

Sistemas de Tempo-Real

Notas de curso realizado em Agosto de 2006 na
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia



Francisco Vasques

Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto

<http://www.fe.up.pt/~vasques>



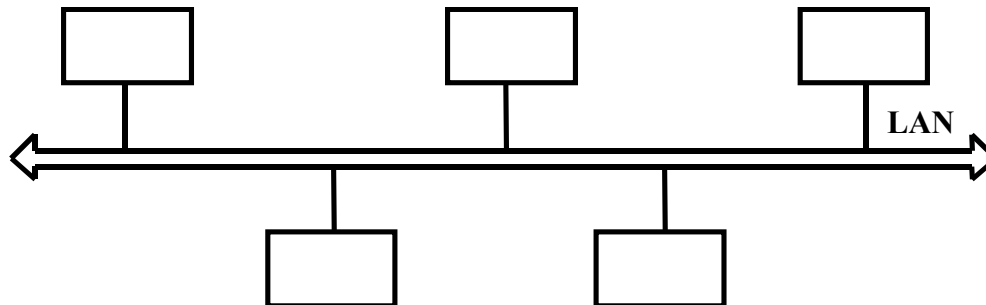
- **Introdução aos Sistemas de Tempo-Real**
- **Escalonamento de Tempo-Real**
- **Comunicação de Tempo-Real**
 - Conceitos fundamentais
 - Modelo de Referência
 - Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)
 - Escalonamento de mensagens em Redes Locais (LANs)
 - Exemplos de escalonamento: protocolos CAN e WorldFIP



Conceitos fundamentais

■ Conceitos de base:

- Num sistema distribuído a integração de diferentes subsistemas é garantida através da utilização de uma rede de comunicação;
 - » O serviço de comunicação é um *componente fundamental* de um sistema distribuído;
 - » O serviço de comunicação é um *recurso crítico*, visto que a perda de comunicação resulta na perda de todos os serviços do sistema global.





Conceitos fundamentais

■ Objectivo de um Sistema de Comunicação de Tempo-Real

- Fornecer serviços de comunicação às entidades participantes num Sistema Distribuído;
 - » Os serviços fornecidos devem ser fiáveis, seguros, eficientes e pontuais (no caso de um serviço de comunicação de tempo-real).

■ Conceitos de base: Mensagens

- As interacções num Sistema Distribuído são suportadas pelo *envio de mensagens*;
- Uma *mensagem* é uma *unidade de informação* a ser transferida entre 2 processos;
- Uma mensagem contém *dados e informação de controlo* relevante para a transmissão (por ex. endereços, código de correcção de erros, etc.)



Conceitos fundamentais

■ Conceitos de base: Transacções

- Uma *transacção de rede* é uma *sequência de acções* que é efectivamente requerida para transferir informação num sistema de comunicação;
 - » Uma transacção de rede pode incluir a transferência de mensagens sem dados: *mensagens de controlo*;
- Diversos tipos de redes de comunicação dividem automaticamente mensagens longas em *pacotes* de dimensão mais reduzida (fragmentação / concatenação);
 - » Neste caso, uma transacção de rede é constituída por várias *transacções elementares de rede*, que correspondem ao envio dos diferentes pacotes;
 - » Um *pacote* é a menor unidade de informação passível de ser transferida na rede sem interrupção.



Conceitos fundamentais

■ Conceitos de base: Garantia de Pontualidade

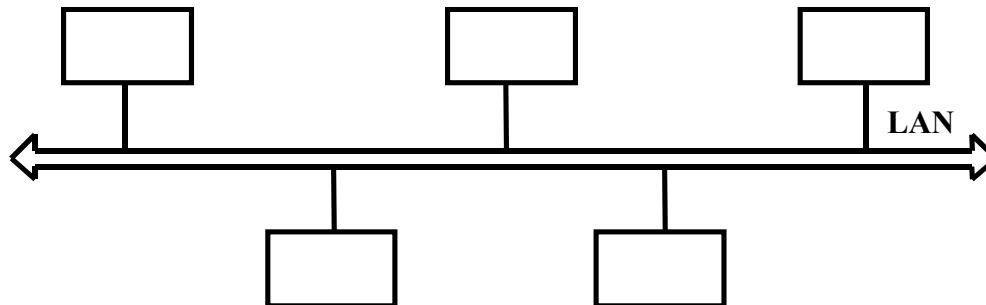
- O tipo de protocolo de comunicação utilizado é fundamental para:
 - » a *garantia das metas temporais críticas* associadas à execução de tarefas nos diferentes subsistemas;
- Um protocolo de comunicação de tempo-real tem como tarefa fundamental o correcto *escalonamento de transmissão das mensagens*, função que se encontra sob o controlo da camada MAC (controlo de acesso ao meio);
 - » depende das características do protocolo de comunicação e das características físicas da rede;



Conceitos fundamentais

■ Conceitos de base: Modularidade temporal:

- Garantia fundamental para o adequado desenvolvimento de sistemas distribuídos de tempo-real, permitindo a *validação ao nível do subsistema* de propriedades importantes do sistema global (por exemplo, a sua pontualidade);
 - » quando determinadas interações entre subsistemas só se fazem sentir ao nível do sistema global, considera-se que o sistema não é temporalmente modular;





Noções fundamentais

■ Serviços de Comunicação

Para além de serviços de transferência de dados, um *protocolo de comunicação de tempo-real* deve fornecer:

1. *Controlo de fluxo* incorporado, que impeça a monopolização indevida do sistema de comunicação por um único subsistema;
 - » resolução de avarias do tipo “*babbling idiot*”.
2. Serviço de *filiação em grupo* (“*group membership*”) que informe os nós acerca de que nós estão activos / inactivos em cada instante de tempo (fundamental para a garantia de coerência da aplicação distribuída).



Noções fundamentais

■ Serviços de Comunicação

Para além de serviços de transferência de dados, um *protocolo de comunicação de tempo-real* deve fornecer:

3. Serviço de *sincronização de relógios* incorporado, fundamental para:
 - » poder ser recuperada a ordem temporal de ocorrência dos eventos;
 - » poder ser definido o atraso de acção do sistema (intervalo entre o envio de uma mensagem e o instante em que sistema fica estável).



Noções fundamentais

■ Mecanismos para a detecção de erros

Para além de serviços de transferência de dados, um *protocolo de comunicação de tempo-real* deve também detectar anomalias com *pontualidade* (num intervalo de tempo inferior à periodicidade das mensagens):

- » corrupção de mensagens;
- » perda de mensagens;
- » perda de nós.



Noções fundamentais

■ Mecanismos para a tolerância a falhas

No caso de sistemas críticos, é habitualmente necessário que, mesmo no caso de ocorrência de avarias, o sistema forneça um serviço de acordo com a especificação. Para tal, é necessário que o sistema de comunicação suporte mecanismos de tolerância à *perda de nós* e de tolerância à *perda de mensagens*.



Noções fundamentais

■ **Conflitos fundamentais na concepção de protocolos de comunicação de tempo-real**

Os requisitos de comunicação de tempo-real anteriormente enunciados apresentam alguns conflitos fundamentais entre si, pelo que não podem ser todos simultaneamente respeitados.



Noções fundamentais

■ **Conflitos fundamentais**

Os requisitos de comunicação [...] não podem ser simultaneamente respeitados.

■ **Modularidade temporal vs. Acesso competitivo:**

- A modularidade temporal requer que as propriedades temporais de cada nó possam ser especificadas e testadas isoladamente, por forma que a integração do sistema global não provoque efeitos inesperados.
- O acesso competitivo ao meio de transmissão provoca conflitos de acesso que devem ser resolvidos pelo protocolo. A existência de conflitos no acesso ao meio, impede uma análise independente para cada nó do seu funcionamento temporal.



Noções fundamentais

■ Conflitos fundamentais

Os requisitos de comunicação [...] não podem ser simultaneamente respeitados.

■ Transmissão de mensagens periódicas vs. mensagens esporádicas;

- Um protocolo de comunicação de tempo-real poderá ser eficiente para a transmissão de mensagens periódicas ou de mensagens esporádicas, mas não de ambos os tipos.
- O escalonamento de mensagens periódicas podendo ser efectuado estaticamente, permite a obtenção de "jitter" reduzido e de um tempo de resposta máximo optimizado.
- A existência de mensagens esporádicas requer um escalonamento dinâmico do conjunto de mensagens, o que implica um aumento de "jitter" das mensagens periódicas (maior variação do tempo de resposta).



Noções fundamentais

■ Conflitos fundamentais

Os requisitos de comunicação [...] não podem ser simultaneamente respeitados.

■ Flexibilidade vs. detecção de erros;

- A flexibilidade de funcionamento é sinónima de funcionamento não restringido à priori; A detecção de erros no entanto só é possível se puder ser efectuada a comparação com padrões de funcionamento esperados...
 - » Por exemplo, caso a transferência de mensagens seja efectuada a pedido das aplicações (caso + tradicional), não há pressupostos de regularidade na transferência de mensagens de um determinado fluxo. Em consequência, a rede de comunicação poderá ser monopolizada por um qualquer fluxo;
 - » Por outro lado, se não houver o pressuposto do envio de uma mensagem com uma regularidade mínima, não poderá ser detectada a avaria do nó produtor desse fluxo de mensagens.



Noções fundamentais

■ Conflitos fundamentais

Os requisitos de comunicação [...] não podem ser simultaneamente respeitados.

■ Exactidão temporal vs. Re-transmissão;

- A re-transmissão de uma mensagem "fora de prazo" não faz sentido num sistema de tempo-real... Desta forma, os mecanismos de re-transmissão não devem ser inerentes ao protocolo, devendo a re-transmissão ou não de uma mensagem ser decidida com base no seu valor.



