



# **ENGG55 – REDES INDUSTRIAIS**

## **Redes Locais Industriais**

**Material elaborado pelo Prof. Bernardo Ordoñez**

**Adaptado por:**  
**Eduardo Simas ([eduardo.simas@ufba.br](mailto:eduardo.simas@ufba.br))**

Curso de Engenharia Elétrica  
DEE – Departamento de Engenharia Elétrica  
Escola Politécnica - UFBA

# Redes Locais Industriais

Níveis hierárquicos de integração fabril

Perfil das redes de comunicação

- ✓ Comportamento Temporal
- ✓ Requisitos do meio ambiente
- ✓ Tipos de mensagens
- ✓ Confiabilidade
- ✓ Volume de informações
- ✓ Interoperabilidade

## Visão Geral

- Fabricação de produtos ou fornecimento de um serviço envolve uma série de atividades e etapas (projeto, manutenção, aprimoramento,...) ➡ **automação** destas etapas fica a critério da empresa.
  - ✓ Informatização permite acelerar cada processo.
  - ✓ Novo paradigma para o gerenciamento da informação.
- As **redes locais industriais** consideram as particularidades do processo de fabricação do ponto de vista das **necessidades de comunicação**:
  - ✓ Compartilhamento de recursos.
  - ✓ Evolutividade.
  - ✓ Gerenciamento da heterogeneidade.

## Visão Geral

- Em um processo de fabricação, alguns requisitos são fundamentais ➡ fatores econômicos.
  - ✓ Garantia de um tempo de resposta médio ou máximo
  - ✓ Débito de informação.
  - ✓ Robustez (confiabilidade dos equipamentos e da informação)
  - ✓ Flexibilidade (evolutividade e heterogeneidade).
- Arquiteturas de comunicação que respondam às características e aos requisitos do chão de fábrica ➡ **MAP** (Manufacturing Automation Protocol), definida por iniciativa da General Motors e baseada no modelo OSI.
- Arquiteturas da classe **barramento de campo** (*fieldbus*), mais dedicadas ao **chão de fábrica**.

### Visão Geral

- Dados os requisitos e características do chão de fábrica existe a necessidade de descentralização das funções de comunicação.
- Importância na escolha das soluções de comunicação a serem adotadas a nível de uma indústria.

*As redes do tipo ponto-a-ponto, por exemplo, são um exemplo típico de centralização das funções de comunicação, uma vez que os equipamentos compondo os nós da rede fazem papel de comutadores das mensagens transmitidas entre dois nós que não estejam ligados diretamente. Soluções do tipo rede de difusão são largamente adotadas levando em conta as possibilidades de descentralização do controle da comunicação.*

### Visão Geral

- **Realidade** ➡ não existe uma rede única que poderia corresponder às necessidades de todas os níveis de atividade existentes em uma fábrica.
- **Solução** ➡ adoção de várias redes interconectadas, cada rede servindo de suporte à comunicação no contexto de uma ou diversas atividades.

O **objetivo** é apresentar algumas propostas de arquiteturas de redes locais industriais e discutir os principais aspectos relacionados com esta classe particular de redes.

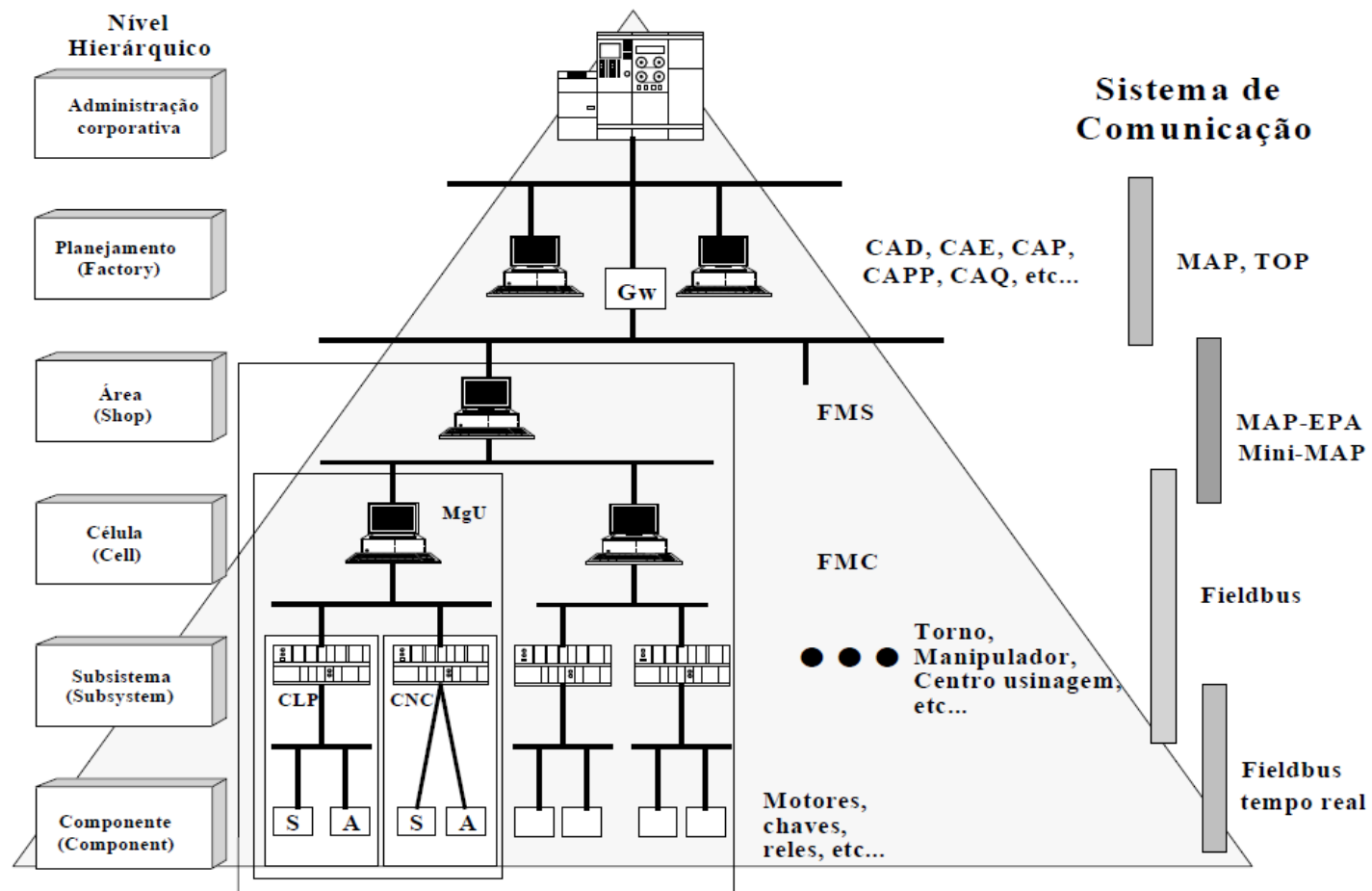
### Níveis hierárquicos da integração fabril

Há algum tempo vem se verificando uma tendência para a **descentralização** da inteligência e da capacidade decisória dos componentes de sistemas de automação industrial.

Estes sistemas são decompostos em diferentes **níveis hierárquicos de automação**, cujos elementos inteligentes são interligados entre si através de **redes de comunicação**.

Uma proposta de estruturação fabril que leva em consideração essa decomposição da fábrica em módulos funcionais hierarquicamente dispostos é o modelo **CIM** (*Computer Integrated Manufacturing*, ou **Manufatura Integrada por Computador**).

- ✓ O **modelo CIM** objetiva automatizar de forma flexível todos os processos envolvidos com a manufatura .
- ✓ Para maior eficiência no processo de automação flexível, a fábrica é subdividida em **seis diferentes níveis hierárquicos**.





Redes Locais Industriais

### Níveis hierárquicos da integração fabril

#### Nível 0: Componentes

Neste nível estão os **sensores** e **atuadores**, cada vez mais dotados de capacidade de processamento local, cujas funções são:

- ✓ Aquisição de dados.
- ✓ Monitoração, emissão de alarmes.
- ✓ Controle em malha fechada.
- ✓ Atuação.
- ✓ Fornecimento de informação ao nível 1.

Redes Locais Industriais

### Níveis hierárquicos da integração fabril

#### Nível 1: Subsistemas ou Unidades

Neste nível estão as máquina, os robôs, as esteiras transportadores, etc. Suas unidades de comando são **CNCs**, **CLPs**, e outros dispositivos computacionais, cujas funções são:

- ✓ Controle do processo ou da máquina.
- ✓ Processamento e fornecimento de dados aos operadores.
- ✓ Detecção e resposta a qualquer condição de emergência.
- ✓ Realização de autodiagnósticos.
- ✓ Coleta de informações sobre a produção da unidade, o uso da matéria prima, energia e insumos e transferência para o nível 2.

#### Níveis hierárquicos da integração fabril

##### Nível 2: Células flexíveis de manufatura

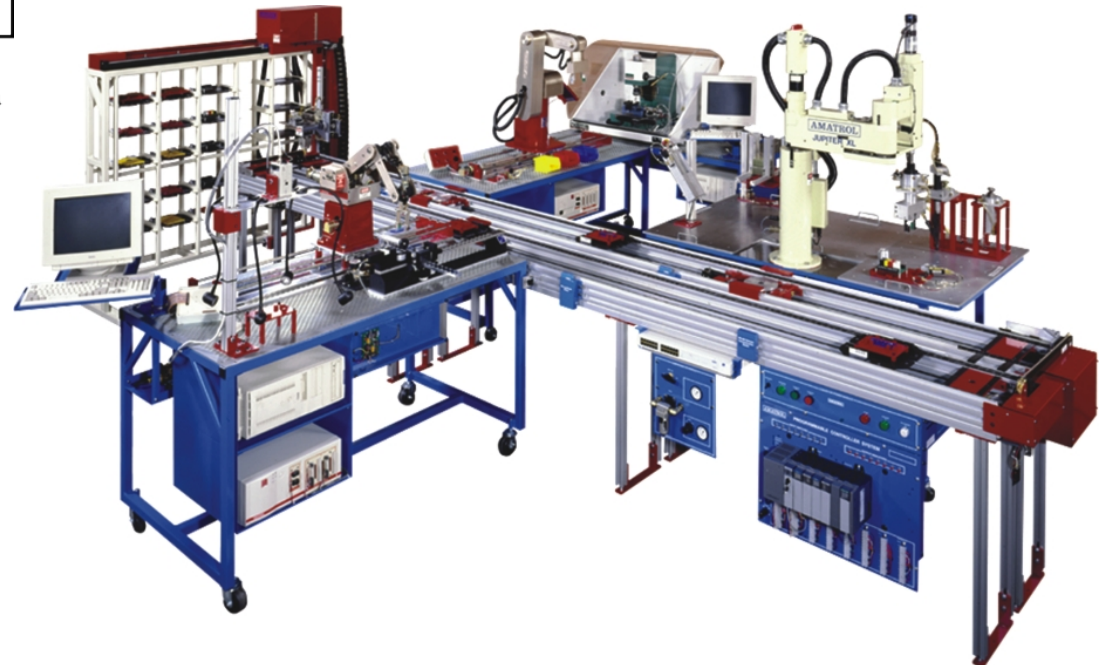
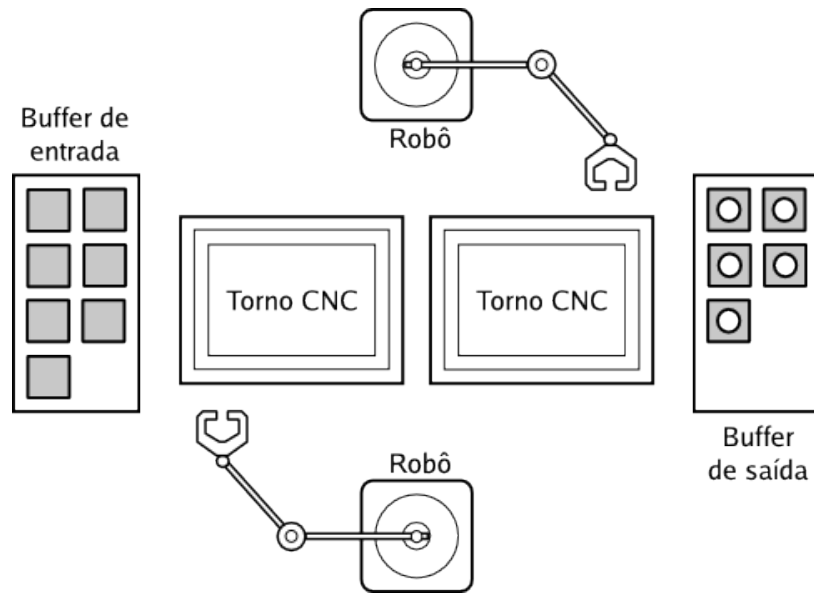
As células flexíveis de manufatura são constituídas de um agrupamento lógico de unidades, de modo a permitir a fabricação de determinadas famílias de produtos. Do ponto de vista estritamente computacional, a FMC é vista como uma sub-rede de CNCs, CLPs, tendo em geral uma unidade central de gerenciamento, muitas vezes implementada em um PC adaptado ao ambiente industrial. Esta unidade de gerenciamento da célula tem por funções:

- ✓ Coletar e manter dados de produção, matéria-prima, consumo de energia, estoques de unidade.
- ✓ Otimizar a operação conjunta das unidades sob seu controle (sequenciamento e intertravamento).
- ✓ Responder a condições de emergência.
- ✓ Realizar o diagnósticos dos elementos sob controle.
- ✓ Interface com o nível superior.

Redes Locais Industriais

## Níveis hierárquicos da integração fabril

### Nível 2: Células flexíveis de manufatura



## Níveis hierárquicos da integração fabril

### Nível 3: Área

Uma área em geral corresponde a um agrupamento de células capazes de fabricar de forma completa um determinado produto ou linha de produtos. Muitas vezes a área constitui um sistema flexível de manufatura. Do ponto de vista computacional, a área é vista como uma sub-rede integrando células entre si e conta com uma unidade de gerenciamento.

- ✓ Interconectar células entre si, atribuindo funções a cada uma e realizando sequenciamentos e intertravamentos entre elas.
- ✓ Manter base de dados de produção, estoques, utilização de materiais, insumos e energia de área.
- ✓ Preparar e emitir relatórios de produção.
- ✓ Estabelecer programa de produção para as células de área.
- ✓ Otimizar plano de produção de área.
- ✓ Realizar interface com os níveis superior e inferior.

## Níveis hierárquicos da integração fabril

### Nível 4: Planejamento

O nível de planejamento é, as vezes, chamado de nível 4P, pois é responsável pelo planejamento do produto, do processo e da produção. Aqui já não estamos mais no chão de fábrica, mas sim em um setor de engenharia onde se encontram diversos computadores em rede. Nesses computadores rodam inúmeras ferramentas de software. No conjunto, esses computadores são responsáveis por:

- ✓ Planejar e projetar o produto e o processo de fabricação (o que vai ser fabricado e como).
- ✓ Estabelecer o plano de produção básico (que quantidade será produzida e em que prazo).
- ✓ Determinar níveis ótimos de estoques.
- ✓ Coletar, processar e armazenar dados sobre: uso e disponibilidade de matéria-prima, consumo global de energia, estoques de produtos acabados, controle de qualidade.

#### Níveis hierárquicos da integração fabril

##### Nível 5: Administração corporativa

Nível de administração da empresa (compras, vendas, contabilidade, setor pessoal,...). Apesar de algumas empresas terem feito a opção (anos 80) de utilizar nesse nível um computador de grande porte (*mainframe*) com vários terminais, a tendência hoje é usar sistemas distribuídos, compostos de vários computadores de porte menor e operando de forma cooperativa. A maior parte dos computadores, neste caso, faz algum uso de sistemas de banco de dados para:

- ✓ Fornecer informações sobre o estado da planta, da companhia e da produção necessários para: gerenciamento da planta e da companhia; atividades de pessoal administrativo (compras, vendas, contabilidade).
- ✓ Fornecer informações para decisões estratégicas da companhia.
- ✓ Interfaceamento com níveis inferiores da hierarquia e com o mundo externo.

### Níveis hierárquicos da integração fabril

- A tendência da estruturação hierárquica é se aproximar cada vez mais do processo (cada vez mais subsistemas independentes e dotados de uma inteligência local), sem no entanto perder as vantagens de uma supervisão e condução central do sistema como um todo.
- Cada nível da hierarquia fabril é representado por um conjunto de ações e processamentos que possuem requisitos de comunicação diferentes.

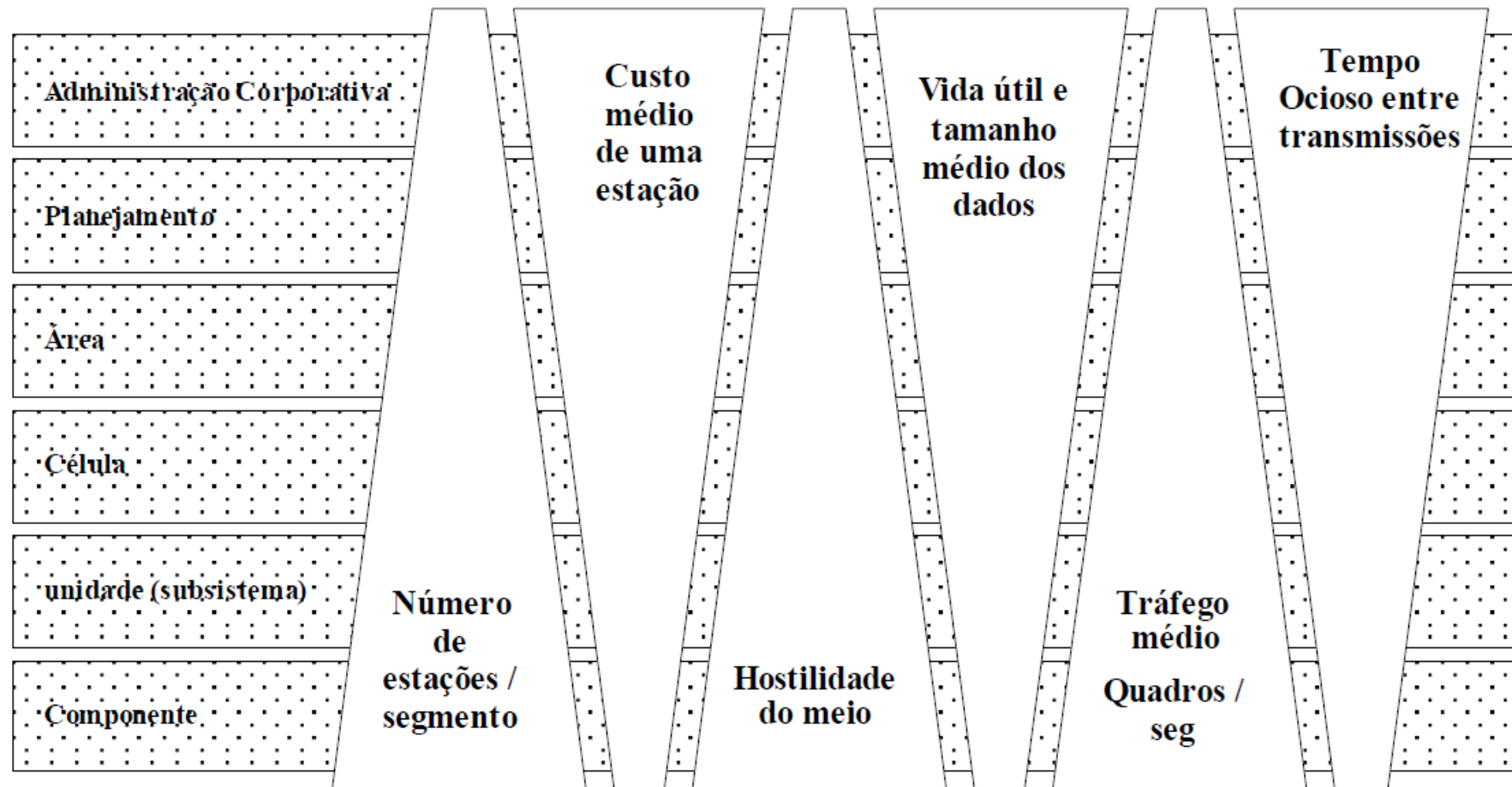
A característica predominante nos níveis hierárquicos inferiores é a transferência de mensagens curtas com alta frequência, entre um número elevado de estações. Nos níveis hierárquicos superiores há a predominância de transferência de mensagens longas entre um número menor de estações e a uma frequência consideravelmente mais baixa.



Redes Locais Industriais

## Níveis hierárquicos da integração fabril

### Características da comunicação



### Níveis hierárquicos da integração fabril

Deste modo, **não existe** um sistema de comunicação único capaz de atender a **todas as aplicações existentes na organização industrial**, mas sim uma série de **sub-redes locais** adequada aos requisitos de comunicação de cada nível. As sub-redes podem ser conectadas à linha tronco através de:

- Gateways
- Bridges
- Roteadores,...

de modo que todas as estações possam ser acessadas, formando um sistema de comunicação coeso que atenda toda a fábrica, conforme os preceitos da filosofia do **modelo CIM**.

### **Perfil das Redes Locais Industriais**

No início da informatização, a maioria das redes de comunicação existentes eram concebidas para automação de escritórios.

O ambiente industrial tem características e necessidades diferentes daquelas de redes para automação de escritórios:

- ✓ Ambiente hostil para operação dos equipamentos (perturbações eletromagnéticas, elevadas temperaturas, sujeira, áreas de segurança intrínseca, etc.).
- ✓ Troca de informações se dá entre equipamentos e, as vezes, entre um operador e o equipamento.
- ✓ Tempos de resposta críticos.
- ✓ Segurança dos dados crítica.
- ✓ Grande quantidade de equipamentos pode estar conectada na rede => custo de interconexão crítico.

### Influência da Topologia

As máquinas que fazem parte de uma rede estão interligadas segundo duas grandes famílias de topologias: **ponto-a-ponto** e **difusão**.

Nas redes **ponto-a-ponto** as mensagens têm eventualmente que passar por máquinas intermediárias. Essas máquinas recebem a mensagem, onde são armazenadas para análise do endereço de destino (retidas ou passadas adiante).

Em qualquer caso, se o dispositivo intermediário estiver inoperante em decorrência de falha, a mensagem que deveria passar por ele, não pode ser lida nem passada adiante.

Dependendo do tipo de serviço, a máquina fonte pode identificar o problema após um prazo limite de espera de confirmação e pode tentar re-enviar a mensagem (mesmo caminho ou caminho alternativo.).

