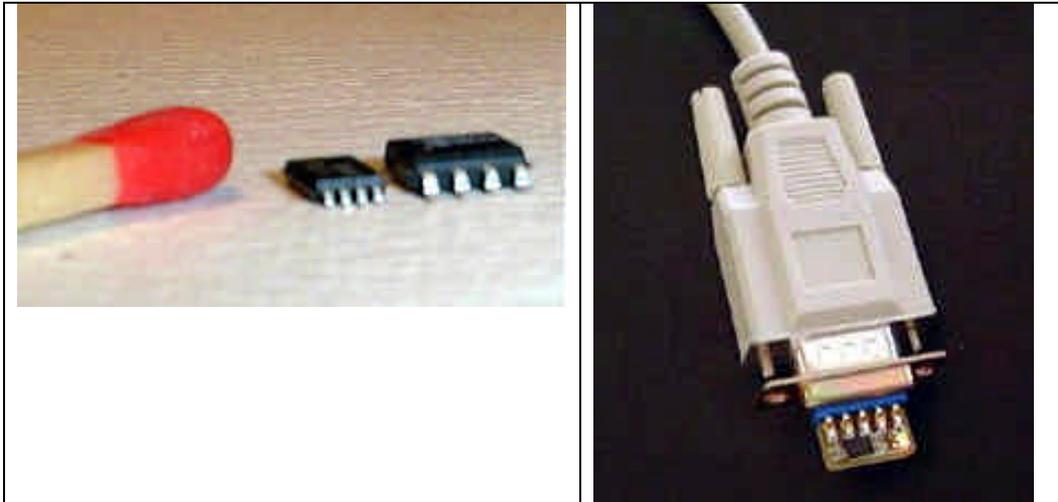
Outro grande objetivo do projeto Profibus é maior suporte para as funções de *motion control*.



**Figura 3: Profibus e Ethernet TCP/IP.**

IEEE 1451:

Esta iniciativa visa ligar sensores e atuadores diretamente à redes de controle incluindo a Ethernet, que devido ao baixo custo do chip reduziria muito o custo comparado com outros tipos de conexões. Um dos grandes suportadores desta solução é a HP que combina este tipo de conexão com embedded Java e o uso de um *web browser* por instrumento. Com a miniaturização e a redução do custo dos *web browsers* esta tecnologia pode se tornar muito atrativa.



**Figura 4: Web browser da Fairchild**

Modbus/TCP:

Esta rede une o protocolo de camada de aplicação mais popular com o stack de transporte/rede mais utilizados na indústria. Na verdade o protocolo Modbus rivaliza em popularidade com o protocolo DF1 da Rockwell Automation, mas é mais difundido. Uma das vantagens do protocolo TCP/IP é a facilidade de se usar diversas camadas de aplicação diferentes. No port 1000 estamos tratando requisições de serviço do protocolo Modbus, enquanto no port 1001 tratamos um protocolo DF1, por exemplo.

Este tipo de aplicação visa mais interligar dispositivos de campo orientados a byte, mais simples, como equipamentos de laboratório, medidores de energia CA/CC, relés inteligentes, etc. As empresas que atuam nesta área defendem que não se pode fazer uma revolução e trocar todos os standards de uma só vez, como feito no passado, quando se definiu o padrão MAP/TOP. O que se deve fazer é procurar uma evolução gradativa do que é usado de fato em direção a padrões mais abrangentes e de melhor desempenho.

Uma outra tecnologia emergente nesta área é o que se chama “*comm port redirection*”. Um dispositivo serial está ligado numa rede Ethernet TCP/IP. Um computador cliente acessa seus dados utilizando o protocolo Modbus. Um *device driver* rodando em Windows permite enxergar o dispositivo na rede como se estivesse ligado a uma porta serial do micro, digamos a uma COM3 ou COM4. Isto permite continuar utilizando aplicações do legado, por exemplo um programador ladder, mesmo utilizando uma conexão moderna em rede do instrumento.



## Preâmbulo

O preâmbulo DIX consiste de 64 bits de “1s” e “0s” alternados e terminando com dois “1s”. O preâmbulo 802.3 é idêntico, apenas o último byte recebe o nome de *start of frame delimiter* (SFD).

## Endereço de destino

Um endereço de destino todo preenchido com 1's implica em uma transmissão em *broadcasting*.

## Endereço de origem

É inserido na mensagem para uso de protocolos de mais alto nível. Este campo não é necessário para acesso ao meio.

O endereço de origem é baseado na identificação do fabricante, que é um número de 24 bits único: *Organizationally Unique Identifier* (OUI) administrado pelo IEEE. Os outros 24 bits formam um número seqüencial definido pelo fabricante.

### Por exemplo:

O fabricante Hirshmann produz placas com o seguinte endereço:

**00: 80: 63: xx. yy. zz**

Quadros DIX e quadros IEEE são idênticos quanto ao comprimento total e ao número de bits de cada campo, mas não são interoperáveis. Todos os protocolos TCP/IP para Ethernet usam quadros DIX e não quadros 802.3.

Observe que o tamanho mínimo do frame de dados é de 46 bytes.

## Níveis físicos:

Vários meios físicos são utilizados na rede Ethernet dependendo das distâncias envolvidas.

As implementações do 802.3 são codificadas segundo a seguinte sintaxe:

<Velocidade> em megabits/s	<Classe do Meio> Baseband ou broadband	<Distância> em centenas de metros
-------------------------------	---	--------------------------------------

As principais implementações são:

Rede	Velocidade	Meio	Distância (m)
10BASE5	10 Mbps	baseband coaxial grosso	500
10BASE2	10 Mbps	baseband coaxial fino	185
10BASE-T	10 Mbps	baseband par trançado	100
10BASEF	10 Mbps	baseband fibra ótica	variável
10BROAD36	10 Mbps	broadband	3600

**Tabela 2: Características básicas das redes 802.3**

## 10BASE5

Esta é Ethernet original já fora de moda em nossos dias. O Ethernet grosso necessita de transceptores denominados MAU (*Medium Attachment Unit*) para efetuar o acoplamento do cabo grosso ao computador. As MAUs devem ser instaladas em taps espaçados de 2.5 metros. De cada MAU parte um cabo AUI (*Attachment Unit Interface*) até o cartão de interface no computador. A conexão se dá via um conector DB-15. Cada cabo AUI pode ter no máximo 50 metros. Vencidos os 500 m máximos de comprimento do cabo, um repetidor deve ser instalado até um comprimento máximo total de 2000 m. Esta tecnologia não suporta o padrão fast Ethernet.

## 10BASE2

O Ethernet fino ou Thinnet ou Cheapernet irá utilizar conectores BNC de baixo custo, fácil aplicação e ótima conformação mecânica e cabo coaxial tipo RG-58/u.

O Ethernet fino continua a ser uma rede do tipo barramento. No máximo 30 estações podem ser interligadas até um comprimento máximo de 185 metros por segmento. Segmentos podem ser estendidos até o comprimento total de 740 metros. Também foram eliminados do mercado pelo advento da rede 10Base-T. Não suporta Fast Ethernet.

## 10BASE-T

Transforma a arquitetura de rede em barramento em árvore. A ligação de cada computador é feita a um hub. Cada conexão não pode exceder a 100 metros. O Ethernet 10Base-T pode usar conector AUI-DB15 de 15 pinos ou conectores RJ45 de 4 vias grimpados. A última opção é a mais utilizada. Esta tecnologia deu origem ao Fast Ethernet.

## 10BASE-F

Existem três padrões de mídia:

10BASE-FL: substitui o padrão FOIRL.

10BASE-FB: padrão para backbones pouco utilizado.

10BASE-FP: tecnologia utilizando hubs passivos, pouco popular.