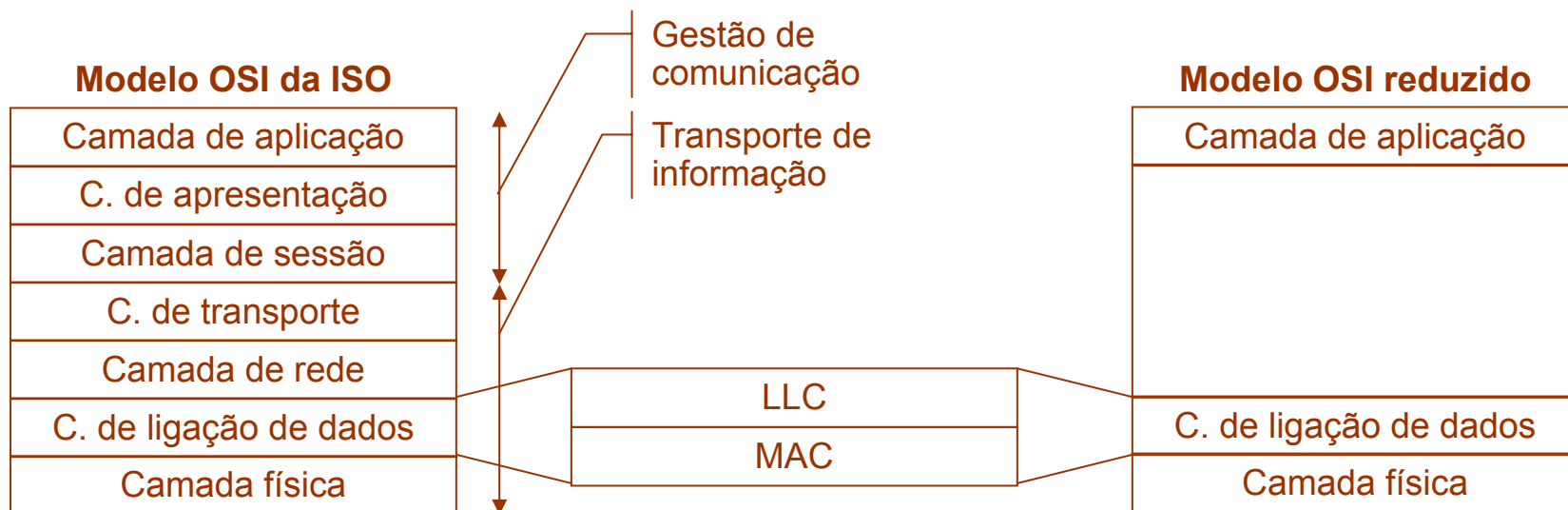
- **Introdução aos Sistemas de Tempo-Real**
- **Escalonamento de Tempo-Real**
- **Comunicação de Tempo-Real**
 - Conceitos fundamentais
 - Modelo de Referência
 - Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)
 - Escalonamento de mensagens em Redes Locais (LANs)
 - Exemplos de escalonamento: protocolos CAN e WorldFIP



Modelo de Referência

■ Modelo OSI da ISO

- Modelo de referência utilizado para a interligação e a cooperação entre sistemas distribuídos abertos.





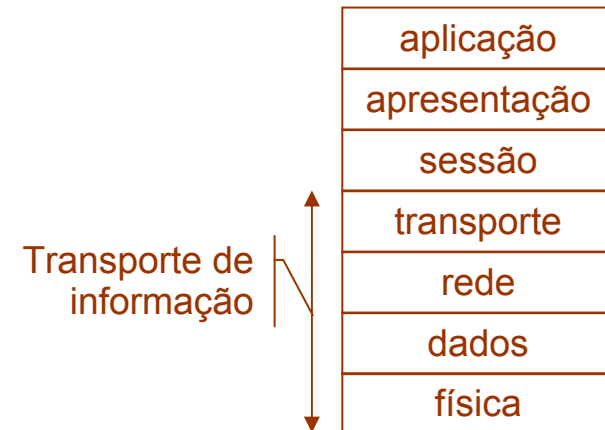
Modelo de Referência

■ Camada Física

- Transporte de bits
- Características:
 - » Mecânicas, eléctricas (tensões, correntes, baud rate, modulação, codificação de bits, sincronização, etc.), funcionais (topologia, repetidores) etc.

■ Camada de Ligação de Dados

- Transporte de grupos de bits em “frames”;
- Sincronização de “frames”;
- Detecção (correção) de erros;
- Gestão do acesso ao meio (*fundamental para a garantia de propriedades temporais*);





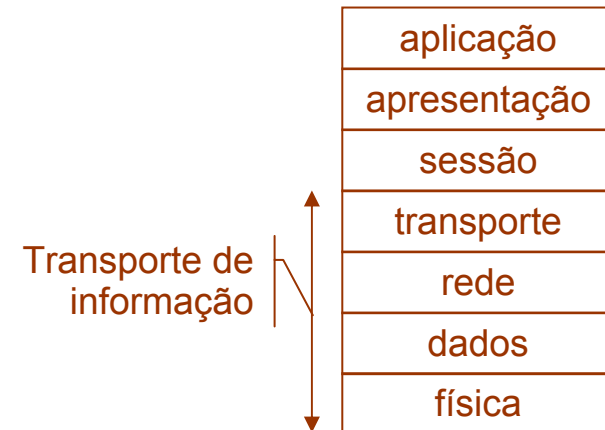
Modelo de Referência

■ Camada de Rede

- Roteamento de pacotes através de “links”
- Controlo de congestão / fluxo
- Providencia endereçamento único na rede.

■ Camada de Transporte

- Comunicação “ponto-a-ponto” fiável e transparente:
 - » Verificação e correcção de erros; Regulação de fluxo;
- Estabelecimento de circuitos virtuais;
- Multiplexagem de circuitos virtuais.





Modelo de Referência

■ Camada de Sessão

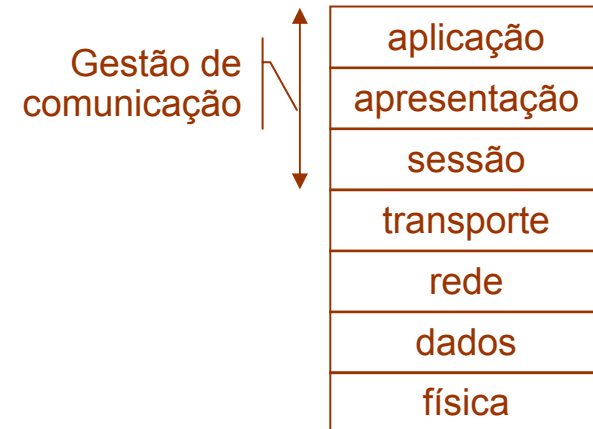
- Gestão de diálogo
 - » Definição de pontos de sincronização;
 - » Retorno a estado conhecido.

■ Camada de Apresentação

- Conversão de formatos; Encriptação; Compressão de dados.

■ Camada de aplicação

- Única camada visível para a aplicação;
- Adiciona semântica à transferência de informação:
 - » Define conceitos; Fornece serviços
- Ex. FTP, SNMP, HTTP.

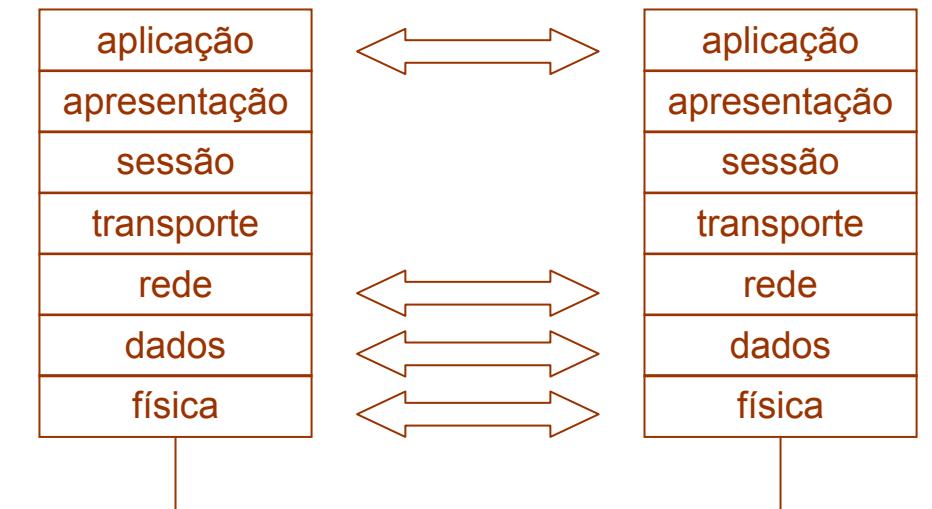




Modelo de Referência

■ Noções básicas sobre interligação

- Repetidores (camada física)
- “Bridges” (camada de ligação de dados)
- “Routers” (camada de rede)
- “Gateways” (camada de aplicação)

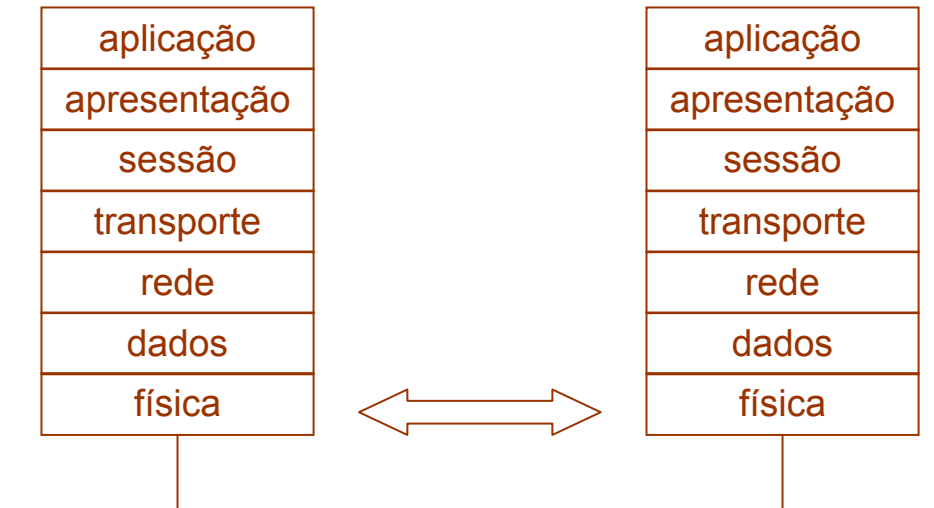




Modelo de Referência

■ Interligação ao nível da camada física: Repetidores

- Utilizados quando os protocolos de comunicação são idênticos em ambos os lados (e em todas as camadas);
- Expande a distância (ou o n.º de estações) de um segmento (c/ ou s/ fios) e regenera o sinal eléctrico;
- Exemplo: “Ethernet Hub”.

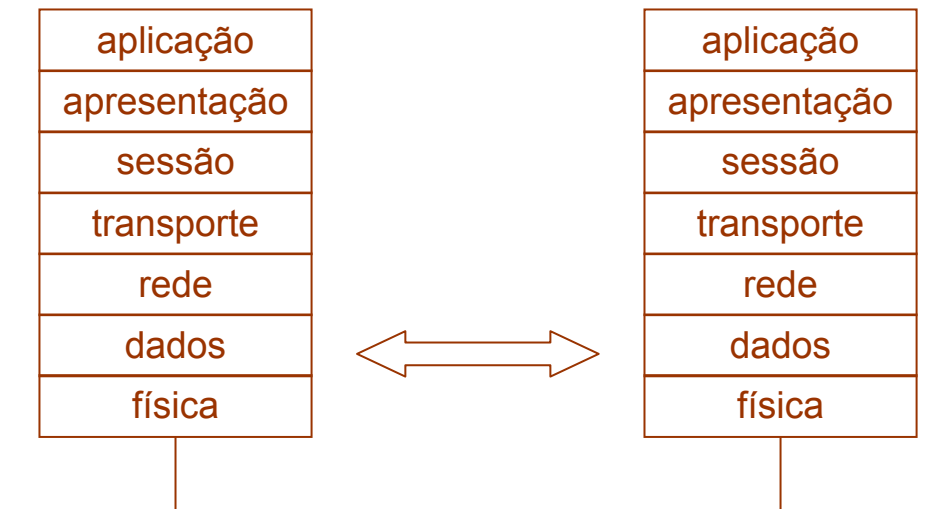




Modelo de Referência

■ Interligação ao nível da camada de ligação de dados : “Bridges”

- Interliga sub-redes que utilizem os mesmos protocolos nas camadas acima da camada de ligação de dados. Ambas as sub-redes devem utilizar esquemas de endereçamento compatíveis;
- Exemplos:
 - » “Ethernet Switch” utilizado para interligar dois segmentos;
 - » “IEEE 802.11 Base Station” utilizada para interligar segmento c/ célula s/ fio.

