



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Redes de Computadores

Módulo 2- Elementos de Protocolo

(Controlo da Ligação de Dados)

Universidade do Minho
Grupo de Comunicações por Computador
Departamento de Informática

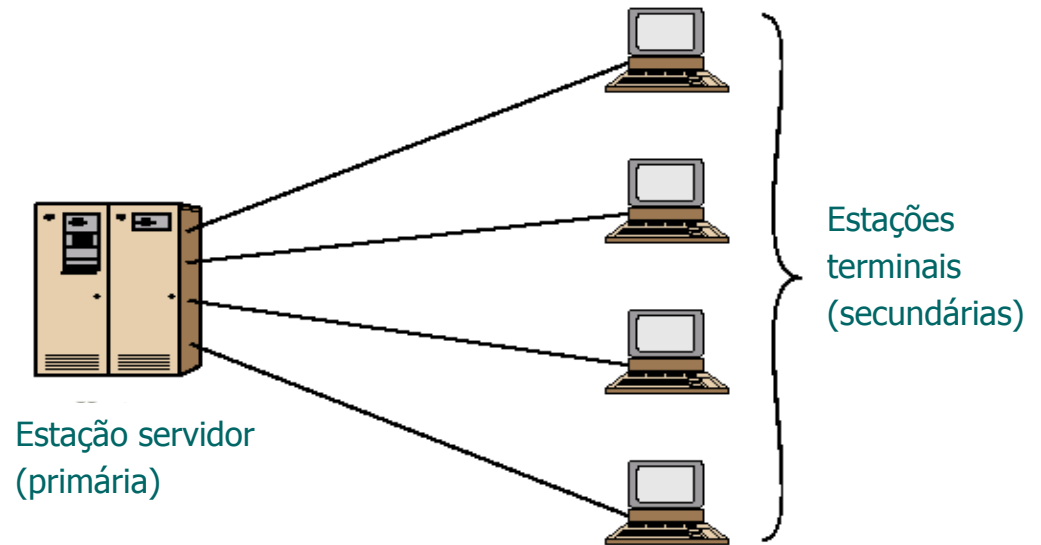
Controlo da ligação de dados

introdução

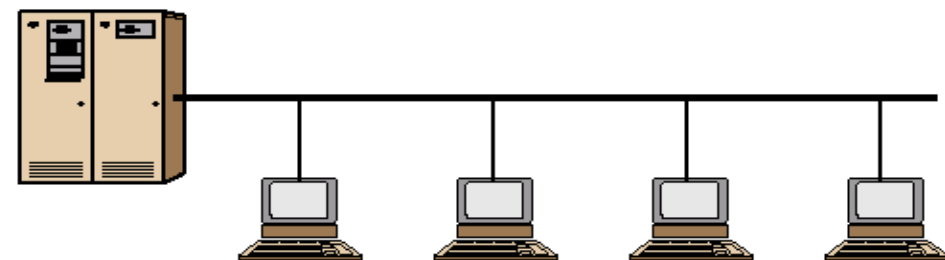


Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- A existência de ligações físicas e a transmissão de sinais analógicos ou digitais, por si só, **não** garantem a comunicação de dados entre entidades residentes em diferentes estações.
- São necessárias regras definindo como se faz a transferência dos dados



a) Ligações ponto a ponto (PP)



b) Ligações multiponto (MP)

Controlo da ligação de dados

introdução



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- A troca de dados entre entidades que pretendem comunicar deve ser regulada a fim de se criar um **contexto comum** e um **sincronismo** entre elas.
- As *regras* resultantes constituem o que se designa por *protocolo de comunicação*.

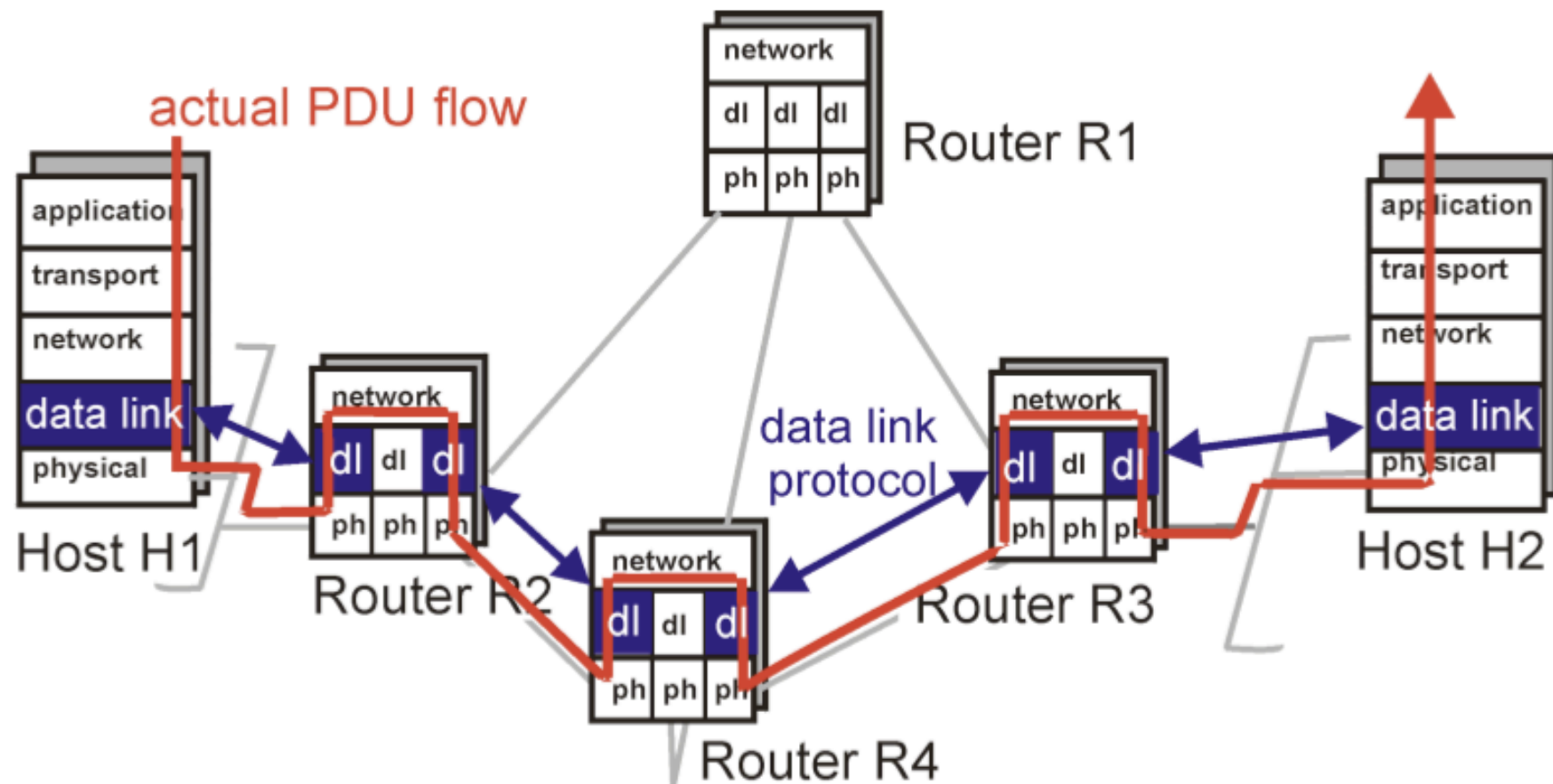
Os protocolos de ligação lógica ou ligação de dados constituem o primeiro nível de troca ordenada, controlada e fiável de dados entre sistemas interligados por meio de uma ligação física.