O padrão 10BASE-FL requer fibra ótica duplex 62.5µm para cada link. É possível interligação em distâncias até 2 km, full duplex.

Tipo do cabo	Impedância	Uso
Ethernet 10BASE5	50 ohms	Ethernet grosso/IEEE802.3
RG 58/U	50 ohms	Ethernet fino/IEEE 802.3
RG6	75 ohms	IEEE 802.7 <i>Broadband drop</i> IEEE 802.4 <i>Carrier band drop</i>
RG11	75 ohms	IEEE 802.7 <i>Broadband drop</i> IEEE 802.4 <i>Carrier band trunk</i>
RG59	75 ohms	IEEE 802.7 <i>Broadband drop</i>
Banda larga semi rígido	75 ohms	IEEE 802.7 <i>Broadband trunk</i>
RG62	93 ohms	ARCnet, conexões IBM 3270

**Tabela 3: Tipos de cabos usados nas principais redes**

## Melhoramentos da rede Ethernet

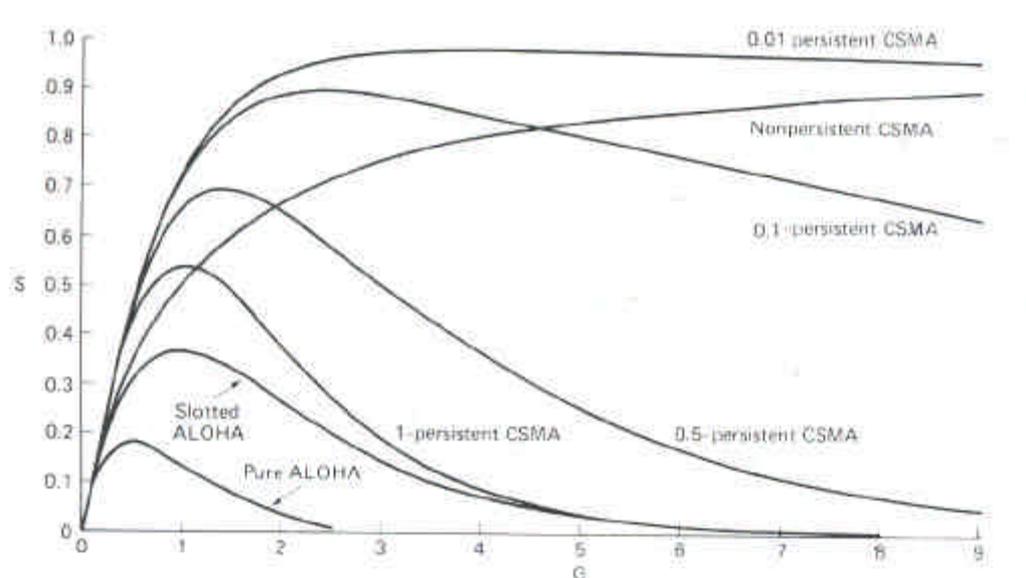
A rede Ethernet teve que receber várias modificações para se tornar mais adaptada ao ambiente industrial:

Foram criados diversos novos padrões:

Nome do standard	Função	Comentários
IEEE 802.1p	Priorização de mensagens	256 níveis de prioridade
IEEE 802.12d	Redundância de links	Traz maior confiabilidade para a rede
IEEE 802.3x	Full Duplex	Comunicação bidirecional simultânea sobre link 10/100Base-T em cabo categoria 5.
IEEE 802.3z	Gigabit Ethernet	Uso como backbone corporativo. Afeta pouco a automação.

**Tabela 4: Novos standards do padrão IEEE 802**

Para reduzir o número de colisões e a conseqüente degradação de performance da rede Ethernet, o que a inviabiliza para algumas aplicações industriais, muitos melhoramentos foram realizados. O simples aumento da banda de 10 Mbps para 100 Mbps foi um fator significativo. O uso de switches é o segundo ponto importante. Se cada dispositivo estiver ligado a um port de um switch que pode bufferizar a mensagem antes de retransmiti-la a outro nodo, as colisões ficariam reduzidas ao caso em que um mesmo nodo deseja transmitir e receber uma mensagem. Finalmente através de um ligação *full duplex* entre o dispositivo e switch, o problema é completamente solucionado.



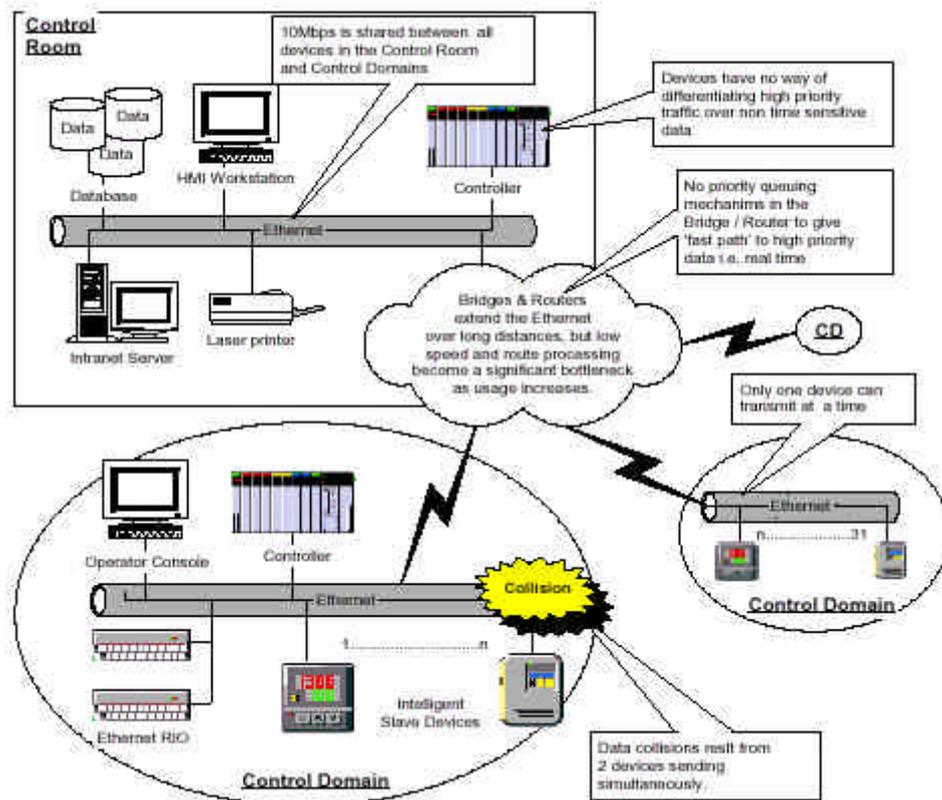
**Figura 8: Degradação da performance de redes CSMA com o aumento da carga**

As deficiências da rede Ethernet, a partir de agora denominada de Ethernet compartilhada são:

- Largura de banda é compartilhada e não dedicada

- Compartilhamento necessita de arbitragem do barramento sem o conceito de prioridade
- Compartilhamento resulta em colisões quando 2 ou mais dispositivos desejam transmitir simultaneamente.
- Colisões bloqueiam a rede e impedem outros dispositivos de transmitir.
- Mais dispositivos em um segmento aumenta a probabilidade de colisão.
- Broadcast de mensagens consumiriam grande banda
- Não existe como diferenciar o tráfego de alta e de baixa prioridade.
- Não existe como assegurar um caminho de baixo atraso para o tráfego de tempo real.

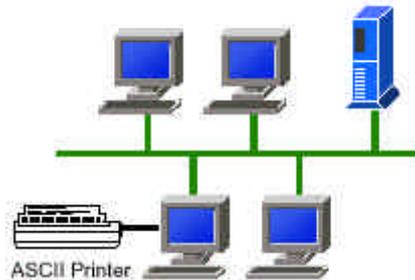
Estas limitações estão ilustradas na Figura 9.