### Influência da Topologia

Em redes locais, frequentemente há somente um caminho físico interligando as máquinas, de modo que um intermediário defeituoso acaba acarretando sérios problemas.

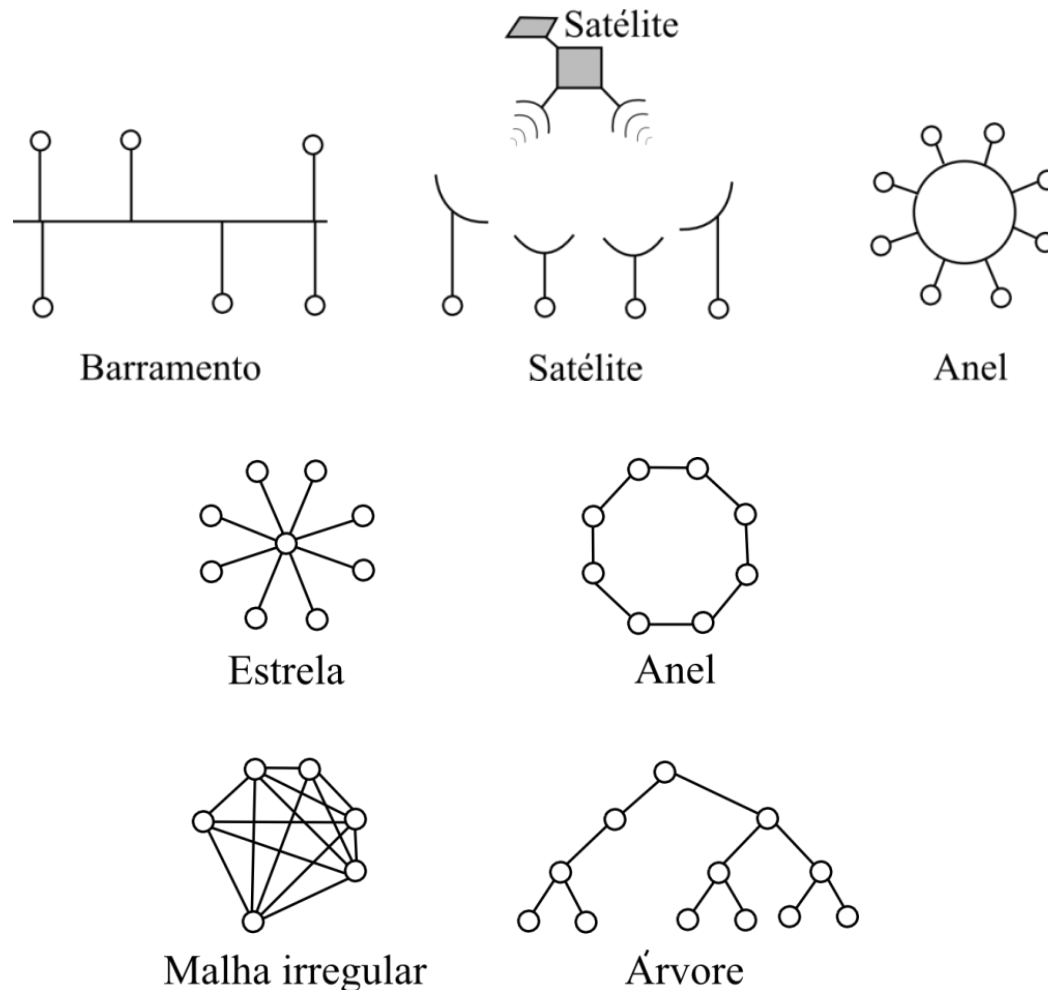
Tal situação é extremamente indesejável em aplicações de automação industrial, já que os equipamentos operam desassistidos ou com verificação ocasional do operador humano, de modo que a falha pode acarretar uma parada de produção (*Exemplo do robô na linha de produção*).

Por outro lado, em redes com **topologia de difusão**, não há máquinas intermediárias na mesma sub-rede (as máquinas de uma sub-rede se comunicam e fazem parte da mesma estrutura).

Nesta configuração a comunicação entre duas máquinas não será afetada pela falha em uma terceira máquina, já que todas estão ligadas diretamente ao barramento.

## Influência da Topologia

Note que o sistema não está imune a falhas ou paradas, mas a comunicação só depende do estado das máquinas fonte e destino, e não de um número qualquer de intermediários.



Redes Locais Industriais

### **Perfil da Rede Locais Industriais**

Características e requisitos básicos das redes industriais

- ✓ Requisitos do meio ambiente
- ✓ Comportamento temporal
- ✓ Confiabilidade
- ✓ Tipo de mensagens e volume de informações
- ✓ Conectividade e interoperabilidade (padronização)

Perfil das Redes Locais Industriais

### Requisitos do Meio Ambiente

Suporte de transmissão

#### Com guia físico:

Cabos elétricos

- ✓ Par trançado
- ✓ Cabo coaxial

Fibra ótica

#### Sem guia físico:

Ondas de rádio

Ondas de luz (laser, infravermelho)



Perfil das Redes Locais Industriais

### Comportamento Temporal

**Redes de difusão** na problemática da comunicação industrial ➡ Método de acesso ao meio

### Comportamento Temporal

**Redes de difusão** na problemática da comunicação industrial ➡ Método de acesso ao meio

**compartilhado**

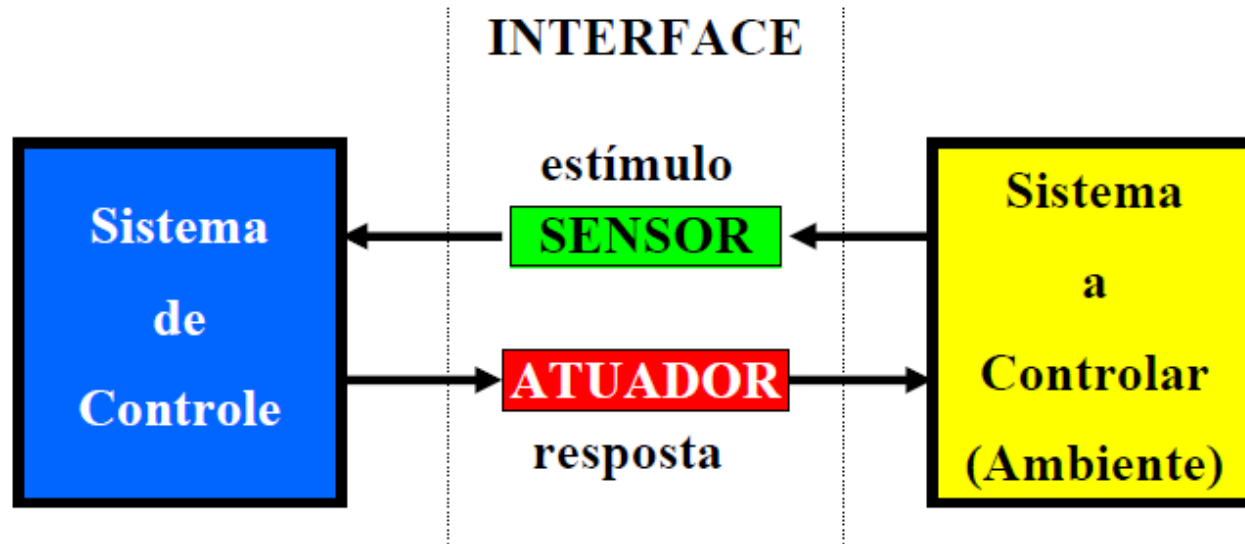
**Vários equipamentos** devem trocar informações em **variados instantes de tempo**.

**Quem** tem o direito de **uso do meio**? Como definir este processo?

### Comportamento Temporal

- ✓ Aplicações Industriais freqüentemente requerem sistemas de controle e supervisão com características de **Tempo-Real**.

## Comportamento Temporal



Um STR (Sistema de Tempo Real) é um sistema computacional que deve reagir a estímulos (físicos ou lógicos) oriundos do ambiente dentro de intervalos de tempo impostos pelo próprio ambiente.

A correção não depende somente dos resultados lógicos obtidos, mas também do instante no qual são produzidos.

### Comportamento Temporal

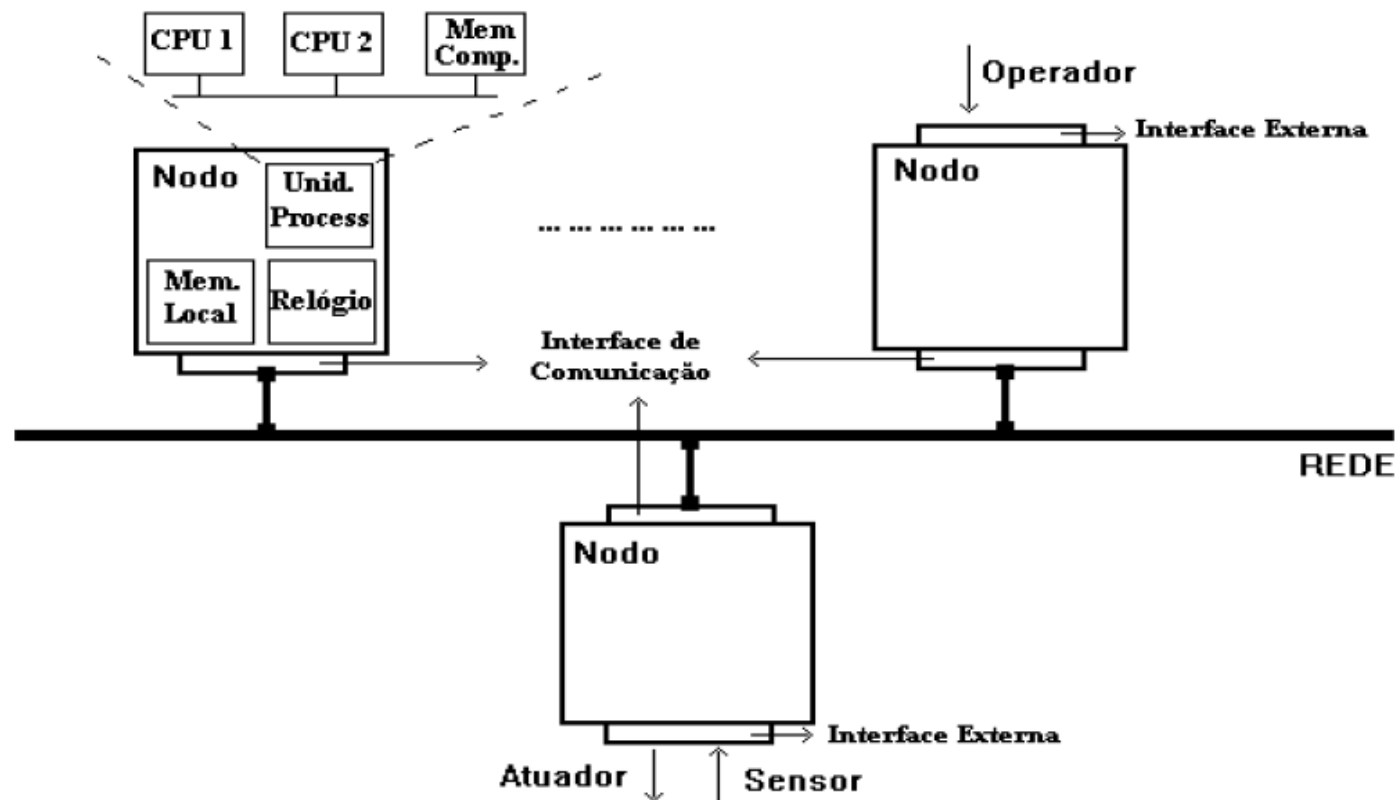
✓ Aplicações Industriais freqüentemente requerem sistemas de controle e supervisão com características de **Tempo-Real**.