Controlo da ligação de dados

introdução



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



[Kurose and Ross, 2010]

Controlo da ligação de dados

introdução: funções distintivas dos níveis físico e lógico



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Nível físico

- envio de um sinal sobre um meio de transmissão
- sincronismo (nível do bit)
- codificação de linha
- modulação do sinal
- multiplexagem física
- interface com o meio

Nível de ligação lógica

- estrutura das tramas
- configuração e acesso à linha
- endereçamento
- controlo de fluxo
- controlo de erros
- gestão da ligação (controlo da troca de dados)

Controlo da ligação de dados

principais funções de um protocolo de ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **definição da trama** - formato da unidade de dados (Protocol data unit - PDU)
- **configuração da linha** - considera a topologia, define a disciplina de acesso à linha e a sua duplexidade
- **endereçoamento** - identifica as interfaces das estações que podem enviar e receber tramas
- **controlo de fluxo** - regula a cadência de tramas enviadas
- **controlo de erros** - detecta erros de transmissão e executa procedimentos de recuperação
- **gestão da ligação** - define como se faz o estabelecimento, a manutenção e a terminação da associação lógica.

Controlo da ligação de dados

definição da trama: exemplo de um formato e semântica



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Cada protocolo define um formato de PDU, bem como os valores, o significado e o comprimento dos seus campos. Exemplo:

←----- sentido da transmissão



valores do
campo do
endereço:

0001	= A
0010	= B
0011	= C
0100	= D
...	

valores e
significado
do campo
de tipo:

100	= trama-I
001	= trama-ACK (confirma)
010	= trama-NAK (rejeita)
101	= trama-Poll (cede controlo)
000	= trama-Select (estabelece)
011	= trama-Fin (termina)
...	

Campo de
Controlo de
erros

Tramas de
controlo

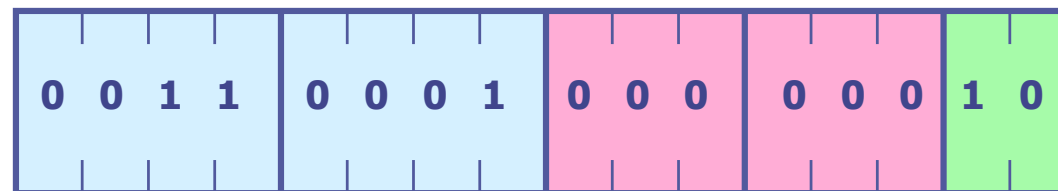
Controlo da ligação de dados

definição da trama: exemplo de um formato e semântica



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- As tramas de controlo não possuem o campo de dados e portanto são tramas curtas.
- Exemplo de uma trama-Select:



trama-Sel C, A, 0

Endereço de destino	Endereço de origem	tipo	número	CRC
(C)	(A)	(trama-Sel)	(0)	

- Nesta definição protocolar pressupõe-se que nas tramas de resposta (ACK e NAK) o **número** confirma a recepção no sentido oposto da trama **número - 1**
- Nas restantes tramas, o **número** representa a numeração de sequência da própria trama

Controlo da ligação de dados

protocolos (disciplinas) de linha



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Tipo de estações
 - Primária: faz gestão da ligação (1:n) (tramas comando)
 - Secundária: sob controlo da primária (tramas resposta)
 - Mista: partilha o controlo da ligação com outra do mesmo tipo (pode comportar-se como primária ou como secundária)
- Fases de uma ligação lógica:
 - 1) Estabelecimento da ligação: *trama-Sel* : *noReply, trama-ACK, ...*
 - 2) Transferência de dados: *tramas-I* : *tramas-ACK, trama-NAK, ...*
 - 3) Terminação: *trama-Fin* : *trama-ACK, noReply, ...*

Em geral, estas fases de controlo estão presentes em protocolos de linha quer PP quer MP.

Controlo da ligação de dados

protocolos de linha



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **Ligações Ponto-a-Ponto (PP)**
 - Em geral são ligações com um canal (circuito ou banda) para transmissão em cada sentido
 - Por usarem canal dedicado (não partilhado), a ligação lógica pode efectuar-se imediatamente porque o canal está naturalmente *adquirido*.
- **Ligações Multiponto (MP)**
 - Em geral são ligações com um único canal de transmissão que é partilhado por várias estações
 - A ligação lógica tem de ser precedida pela aquisição do canal através de um *protocolo de acesso ao meio* (*protocolo MAC*).

Controlo da ligação de dados

protocolos de linha: protocolo MAC (Medium Access Control)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

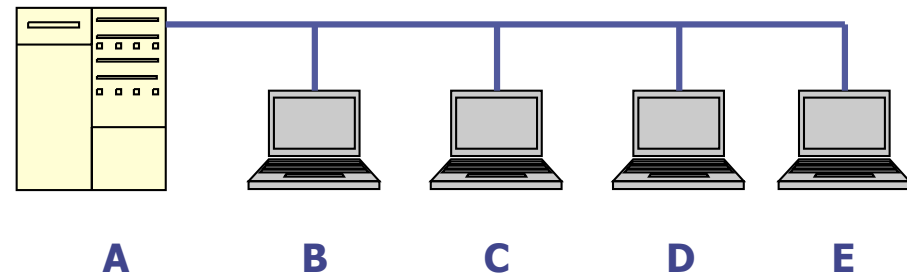
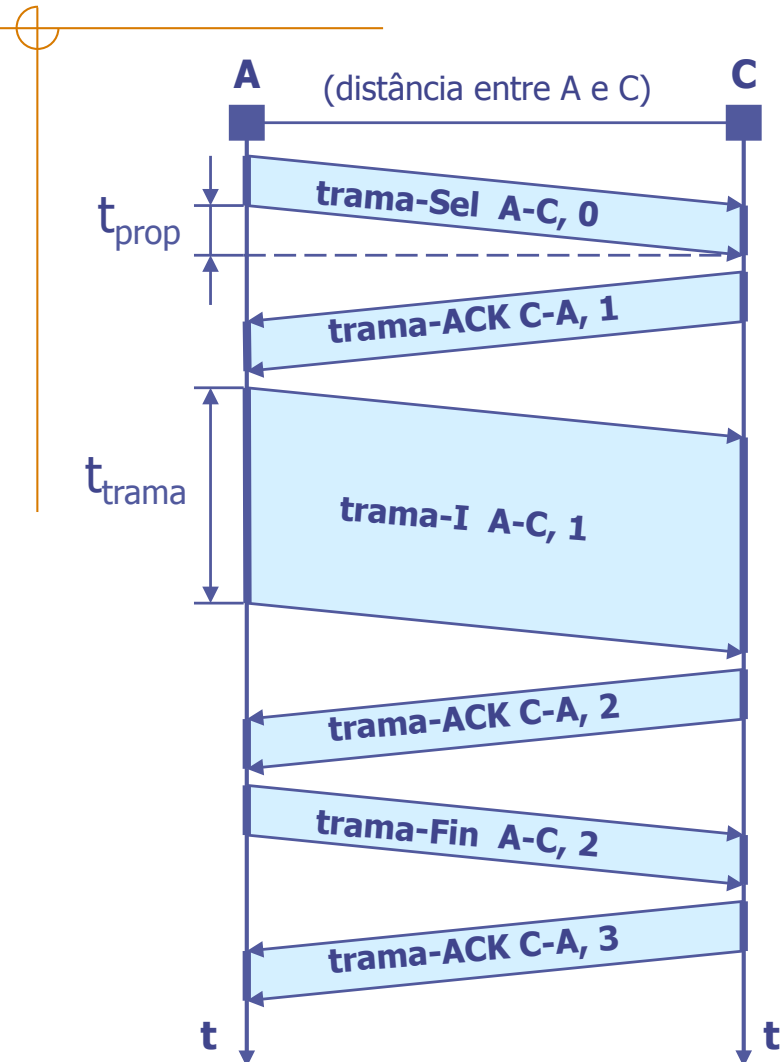
- Tipos de protocolos de acesso para ligações MP
 - **Poll/Select:** a estação primária passa o controlo para uma estação secundária (**poll**) ficando esta autorizada a **seleccionar** outra estação para enviar dados.
 - **Contencioso:** todas as estações são primárias e secundárias (mistas) podendo duas ou mais transmitir simultaneamente dando origem a colisões de tramas que terão de ser posteriormente retransmitidas. Existe contenção para a *aquisição* do meio.