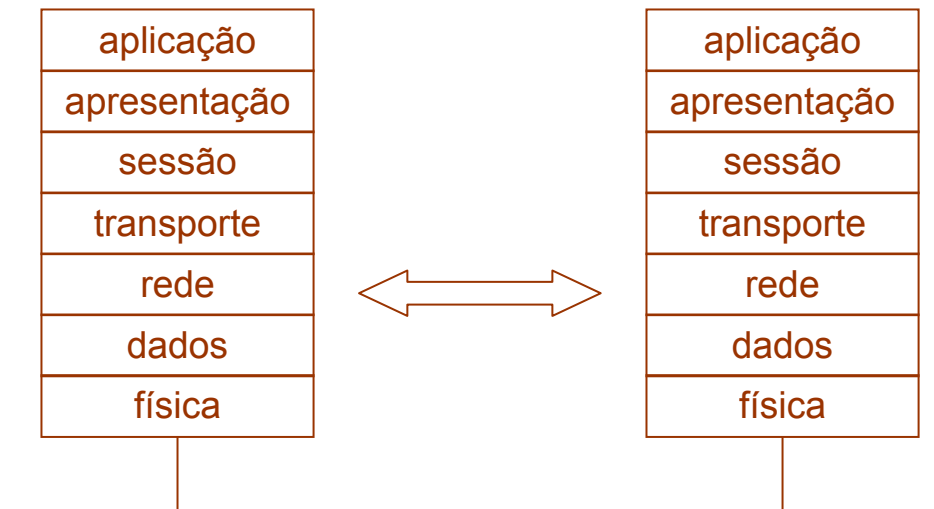




Modelo de Referência

■ Interligação ao nível da camada de rede : Routers

- Têm a tarefa de encontrar caminho adequado para encaminhar mensagens:
 - » Trocam mensagens entre eles para determinar caminhos existentes;
 - » Seleccionam caminhos óptimos entre dois nós

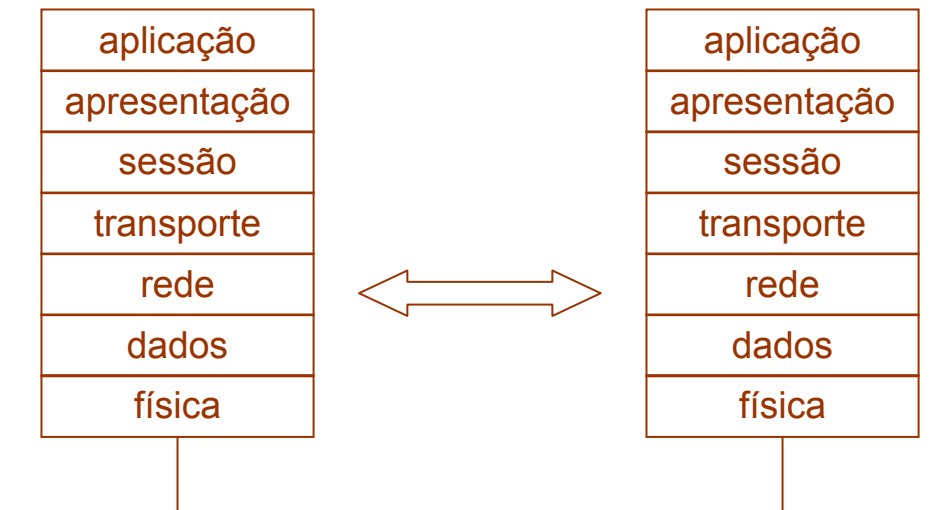




Modelo de Referência

■ Interligação ao nível da camada de aplicação : “Gateways”

- Utilizados quando os protocolos de camada de aplicação são diferentes dos dois lados (traduzem as mensagens entre protocolos);
- Por vezes são referidos como “*proxies*”;
- » Exemplo: A ligação de uma rede Profibus à Internet utilizando HTTP sobre TCP/IP, requer uma “gateway” porque os protocolos são diferentes em todas as camadas.





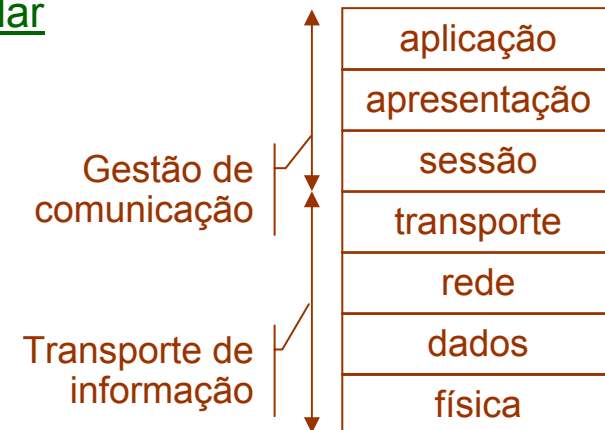
- **Introdução aos Sistemas de Tempo-Real**
- **Escalonamento de Tempo-Real**
- **Comunicação de Tempo-Real**
 - Conceitos fundamentais
 - Modelo de Referência
 - Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)
 - Escalonamento de mensagens em Redes Locais (LANs)
 - Exemplos de escalonamento: protocolos CAN e WorldFIP



Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)

■ Impacto das diferentes Camadas de Comunicação sobre a QoS

- Parâmetros temporais associados ao envio de mensagens:
 - » Máximo tempo de resposta;
 - » “*Jitter*” (variação do tempo de resposta);
 - » Débito (“*throughput*”).
- Todas as camadas de comunicação têm um impacto significativo sobre a qualidade de serviço (QoS) de comunicação de tempo-real:
 - » Mas será que são necessárias as 7 camadas de comunicação do modelo OSI para o caso particular das redes de comunicação de tempo-real?





■ Redes de Comunicação de Tempo-Real

– Requisitos típicos de comunicação:

- » Transmissão eficiente de *pequenas quantidades* de dados;
- » Transmissão *periódica* de dados (monitorização, controlo, etc.), com *períodos curtos* (ms) e “jitter” reduzido;
- » Transmissão *rápida* (ms) de pedidos *aperiódicos* (ex. alarmes);
- » Transmissão de dados não tempo-real (ex. configuração);
- » “Multicast”.





Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)

■ Redes de Comunicação de Tempo-Real

– Requisitos típicos de comunicação:

- » O *atraso “ponta-a-ponta”* (“*end-to-end delay*”) tem que ser limitado superiormente;
- » Todos os serviços em todas as camadas tem que ter uma *duração limitada no tempo*;
- » As 7 camadas impõem um sobrecusto exagerado em termos temporais;
- » A *maior parte das aplicações de tempo-real*:
 - não precisam de camada de apresentação (não há necessidade de conversão de dados);
 - não precisam de roteamento (camada de rede);
 - utilizam mensagens curtas (não precisam de fragmentação / concatenação).

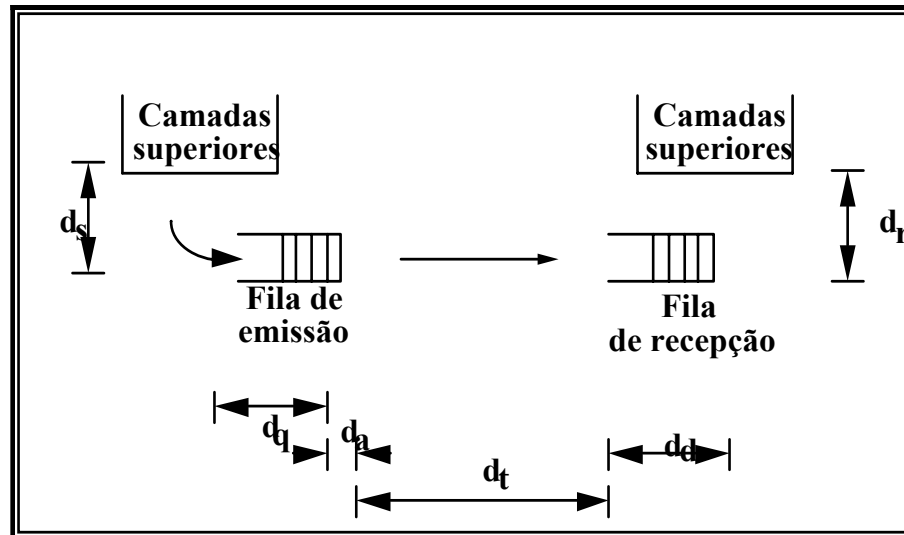




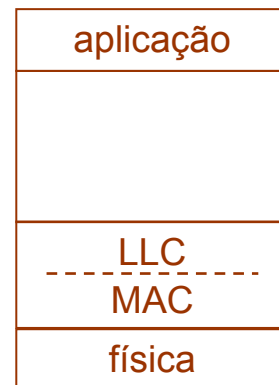
Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Impacto das Camadas de Comunicação sobre QoS (Qualidade de Serviço):

- Se se considerar unicamente o modelo OSI reduzido (camadas 7, 2 e 1):



- Os atrasos d_s , d_q , d_d e d_r dependem essencialmente do software de sistema ("stack de protocolo"; sistema operativo; etc.);
- Os atrasos d_a e d_t são função, respectivamente, da camada MAC e da camada física.





Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Camada Física

- » Define o canal de comunicação (e a sua qualidade);
- Topologia da rede
 - » Qual a multiplicidade de caminhos entre os diferentes nós (redundância de caminhos → roteamento)?
 - » Quantos nós podem ser considerados num único segmento?
- Relação sinal / ruído
 - A introdução de erros na camada física, impõe a execução de operações de correcção pelas camadas superiores.
 - » Qual a susceptibilidade da camada física a interferências externas (por ex. EMI)?
 - » Qual a taxa de erros imposta pelo ambiente de operação (cobre, fibras ópticas, ondas rádio, etc.)?

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Camada Física

- » Define o canal de comunicação (e a sua qualidade);
- Meio físico: cobre
 - » Cabos baratos, mas altamente susceptíveis a EMI;
- Meio físico: Fibra óptica
 - » Imune a EMI, o que favorece a segurança contra avarias acidentais (“*safety*”)
 - » Elevada largura de banda e baixa atenuação;
 - » Cabos e interfaces caros.
- Meio físico: Rádio
 - » Mobilidade, flexibilidade, mas muito susceptível a EMI.