**Figura 9: Limitações da rede Ethernet [Hirschmann QoS]**

## Evolução:

De 1973 até o presente – LANs isoladas

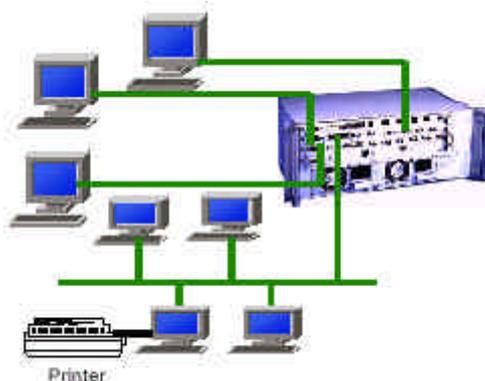


Na rede A todos os dispositivos compartilham o mesmo meio físico.

Para aumentar a performance três passos são necessários:

- Colapsar o backbone
- Incrementar links com servidores
- Micro segmentar a rede

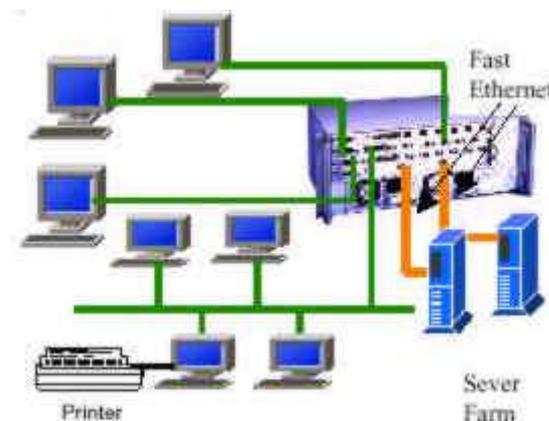
De 1995 até hoje: backbone colapsado



Cada segmento de rede está ligado a uma porta de um switch.

Com a redução do custo e aumento do throughput dos switches tornou-se possível ligar cada nodo em uma porta individual. Quando os requerimentos por banda são baixos, pode-se ligar vários dispositivos a um segmento.

Arquitetura cliente - servidor



Com a adoção da arquitetura cliente servidor, tornou-se necessário utilizar canais Fast Ethernet full duplex, propiciando largura de faixa de até 200 MHz para cada servidor.

Os usuários passaram a utilizar canais com autodeteção de 10/100 Mbps.

A microsegmentação implica em dar a cada usuário um canal dedicado, sem compartilhamento com outros dispositivos.

Com a microsegmentação tornou-se possível o uso de interfaces *full duplex* também para os usuários, o que inibe eliminar a arbitragem do barramento e permite a comunicação na velocidade nominal da rede.

Isto implica também na duplicação da velocidade do barramento de 10/100Mbps para 20/200Mbps.

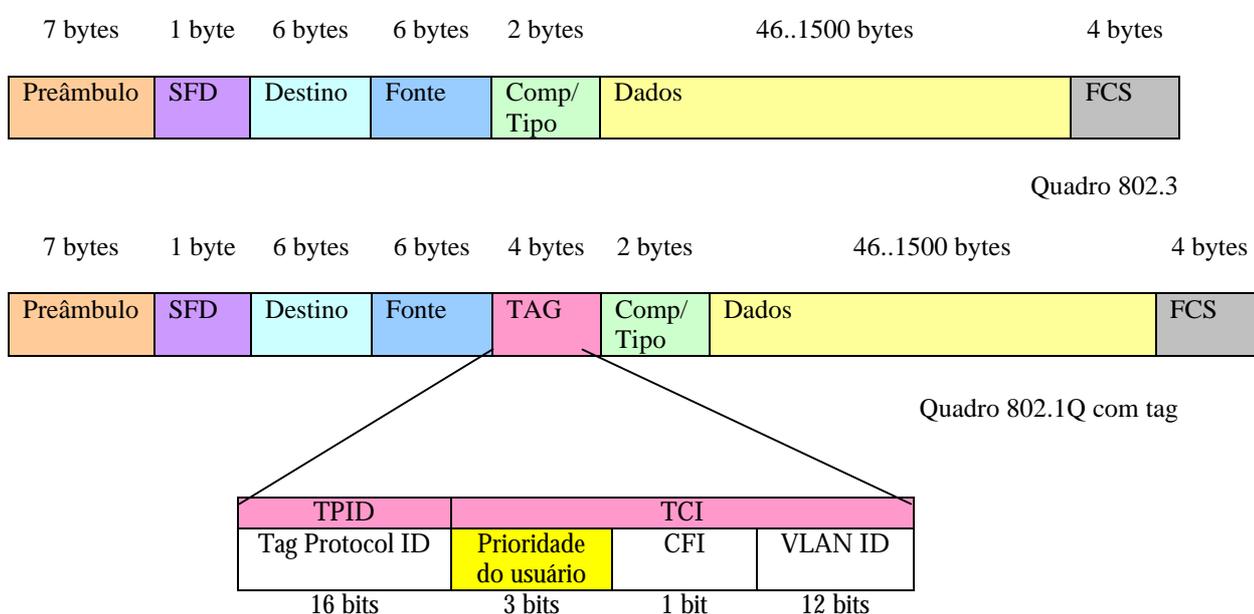
**Figura 10: Evolução de arquiteturas Ethernet**

Sistematizando os seguintes fatores contribuíram para a construção de um rede Ethernet industrial:

- Uso de switches para evitar a arbitragem de barramento
- Uso de canais dedicados de 10 Mbps a 100 Mbps.
- Padrão IEEE802.1p/Q que acrescenta campos de prioridade e de *Quality of Service* (QoS) ao frame Ethernet tradicional.
- Canal full duplex para eliminar colisões.
- Rede Fast Ethernet no backbone levando a velocidade a até 200 Mbps.

QoS (*quality of service*) é uma maneira de alocar recursos em switches e roteadores de tal forma que os dados cheguem ao seu destino de forma rápida, consistente e confiável.

### Evolução do quadro Ethernet:



TPID = *Tag Protocol Identifier*  
 TCI = *Tag Control Information*  
 CFI = *Canonical Format Indicator*

**Figura 11: Quadro Ethernet simples e com TAG mostrando prioridade**

O standard 802.1p (e IEEE 802.1Q) propicia 8 níveis de prioridades. Entretanto a maior parte dos switches de mercado possuem apenas de 2 a 4 filas de mensagens.