Controlo da ligação de dados

protocolos de linha: Poll-Select



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Considere-se que a estação (A) é a primária e que as restantes são estações secundárias

A estação primária (A) selecciona a estação secundária (C) para lhe enviar dados

Diz-se que (A) estabelece uma ligação lógica com a estação (C)

t_{prop} = tempo de propagação entre A e C

t_{trama} = tempo de transmissão da trama-I

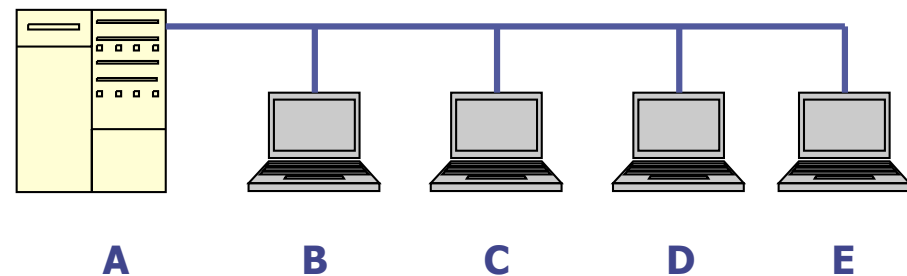
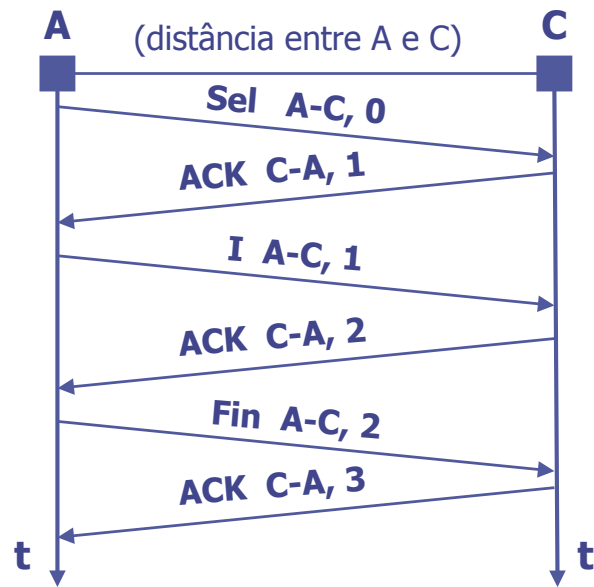
Controlo da ligação de dados

protocolos de linha: Poll-Select



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Diagrama anterior simplificado:



Considere-se que a estação (A) é a primária e que as restantes são estações secundárias

A estação primária (A) selecciona a estação secundária (C) para lhe enviar dados

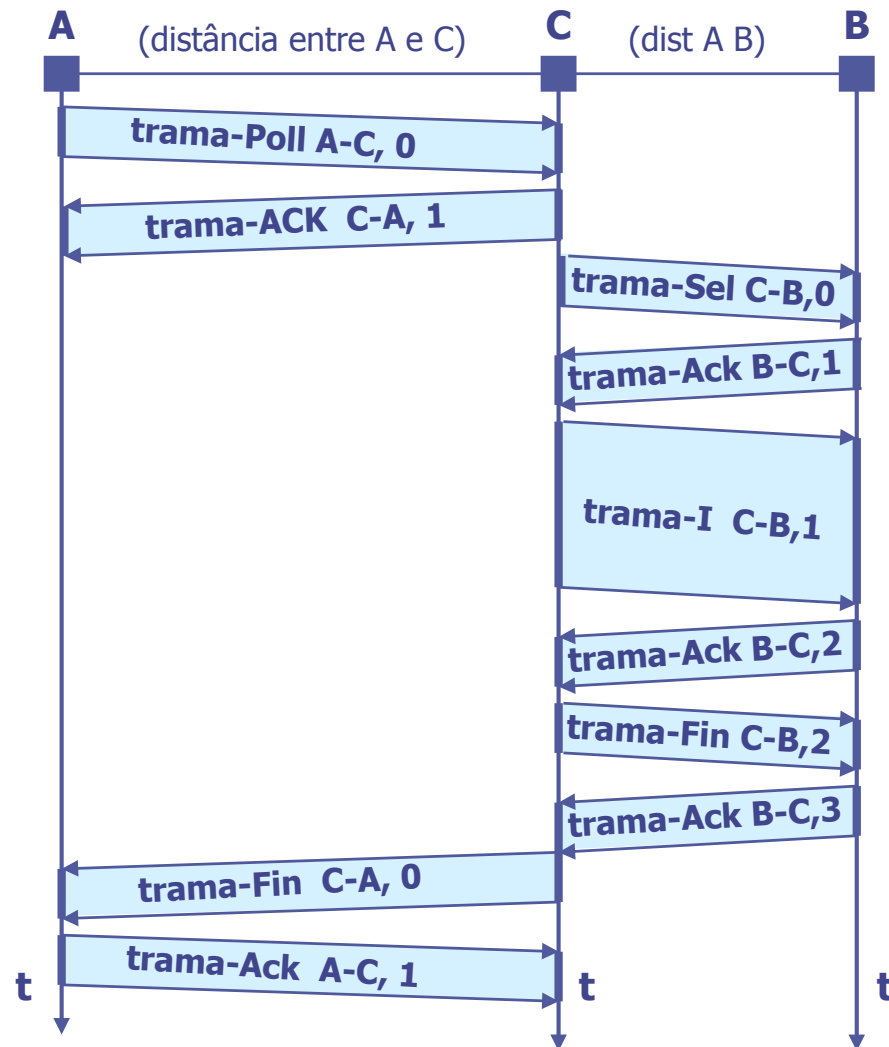
Diz-se que (A) estabelece uma ligação lógica com a estação (C)

Controlo da ligação de dados

protocolos de linha: Poll-Select, exemplo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



- 1) A estação primária (A) faz Polling à estação secundária (C) para lhe dar o controlo da linha
- 2) A estação secundária (C) passa a comportar-se como primária e estabelece uma ligação lógica com a estação secundária (B) para lhe enviar dados
- 3) Ao terminar a ligação com (B), a estação (C) devolve o controlo da linha à estação primária (A)

Controlo da ligação de dados

endereçamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Característica comum a todas as ligações multiponto: necessidade de endereçamento.
 - *Poll/select ; contencioso* - exige o endereço das estações envolvidas
- Numa ligação PP, não há a necessidade de se usar endereçamento nas tramas, embora seja usado a fim de dar generalidade ao protocolo.