Ou seja...

**Em aplicações de tempo real, é importante poder determinar o comportamento temporal do sistema de comunicação.**

## Comportamento Temporal

Arquitetura distribuída de um sistema tempo real.



### Comportamento Temporal

As mensagens em sistema de tempo real podem ter restrições temporais:

- ✓ **Periódicas:** tem que ser enviadas em intervalos conhecidos e fixos de tempo.
- ✓ **Esporádicas:** mensagens sem período fixo, mas que tem intervalo de tempo mínimo entre duas emissões consecutivas.
- ✓ **Aperiódicas:** tem que ser enviadas a qualquer momento, sem período nem previsão.

### Comportamento Temporal

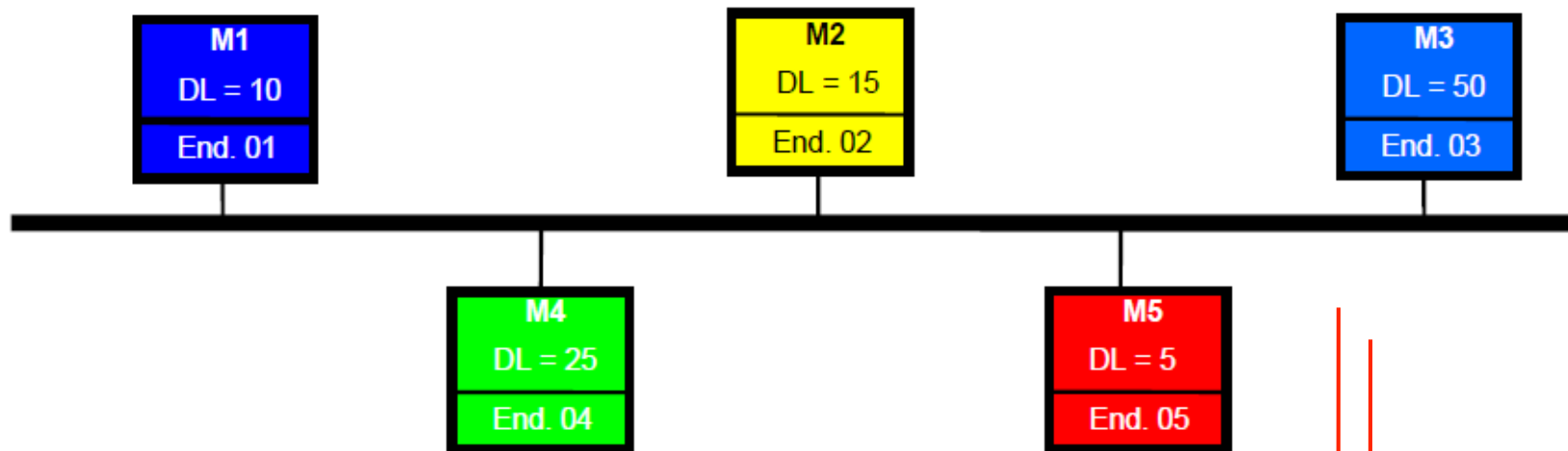
As mensagens em sistema de tempo real podem ter restrições temporais:

- ✓ **Periódicas:** tem que ser enviadas em intervalos conhecidos e fixos de tempo. **Exemplo: mensagens ligadas a malhas de controle.**
- ✓ **Esporádicas:** mensagens sem período fixo, mas que tem intervalo de tempo mínimo entre duas emissões consecutivas. **Exemplo: pedidos de status, pedidos de emissão de relatórios.**
- ✓ **Aperiódicas:** tem que ser enviadas a qualquer momento, sem período nem previsão. **Exemplo: alarmes em caso de falhas.**



## Comportamento Temporal

- ✓ O meio de transmissão constitui um recurso compartilhado, a definição do direito de acesso ao meio é definida pelos protocolos de acesso ao meio.
- ✓ Comunicação em tempo real está fortemente ligada ao tipo de protocolo utilizado.



Mensagens pendentes em cada estação devem ser entregues a seu destino antes de um prazo limite (deadline) associado.

### Comportamento Temporal

#### **Problema de comunicação de tempo real:**

- ✓ Queremos garantir que todas as mensagens sejam entregues antes de seu deadline.
- ✓ Como atribuir prioridades: priorizar mensagens individuais ou estações?
- ✓ Como escalonar uso do meio (*recurso compartilhado*)?
- ✓ Como verificar se escalonamento está correto?
- ✓ Escalonar com base em eventos (*event\_trigger*) ou no tempo (*time\_trigger*)?
- ✓ Como definir concessão do direito de acesso ao meio entre estações diferentes de forma e respeitar prioridades ?

### Comportamento Temporal

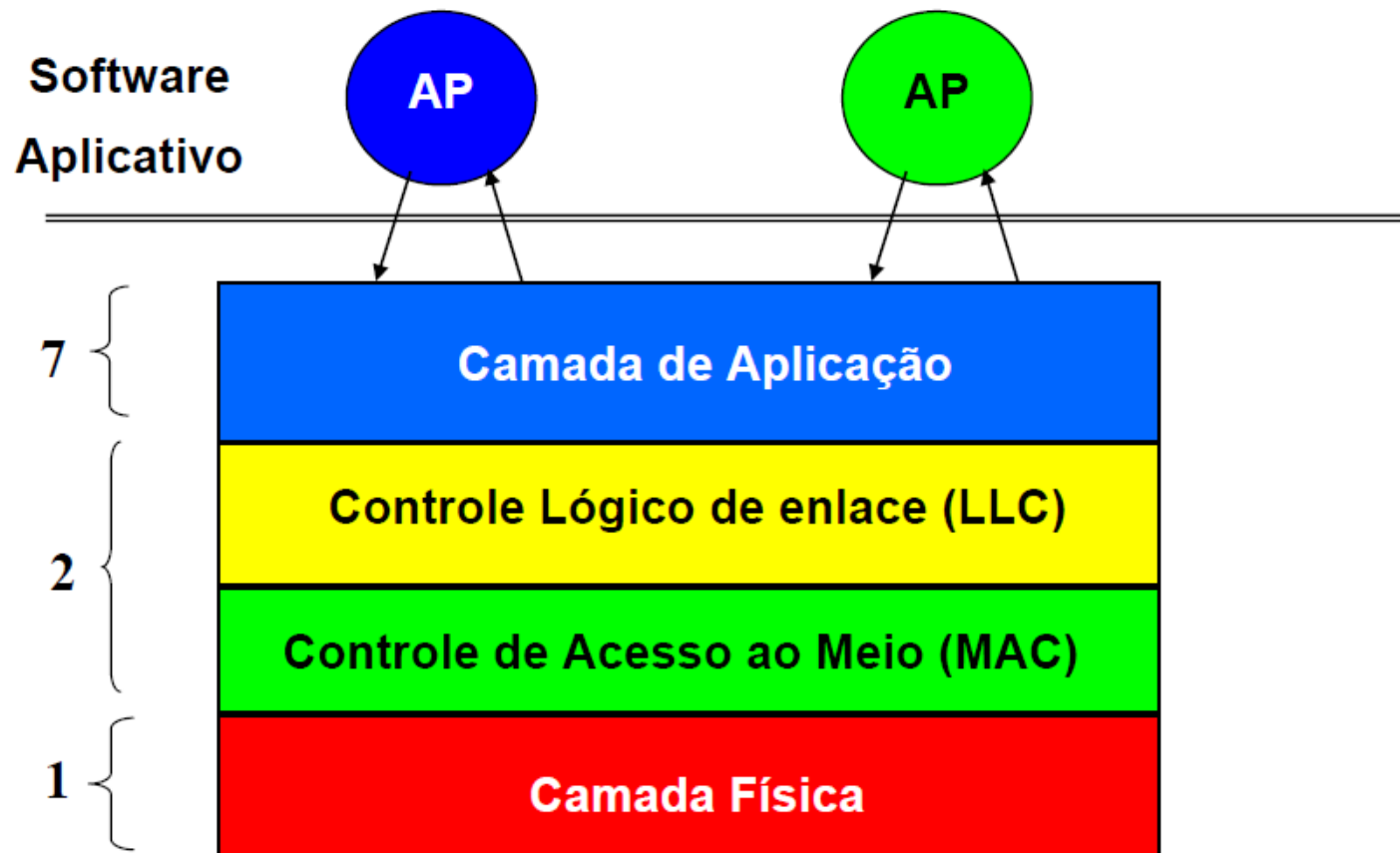
Protocolo MAC deve atender mensagens periódicas com a maior eficiência possível, respeitando seus deadlines.

Protocolo MAC precisa garantir rápido acesso ao barramento para mensagens esporádicas de alta prioridade.

MAC deve ter comportamento determinista e, idealmente, permitir escalonamento ótimo global de mensagens.

LLC (Controle Lógico de Enlace) deve escalonar mensagens locais pendentes por deadline ou prioridade associada.

## Comportamento Temporal



Camadas do Modelo OSI

## Comportamento Temporal

### Classificação dos Protocolos MAC

**Alocação fixa:** alocam o meio às estações por determinados intervalos de tempo, independentemente de haver ou não necessidade de acesso (exemplo: TDMA = Time Division Multiple Access).

**Alocação aleatória:** permitem acesso aleatório das estações ao meio (exemplo: CSMA = Carrier Sense Multiple Access).

*“Em caso de envio simultâneo por mais de uma estação, ocorre uma colisão e as estações envolvidas tem que transmitir suas mensagens após a resolução do conflito resultante (protocolos de contenção)”.*

## Comportamento Temporal

### Classificação dos Protocolos MAC

**Alocação controlada:** cada estação tem direito de acesso apenas quando de posse de uma permissão, que é entregue as estações segundo alguma seqüência predefinida (exemplos: Token-Passing, Master-Slaves).

**Alocação por reserva:** para poder usar o meio, as estações têm que reservar banda com antecedência, enviando pedidos a uma estação controladora durante um intervalo de tempo pré-destinado e este fim (exemplo: CRMA = Cyclic Reservation Multiple Access).

**Híbridos:** consistem de 2 ou mais das categorias anteriores.

### Comportamento Temporal

## Classificação com relação ao comportamento temporal:

- ✓ **Protocolos determinísticos:** caracterizados pela possibilidade de definir um tempo limite para a entrega de uma dada mensagem (mesmo que somente em pior caso).
  - ✓ Concessão independente da necessidade
  - ✓ Baixo desempenho de tempo
  
- ✓ **Protocolos não determinísticos:** tempo de entrega não determinável (aleatório ou probabilístico).
  - ✓ Competição entre as estações

### Comportamento Temporal

#### Protocolos MAC Não Determinísticos - CSMA

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) = **Acesso Múltiplo por Detecção de Portadora.**

##### **CSMA não persistente:**

- emissor escuta o meio, se meio livre, transmite mensagem.
- se meio ocupado, tenta retransmitir mais tarde.