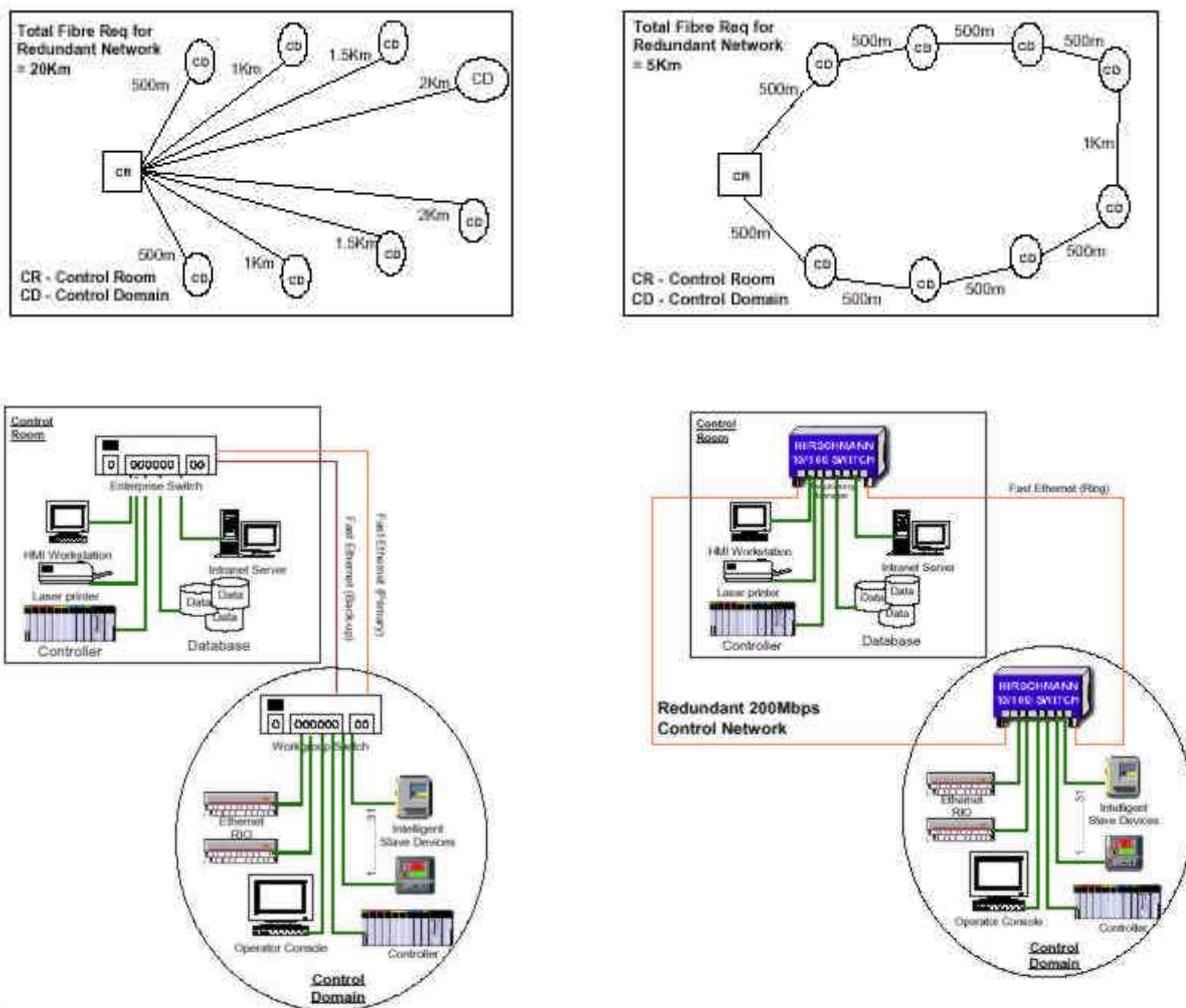
Alguns switches podem não tratar o campo de tag. Neste caso, apenas quadros de até 1518 bytes, fora o preâmbulo e o SFD, serão enviados. O quadro estendido de 1522 bytes não será passado à frente. A prioridade 6 será reservada para aplicações de áudio, a prioridade 5 para aplicações de vídeo e a prioridade 0 para e-mails.



**Figura 13: Quadro Ethernet com quadros IP de UDP/TCP**

### Arquitetura em anel x barramento

A rede em anel traz como vantagem uma economia de cabos quando implementando redes com redundância. Apenas a Hirschman oferece esta solução no mercado atualmente (2002).



**Figura 14: Arquitetura em anel e barramento [Hirschmann QoS]**

### Arquiteturas de roteamento

A Figura 15 e a Figura 16 mostram a evolução de uma rede Ethernet convencional para uma rede com QoS implícito, isto é, obtido através de uma engenharia cuidadosa na atribuição de portas exclusivas a cada dispositivo e na escolha das bandas de passagem. O último estágio é o QoS explícito, em que a aplicação solicita serviços que garantem um caminho de comunicação livre de atrasos e de erro.

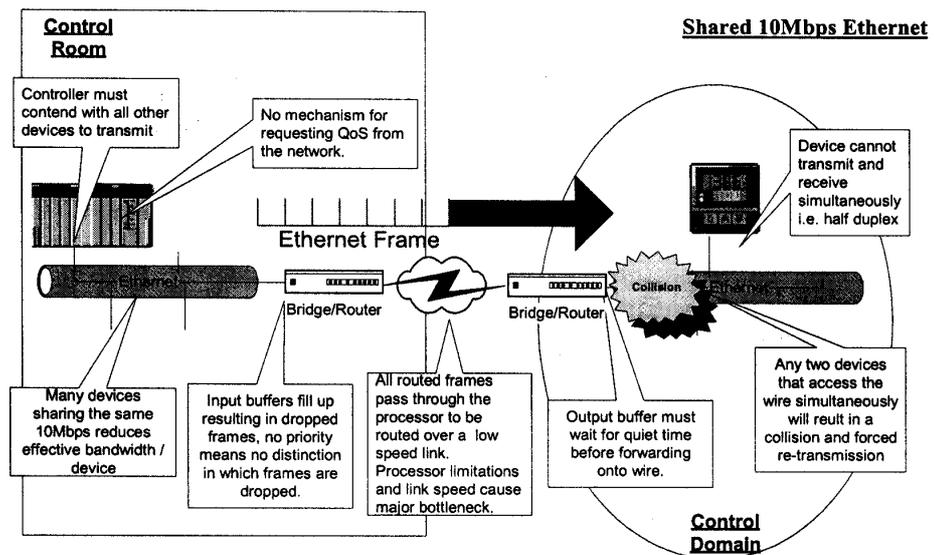


Figura 15: Rede Ethernet convencional [Hirschmann QoS]

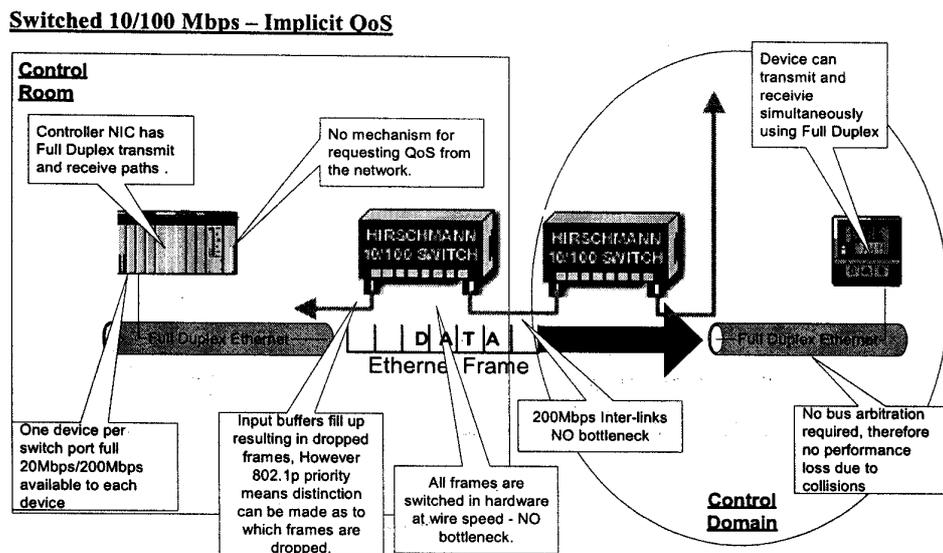


Figura 16: Rede Ethernet com QoS implícito no projeto [Hirschmann QoS]