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Técnica para assegurar que a estação que transmite não sobrecarrega a que recebe, evitando perda de tramas.
- Em geral, a existência de *buffers* na estação de recepção, reduz mas não elimina a necessidade de controlar o fluxo.
- A perda de tramas pode ocorrer, também, na(s) rede(s) de interligação das estações quando estas se encontram congestionadas nalgum ponto do percurso entre a estação que transmite e a que recebe.
- Técnicas mais comuns de controlo de fluxo:
 - *stop-and-wait*
 - *sliding window* (janela deslizante)

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- ***Stop-and-Wait***

- Após a transmissão de uma trama, a fonte aguarda confirmação da sua recepção (ACK) antes de transmitir a trama seguinte.
- O receptor pode parar o fluxo de dados suspendendo temporariamente as confirmações.
- Esta técnica funciona bem quando uma mensagem é fragmentada em poucas tramas de grande dimensão.
- Contudo, se o tamanho das tramas é grande...
 - é maior a probabilidade de erro na trama,
 - é maior ocupação de recursos (buffers, processadores),

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

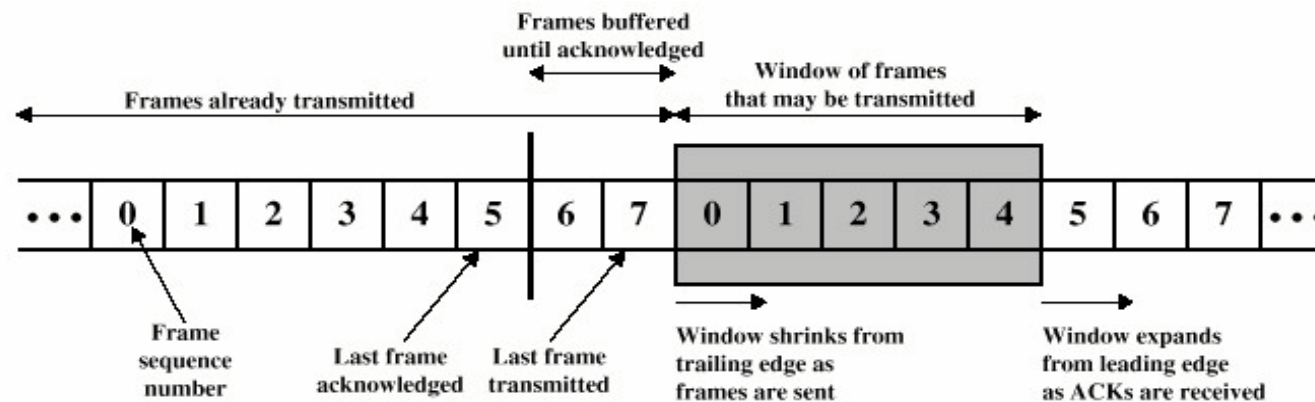
- ***Sliding-Window***
 - permite que existam múltiplas tramas de dados em trânsito
 - o transmissor pode enviar até **W** tramas de dados sem que receba qualquer confirmação da sua receção
 - obriga o uso de sequenciação (n bits, numeração módulo 2^n)
 - cada confirmação positiva indica a próxima trama esperada
 - pode haver confirmação simultânea de múltiplas tramas
 - existem mecanismos distintos para transmitir e receber
- **W** é designado **abertura da janela** ($W_{\max} = 2^n - 1$)

Controlo da ligação de dados

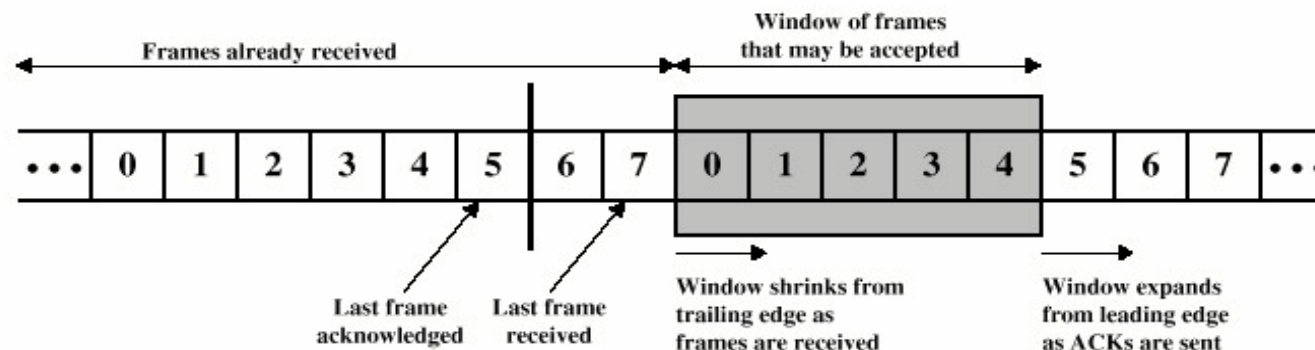
controlo de fluxo: janela deslizante, funcionamento



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



a) Na perspectiva da estação transmissora



b) Na perspectiva da estação receptora

Janela deslizante com $n=3$ e $W=7$

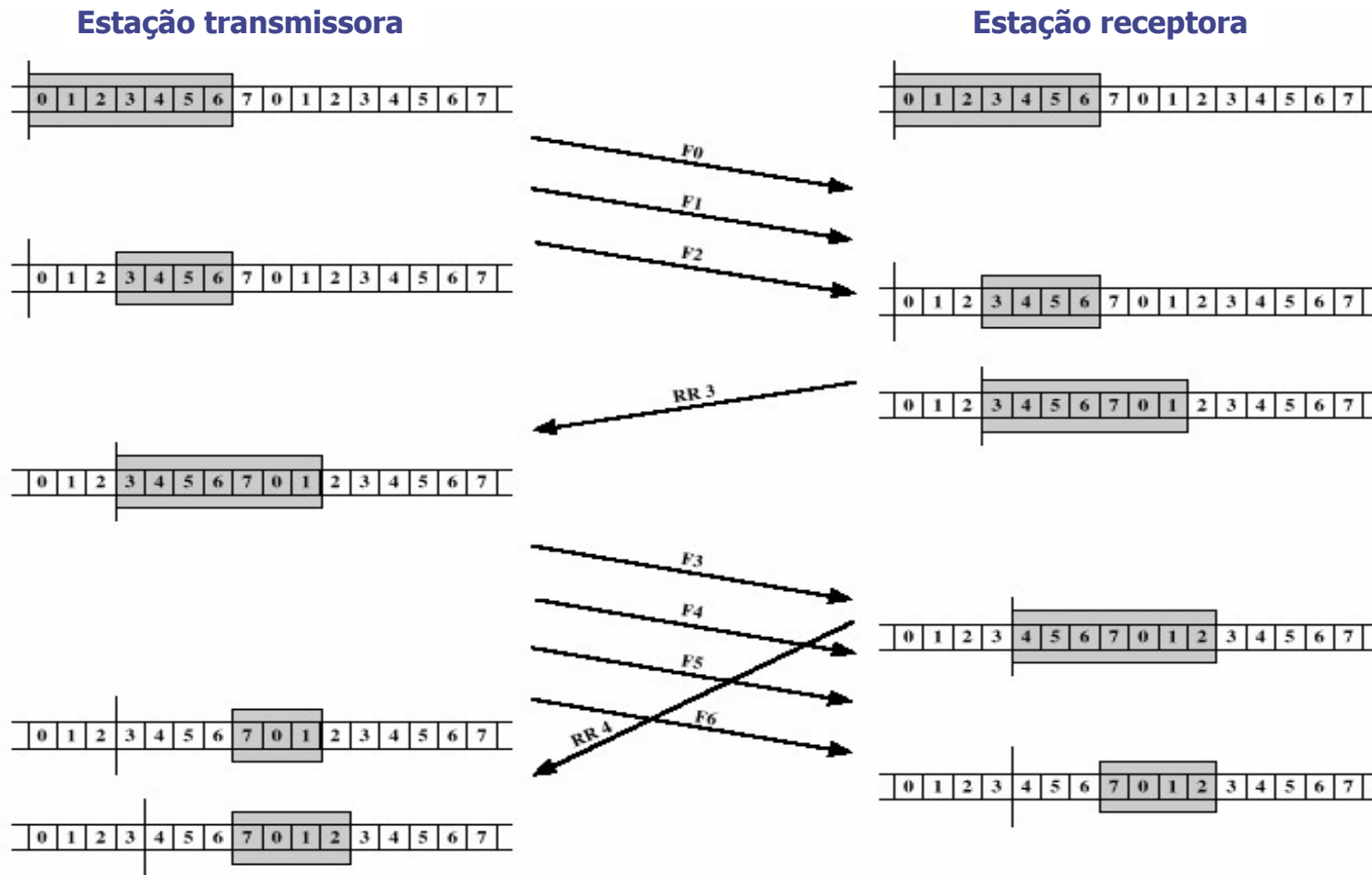
[DCC,Stallings07]

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Janela deslizante com $n=3$ e $W=7$