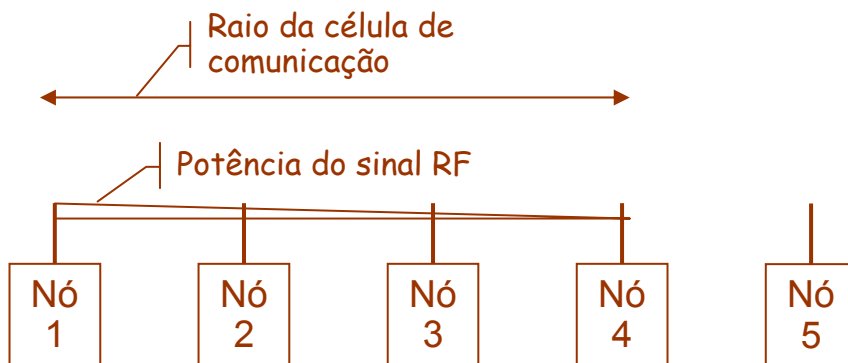
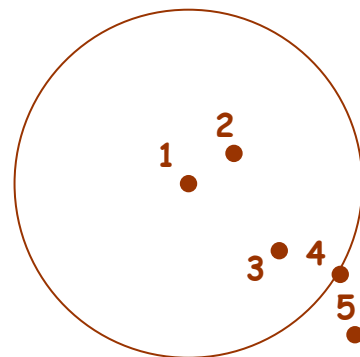
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Camada Física

- Caso especial das redes sem fios
 - » Em redes sem fios, a atenuação pode ser considerável (especialmente se houver obstáculos) e as transmissões podem não alcançar todos os nós da rede.



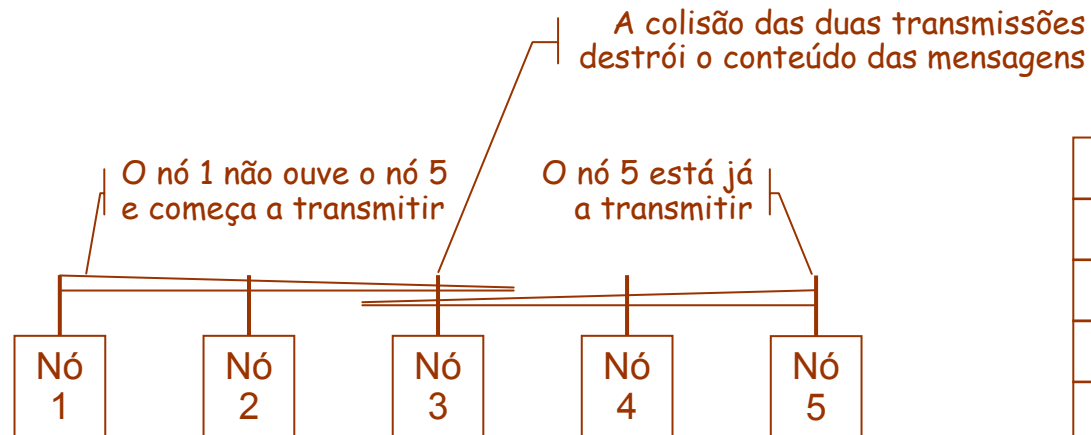
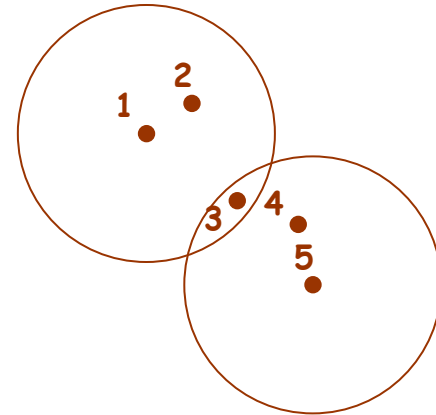
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Camada Física

- Caso especial das redes sem fios
 - » A atenuação é também responsável pelo fenómeno do “*hidden terminal*” que pode inviabilizar o estabelecimento de comunicação.



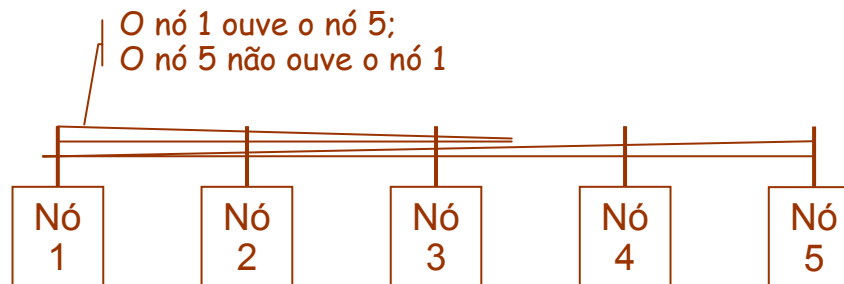
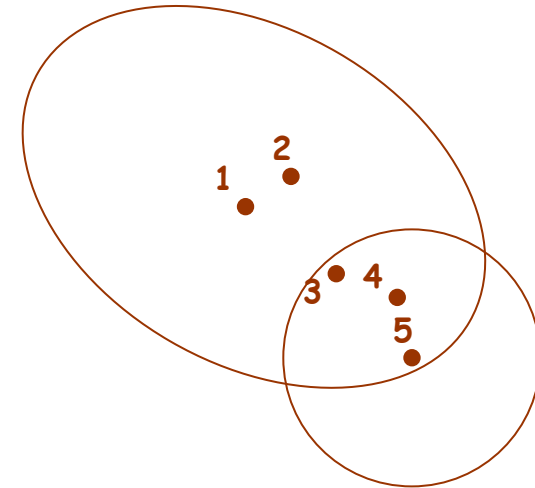
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Camada Física

- Caso especial das redes sem fios
 - » A potência de transmissão, a atenuação do canal e a eficiência das antenas pode provocar a existência de canais unidireccionais.



aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Ligação de Dados

Parte 1: Controle de Acesso ao Meio (MAC)

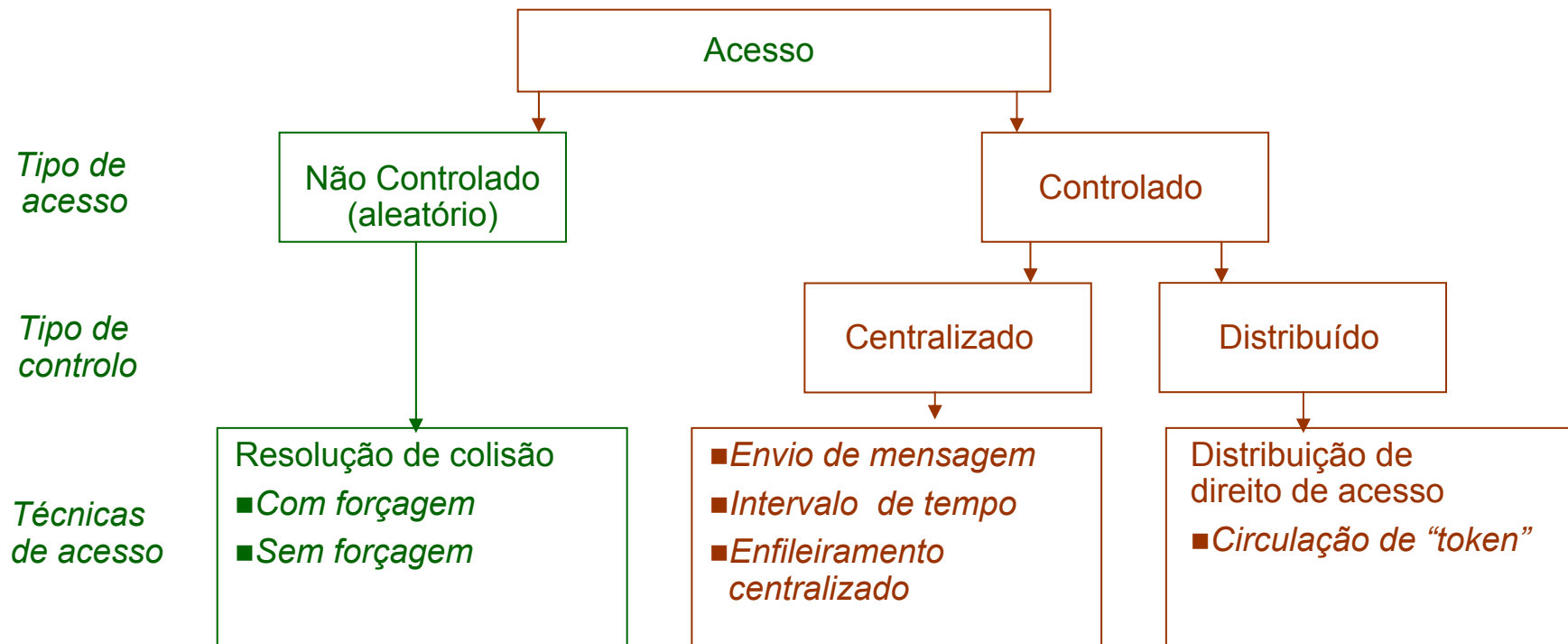
– Mecanismo de acesso

- » Define a forma como o *escalonamento da transmissão de mensagens* no meio de comunicação pode ser efectuado (ordem de acesso ao meio) .
- » Logo, representa um dos aspectos fundamentais a considerar para o *suporte de comunicação de tempo-real*, caso o meio seja partilhado entre múltiplos nós.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ MAC - As diferentes técnicas de Controle de Acesso ao Meio





■ **MAC - Acesso não controlado:**

- O acesso é baseado na análise prévia do meio de comunicação :
 - » Quando o meio de comunicação estiver livre, a estação que pretende transmitir poderá aceder ao meio;
 - » São definidas regras suplementares (que variam de protocolo para protocolo), por forma a reduzir a probabilidade de colisão entre múltiplas estações. É este conjunto de regras que define as propriedades de tempo-real.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Acesso não controlado:

- O acesso é baseado na análise prévia do meio de comunicação. Caso exista colisão devido a múltiplas transmissões em “simultâneo”, o acesso ao meio reage da seguinte forma:
 - » Acesso com forçagem: as estações conforme vão detectando a colisão, vão-se retirando do meio. Num certo momento, fica uma só estação transmitindo, que transmitirá até ao final sem detectar nenhuma colisão (forçou a passagem...);
 - » Acesso sem forçagem: No caso de ser detectada uma colisão, a estação abandona a tentativa de acesso. Posteriormente, poderá tentar retransmitir essa mensagem.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ MAC - Acesso não controlado:

- As regras utilizadas para a definição dos instantes de transmissão são determinantes para as propriedades de tempo-real destes protocolos.
- Exemplos: Shared Ethernet (IEEE 802.3)
 - » As colisões são destrutivas, e têm que ser detectadas durante uma janela de colisão (“slot”);
 - » Utiliza o algoritmo probabilístico BEB (“Binary Exponential Backoff”) para determinar o intervalo de “*backoff*”, ou seja, o intervalo de tempo que deve esperar antes de retransmitir de novo.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Acesso não controlado:

- Exemplos: WiFi (IEEE 802.11a/b/g)
 - » Utiliza um algoritmo equivalente ao algoritmo BEB para determinar o intervalo de “*backoff*”;
 - » Uma diferença fundamental é que a colisão só pode ser detectada no final da transmissão (porque quem emite, não consegue ouvir o meio de comunicação).
- Exemplos: IEEE 802.3 DCR
 - » Utiliza um algoritmo de resolução de colisão baseado na procura em árvore das estações participantes;
 - » Consegue implementar um sistema baseado em prioridades, o que é uma solução interessante para sistemas de tempo-real.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ **MAC - Acesso não controlado:**