### Switched 10/100Mbps – Explicit QoS

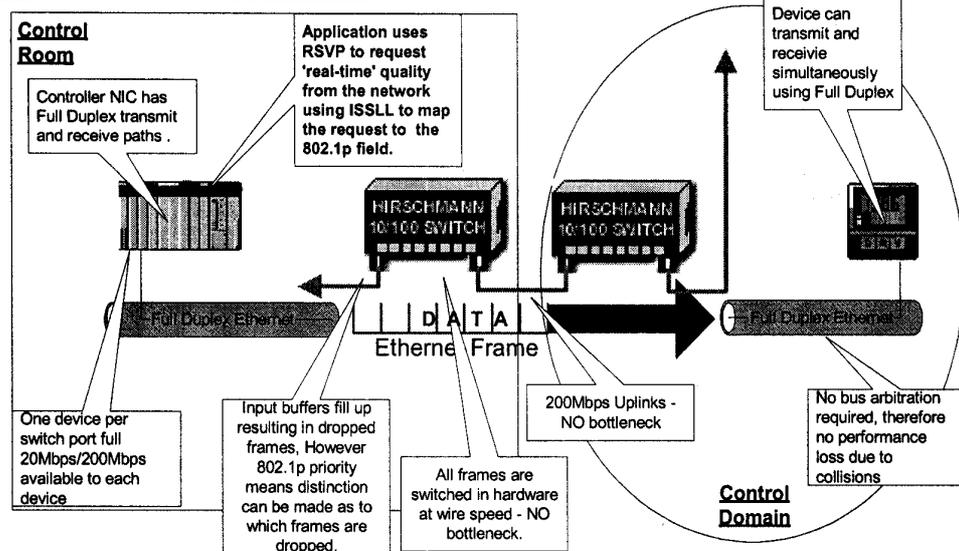


Figura 17: Rede Ethernet com QoS explícito [Hirschmann QoS]

## Quality of Service (QoS)

A responsabilidade de determinar o desempenho de uma aplicação é dividida entre o desenvolvedor da aplicação e a pessoa que define a arquitetura da rede. Antes o projetista da aplicação considerava que a performance da rede não era problema seu e considerava que a banda disponível era infinita. Hoje existem formas explícitas de se requisitar serviços especiais para a rede para atender aplicações críticas no tempo.

### Prioritização do tráfego

O tempo de latência de switch é o tempo que um switch detém um pacote de dados, até libera-lo ao destino. Prioritização de dados é o nome dado ao processo de aceleração da passagem de pacotes de dados de alta prioridade pelo switch.

A prioritização de dados pode ser explícita ou implícita.

### Prioritização implícita:

Um switch Ethernet ou a rede inteira aloca automaticamente níveis de serviços baseado em critérios especificados pelo administrador da rede tais como: tipo da aplicação, protocolo, ou endereço fonte. Cada pacote recebido é filtrado para verificar se ele obedece um destes critérios.

QoS implícito deve ser engenheirado na rede e oferece recursos de fácil implementação. Um switch Ethernet pode priorizar tráfego baseado no endereço fonte ou destino ou no port físico por exemplo. Este tipo de solução é



### **Resource Reservation Protocol (RSVP)**

RSVP possui os seus próprios mecanismos de comunicação de uma aplicação com a infra-estrutura de rede. RSVP implica em um *overhead* de processamento que pode degradar a performance do sistema como um todo.

### **Integrated Service over Specific Link Layers (ISLL)**

Especifica extensões da arquitetura IP que permite a uma aplicação requisitar e receber um certo nível de serviço da infra-estrutura de rede.

ISLL pode por exemplo definir como pedidos RSVP serão mapeados em prioridades 802.1p/Q.

Uma vez que o dado é priorizado utilizando um mecanismo implícito ou explícito, filas e algoritmos de gerenciamento são utilizados nos equipamentos de rede para garantir o QoS.

As filas são área de memória dentro de roteadores ou switches e contém pacotes de diversas prioridades. Deve-se proporcionar uma melhor qualidade de serviço aos pacotes de maior prioridade enquanto se assegura que os pacotes de menor prioridade continuem a receber algum serviço.

Se houver um congestionamento, não haverá garantia de que os pacotes irão chegar a seu destino dentro do tempo especificado. Apenas se garante que os pacotes de maior prioridade serão encaminhados antes dos de mais baixa prioridade.

Uma maneira de se implementar isto é se reservar uma banda de passagem para o tráfego de alta prioridade. Se o tráfego exceder esta reserva, mais banda poderá ser retirada das aplicações de baixa prioridade.

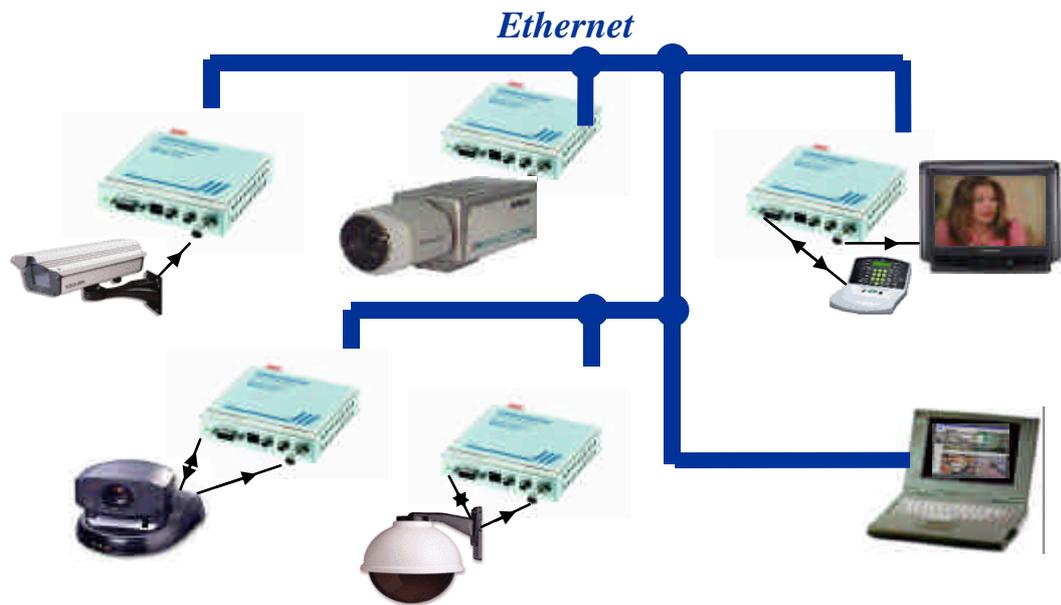
Os algoritmos mais básicos tratam os pacotes de uma fila por ordem de chegada. Isto faz com que grandes pacotes possam atrasar o envio de pacotes pequenos de dados de mesma prioridade.

Em geral, os switches hoje disponíveis no mercado oferecem poucas filas para organizar o tráfego de dados.

A Hirshman, por exemplo possui um algoritmo denominado *Real Time Queueing* (RTQ) que garante que uma fila de tempo real será sempre atendida antes de uma fila de baixa prioridade. No pior caso, se uma transmissão de baixa prioridade já estiver sendo realizada quando um pacote de alta prioridade chegar, ele vai ter que esperar apenas o equivalente a um quadro Ethernet (1519 bytes).

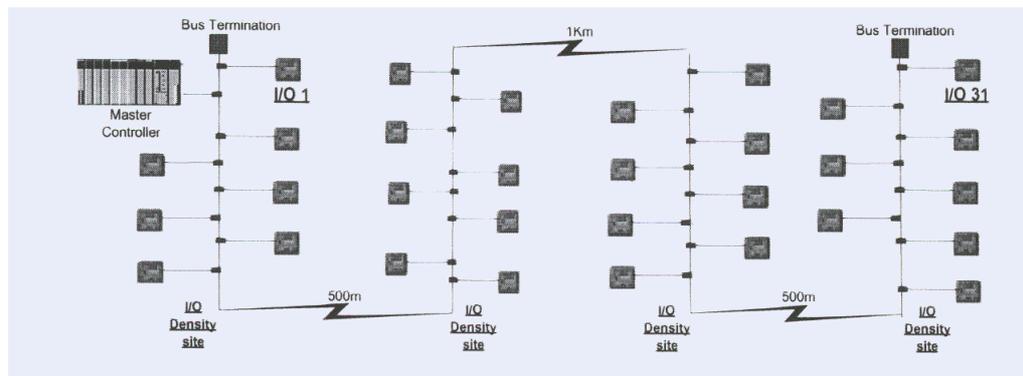
## Vídeo sobre IP

A rede Ethernet também é usada hoje para transmissão de vídeo em tempo real a taxas moderadas.