[DCC,Stallings07]

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- A utilização ou rendimento da ligação depende de **W** e do parâmetro **a**
- O parâmetro **a** é a razão entre o tempo de propagação e o tempo de transmissão

$$a = t_{\text{prop}} / t_{\text{trama}}$$

$$a = (d/v) / (L/r)$$

$$a = rd / vL$$

d - distância (m); v - velocidade de propagação (m/s);

L - comprimento trama (bits); r - ritmo de transmissão (bps)

Controlo de ligação de dados

parâmetro a . Exemplos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **Exemplo 1**: Rede LAN

Assumindo os valores:

Distância: duas estações a 10 km de distância

Velocidade prop.: $V = 2 \times 10^8$ m/s

Tamanho trama: $L = 1000$ bits

Ritmo de transmissão: $r = 10$ Mbps

Neste caso o parâmetro a tem um valor pequeno, $a < 1$

- **Exercício**: calcular $a = ?$

Controlo de ligação de dados

parâmetro a. Exemplos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **Exemplo 2:** Rede WAN com ATM

Assumindo os valores:

Distância: duas estações a 1000 Km de distância

Velocidade prop.: $V = 2 \times 10^8$ m/s

Tamanho trama: $L = 424$ bits

Ritmo de transmissão: $r = 155$ Mbps

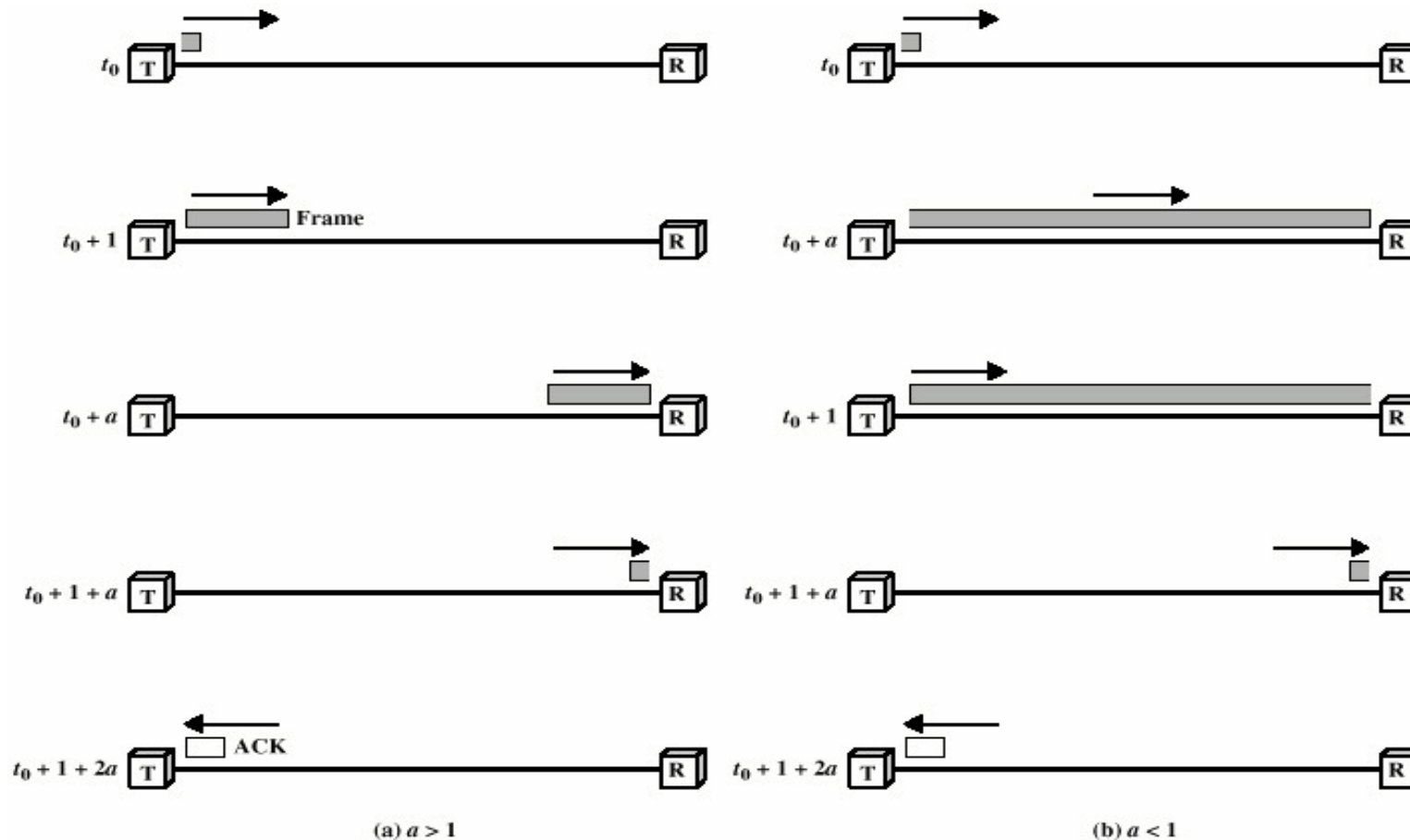
- **Exercício:** calcular $a = ?$

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação (Stop-and-Wait)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



fazendo $t_{\text{trama}} = 1$ tem-se $t_{\text{prop}} = a$ Efeito do parâmetro a

[DCC, Stallings07]

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- *Stop-and-Wait (Pára-e-Espera)*

- Exemplo: uma estação envia n tramas para outra estação. Por cada trama enviada há uma de confirmação, ou seja, dois tempos de propagação:

$$t_{\text{total}} = n * (2 t_{\text{prop}} + t_{\text{trama}})$$

$$t_{\text{util}} = n * t_{\text{trama}}$$

(tempo de transmissão dos acknowledges e processamentos adicionais nas estações são considerados =0)

- A **Utilização** da ligação é a fração do tempo total que é útil, ié, que é utilizado a transferir tramas de dados, $U = t_{\text{util}} / t_{\text{total}}$:

$$U = 1 / (1 + 2a)$$

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- **Exercícios:**

1. Qual a utilização obtida pelo método *stop-and-wait* para os dois exemplos anteriores (acetatos 21 e 22) ?
2. Que ritmo de transmissão deve ser considerado no exemplo 1 (acet. 21) de forma que um mecanismo de *stop-and-wait* obtenha um factor de utilização de 80% ?

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- *Sliding Window (Janela Deslizante)*

Exemplo: ligação *full-duplex* entre duas estações A e B

- Caso 1 - A estação A transmite continuamente. A confirmação de chegada da trama 1 ocorre **antes** da janela se fechar, então