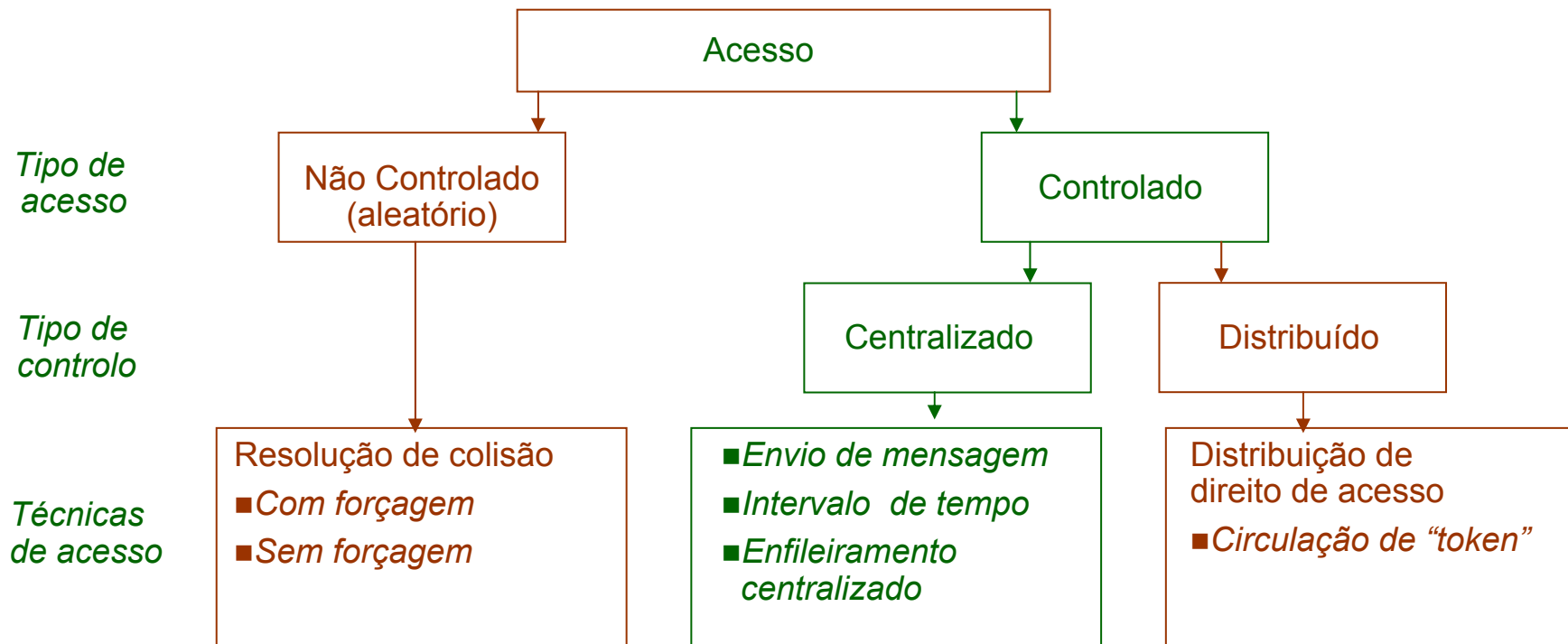
- Exemplos: LonWorks (utilizada na automação de edifícios)
 - » Utiliza um algoritmo baseado em “mini-slotting”;
- Exemplos: CAN (indústria automóvel, também utilizada na automação industrial)
 - » Utiliza um algoritmo de resolução de colisões com forçagem, ou seja, a mensagem de maior prioridade não detecta a existência de colisões;
 - » Solução perfeitamente determinística, logo muito interessante para sistemas de tempo-real.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - As diferentes técnicas de Controle de Acesso ao Meio





■ MAC - Controlo centralizado:

- 1 árbitro / N produtores (controlo por envio de mensagem)
 - » O árbitro decide (i.e., toma a função de escalonador) quando cada produtor pode utilizar o meio de transmissão para transferir as suas mensagens;
 - Os nós encontram-se sincronizados pelo árbitro/mestre;
 - Requer o envio de uma mensagem de controlo para autorização do envio de uma mensagem de dados pela parte do produtor
 - » Uma versão simplificada é o “mestre-escravo”, na qual só o mestre pode agir como produtor autónomo de informação.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ MAC - Controlo centralizado:

- Vantagens (controlo por envio de mensagem)
 - » Método simples, funcionando o árbitro como único ponto de coordenação;
 - » Escalonamento centralizado, logo de implementação facilitada. Trata-se de um escalonamento no qual o árbitro decide quando é que cada mensagem será transmitida no sistema (interessante para suportar comunicação de tempo-real).

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ **MAC - Controlo centralizado:**

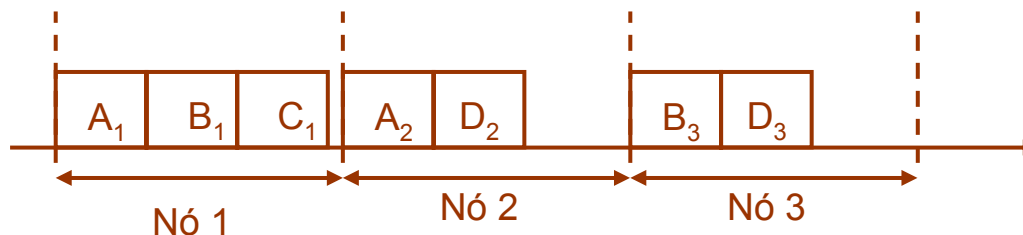
- Desvantagens (controlo por envio de mensagem)
 - » O árbitro representa um ponto crítico em termos de fiabilidade (ponto único de avaria);
 - » O árbitro é utilizado em cada transmissão de mensagem (inclusão de atrasos suplementares);
 - » Pouco eficiente no caso de haver poucos produtores activos.
- Exemplos:
 - » WorldFIP (EN50129), rede de campo definida inicialmente em França);
 - » Ethernet PowerLink;
 - » Bluetooth (dentro de cada “piconet”).

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ MAC - Controlo centralizado:

- TDMA (controlo por atribuição de intervalo de tempo)
 - » O tempo é dividido em time-slots e o acesso é garantido para cada estação dentro de um time-slot;
 - » A sequência de time-slots é pré-definida (escalonamento estático)
 - » Existe uma sincronização forte com o “bus time”, ou seja, os instantes de acesso estão pré-determinados;
 - » Requer a existência de sincronização (global) de relógios.



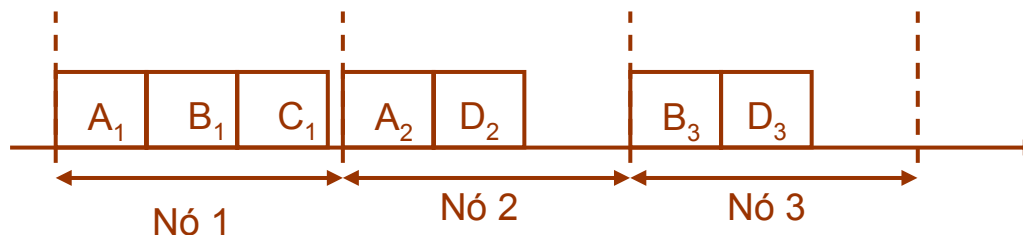
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Controlo centralizado:

- Características do acesso TDMA (controlo por atribuição de intervalo de tempo)
 - » O endereçamento pode ser baseado no tempo, diminuindo o overhead das mensagens;
 - » Vantagens / desvantagens inerentes a um escalonamento estático;
 - » A qualidade da sincronização de relógios entre as diferentes estações limita superiormente a utilização do esquema TDMA;
- Exemplos:
 - » TTP/C
 - » TTP/A



aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Controlo centralizado:

- Chaveamento (controlo por enfileiramento centralizado)
 - » Rede micro-segmentada através da utilização de um “switch”
 - » O “switch” processa as mensagens que chegam, interpretando os seus endereços de destino e roteando-a para a fila FIFO (?) da porta de saída endereçada;
 - Um “switch” pode ser “cut-through” ou “store-and-forward”, conforme a forma como as mensagens são re-direccionadas.
 - » No caso de “broadcasts” (ou de endereços desconhecidos), o “switch” envia a mensagem para todas as filas de saída.
- Exemplos:
 - » Switched Ethernet
 - » ATM

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ MAC - Controlo centralizado:

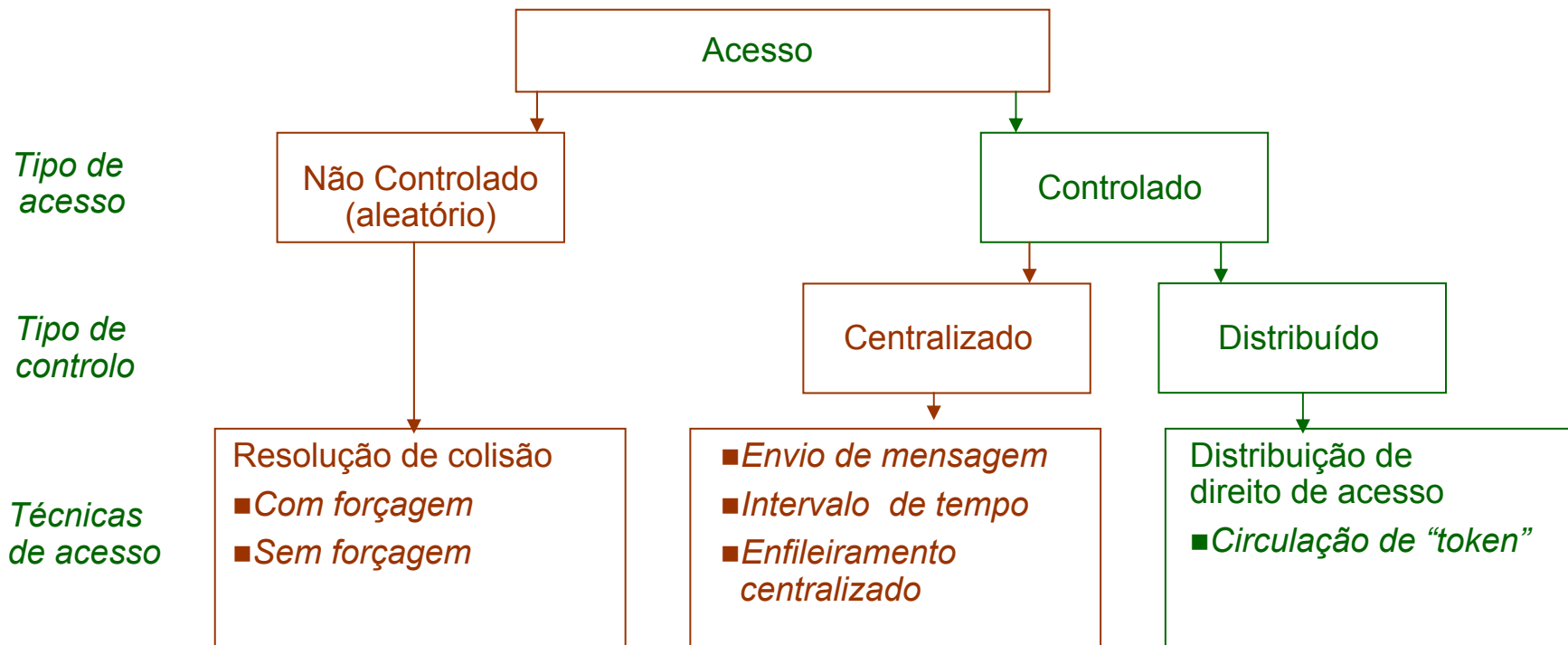
- Impacto sobre QoS (controlo por enfileiramento centralizado)
 - » Não existem colisões; mensagens concorrentes são armazenadas em memória e enviadas sequencialmente para as respectivas filas de saída do “switch”;
 - » O determinismo não pode ser garantido caso sejam utilizadas filas FIFO (o mais normal), devido à possibilidade de ocorrência de inversões de prioridade e de “overflow” das filas;
 - » Poderá ser obtido determinismo na transmissão de mensagens, caso seja efectuado o adequado escalonamento de mensagens no “switch”