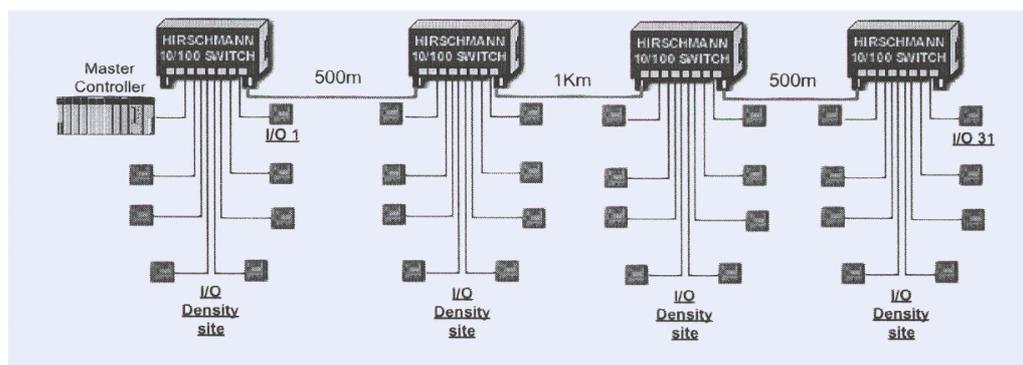


**Figura 19: Vídeo sobre IP – [Hirschmann QoS]**

## Performance de redes Ethernet



**Figura 20:** Rede Profibus DP com um mestre e 31 dispositivos escravos



**Figura 21:** Rede Ethernet equivalente

Vamos comparar a performance de uma rede Ethernet Industrial com uma rede Fieldbus convencional.

Vamos considerar uma rede Profibus DP na sua velocidade máxima: 12 Mbps. Na verdade a velocidade desta rede depende do seu comprimento total e de outros fatores. Nós consideramos a existência de um mestre (CLP) e de 31 dispositivos escravos. Esta rede pode alcançar um tempo de scan de 1 ms para transmissão de 8 bytes de dados de entrada e 8 bytes de saída.

Na rede Ethernet não existe compromisso entre comprimento da rede e velocidade.

Dois parâmetros serão usados na avaliação das redes:

- Tempo de scan
- Variância de recepção

**Tempo de scan:**

Corresponde ao tempo total desde o envio de uma pergunta a um certo número de dispositivos de rede e o recebimento de todas as respostas.

**Variância de recepção:**

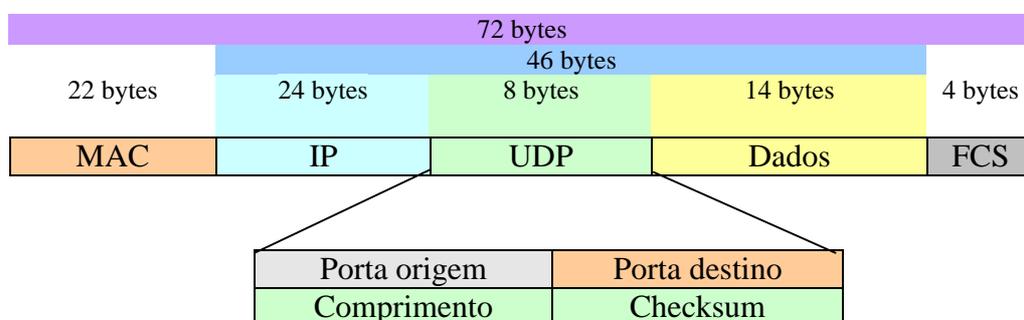
Tempo de atraso entre o primeiro e o último dispositivo recebendo o mesmo datagrama. Neste caso será o atraso de recepção do dado pelo nodo 31 em relação ao nodo 1. Esta é uma constante de rede derivada de uma combinação de tempo de latência de equipamento e topologia de rede.

Serão estudados quatro cenários que dependem da velocidade de cada tipo de link na rede Ethernet:

Posição	Cenário 1 10/100/10 Mbps	Cenário 2 100/100/10 Mbps	Cenário 3 100/100/100 Mbps	Cenário 4 1000/1000/100 Mbps
Mestre para rede	10	100	100	1000
Rede para rede	100	100	100	1000
Rede para escravo	10	10	100	100

Vamos considerar que:

- A rede é formada de 4 clusters de 8 dispositivos cada. O primeiro cluster contém um mestre (CLP) e sete escravos.
- Vamos considerar um *payload* mínimo de 46 bytes nesta aplicação, mesmo que nem todos os bytes estejam sendo usados.
- O protocolo utilizado na transferência de dados será o TCP/IP
- O tempo necessário para o escravo responder uma recebida uma requisição é 0.
- Parte do *payload* será utilizada para o transporte de 20 bytes de cabeçalho do protocolo IP e 8 bytes de UDP.
- O pacote Ethernet completo possui 72 bytes.
- Para comunicar com todos os blocos simultaneamente será usado uma mensagem de *broadcast*.



## Cálculo do tempo de latência

### Considerações:

Tempo para transmitir 72 bytes pelo meio físico (576 bits) :

$$T = 576 \text{ bits} / 10 * 10^6 \text{ bits/s} = 57,6 \mu\text{s}$$

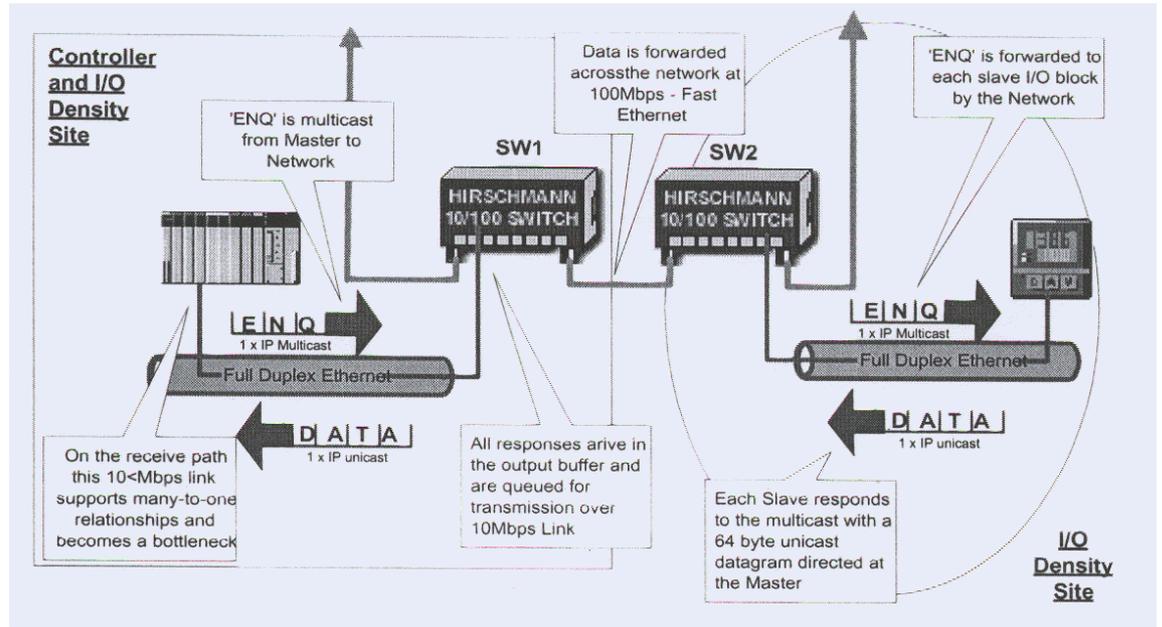
Os tempos para transmitir 72 bytes pelo meio físico, incluindo o gap entre quadros é:

Velocidade	10 Mbps	100 Mps	1000 Mbps
Tempo de Tx	67.2μs	6.72μs	0.672μs

O tempo de latência do switch será considerado de 4 μs.