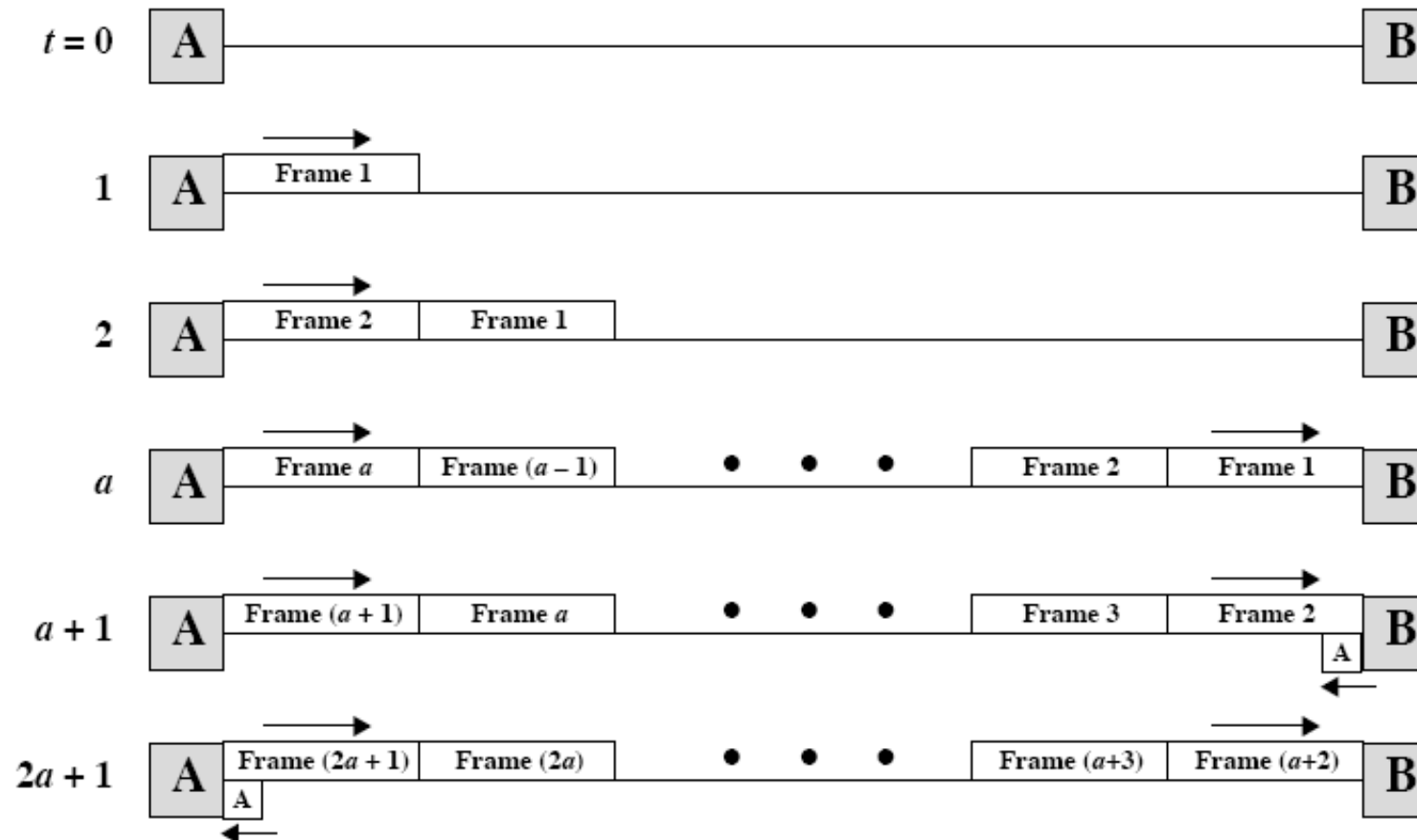
$$U = 1 \quad \text{se} \quad W \geq 2a + 1$$

- Caso 2 - A estação A tem a janela fechada em $t_0 + W$ e não pode enviar tramas até $t_0 + 2a + 1$ (chegada do primeiro ACK), então

$$U = W / (2a + 1) \quad \text{se} \quad W < 2a + 1$$

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação

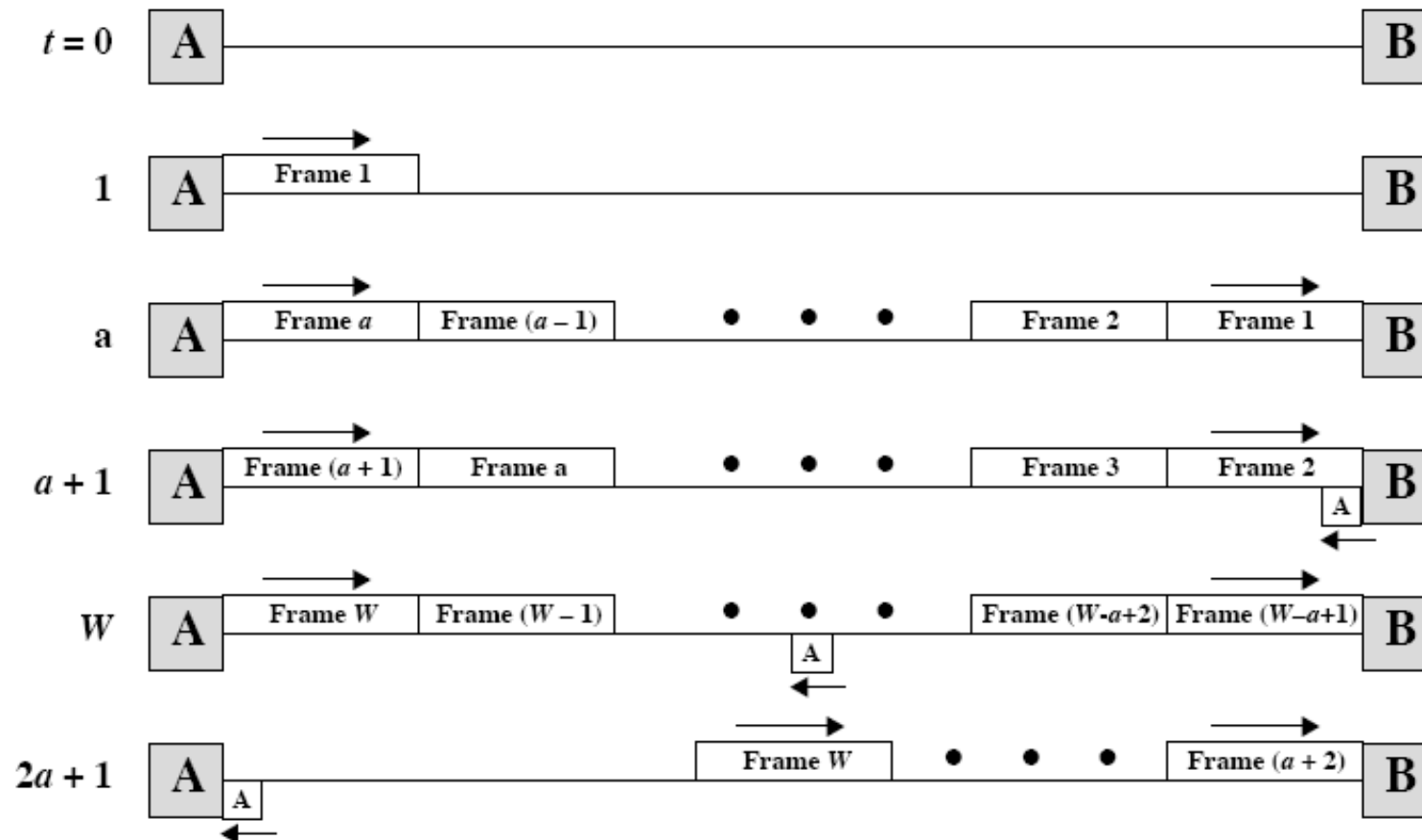


(a) $W \geq 2a + 1$

A trama ack 1 chega antes da janela da estação A fechar

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



(b) $W < 2a + 1$

A janela fecha antes de ack 1 chegar à estação A

Controlo da ligação de dados

controlo de fluxo - utilização da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

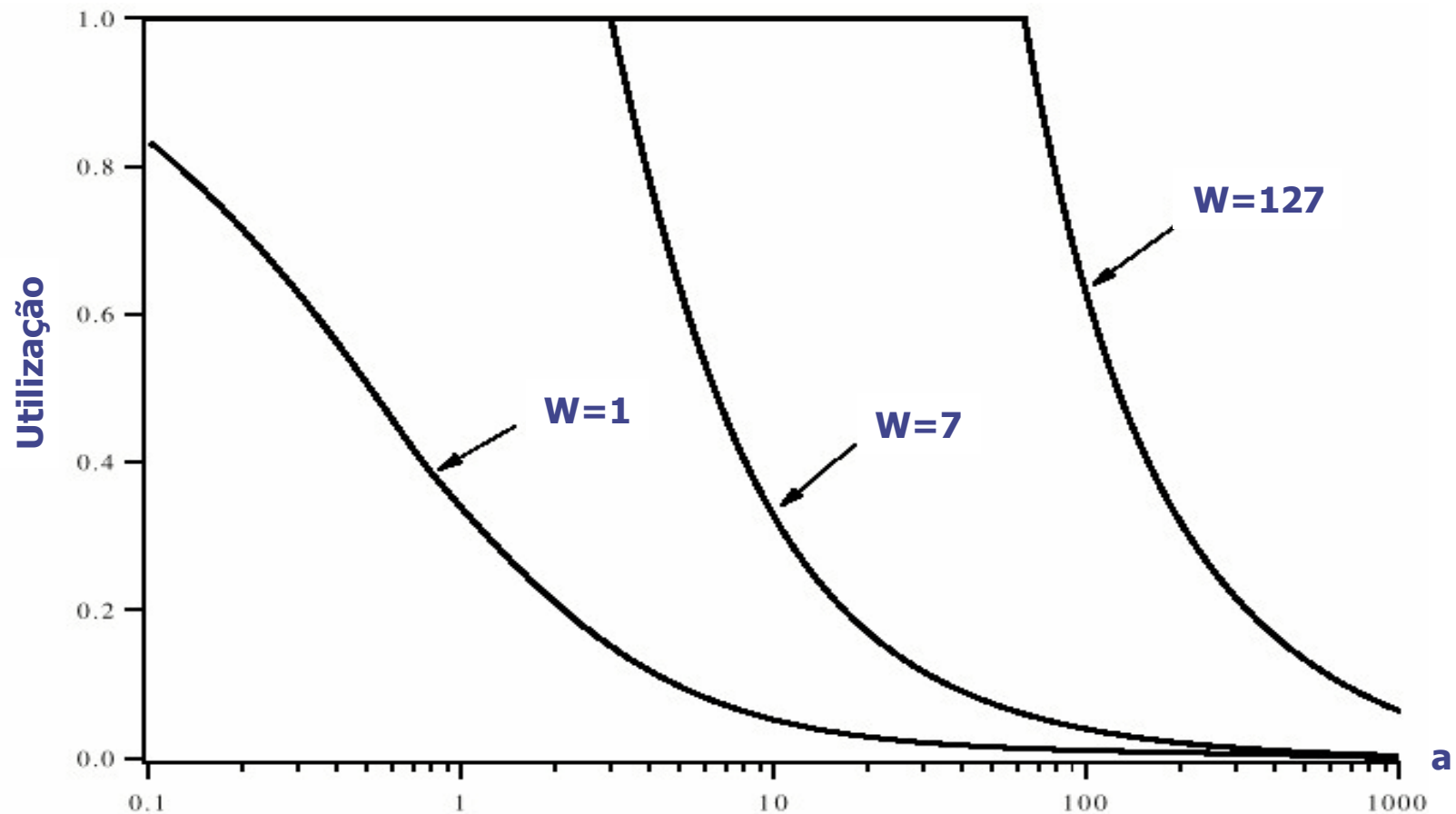
- **Exercício:**
 - Qual o tamanho de janela necessária para se obter um grau de utilização de 50% no exemplo 2 (acetato 22) ?

Controlo de ligação de dados

controlo de fluxo - utilização (rendimento) da ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Utilização = $U(a)$

[DCC, Stallings07]

Controlo de ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Envolve a detecção de falhas nas tramas trocadas de modo a tornar a ligação de dados fiável.
- Tipos de falhas: trama perdida ou trama errada
- As técnicas para controlo de erros são ARQ, que envolve:
 - detecção de erros na trama recebida através do CRC
 - confirmação positiva: para tramas recebidas sem erros
 - confirmação negativa e retransmissão: para tramas onde é detectado erro
 - retransmissão por limite de tempo - se não é recebida confirmação de trama, dentro do período de tempo t

Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- O ARQ (Automatic Repeat reQuest):
 - processa-se de forma automática e contínua, sem qualquer intervenção do utilizador
 - Existem diversas alternativas para métodos de ARQ
- Métodos ARQ:
 - ***Stop-and-wait*** *(Pára-e-espera)*
 - ***Go-back-N*** *(volta-atrás-N)*
 - ***Selective Reject*** *(rejeição selectiva)*

Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

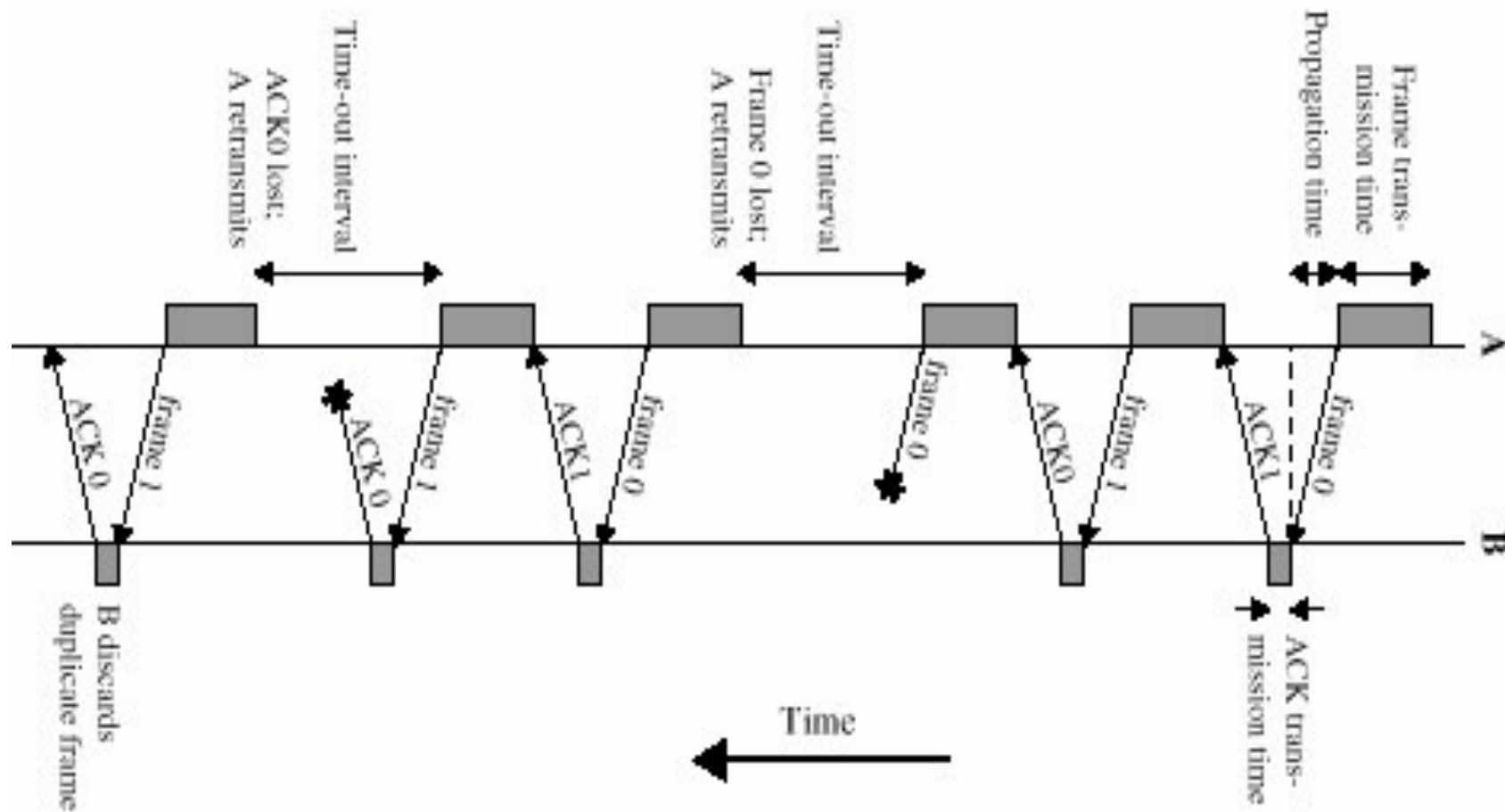
- ***stop-and-wait (ou idle RQ)***
 - usado na técnica de controlo de fluxo *stop-and-wait*
 - transmissor:
 - activa temporizador e mantém cópia da trama até obter ACK
 - no máximo espera *timeout* até transmitir de novo
 - receptor:
 - envia ACK, NAK (pedido explícito) ou *no reply* (pedido implícito)
 - sequenciação necessária para resolver a situação de erro na trama de confirmação (duplicação da trama)
 - vantagem: simples; desvantagem: reduzida eficiência

controle de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

stop-and-wait



Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- ***volta-atrás-N***
 - usado na janela deslizante
 - a falta de sequenciação ou erro na recepção implica a retransmissão a partir de uma determinada ordem.

Exemplos de situações:

- A trama_i enviada está corrompida ou foi perdida durante a transmissão
 - Ao receber a trama_{i+1} o receptor gera um REJ i. O emissor tem de transmitir a trama_i **e todas as seguintes**
 - Se o receptor não recebeu mais nenhuma trama o emissor terá um processo de *timeout* (ex. em HDLC gera uma trama Receiver Ready (RR) com bit P =1 obrigando o receptor a confirmar a próxima trama de que está à espera. Neste caso o receptor envia a trama RR i, com o bit F=1)

Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- ***volta-atrás-N***

- **Exemplos de situações:**

- Confirmações perdidas
 - Receptor recebe a trama_i e envia confirmação RR i+1 que é perdida no caminho. Como as confirmações são cumulativas qualquer outra confirmação posterior poderá confirmar a trama_i, ex: receção da trama_{i+1} e envio de RR i+2
 - Em caso de não haver recepções posteriores um processo de *timeout* irá obrigar o emissor a pedir confirmação do estado ao receptor
 - Rejeições perdidas
 - Mecanismos de recuperação similares aos explicados anteriormente....

Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- ***rejeição selectiva***

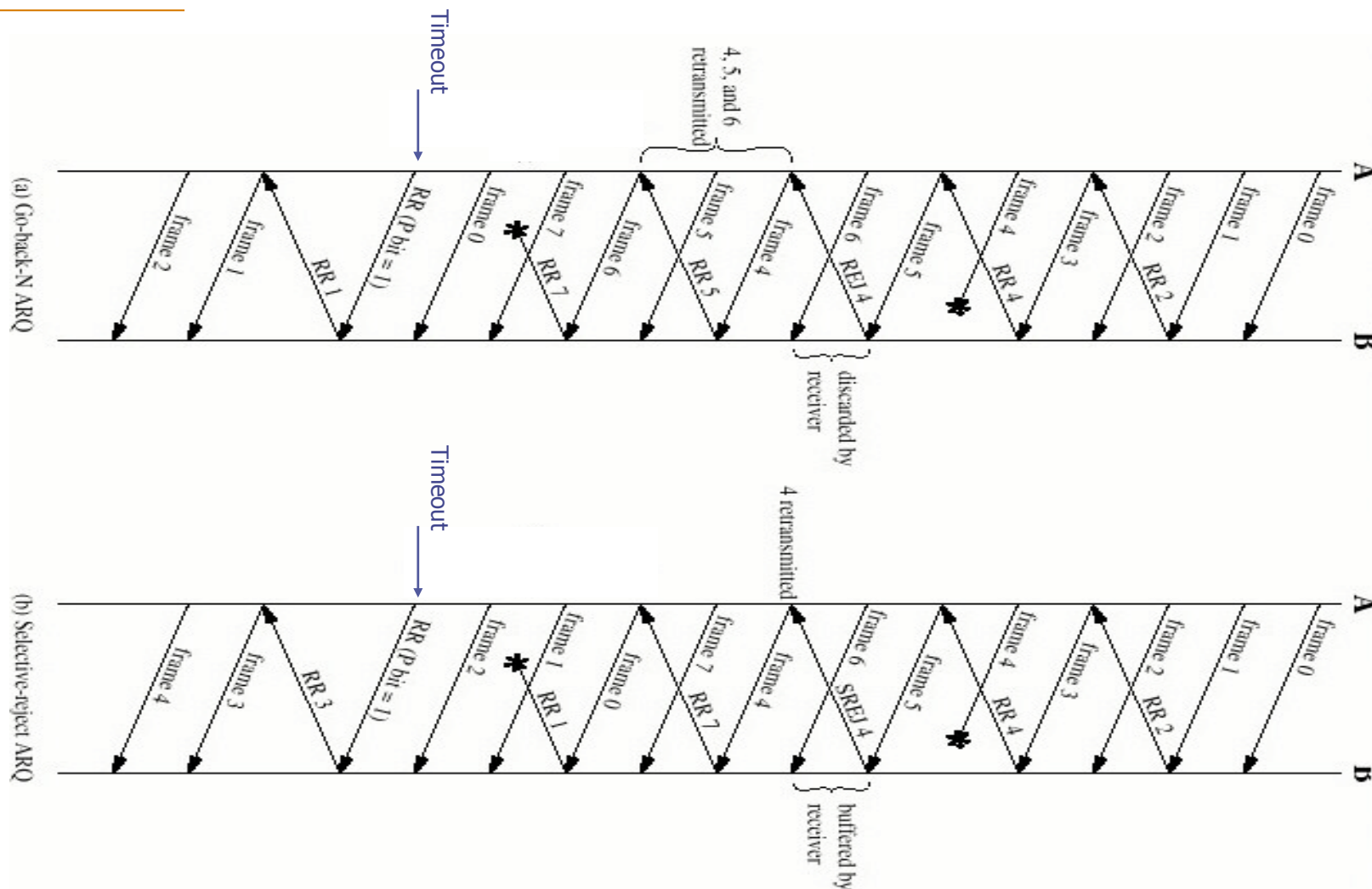
- alternativa possível na janela deslizante
- apenas são retransmitidas as tramas que recebem confirmação negativa explícita (SREJ) ou se ocorre *timeout*.
- Trama posteriormente transmitidas e correctamente recebidas não tem que ser retransmitidas
- W_{\max} mais restritivo para não sobrepor as janelas na transmissão e na recepção (**$W_{\max} = 2^n - 1$ e não $W_{\max} = 2^n$**)
- vantagem: menos retransmissões, melhor utilização da ligação
- desvantagem: requer mais processamento (e controlo) na transmissão e na recepção

Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática



Controlo da ligação de dados

controlo de erros



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- No mecanismo de rejeição selectiva a ordem das tramas na recepção não é mantida daí que:
 - Implica a capacidade de guardar frames recebidos após rejeição
 - Receptor - inserção de frames fora de sequência;
 - Emissor – emissão de frames fora de sequência
- O mecanismo volta-atrás-N é mais usado do que o de rejeição selectiva, pois apesar de conduzir a uma pior utilização da ligação, reduz a complexidade do receptor.

Controlo da ligação de dados

classes de protocolos de ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Classes de protocolos de ligação
 - protocolos orientados ao caracter
 - protocolos orientados ao bit
- Protocolos orientados ao caracter
 - trama interpretada caracter a caracter
 - ligação rígida a um código de caracteres para delimitar tramas e supervisionar a troca de dados
 - protocolo depende do código em uso

Controlo da ligação de dados

classes de protocolos de ligação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

- Protocolos orientados ao bit
 - trama interpretada bit a bit
 - independência relativamente ao código (transparência)
 - obriga a utilização da técnica *bit stuffing*
 - Exemplos de protocolos de ligação (ou protocolos DLC):
 - *high-level data link control* (HDLC) (ISO)
 - *link access procedure, balanced* (LAP-B) (redes X.25)
 - *point-to-point protocol* (PPP) (redes ATM, IP)
 - *synchronous data link control* (SDLC) (IBM)
 - *logical link control* (LLC) (IEEE 802.2)