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - As diferentes técnicas de Controle de Acesso ao Meio

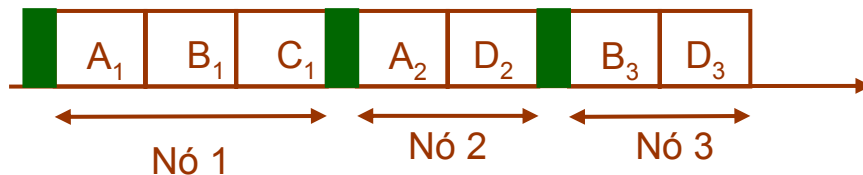




Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Controlo distribuído:

- Controlo por circulação de “token”
 - » *token*: mensagem de controlo circulada sequencialmente de estação para estação, entre um conjunto de estações pré-definido
 - » O acesso ao meio é garantido quando a estação recebe o token. Em consequência, a ordem de acesso ao meio é imposta pela circulação do token entre as diversas estações;



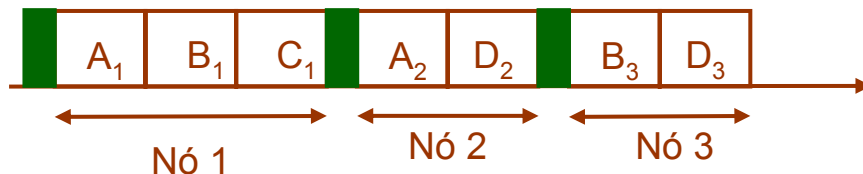
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Controlo distribuído:

- Controlo por circulação de “token”
 - » O acesso ao meio de comunicação é assíncrono, pois é impossível determinar à priori os instantes de transmissão das mensagens (no entanto poderá ser considerado como previsível, caso seja possível definir um limite máximo superior para o tempo de circulação do token).
- Exemplos:
 - » IEEE 802.4
 - » PROFIBUS
 - » FDDI



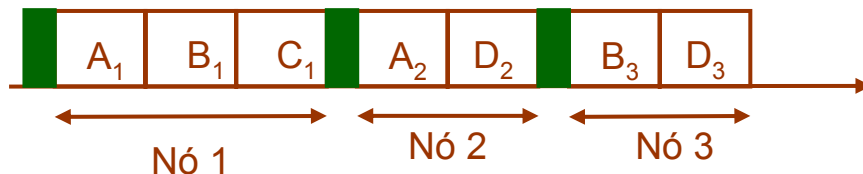
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ MAC - Controlo distribuído:

- Vantagens (quando comparado com um controlo centralizado)
 - » Mais fiável (o árbitro representa um ponto único de avaria);
 - » Tempos de resposta a pedidos esporádicos mais reduzidos;
 - » Melhor utilização da largura de banda.
- Desvantagens (quando comparado com um controlo centralizado)
 - » Usualmente é mais complexo;
 - » Mais difícil efectuar o escalonamento das mensagens de acordo com os seus requisitos temporais.



aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Ligação de Dados

Parte 2: Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC)

- Gere a transferência de informação ao nível da camada de ligação de dados, fornecendo serviços de comunicação orientados à conexão ou serviços sem conexão
- Serviços sem conexão: Não existe abertura de conexão entre os participantes na comunicação, para se iniciar a troca de mensagens.
 - » QoS: prioridade definida para cada mensagem individualmente enviada.
- Serviços orientados à conexão: Deve ser aberta uma conexão entre os participantes na comunicação, antes de iniciar a troca de mensagens.
 - » QoS: prioridade definida no estabelecimento da conexão;
- Serviços de controlo de erros

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

- **Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC)**
- **Serviços transferência de dados sem conexão:**
 - Não existe abertura de conexão entre os participantes na comunicação, para se iniciar a troca de mensagens.
 - QoS: A prioridade deve ser definida para cada mensagem enviada.

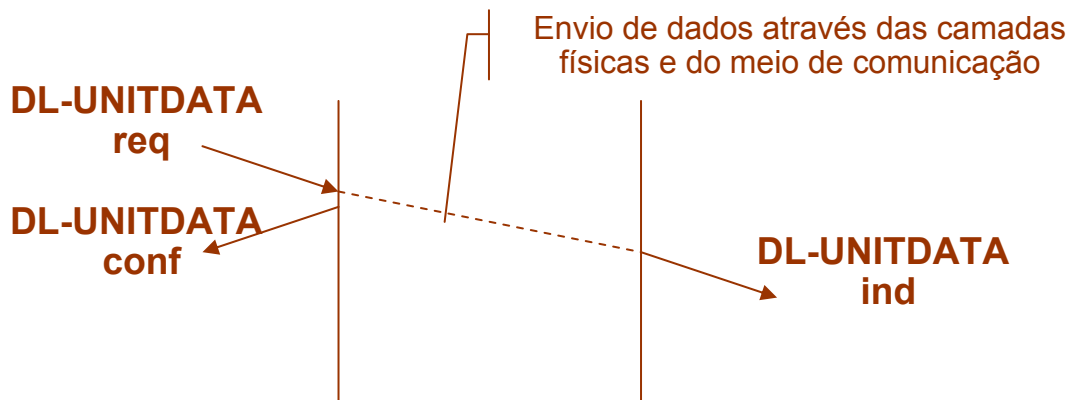
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC): Serviços sem conexão

- 1ª primitiva de comunicação: “Send Data with No acknowledge - SDN”
 - » Não existe sincronização entre receptor e emissor;
 - » Não existem problemas temporais, excepto no que respeita o controlo de acesso ao meio de comunicação;
 - » Pode ser utilizado para impor a sincronização entre diferentes participantes (“multicast” ou “broadcast”)



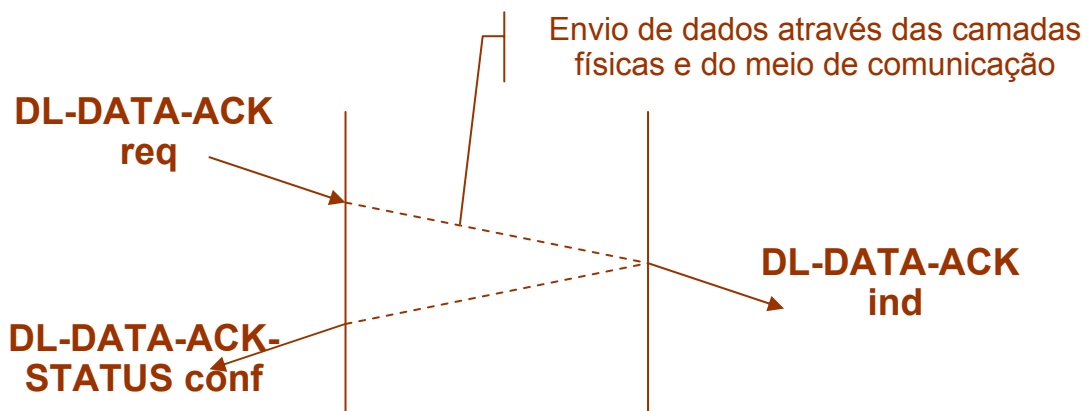
aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC): Serviços sem conexão

- 2ª primitiva de comunicação: “Send Data with Acknowledge - SDA”
 - » O emissor fica à espera de uma confirmação do receptor.
 - » O atraso da confirmação poderá ter implicações sobre as propriedades temporais da comunicação (depende da aplicação).



aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física

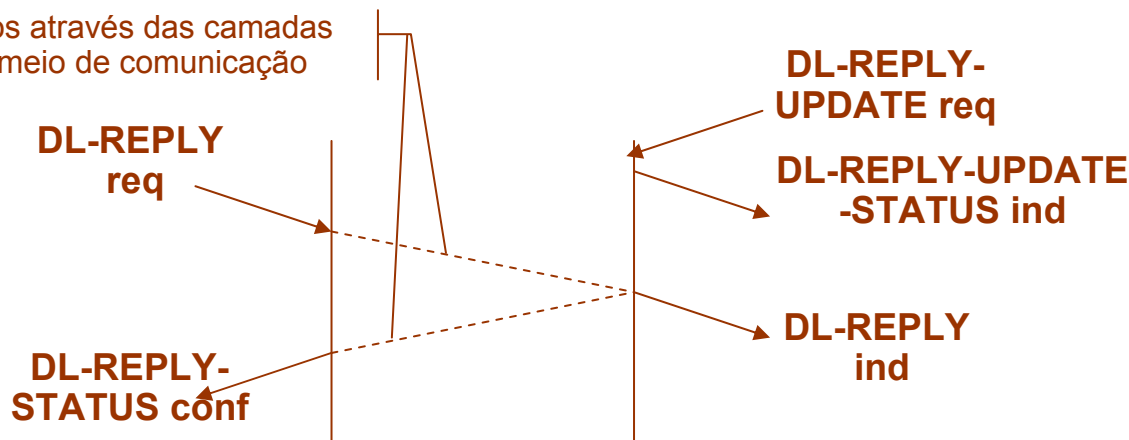


Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC): Serviços sem conexão

- 3ª/4ª primitivas de comunicação: Pedido de envio remoto de dados
“Request Data with Reply – RDR” / “Send Data with Reply – SDR”
 - » Exige uma resposta rápida pela parte do receptor, visto que o emissor fica à espera dos dados.
 - » Logo, o atraso da confirmação pode ter implicações severas sobre as propriedades temporais da comunicação.