##### **CSMA 1-persistente:**

- meio livre, transmite com probabilidade 1 (**100%**)
- meio ocupado, espera na escuta (persiste) até o canal ficar livre

##### **CSMA p-persistente:**

- meio livre, transmite com probabilidade **p** ou atrasa a tx em um dado tempo com probabilidade (**1-p**); se canal ainda livre, repete procedimento; se ocupado, aguarda liberação e reinicia.
- meio ocupado, aguarda liberação e reinicia.

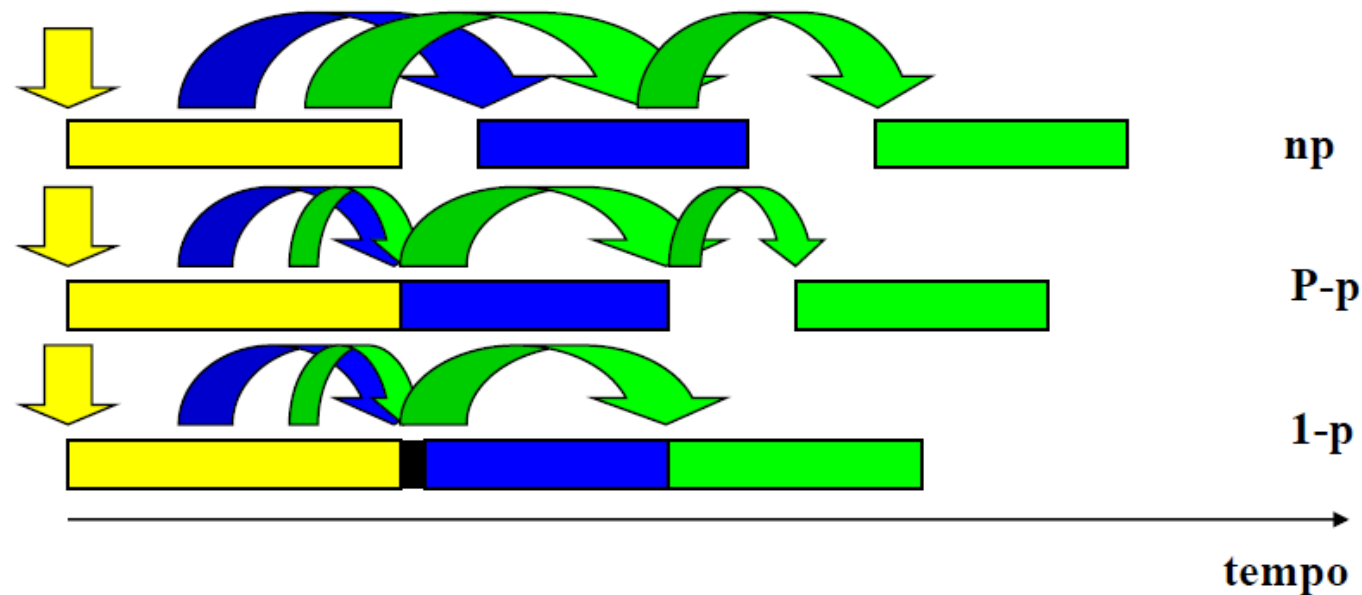


## Comportamento Temporal

**CSMA 1-persistente:** faz melhor uso da banda, mas tem grande chance de gerar colisões.

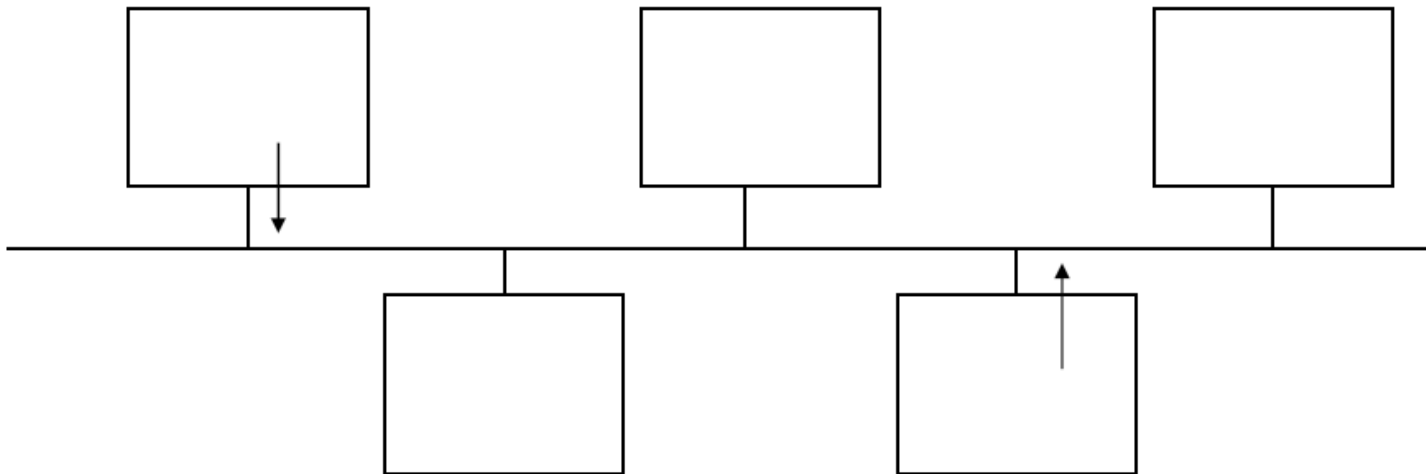
**CSMA não persistente:** faz pior uso da banda, mas tem menor probabilidade de gerar colisões.

**CSMA p-persistente ( $p < 1$ ):** compromisso entre as soluções anteriores.



## Comportamento Temporal

- ✓ CSMA para todas as variantes: **não** impedem colisão ➡ escuta **só no início**.
- ✓ Estação receptora envia quadro de reconhecimento (ACK) a emissora se mensagem **Ok**.
- ✓ Em caso de colisão ou erro de tx: mensagem retransmitida após **Time-out** no emissor.



## Comportamento Temporal

**CSMA/CD:** *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* = Acesso Múltiplo por Detecção de Portadora com Detecção de Colisão.

Método de acesso não determinístico com controle distribuído.

### Operação:

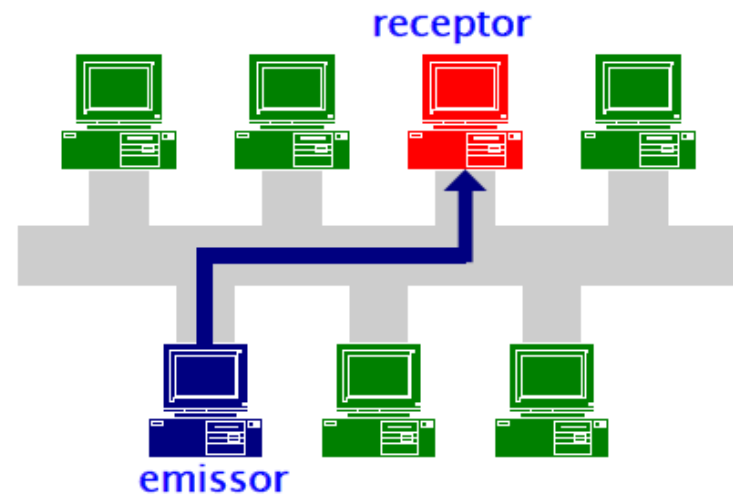
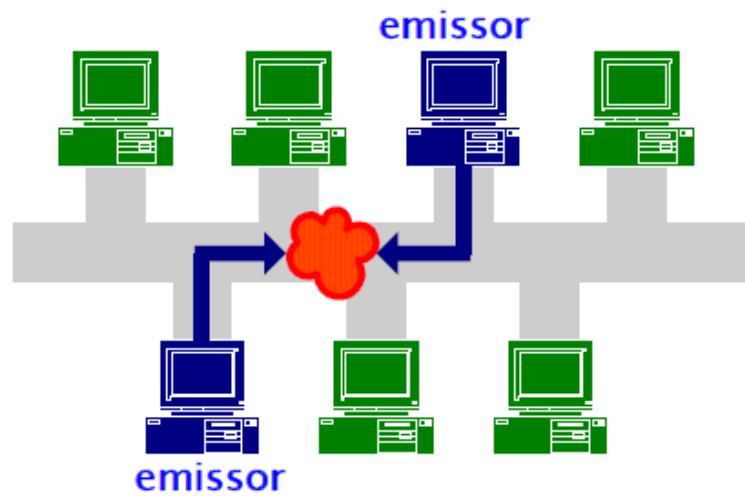
- Emissor escuta meio
- Se meio livre, enviar primeiro **byte** do quadro
- Emissor escuta meio durante sua tx e compara com **byte** enviado
- Se igual, não houve colisão => enviar resto da mensagem
- Se diferente, houve colisão => parar tx, esperar tempo randômico e reiniciar operação (repetida no máximo 16x)

limite tempo de espera na i-ésima colisão =  $2^{i-1}$  [time slots]

- Se tx bem sucedida (sem colisão), emissor espera ACK do receptor

## Comportamento Temporal

**Inovação:** escuta e envio podem estar ativos ao mesmo tempo!



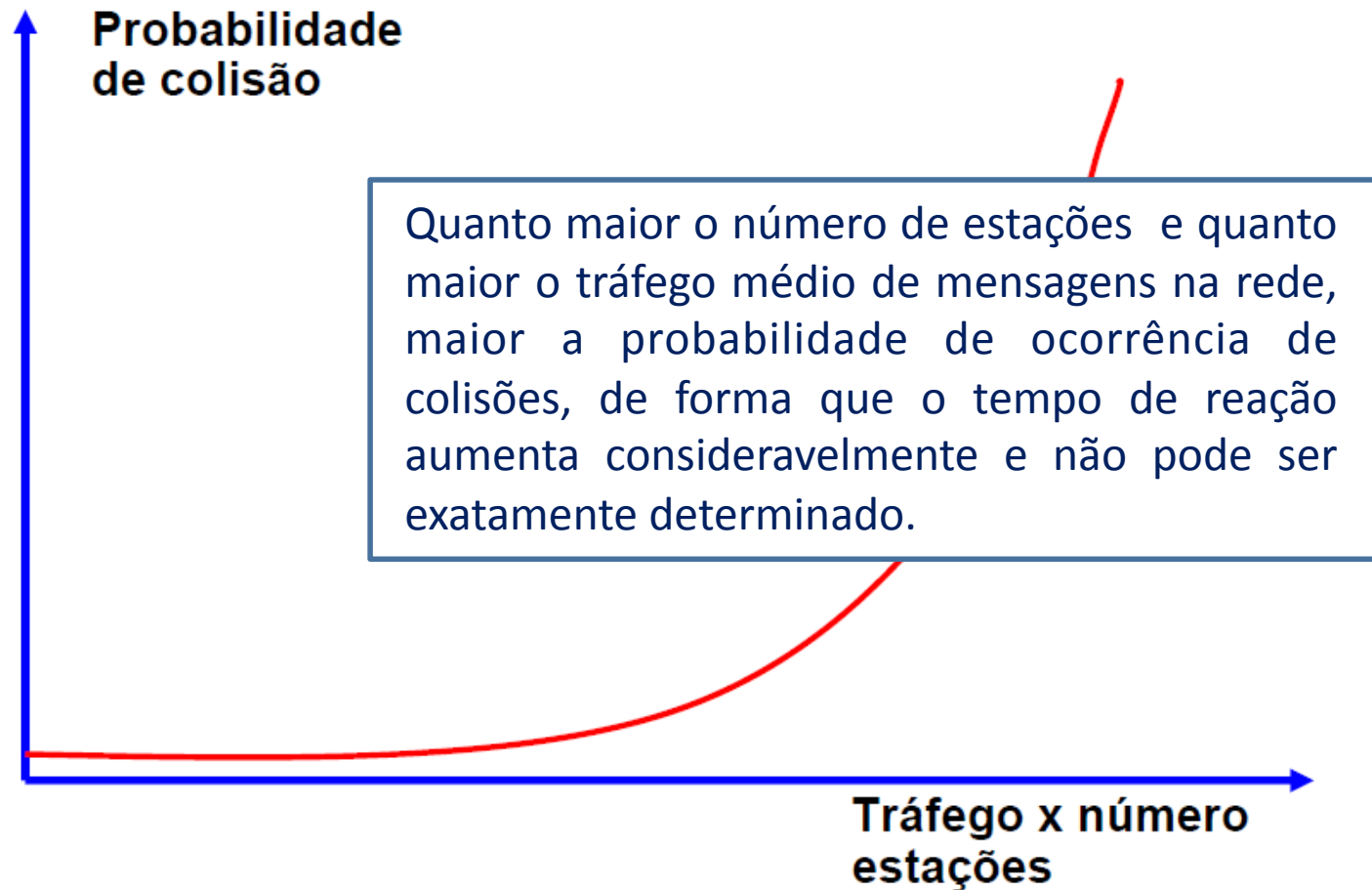
### Comportamento Temporal

Métodos de acesso CSMA convencionais:

- ✓ Simplicidade;
- ✓ Autonomia das estações;
- ✓ Tempo de reação não pode ser exatamente determinado (não determinismo).

Tempo de espera é *randomizado* segundo algoritmo **BEB**  
(Binary Exponential Backoff)

### Comportamento Temporal



### Comportamento Temporal

Desempenho muito melhor que CSMA, pois:

- ✓ Não perde tempo enviando dados após colisão.
- ✓ Ocorrência da colisão detectada logo no início da tx.

Razões do não-determinismo:

- ✓ Não se sabe se haverão colisões.
- ✓ Não se sabe quantas colisões seguidas podem ocorrer.
- ✓ Não se conhece de antemão tempo aleatório de espera em caso de colisão.

Esta característica torna protocolos **CSMA** e **CSMA/CD** ruins para aplicações com restrições de tempo de resposta (**sistemas tempo real**), muito comuns na automação de chão de fábrica.

Perfil das Redes Locais Industriais

### Comportamento Temporal

#### Protocolos MAC Determinísticos

Métodos de acesso determinísticos: tem tempo de resposta limitado e determinável (**ao menos em pior caso**).

Podem ser classificados em:

- ✓ **Métodos com comando centralizado** (ex.: Mestre-Escravos, árbitro de barramento)
- ✓ **Métodos com comando distribuído** (ex.: Token-Passing, variantes deterministas do CSMA).

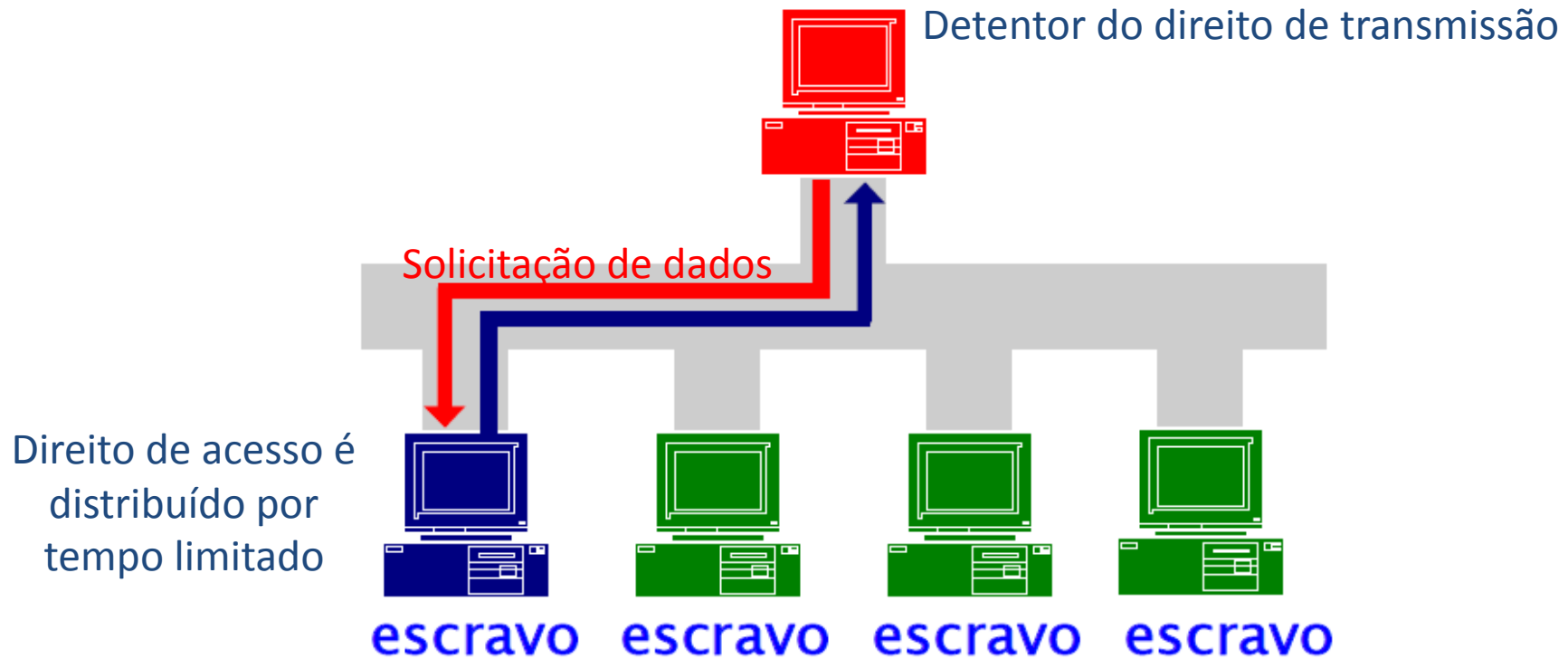


Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

## Comando Centralizado: Mestre-escravos



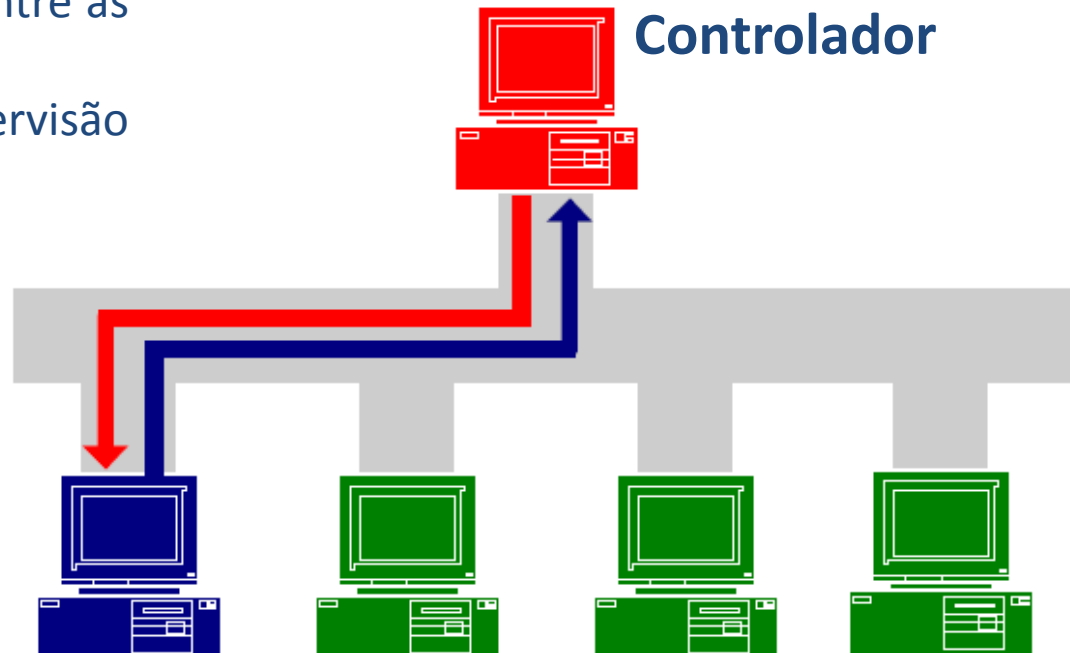
Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

## Comando Centralizado: Mestre-escravos

- ✓ Garante um tempo definido entre as transmissões.
- ✓ Controle distribuído com supervisão centralizada.



**Atuadores e Sensores**

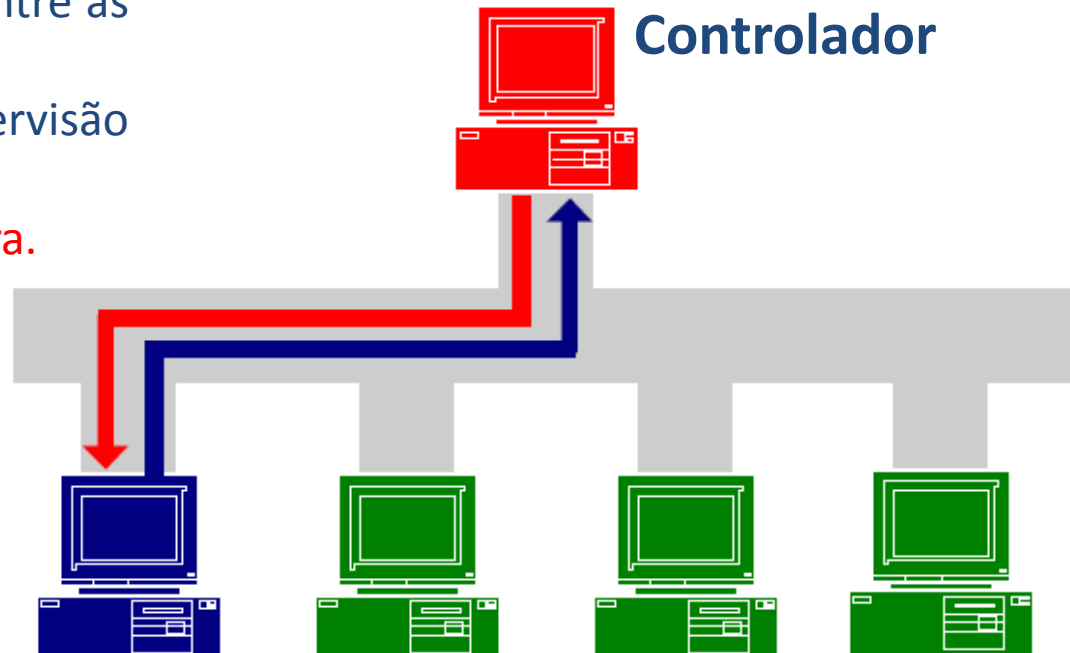
Perfil das Redes Locais Industriais

## Comportamento Temporal

### Protocolos MAC Determinísticos

## Comando Centralizado: Mestre-escravos

- ✓ Garante um tempo definido entre as transmissões.
- ✓ Controle distribuído com supervisão centralizada.
- ✓ **Deadline vs tempo de varredura.**



Atuadores e Sensores

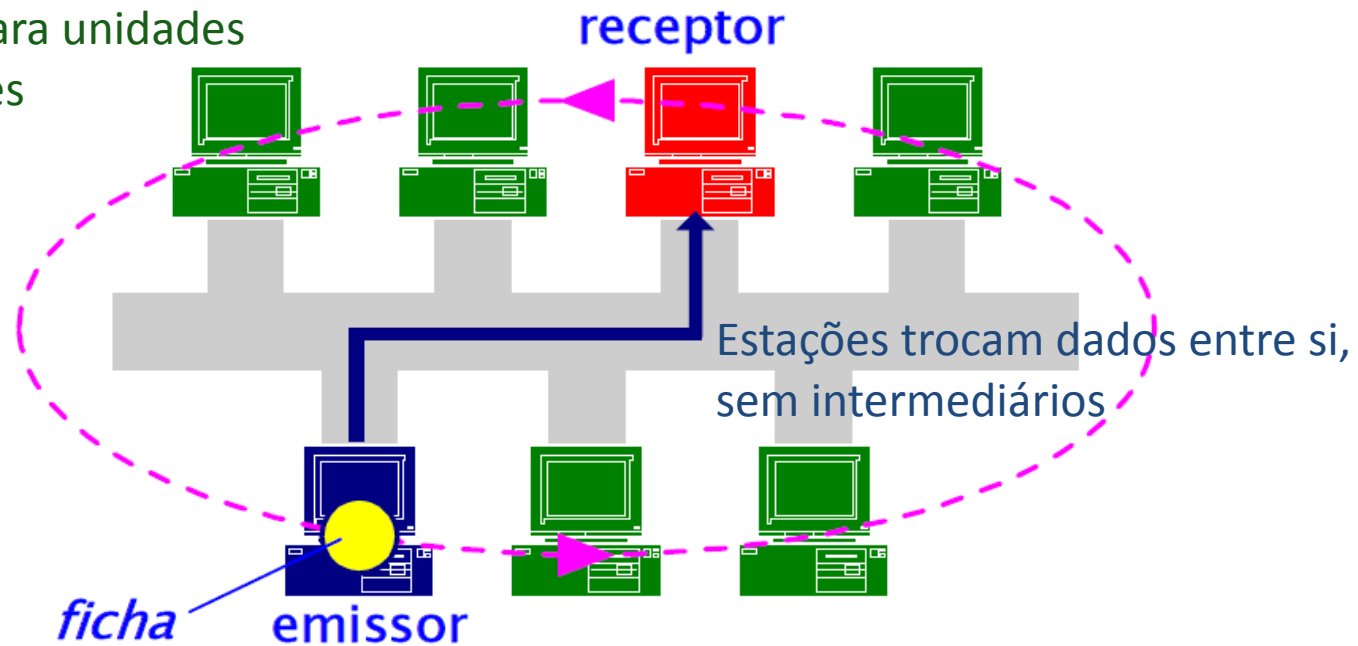
Perfil das Redes Locais Industriais

## Comportamento Temporal

### Protocolos MAC Determinísticos

## Comando Distribuído: Token-Bus

Faz sentido para unidades independentes



Definição distribuída do direito de transmissão através da **ficha**.

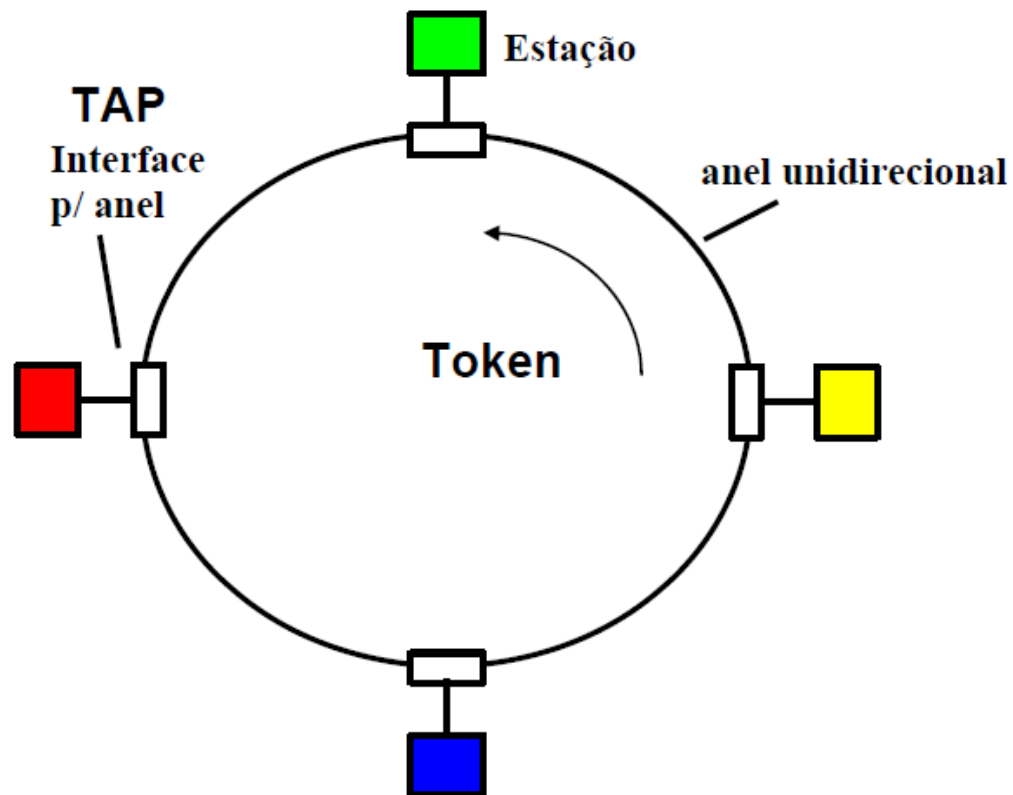
Retenção da **ficha** por tempo limitado.

Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

## Comando Distribuído: Token-Ring

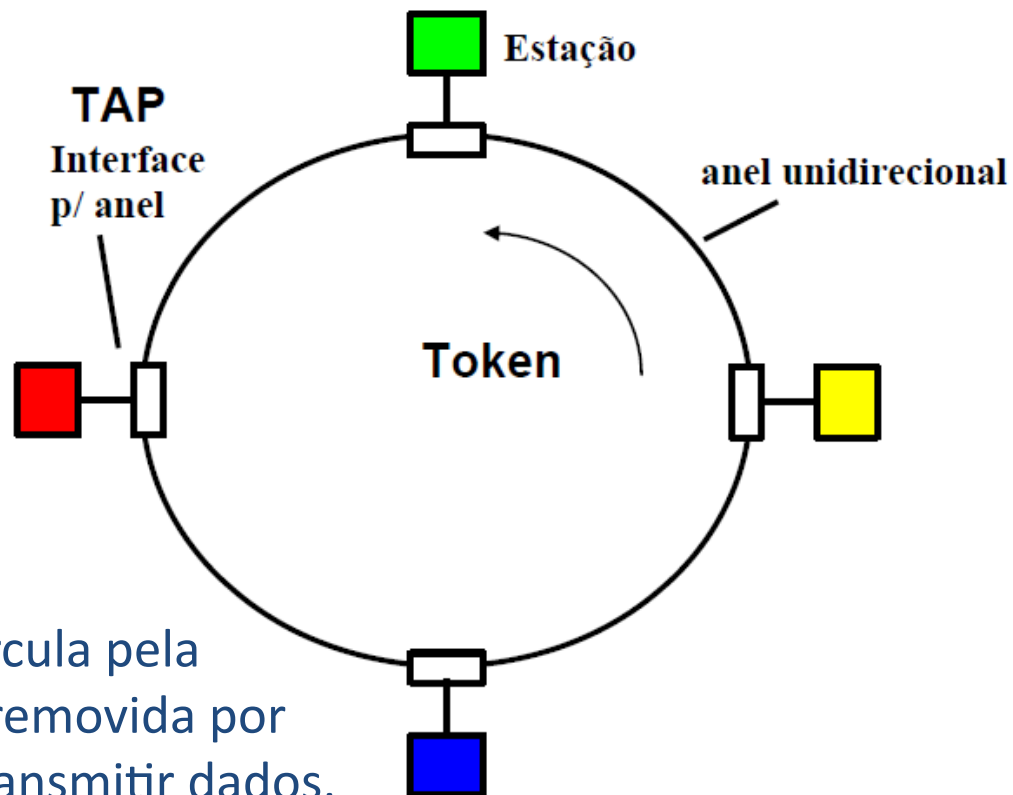


Perfil das Redes Locais Industriais

Comportamento Temporal

Protocolos MAC Determinísticos

## Comando Distribuído: Token-Ring



Variante em que a **ficha** circula pela topologia em anel até ser removida por uma estação que deseja transmitir dados.

Perfil das Redes Locais Industriais

### Comportamento Temporal

#### Protocolos MAC Determinísticos

### Comando Distribuído: Forcing Headers

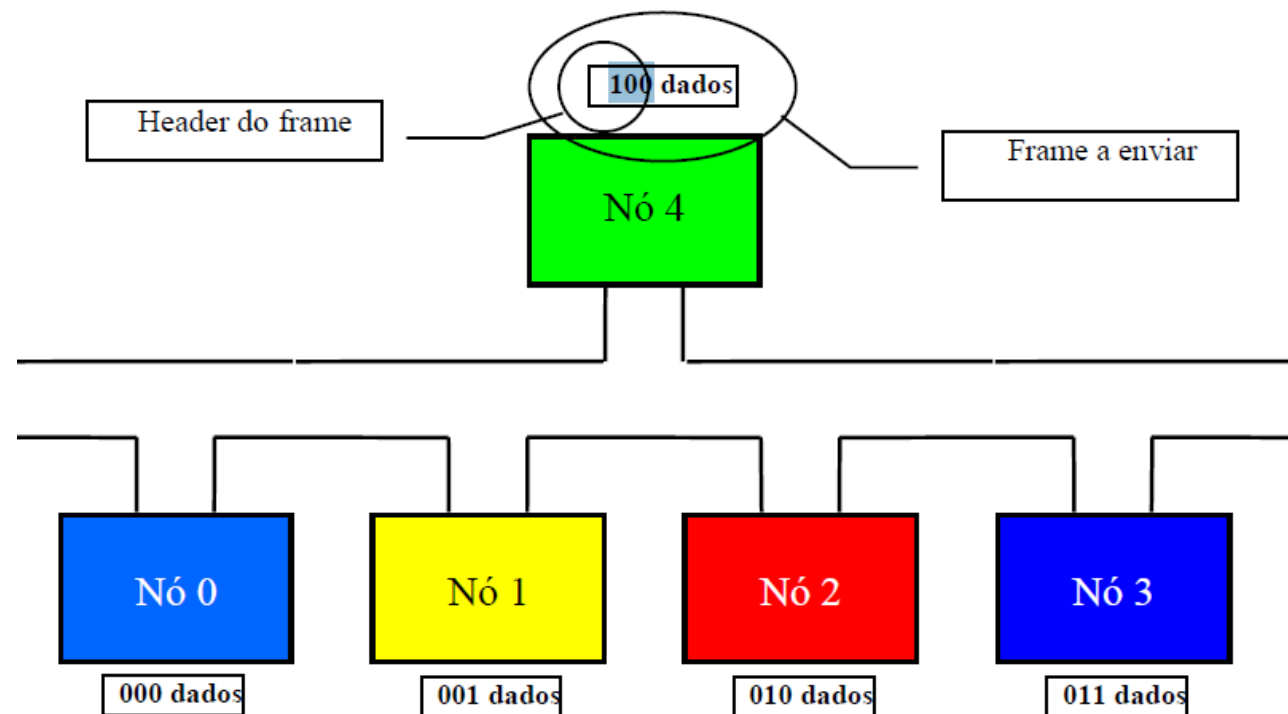
- ✓ **Variante determinista de CSMA** (CSMA/NBA = CSMA with Non destructive Bit wise Arbitration).
- ✓ Estações enviam **bit a bit** um identificador da mensagem, que define prioridade da mesma.
- ✓ Cada mensagem tem que ter prioridade diferente das demais.
- ✓ Se todos os **bits** do identificador são **0**, prioridade máxima.
- ✓ Camada física executa **AND** sobre cada **bit** enviado ao barramento (ativada ao enviar um **1** e desativado ao enviar um **0**).
- ✓ Transmissão interrompida quando um **1** é enviado e ocorrer colisão (**0** é lido).
- ✓ Se identificador é transmitido até o fim **sem colisão**, resto da mensagem é **enviado**.

Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

## Comando Distribuído: Forcing Headers





Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

### Comando Distribuído: Forcing Headers

- ✓ Para evitar monopólio do meio por nó gerador de mensagem de alta prioridade, **o que pode ser feito?**

### Comportamento Temporal

#### Protocolos MAC Determinísticos

### Comando Distribuído: Forcing Headers

- ✓ Para evitar monopólio do meio por nó gerador de mensagem de alta prioridade, espaço entre quadros preenchido por campo de **bits** em **1** inserido no final de cada quadro.
- ✓ O barramento só é considerado livre para o mesmo nó enviar nova mensagem após ter detectado que o espaço interframes não foi interrompido por um **bit** em **0**.
- ✓ Estação possuidora da mensagem de alta prioridade terá que esperar ao menos o envio de uma mensagem de prioridade menor para tomar o barramento para si novamente.

Perfil das Redes Locais Industriais

### Comportamento Temporal

#### Protocolos MAC Determinísticos

-

### Comando Distribuído: Comprimento do preâmbulo

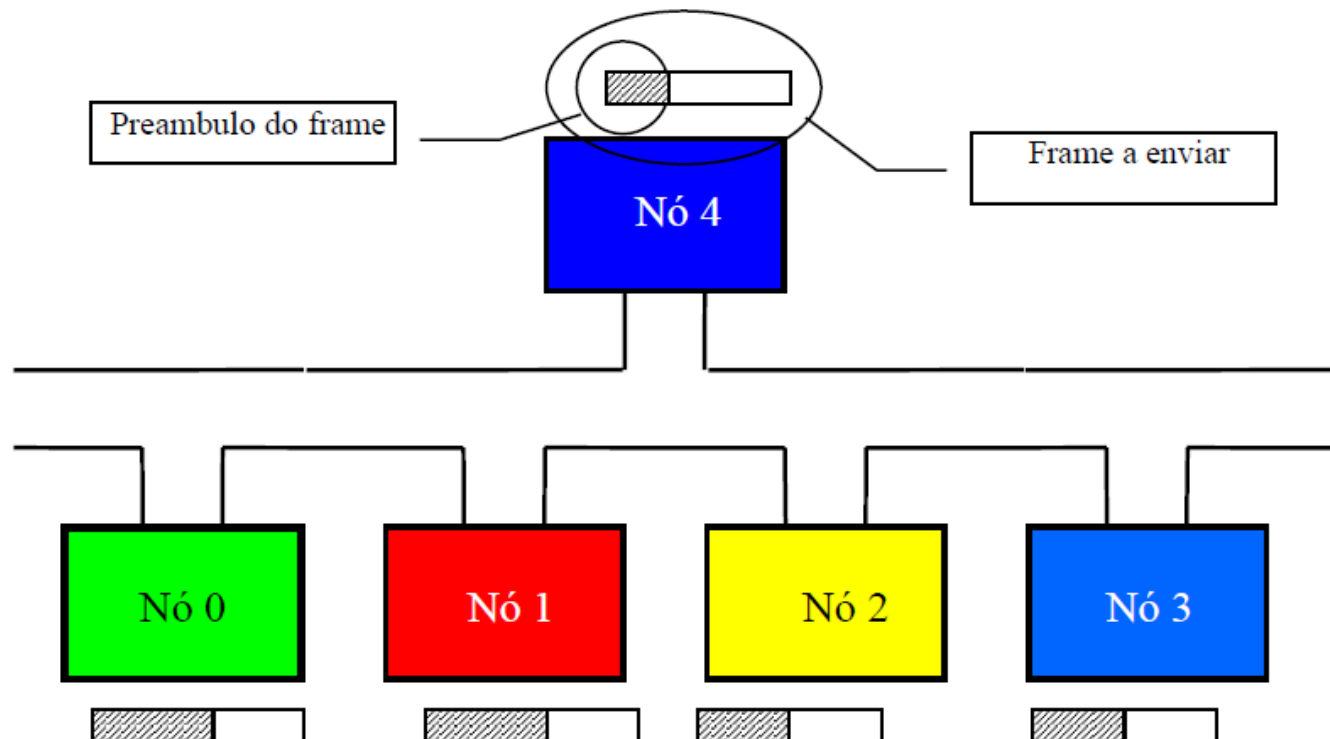
- ✓ Variante determinista de CSMA/CD
- ✓ A cada mensagem é associado um preâmbulo com comprimento diferente, que é transmitido com CD desativada.
- ✓ Após término de envio do preâmbulo, CD reativada.
- ✓ Se há colisão, existe outra mensagem mais prioritária sendo enviada e estação fica a espera de meio livre.

Perfil das Redes Locais Industriais

**Comportamento Temporal**

**Protocolos MAC Determinísticos**

## Comando Distribuído: Comprimento do preâmbulo

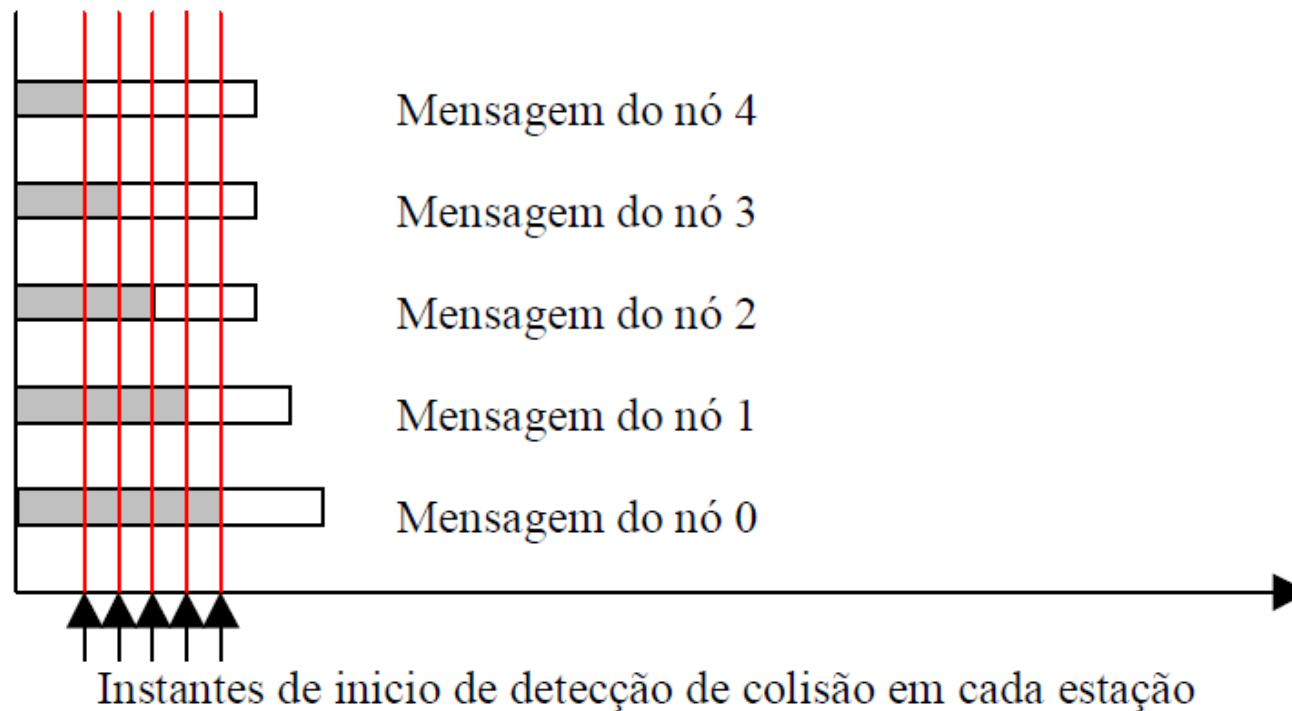


Perfil das Redes Locais Industriais

## Comportamento Temporal

### Protocolos MAC Determinísticos

#### Comando Distribuído: Comprimento do preâmbulo



**Conclusão:** As prioridades estão associadas com as mensagens.

### Confiabilidade

Em aplicações industriais em que são transmitidos muitos códigos de comando, leitura de medidores e comando de atuadores, um erro de 1 bit qualquer pode ter consequências desastrosas.

A transferência de programas para **máquinas de comando numérico**, por exemplo, exige um sistema de transmissão altamente confiável, pois uma mínima alteração nos códigos de comando, pode produzir mudanças significativas do resultado.

Para aumentar confiabilidade, na camada de enlace faz-se um teste cíclico de redundância sobre quadros.

Em sistemas que necessitem de uma operação contínua, pode ser utilizado um meio de transmissão e estações redundantes, além da recomendação de utilizar cabos blindados, principalmente em ambientes com fortes campos magnéticos.

### Tipos de mensagens e Volume da Informação

Níveis hierárquicos superiores da fábrica:

- ✓ Mensagens grandes (*KByte*)
- ✓ Podem ter tempos de transmissão longos
- ✓ Longos intervalos entre transmissões (meio ocioso)

Níveis hierárquicos mais próximos ao processo:

- ✓ Mensagens curtas, tais como:
  - ligar ou desligar uma unidade ON/OFF -> 1 *bit*
  - fazer leitura de um sensor/medidor -> 8 *Bytes*
  - alterar o estado de um atuador -> 8 *Bytes*
  - verificar o estado de uma chave ou relê -> 1 *bit*
- ✓ Taxa de ocupação do barramento elevada (grande número de quadros pequenos transmitidos).

### Tipos de mensagens e Volume da Informação

#### Requisitos

- ✓ Taxa de transmissão de dados na camada física não precisa ser muito elevada.
- ✓ Mais importante ter tempo de entrega conhecido do que taxa de transmissão muito alta.
- ✓ Desejável protocolo MAC que não permita colisões
- ✓ Na especificação do protocolo de enlace, é desejável que o frame seja pequeno (*envelope grande para carta pequena não é eficiente!*).



### Interoperabilidade

Identificou-se na década de 80 necessidade de uma especificação de redes locais para aplicações industriais diferente daquela adotada em automação de escritório.

Surgiram diversas redes proprietárias para ambiente fabril, mas não permitem a interligação de equipamentos de outros fabricantes.

Maior entrave à conectividade e interoperabilidade: não padronização das interfaces e protocolos de comunicação.

**Projetos de Padronização** ➡ **Próximo módulo.**



**Fim de Aula.**