## Cálculo do tempo de scan

- Será enviada uma mensagem de multicast para todos os nados e recebidas as respostas dos 31 dispositivos.
- Estamos assumindo que não existe tráfego adicional na rede.



Estamos admitindo que os tempos críticos serão nos 4 hops principais:

### Hop 1: Mestre para rede

A mensagem de ENQ sai do mestre e vai para todos os blocos de I/O. A mensagem é de um para muitos e não há gargalo.

### Hop 2: Rede para escravo:

A mensagem vai da rede para cada escravo através de um link de 10 Mbps. A relação é de uma para um e não gargalo. O tráfego interno na rede está sendo desprezado.

**Hop 3: Escravo para rede:**

Cada escravo responde para a rede através de uma mensagem. A relação é de um para um e não há gargalo.

**Hop 4: Rede para mestre:**

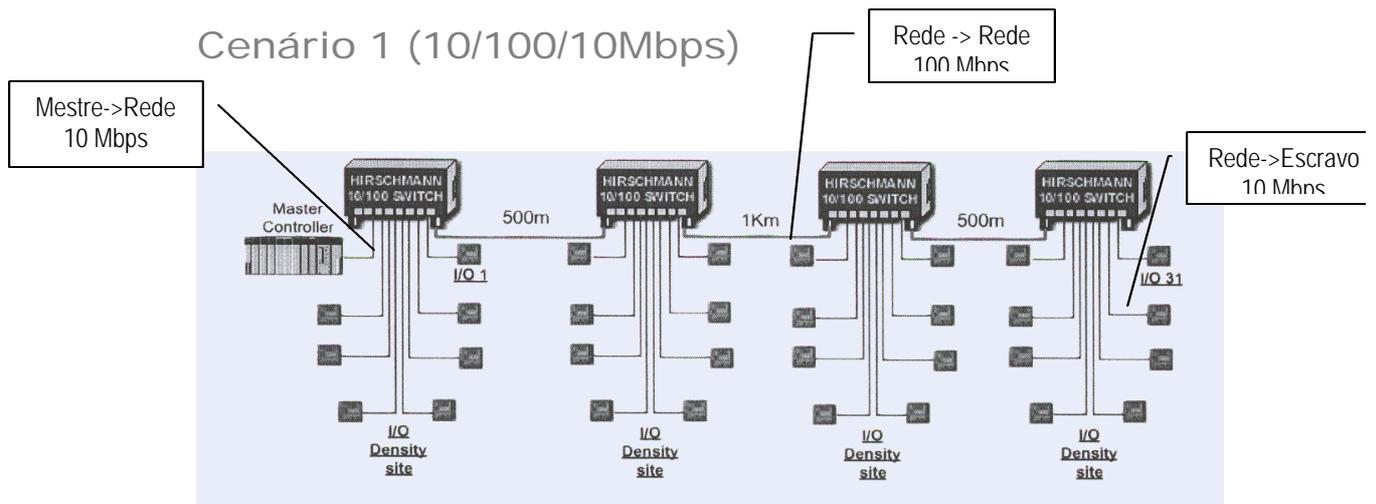
A rede deve entregar 31 mensagens para o mestre através de uma única porta. A relação é de muitos para um e haverá enfileiramento de dados.

O tempo de scan aproximado é dado por:  
(tempo de transmissão do quadro na velocidade de cada hop).

Neste caso em que os hops são em 10 Mbps:

$$\text{Tempo de scan} = 4 * 67.2 \mu\text{s} = 268,8 \mu\text{s}.$$

Observe que foi utilizado o tempo de transmissão considerando o gap entre quadros.



Para os cálculos de variância será considerado o tempo de atraso de transmissão de  $57,6\mu s$  ao invés de  $67,2\mu s$  (10 Mbps).

Cálculo da variância de recepção:

Etapa	$\mu s$	Acc ( $\mu s$ )	Time line
Envio de packet do mestre para SW1	57,6	57,6	[Bar chart showing delay]
Latência no SW1	4,0	61,6	[Bar chart showing delay]
Recepção do packet no <u>I/O 1</u>	57,6	119,2	[Bar chart showing delay]
Envia packet através de SW2	5,7	67,3	[Bar chart showing delay]
Latência no SW2	4,0	71,3	[Bar chart showing delay]
Envia packet através de SW3	5,7	77,0	[Bar chart showing delay]
Latência no SW3	4,0	81,0	[Bar chart showing delay]
Envia packet através de SW4	5,7	86,7	[Bar chart showing delay]
Latência no SW4	4,0	90,7	[Bar chart showing delay]
Recepção do packet em <u>I/O 31</u>	57,6	148,3	[Bar chart showing delay]

Variância de recepção

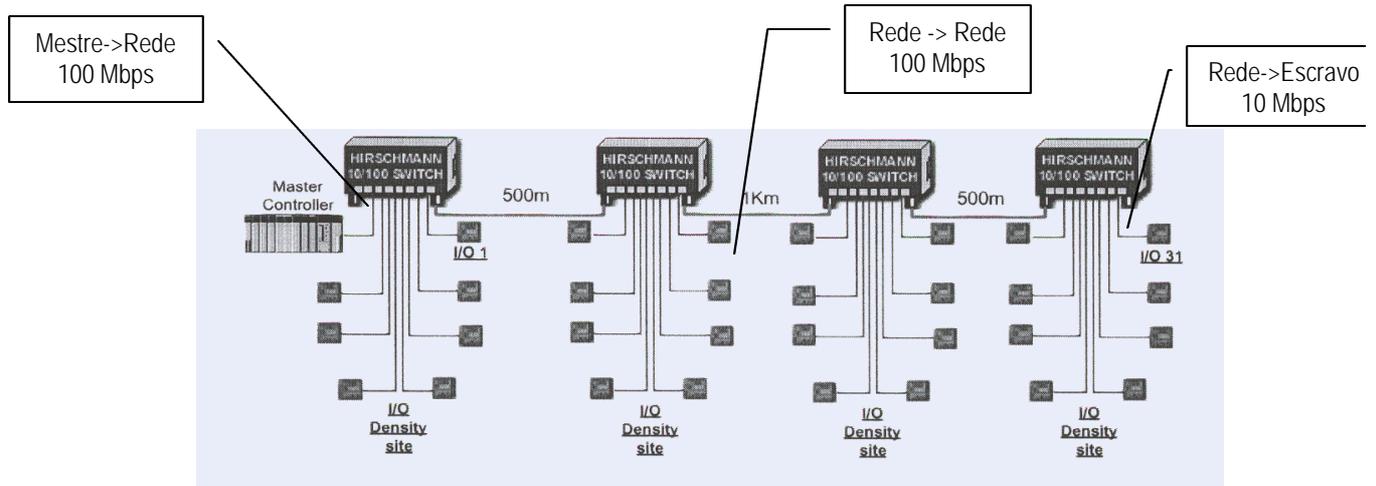
O valor da variância de recepção é de  $148,3 - 119,2 = 29,1\mu s$ .