Envio de dados através das camadas físicas e do meio de comunicação



aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

- **Controlo da Ligação Lógica de Dados (LLC)**
- **Serviços de transferência de dados orientados à conexão:**
 - Exige uma abertura prévia de conexão entre os participantes na comunicação, para se iniciar a troca de mensagens.
 - QoS: A prioridade associada à transferência de dados é definida no instante de abertura da conexão.
 - » Todos os dados transferidos através de uma conexão herdam a prioridade do canal estabelecido.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

- **Controlo da Lig. Lógica de Dados (LLC): Serviços orientados à conexão**
 - Serviços orientados à conexão
 - » Abertura de conexão
 - DL-CONNECT req / DL-CONNECT ind / DL-CONNECT resp / DL-CONNECT conf
 - » Transferência de dados
 - DL-DATA req / DL-DATA ind

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



- **Controlo da Lig. Lógica de Dados (LLC): Serviços orientados à conexão**
 - Serviços orientados à conexão
 - » Controlo de fluxo de dados
 - DL-CONNECTION-FLOWCONTROL req / DL-CONNECTION-FLOWCONTROL ind (c/ parâmetro indicando a quantidade de dados a transferir)
 - » Re-inicialização da conexão
 - DL-RESET req / DL-RESET ind / DL-RESET resp/ DL-RESET conf
 - » Fim de conexão
 - DL-DISCONNECT req / DL-DISCONNECT ind

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



Impacto da Estrutura de Comunicação sobre QoS

■ Controlo da Lig. Lógica de Dados (LLC)

■ Serviços de controlo de erros

- Esquemas de detecção de erros
 - » Desempenho do esquemas de detecção de erros.
- Esquemas de correcção de erros
 - » “*Automatic Repeat reQuest* (ARQ)”
 - Quando um erro é detectado, um pedido de repetição do envio é activado de imediato.
 - » “*Go back N*”
 - » “Forward Error Correction” (FEC)
 - O erro é identificado e corrigido através da utilização de códigos adequados.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Rede

- Negociação da Qualidade de Serviço (QoS) e do controlo de admissão;
 - » Reservação e gestão de recursos; Escalonamento de pacotes;
- Roteamento de pacotes em função de QoS
 - » Consideração de diferentes métricas para seleccionar o melhor caminho;
 - » Fornecer um nível mínimo de largura de banda (equidade) para os fluxos com requisitos mínimos de QoS;
 - » Fornecer “*graceful degradation*” de desempenho.
- Diferentes estratégias para garantir QoS:
 - » Orientadas ao fluxo de pacotes
 - IntServ + RSVP
 - » Orientadas aos “core / edge routers”
 - DiffServ

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Transporte

- Mecanismos de abertura / fecho de conexão
- Mecanismos de controlo de fluxo
- Mecanismos de controlo de erros.

■ Parâmetros de QoS da camada de Transporte

- Tempo para abertura de conexão:
 - » Máximo tempo aceitável entre ser activado um pedido de abertura de conexão ao nível da camada de transporte e a sua confirmação ser recebida pelo utilizador.
- Probabilidade de avaria (“*failure*”) de uma abertura de conexão:
 - » Probabilidade de não se conseguir estabelecer uma conexão num intervalo de tempo máximo.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Parâmetros de QoS da camada de Transporte

- Tempo para fecho de conexão:
 - » Máximo tempo aceitável entre um utilizador activar um pedido de fecho de conexão ao nível da camada de transporte e a sua confirmação ser recebida pelo utilizador-par.
- Débito (“*throughput*”):
 - » N.º de bytes de dados do utilizador enviados por unidade de tempo.
- Taxa de erro residual:
 - » Relação entre o n.º de pacotes perdidos, incorrectos e duplicados e o n.º total de pacotes enviados.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Parâmetros de QoS da camada de Transporte

- Protecção
 - » Utilizado pelo utilizador-emissor para especificar o interesse em que o protocolo de transporte forneça uma protecção contra leitura/modificação de dados efectuadas por terceiros não autorizados.
- Prioridade:
 - » Utilizada para especificar a importância relativa entre diferentes conexões de transporte.
 - » No caso de ocorrerem congestionamentos ou de existir a necessidade de recuperar recursos, as conexões de prioridade inferior passarão a ter um serviço em modo degradado (ou serão fechadas) antes das conexões de prioridade superior.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Aplicação

- Acesso a serviços de comunicação
 - » Arquitectura orientada a objectos
 - Ex: Function Blocks.
 - » Biblioteca de funções
- Modelos de Cooperação
 - » Modelo Cliente-Servidor;
 - » Modelo Produtor-Consumidor;
 - » Modelo Produtor-Distribuidor-Consumidor;
 - » Modelo “*Publisher-Subscriber*”.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Aplicação

- Modelo de Cooperação Cliente-Servidor;
 - » As transações são activadas pelo receptor da informação requerida (cliente);
 - » As estações que fornecem informação são os servidores; estas estações unicamente respondem a pedidos efectuados pelos clientes.
 - » Este modelo de cooperação é baseado em transmissão do tipo “*unicast*” (um emissor → um receptor).

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Aplicação

- Modelo de Cooperação Produtor-Consumidor;
 - » As transações são activadas pelas estações que fornecem informação (produtores);
 - » As estações que requerem informação, têm que previamente identificar esses pedidos, e posteriormente a informação ser-lhes-à fornecida pela rede (consumidores);
 - » Este modelo de cooperação é baseado em transmissão do tipo difusão (“broadcast”), na qual cada mensagem é recebida por todas as estações.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Aplicação

- Modelo de Cooperação Produtor-Distribuidor-Consumidor;
 - » Similar ao modelo Produtor-Distribuidor;
 - » Uma estação extra (o distribuidor ou árbitro), activa as transações na rede, com base em pedidos dos produtores, ou num escalonamento previamente efectuado (escalonamento estático).

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



■ Camada de Aplicação

- Modelo de Cooperação “*Publisher-Subscriber*”
 - » Elabora uma versão do modelo Produtor-Consumidor, com base no conceito de Comunicação de Grupo;
 - » As estações devem aderir a grupos, com o estatuto de “*publisher*” (produtor de informação) ou de “*subscriber*” (consumidor de informação);
 - » As transações são activadas pelo “*publisher*” do grupo e disseminadas unicamente para os respectivos “*subscribers*” (membros do grupo), através de comunicação do tipo “*multicast*”.

aplicação
apresentação
sessão
transporte
rede
dados
física



- **Introdução aos Sistemas de Tempo-Real**
- **Escalonamento de Tempo-Real**
- **Comunicação de Tempo-Real**
 - Conceitos fundamentais
 - Modelo de Referência
 - Impacto sobre a Qualidade de Serviço (QoS)
 - Escalonamento de mensagens em Redes Locais (LANs)
 - Exemplos de escalonamento: protocolos CAN e WorldFIP



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Sobre o escalonamento de mensagens em LANs

- Pode dizer-se que é similar ao problema do escalonamento de tarefas num sistema mono-processador, para o qual:
 - » Meio de comunicação ← Processador (recurso escasso a escalonar);
 - » Fluxos de mensagens ← Tarefas (sequência de mensagens/instâncias, com características temporais próprias);
 - » Mensagens a transmitir ← Instâncias de tarefas a executar;
 - » Duração máxima das mensagens de um fluxo ← duração máxima de execução de uma tarefa;
 - » Periodicidade de envio de uma mensagem ← periodicidade de activação de uma tarefa.



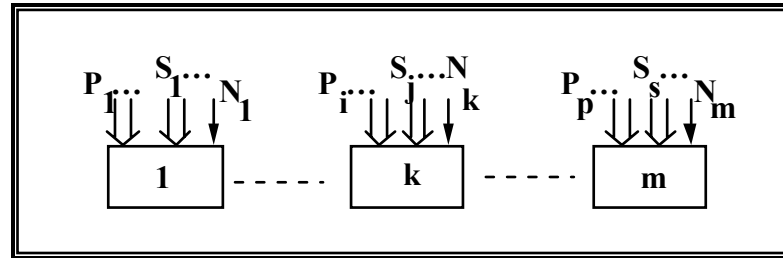
Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Sobre o escalonamento de mensagens em LANs

- Particularidade: trata-se de um escalonamento não-preemptivo (após se iniciar a transmissão de uma mensagem, não é mais possível interromper).
- A maior parte das análises estão focalizadas sobre a análise do máximo tempo de resposta (R) de um fluxo de mensagens (equivalente ao máximo tempo de resposta de uma tarefa);
- Podem também ser efectuadas análises baseadas no factor de utilização (U): análise de carga na rede.

Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Modelo de mensagens



- {P_i}: Fluxos de mensagens periódicas (ou síncronas) para os quais são definidos a *duração* de cada mensagem e a sua *periodicidade de envio*, estando também definida uma meta temporal para a entrega respectiva.
- {S_j}: Fluxos de mensagens esporádicas, para os quais são definidos a *duração* de cada mensagem e o *intervalo mínimo entre envios consecutivos*. Igualmente está definida uma meta temporal para a entrega das mensagens.
- {N_k}: Fluxos de mensagens aperiódicas (ou assíncronas), para as quais unicamente se impõe uma restrição à utilização do meio de comunicação.



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Parâmetros temporais

- Máximo *tempo de resposta* para a transferência de uma mensagem (R_{max}): máximo intervalo de tempo entre o pedido de envio de uma mensagem e a sua correcta recepção pela(s) entidade(s) consumidora(s);
 - Também referido como “*transfer delay*”.
- *Jitter*: variação do tempo de resposta
 - » deve ter um valor reduzido, visto o seu efeito na recepção ser impossível de anular;
 - » algumas aplicações são muito sensíveis à existência de “jitter”, e não tanto ao tempo de resposta (ex. “*data streaming*”).



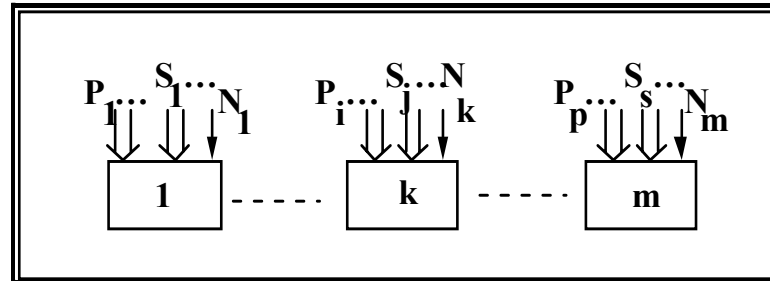
Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Parâmetros temporais

- **Débito** (“*throughput*”): quantidade de dados que a rede de comunicação é capaz de processar por unidade de tempo (bit/s, packet/s);
- Requisitos de **memorização** (“*buffering*”): quando a quantidade instantânea de dados a transferir é maior que a capacidade de transferência da rede de comunicação, é necessária a existência de uma capacidade de memorização adequada. Caso contrário, haverá perda de mensagens;
- Um parâmetro temporal importante é também o “**overhead**” de comunicação (que se pretende de reduzido valor).

Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Escalonamento de mensagens (MAC)



- O mecanismo de acesso define o escalonamento da transmissão de mensagens através de um meio de transmissão, segundo uma sequência de dois processos:
 - » A *arbitragem de acesso* que determina qual o fluxo de mensagens que pode aceder ao meio de transmissão;
 - » O *controlo do tempo de transmissão*, que determina durante quanto tempo uma estação pode utilizar o meio de transmissão.

aplicação
----- LLC MAC -----
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Escalonamento de mensagens (MAC)

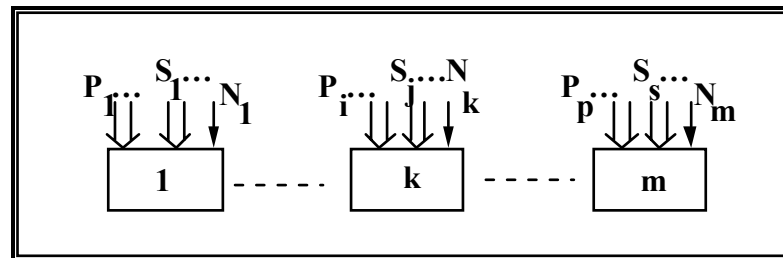
– 2 técnicas de escalonamento de mensagens são habitualmente definidas:

» *Classe 1*: Baseada numa arbitragem de prioridades global , que determina em cada instante qual o fluxo de mensagens que pode transmitir;

■ através da atribuição de prioridades a cada fluxo de mensagens.

» *Classe 2*: Baseada no controle do tempo de transmissão atribuído a cada estação;

■ através da atribuição de um intervalo de tempo, durante o qual a estação pode utilizar o meio de transmissão sem a interferência de outras estações.



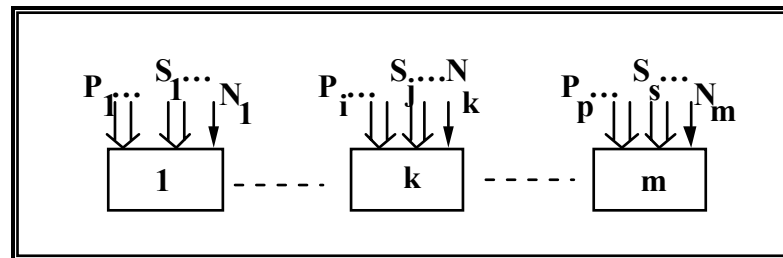
aplicação
----- LLC MAC
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 1

- **Classe 1:** Escalonamento do acesso ao meio de comunicação orientado ao fluxo de mensagens e baseado numa *arbitragem de prioridades global*.
- O escalonamento deve garantir que as metas temporais das mensagens são respeitadas;



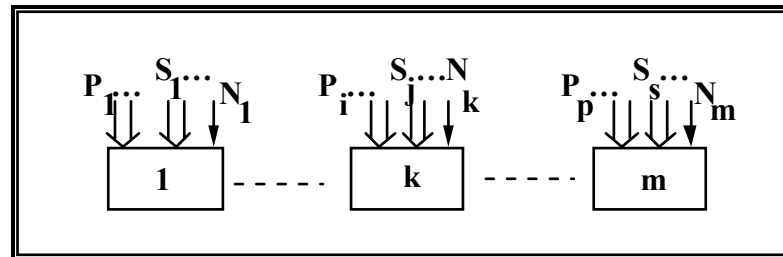
aplicação
----- LLC MAC -----
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 1

- Na utilização de um protocolo de classe 1 devem ser consideradas as seguintes limitações associadas ao escalonamento da transmissão de mensagens:
 - » O tempo consumido pela arbitragem de prioridades pode ser consideravelmente elevado;
 - » O numero de níveis de prioridades disponível pode ser limitado;
 - » A transmissão de mensagens é não-preemptiva.

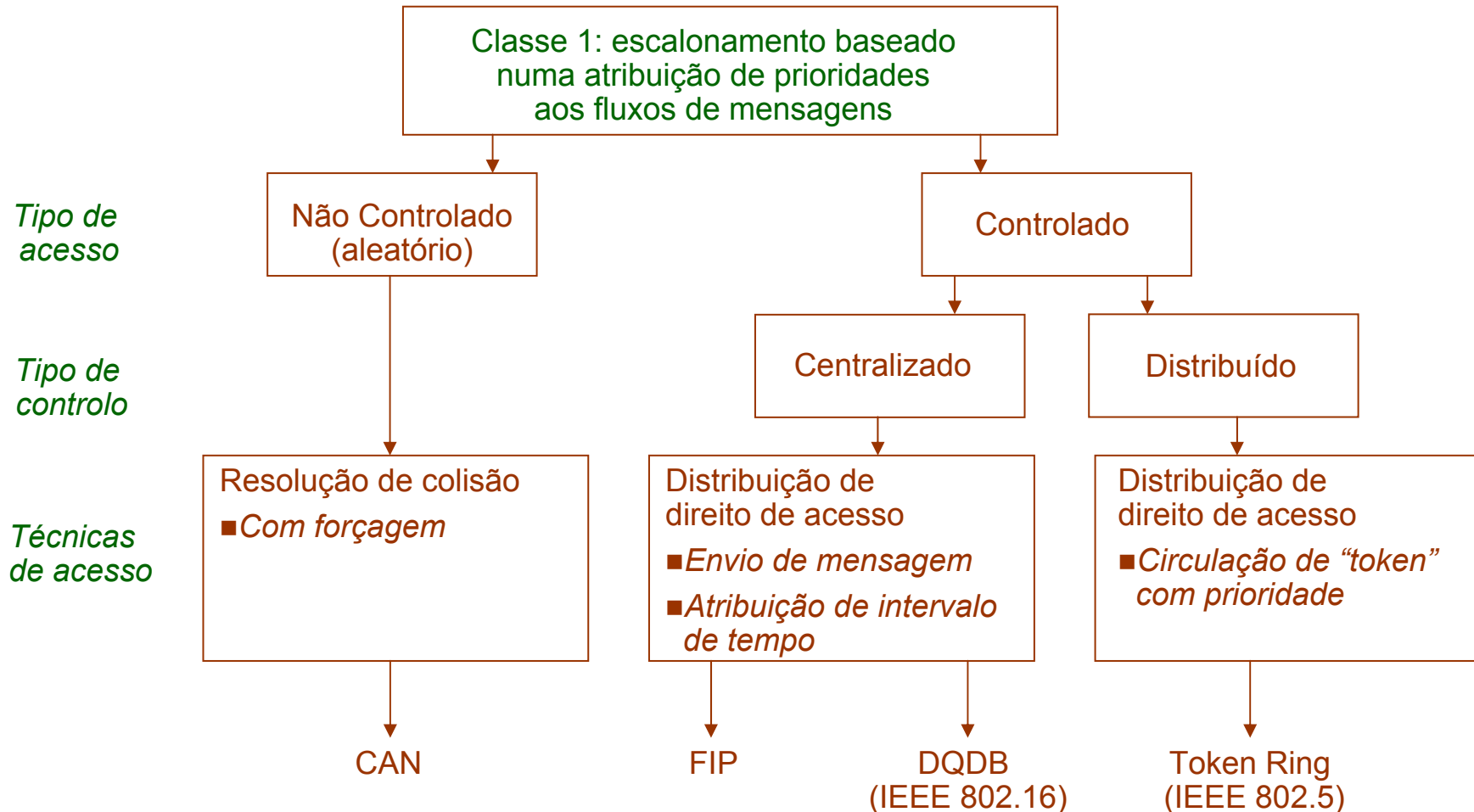


aplicação
----- LLC MAC -----
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

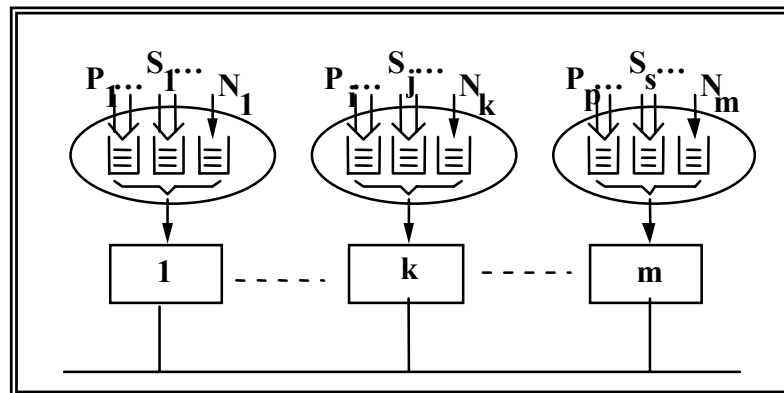
■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 1



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 2

- **Classe 2:** Escalonamento do acesso ao meio de comunicação baseado no *controle do tempo de transmissão* atribuído a cada estação.
- Não existe a noção de escalonador orientado ao fluxo de mensagens: durante cada intervalo de tempo atribuído a uma estação, esta decide qual (quais) o(s) fluxo(s) de mensagens que devem aceder ao meio de comunicação.;



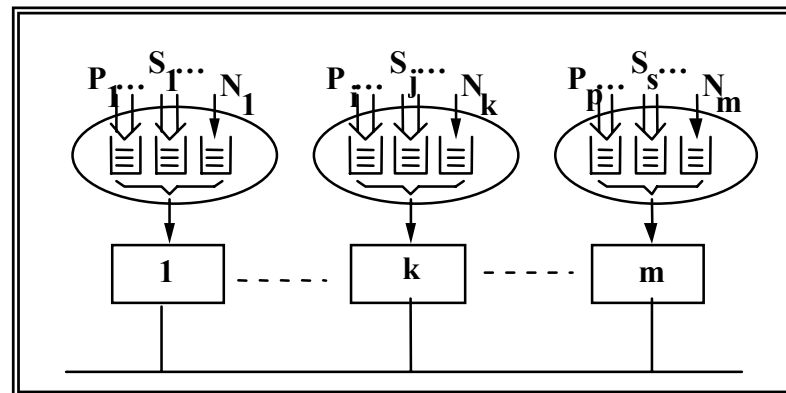
aplicação
LLC ----- MAC
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 2

- O processo de *controle do tempo de transmissão* deve garantir a cada estação uma *periodicidade de acesso ao meio* de comunicação compatível com a garantia das metas temporais associadas aos seus fluxos de mensagens.

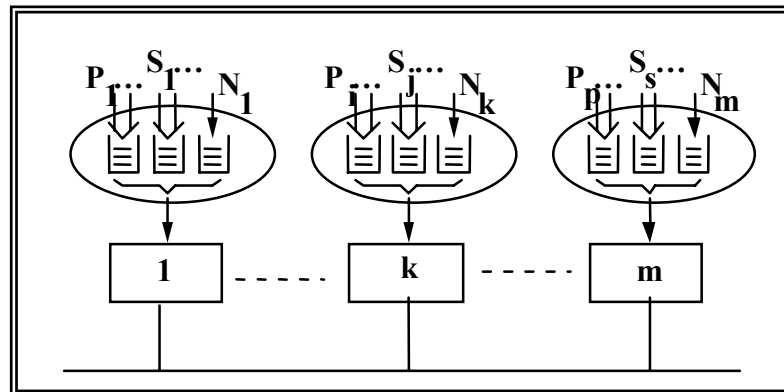


aplicação
----- LLC MAC -----
física

Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 2

- Na utilização de um protocolo de classe 2 devem ser consideradas as seguintes limitações associadas ao escalonamento de transmissão:
 - » O coeficiente de utilização da rede é geralmente bastante menor que no caso dos protocolos de classe 1;
 - » A inversão de prioridade na transmissão de mensagens é elevada;
 - » Tem boa flexibilidade de utilização.



aplicação
----- LLC MAC -----
física



Escalonamento de Mensagens de Tempo-Real

■ Implementação (MAC): Protocolos de classe 2