Cálculo aproximado do tempo de scan:

Velocidade do link	Mestre para rede	Rede para mestre	Rede para escravo	Escravo para rede	Total
10 Mbps	1	31	1	1	34
100 Mbps	-	-	-	-	-

Tempo de scan =  $34 * 67,2\mu s = 2285\mu s$

## Cenário 2 (100/100/10Mbps)



Cálculo da variância de recepção:

Etapa	$\mu s$	Acc ( $\mu s$ )	Time line
Envio de packet do mestre para SW1	5,76	5,76	[Barra amarela]
Latência no SW1	4,0	9,76	[Barra amarela]
Recepção do packet no <u>I/O 1</u>	57,6	67,36	[Barra amarela]
Envia packet através de SW2	5,7	15,46	[Barra amarela]
Latência no SW2	4,0	19,46	[Barra amarela]
Envia packet através de SW3	5,7	25,16	[Barra amarela]
Latência no SW3	4,0	29,16	[Barra amarela]
Envia packet através de SW4	5,7	34,86	[Barra amarela]
Latência no SW4	4,0	38,86	[Barra amarela]
Recepção do packet em <u>I/O 31</u>	57,6	96,46	[Barra amarela]

Variação de recepção

O valor da variância de recepção é de  $96,46 - 67,36 = 29,1 \mu s$ .

Cálculo aproximado do tempo de scan:

Velocidade do link	Mestre para rede	Rede para mestre	Rede para escravo	Escravo para rede	Total
10 Mbps	0	0	1	1	2
100 Mbps	1	31	-	-	32

Tempo de scan =  $2 * 67,2 \mu s + 32 * 67,2 \mu s = 349,4 \mu s$ .

## Sumário:

### Performance do sistema (sem carga)

Posição	Cenário 1 10/100/10 Mbps	Cenário 2 100/100/10 Mbps	Cenário 3 100/100/100 Mbps	Cenário 4 1000/1000/100 Mbps
Atraso para envio	119,2 $\mu$ s	67,4 $\mu$ s	15,4 $\mu$ s	10,27 $\mu$ s
Variância de recepção	29,1 $\mu$ s	29,10 $\mu$ s	29,1 $\mu$ s	13,7 $\mu$ s
Tempo de scan	2,285 ms	349,4 $\mu$ s	228,5 $\mu$ s	34,9 $\mu$ s

### Performance do sistema (com carga)

Posição	Cenário 1 10/100/10 Mbps	Cenário 2 100/100/10 Mbps	Cenário 3 100/100/100 Mbps	Cenário 4 1000/1000/100 Mbps
Atraso para envio	119,2 $\mu$ s	64,7 $\mu$ s	15,4 $\mu$ s	10,27 $\mu$ s
Variância de recepção	1,59 ms	1,59 ms	509,4 $\mu$ s	169,7 $\mu$ s
Tempo de scan	4,65 ms	2,28 ms	1,1 ms	257 $\mu$ s

Observe que o cenário 2 é o mais factível em 2003. Neste cenário o tempo de scan da rede Ethernet excede em performance o da rede Profibus.

## Bibliografia

- [Franco 98] Lucia Regina Horta Rodrigues Franco / Victor Marinescu. Buses Atualização. Editorial Control S.R.L, 1998.
- [Berge 2000] Jonas Berge, Ethernet in Process Control, The industrial Ethernet book 3, Summer 2000, Issue 3, pp31..33
- [Lynn 2000] Lynn August Linse, Media/Protocol Irrelevant ?, The industrial Ethernet book 3, Summer 2000, Issue 3, pp07..08
- [ARC 1999] Industrial Ethernet Networking Strategies, ARC, August 1999
- [Hirschmann QoS] Hirshmann Network Systems, White paper, Real Time Services (QoS) in Ethernet based Industrial Automation Networks
- [Hirschmann Rail] Hirshmann, Rail-Ethernet, 23/05/2000
- [Holmeide 2001] Øyvind Holmeide, Tor Skeie, VoIP drives real time Ethernet, Industrial Ethernet Book, 2001

## Sites a serem visitados

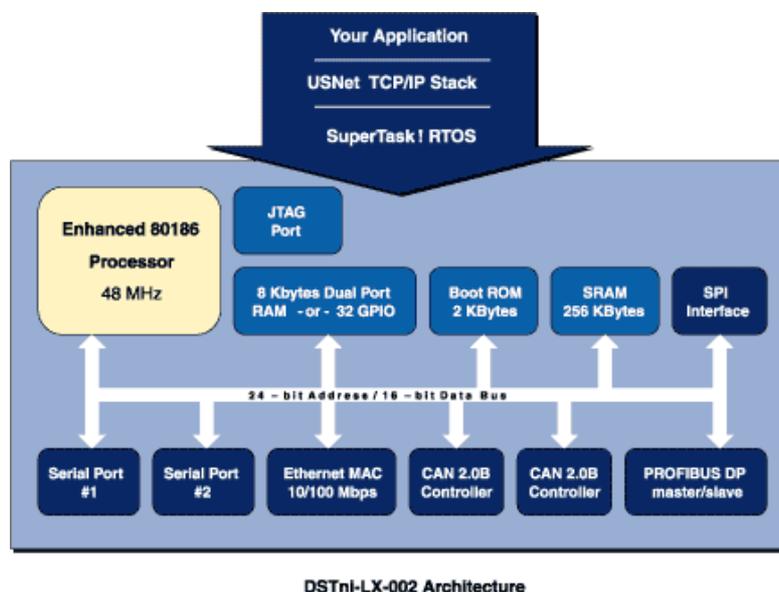
Industrial Ethernet Book	<a href="http://ethernet.industrial-networking.com/ieb.htm">http://ethernet.industrial-networking.com/ieb.htm</a>
Modbus/TCP	<a href="http://www.modbus.org/modbus_tcp.htm">http://www.modbus.org/modbus_tcp.htm</a>
Ethernet/IP	<a href="http://www.odva.org/10_2/00_fp_home.htm">http://www.odva.org/10_2/00_fp_home.htm</a>
Foundation Fieldbus HSE	<a href="http://www.fieldbus.org/About/">http://www.fieldbus.org/About/</a>
Profinet	<a href="http://www.profinet.com/">http://www.profinet.com/</a>
OnTimeNet	<a href="http://www.ontimenet.com">http://www.ontimenet.com</a>
Universidade do Texas	<a href="http://www.ots.utexas.edu/ethernet/">http://www.ots.utexas.edu/ethernet/</a>
Lantronix	<a href="http://www.lantronix.com/products/eds/dstni/index.html">http://www.lantronix.com/products/eds/dstni/index.html</a>

## Exercícios

- 1) Calcule o tempo de variância de recepção e tempo de scan para a rede corresponde ao cenário 3 do exemplo dado.
- 2) Mostre como projetar um servidor web que de um lado se interfaceia com um dispositivo serial e do outro com a rede Ethernet. Discuta quais os melhores protocolos a serem empregados de cada lado.
- 3) Um switch só inicia a transmissão de um quadro de alta prioridade, quando um quadro de baixa prioridade que já teve sua transmissão iniciada terminar de ser transmitido. Calcule o tempo de atraso para o pior caso, considerando as velocidades de transmissão de 10 e 100 Mbps.
- 4) Visite o site da OnTime e faça o download de um *data sheet* de um switch industrial. Faça um resumo de suas características técnica.
- 5) Visite o site da Iona em [www.iona.org](http://www.iona.org) ou <ftp://ftp.isi.edu/in-notes/iana/assignments/port-numbers-old> e consulte os ports reservados para as seguintes aplicações:

Aplicação	Ports
BACnet	
Opto22	
MODBUS/TCP	502
DeviceNet	
ControlNet	
Microsoft SQL Server	

- 6) Visite o site da Lantronix no endereço: <http://www.lantronix.com/products/eds/dstni/index.html> e faça um resumo das features do chip: DSTni.



- 7) Visite o site da Lantronix ou da SoftBrasil e explique a função dos conversores multiprotocolos serial – Ethernet em cada uma das situações abaixo:

