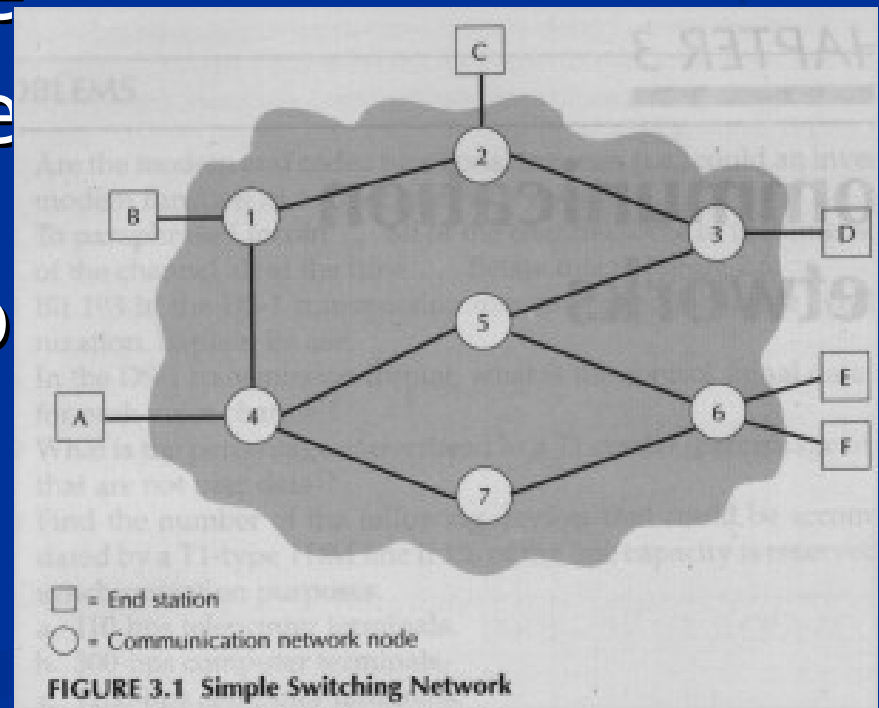


# Comutação de circuitos e de pacotes

Circuit switching  
Packet switching

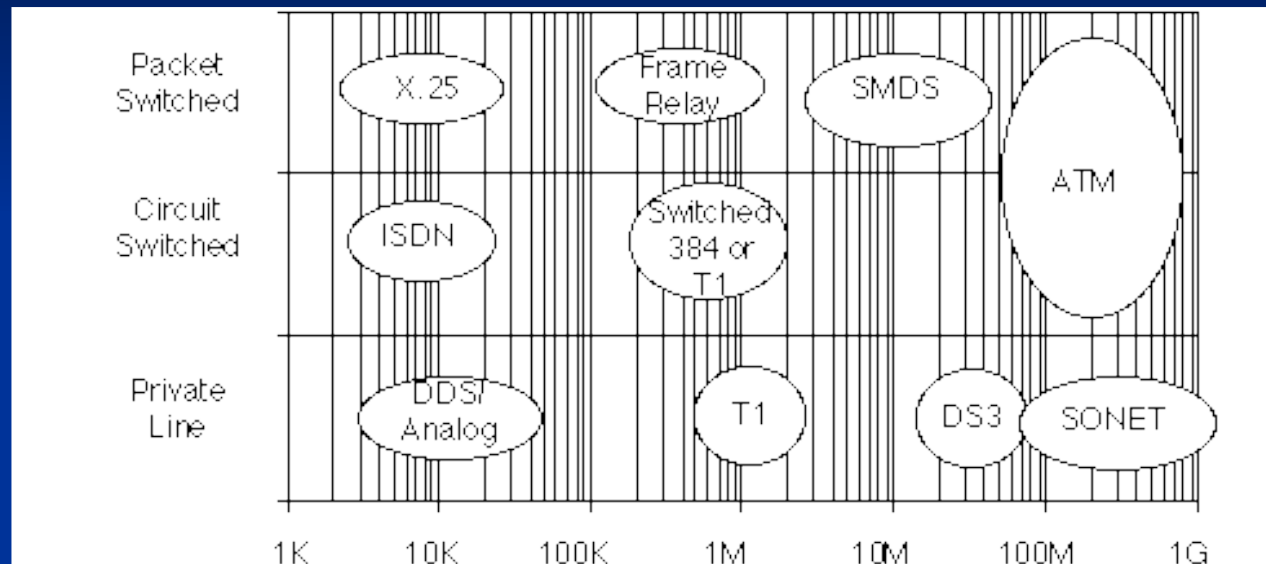
- Para a transmissão de sinais de um ponto a outro de uma rede
- normalmente esses sinais passam por nós de comutação intermediários.



# Nós Computadores

- Os nós intermediários não estão relacionados com o conteúdo dos dados.
- Seu propósito é prover a facilidade da comutação do sinal de nó para nó
- até que chegue ao seu destino.
- As estações finais podem ser computadores, terminais, telefones...

# Serviços comutados



Frame Relay: High speed connection-oriented packet switching service

SMDS: Switched Multi-megabit Data Service, a connectionless packet switching service offered over cell relay

ATM: Asynchronous Transfer Mode, a cell switched service

ISDN: Integrated Services Digital Network

T1: a 1.544 Mbps service

DS3: a 45 Mbps channel

SONET: a family of standards for multiplexing channels on an optical fiber at multiples of 50 Mbps up to 2.4 Gbps.

# Comutação de circuitos

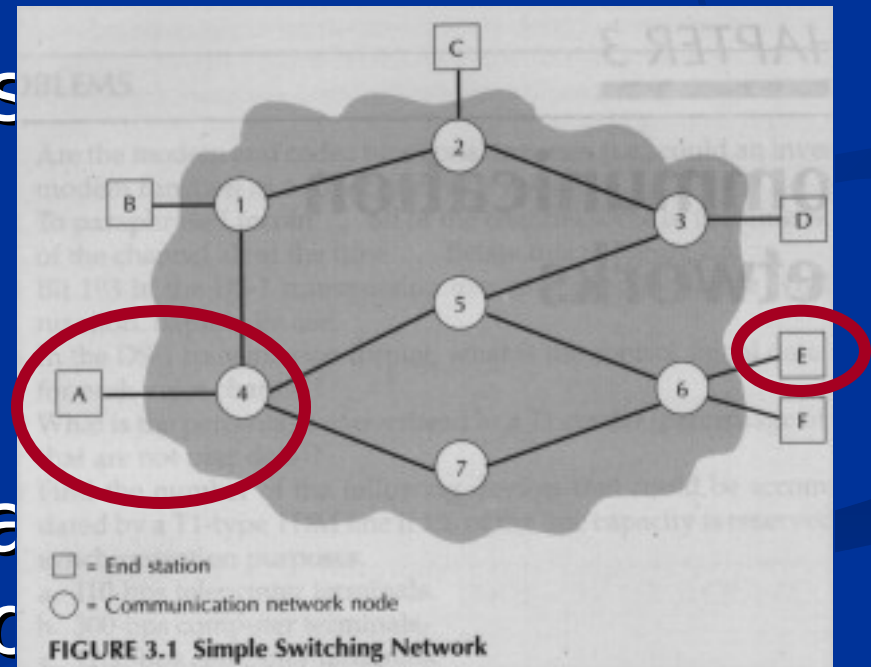
- A comutação de circuitos implica em existir uma via dedicada para a comunicação entre duas estações.
- Essa via é uma seqüência de links entre os nós da rede.
- Em cada link físico, um canal é dedicado à conexão.
  - O canal pode ser físico
  - Pode ser uma sucessão de canais de frequência
  - Pode ser uma sucessão de canais de tempo

# Comutação de Circuitos

- A comunicação através da comutação de circuitos envolve três fases:
  - Estabelecimento do circuito
  - Transferência do Sinal
  - Desconexão do circuito.

# Estabelecimento do circuito

- Antes de qualquer sinal ser transmitido,
- as estações precisam estabelecer a rota fim a fim.
- Por exemplo, a estação A manda uma requisição para o Nó 4, solicitando conexão com a estação E.



# Estabelecimento do circuito

- Tipicamente, a ligação entre a Estação A para o Nó 4 é uma linha dedicada.
- Dessa forma a comunicação já existe.

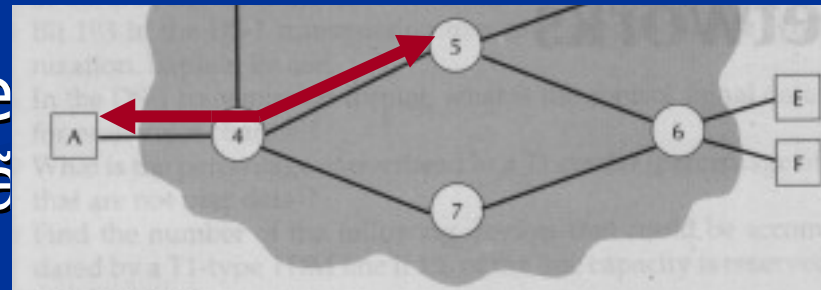


O Nó 4 deve encontrar o próximo segmento da rota que leva até o Nó 6



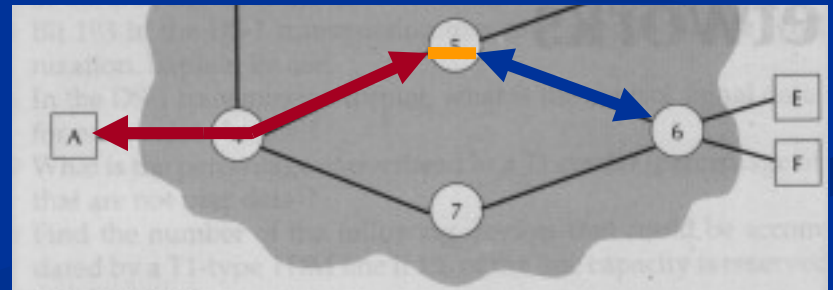
# Estabelecimento do circuito

- Baseado em uma tabela de roteamento,
- na medida de disponibilidade
- e ainda no custo da conexão,
- O Nó 4 elege o Nó 5 como sendo o próximo link.
- Aloca até ele um canal livre (TDM ou FDM) e requisição de conexão



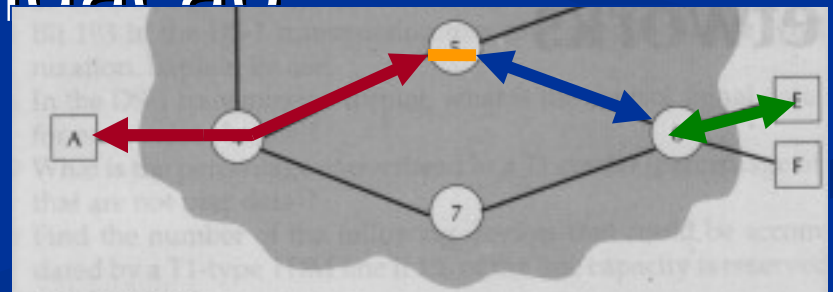
# Estabelecimento do circuito

- Nesse ponto, já temos um circuito dedicado de **A** até **5**, passando por **4**.
- Da mesma forma, o Nó 5 dedica um canal até o Nó 6.
- Internamente, liga esse canal com aquele até o nó 4.



# Estabelecimento do circuito

- O nó 6 completa a ligação até E.
- Um teste é feito para verificar se E está ocupado ou pronto para aceitar a ligação



# Transferência do Sinal

- O sinal agora pode ser transmitido de **A** através da rede até **E**.
- Os sinais podem ser:
  - Voz analógica,
  - Voz digital,
  - Dados binários,
  - Imagens,
- Dependendo da natureza da rede.

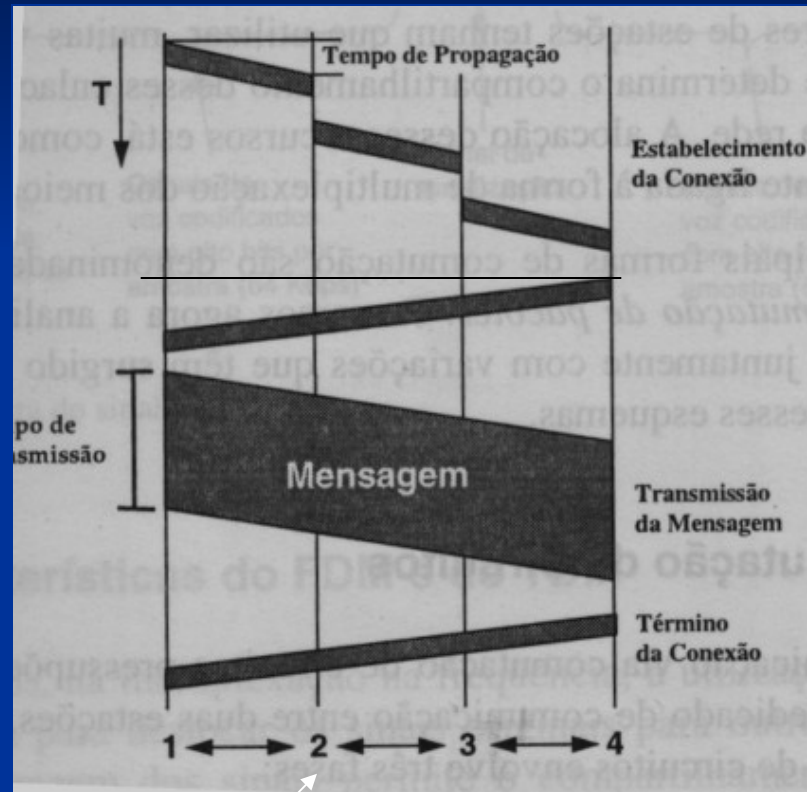
# Transferência do Sinal

- Conforme os provedores de serviço tornam-se digitais,
- a tendência é que se use sinais binários tanto para dados quanto para outras mídias.
- Geralmente a conexão é full-duplex e os dados podem ser transmitidos nas duas direções

# Desconexão do circuito

- Após um período de transmissão de sinais, a conexão é terminada.
- Geralmente a iniciativa é de uma das duas estações.
- O sinal de desconexão deve se propagar para os nós 4, 5 e 6 para desalocar os recursos dedicados

# Comutação de circuitos



Nós de Comutação

# Comutação de circuitos

- O Circuito deve ser estabelecido antes de iniciar a transmissão dos sinais.
- O canal deve ser reservado entre cada par de Nós na rota.
- Os switches devem ter certa inteligência,
- para estabelecer as alocações e escolher a rota entre as estações



# Eficiência

- Essa técnica pode ser ineficiente.
- A capacidade do canal é dedicada durante toda a conexão,
- não importando se os sinais estão trafegando ou não.
- Para uma conexão de voz, a utilização pode ser alta, mas não chega a 100%

# Performance

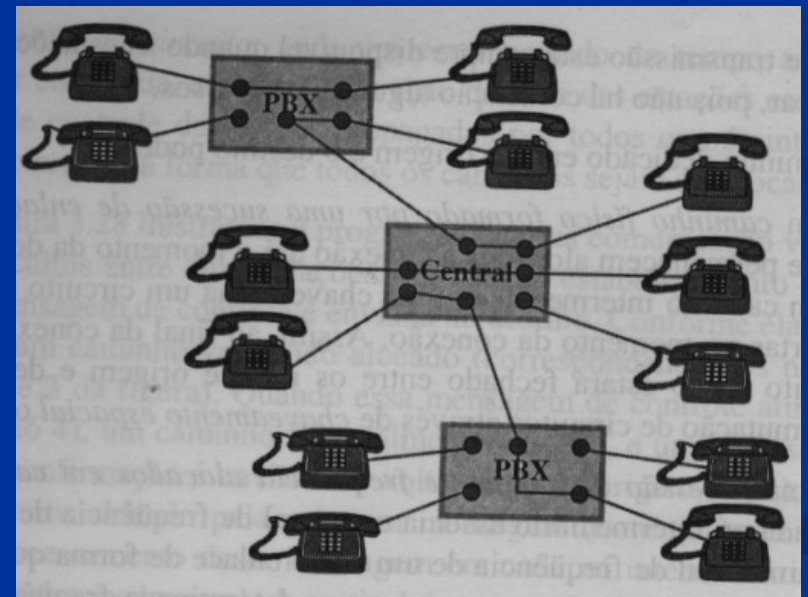
- Para uma conexão de terminais, a transmissão de dados pode ser inativa durante a maior parte do tempo.
- Em termos de performance, existe um retardo antes do início da transmissão.
- Contudo, depois de estabelecida a conexão, a rede é transparente aos usuários

# Retardo (Delay)

- Os sinais são transmitidos em uma taxa constante
- sem outro retardo além da transmissão entre os links.
- O retardo nos **nós** é desprezível

# Objetivo

- A comutação de circuitos foi projetada para transportar voz,
- mas agora é usada tanto para voz como para dados.
- O melhor exemplo é a rede telefônica.



# Comutação de Circuitos

- Características:
  - Conexão estabelecida fim a fim antes da transmissão
  - Impossível estabelecer conexão caso não haja circuitos disponíveis
  - Tarificação baseada no tempo da conexão e na distância entre os pontos.

# Comutação de Circuitos

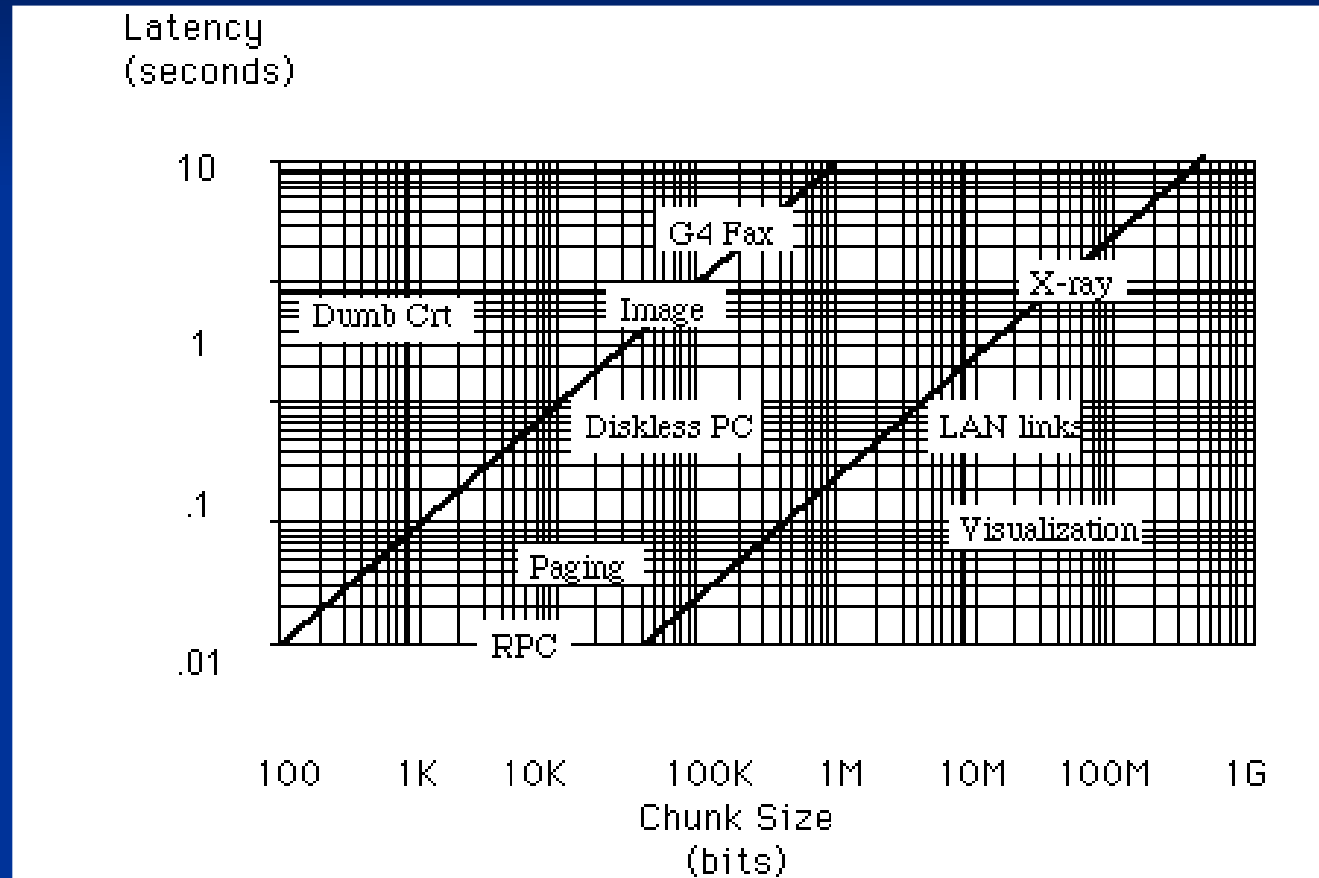
## ■ Vantagens:

- Sem congestionamento durante a transmissão
- Adequado para altas taxas de utilização e taxas não variáveis
- Suporta aplicações sensíveis a atrasos, como é o caso da voz e vídeo

as a digital channel with a peak speed of 64 kbps can carry a 3 KHz voice channel  
data applications require much higher peak speeds to provide the desired quality

# Aplicações e uso da banda

Applications



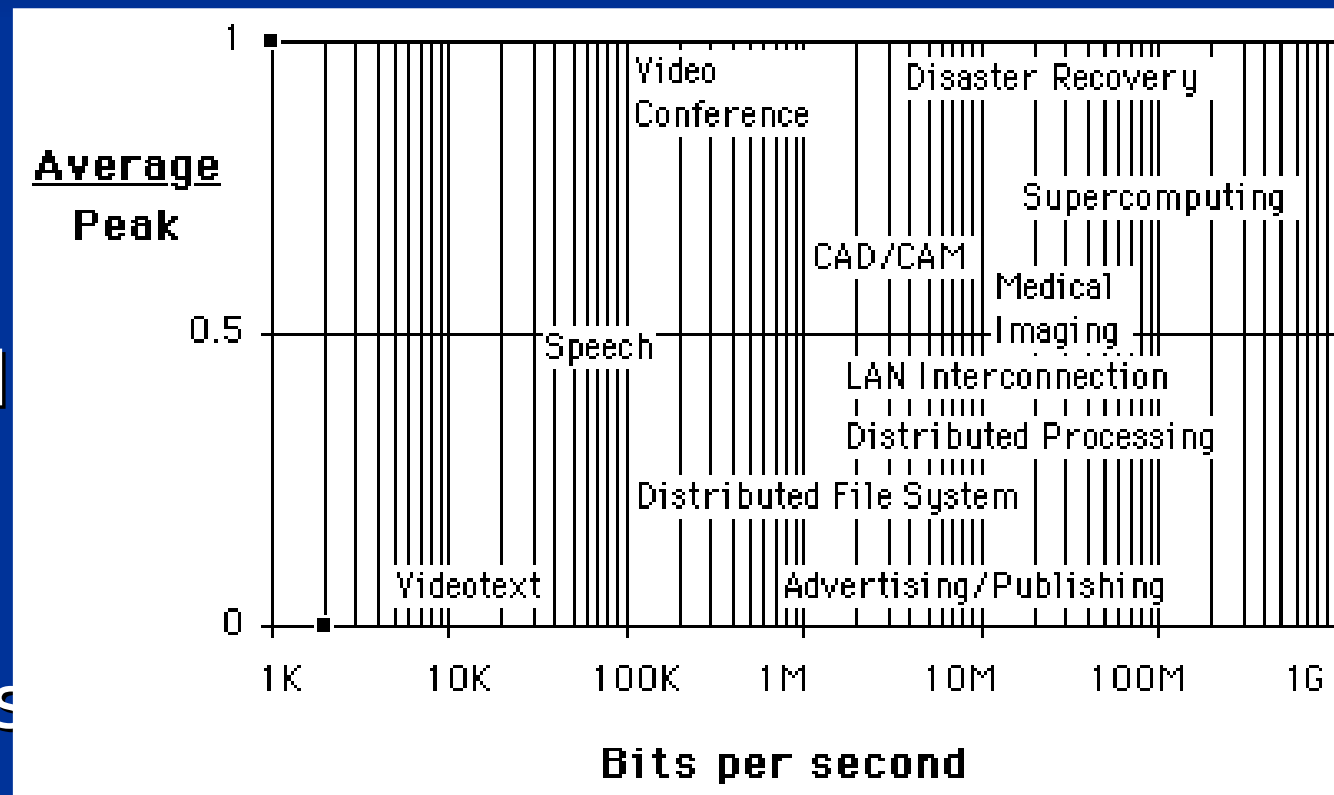
# Comutação de Circuitos

## ■ Desvantagens:

- Utilização não otimizada dos circuitos
- Inadequado para suportar tráfego em rajadas - (**Burst**).

While the peak capacity demanded may be high, the *average* usage may still be very low.

Figure illustrates the average to peak ratio for a number of different applications.





# Comutação de Circuitos

- Uma característica chave na comutação de circuitos é que uma parte dos recursos da rede são dedicados a uma chamada em particular.
- Em conexões de voz, o circuito resultante experimenta uma percentagem muito alta de utilização, uma vez que sempre alguém está falando

# Comutação de Circuitos

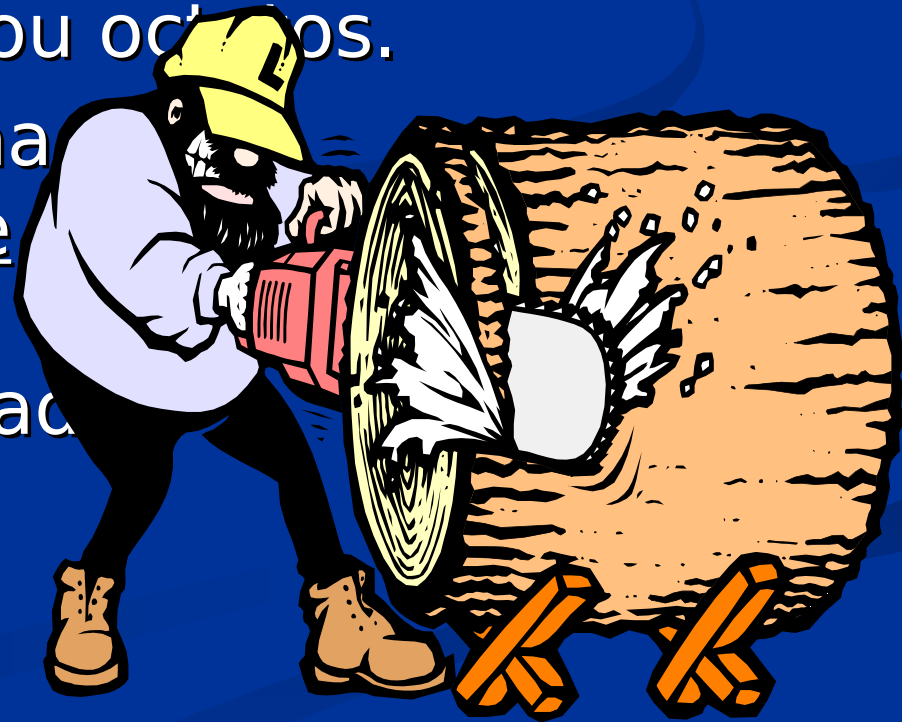
- Quando as redes de comutação de circuitos começaram a ser usadas para transporte de dados,
- dois problemas tornaram-se evidentes:
  - Numa conexão típica de terminal para host, a maior parte do tempo não existe atividade. A comutação de circuitos nesse caso é ineficiente.

# Comutação de Circuitos

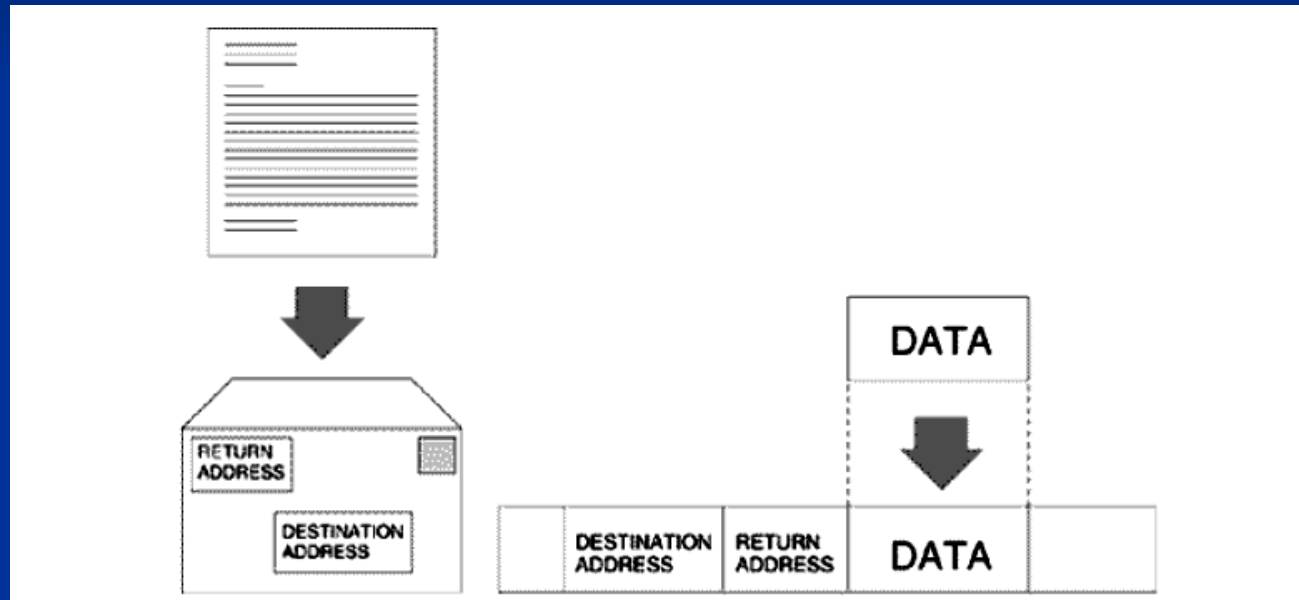
- A conexão é feita para transmitir em CBR, e ambos os dispositivos devem transmitir e receber na mesma taxa.
- Isso limita a utilização da rede quando queremos interligar redes variadas de terminais e hosts.

# Transmissão de dados

- Os dados são transmitidos em pequenas porções, os pacotes.
- Um tamanho máximo típico para um pacote é 1500 bytes ou octetos.
- Se uma fonte tem uma mensagem maior que o tamanho máximo, a mensagem é quebrada em pacotes.



# PDU=envelope digital



# PDU's

## Ethernet

PREAMBLE	DESTINATION ADDRESS	SOURCE ADDRESS	TYPE	DATA	FRAME CHECK SEQUENCE
----------	---------------------	----------------	------	------	----------------------

## IEEE 802.3

PREAMBLE	DESTINATION ADDRESS	SOURCE ADDRESS	LENGTH	DATA	FRAME CHECK SEQUENCE
----------	---------------------	----------------	--------	------	----------------------

## IEEE 802.5/TOKEN RING

S D	A C	F C	DESTINATION ADDRESS	SOURCE ADDRESS	DATA	FRAME CHECK SEQUENCE	E D
--------	--------	--------	---------------------	----------------	------	----------------------	--------

## FDDI

PREAMBLE	S D	F C	DESTINATION ADDRESS	SOURCE ADDRESS	DATA	FRAME CHECK SEQUENCE	E D	F S
----------	--------	--------	---------------------	----------------	------	----------------------	--------	--------

SD = Start Delimiter

AC = Access Control

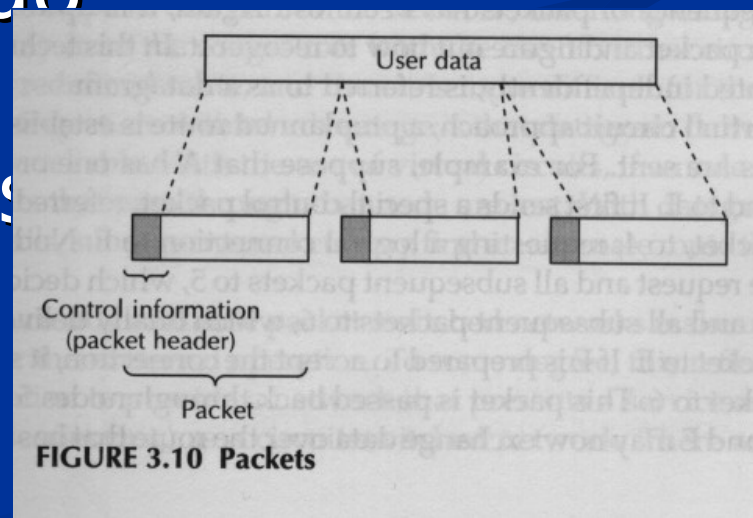
FC = Frame Control

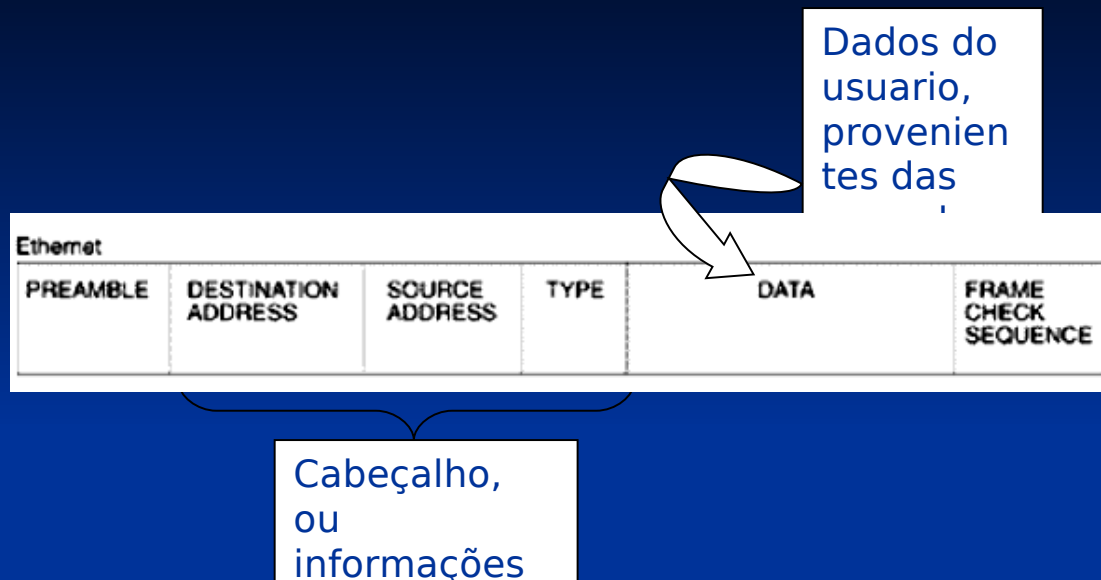
ED = End Delimiter

FS = Frame Status

# Transmissão

- Cada pacote contém uma série de dados mais uma porção de informações de controle.
- O controle é inserido para habilitar o roteamento através da rede.

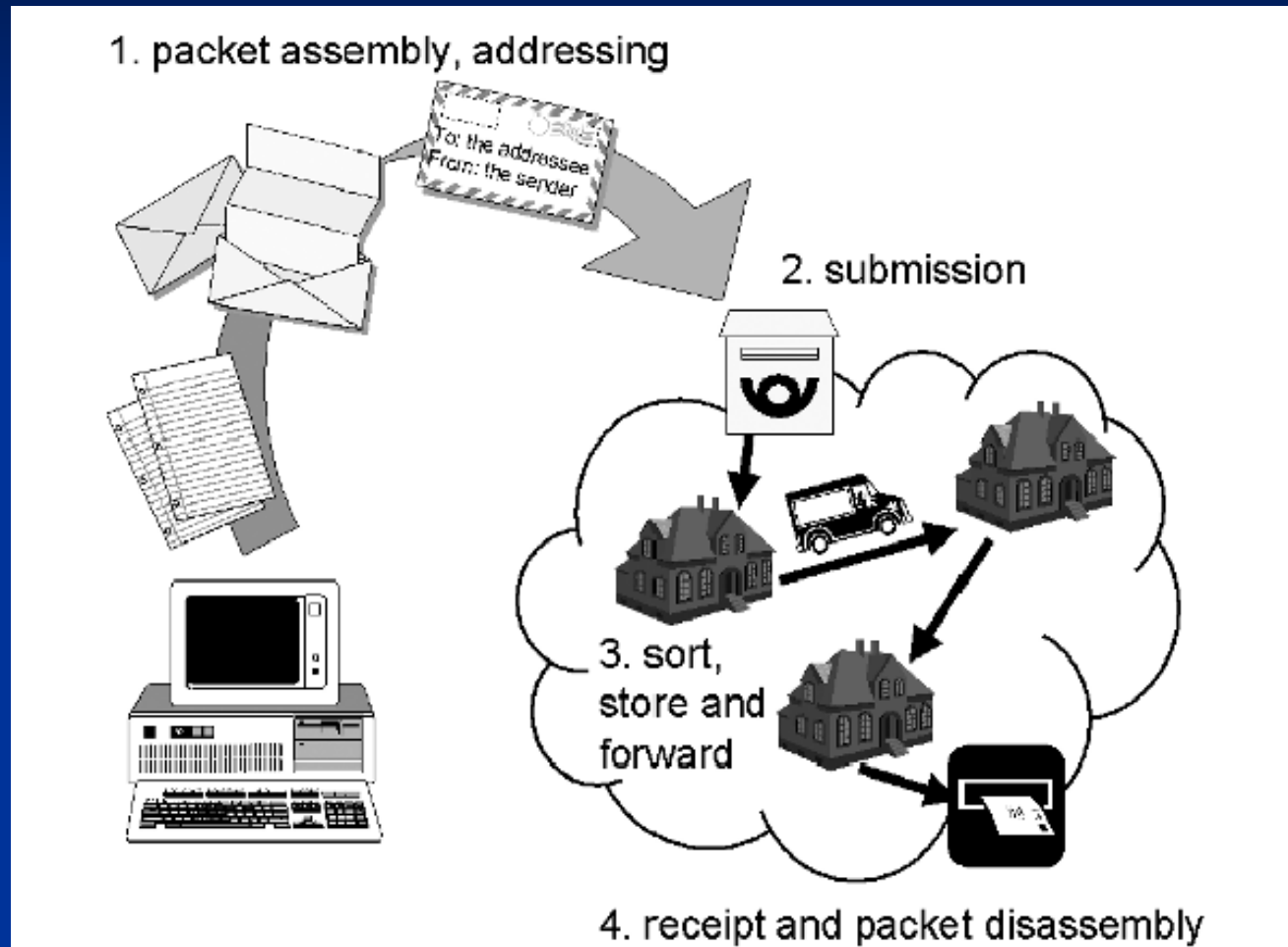




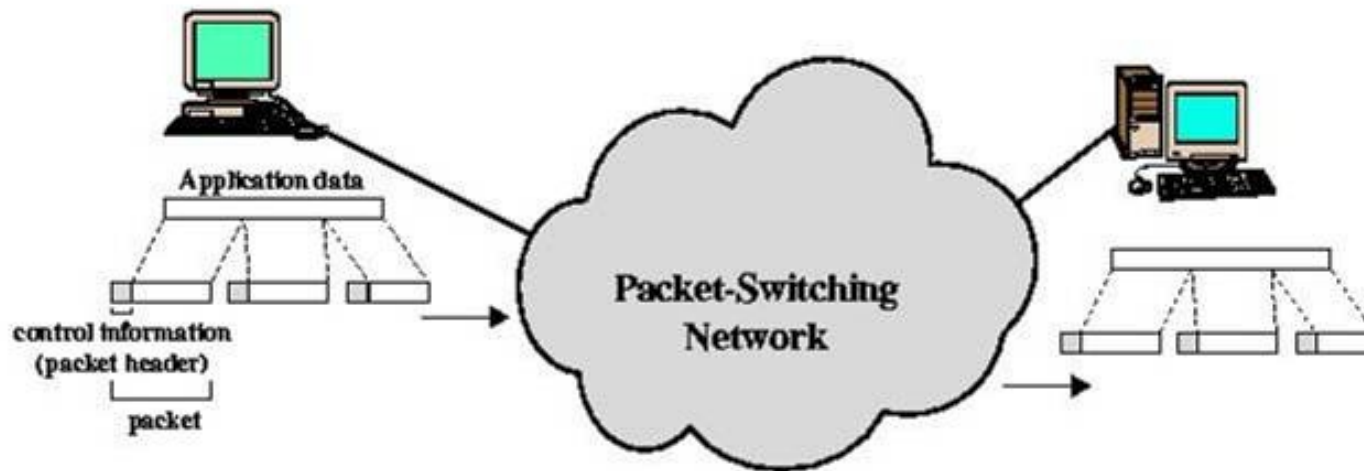
Perceba que os cabeçalhos não fazem parte do conteúdo no qual o usuário está interessado. Eles devem ser transmitidos em conjunto com os dados válidos para o usuário, mas só têm validade para o controle da própria rede.



# Comutação de pacotes=Serviço postal

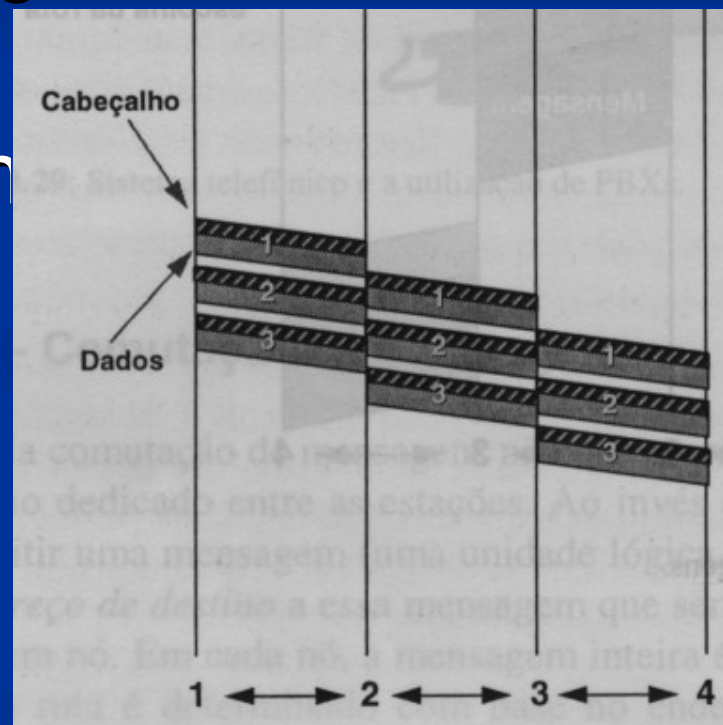


# Uso dos pacotes



# Transmissão

- Em cada nó da rede o pacote é recebido, armazenado brevemente e depois passado ao próximo nó
- Essa técnica é denominada 'store-and-forward'



# *Cut-Through ou Store and Forward ?*

- Os fabricantes de switches normalmente utilizam como método de repasse dos pacotes uma das duas tecnologias acima.
- Outros podem usar um cut-through modificado. Os dois métodos possuem vantagens e também pontos fracos.

# *Cut-Through*

- Usando essa técnica, os switches podem enfrentar 2 problemas:
- Endereçar os frames com erros ou malformados
- Forçar todas as portas a operarem na mesma velocidade.

# store and forward

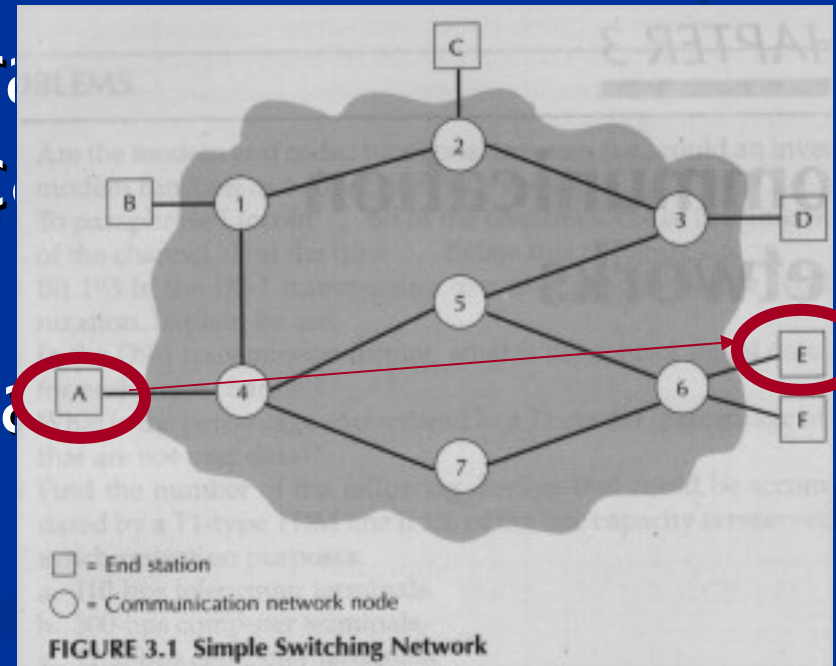
- Usando esta técnica, os switches evitam de repassar frames malformados ou errados.
- Os switches com essa técnica armazenam o frame em memória.

# *Cut-Through ou Store and Forward ?*

<b>Método</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Cut-through</b>	Menor latência	Repasa frames malformados. Todas as portas devem operar na mesma velocidade.
<b>Store and forward</b>	Malformados são descartados.	Maior latência

# Transmissão do pacote

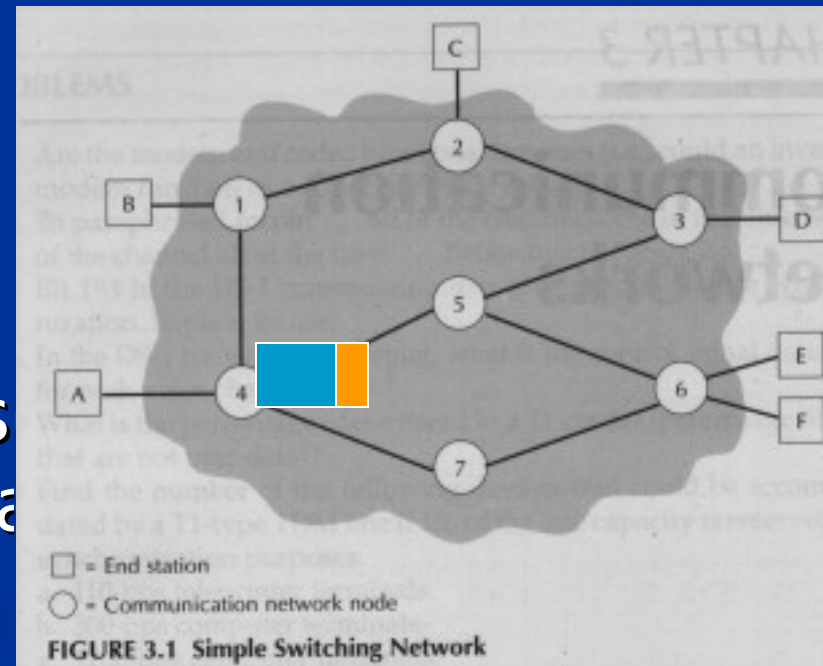
- Para transmitir novamente uma mensagem da estação **A** até a estação **E**:
- A mensagem é quebrada em pacotes que recebem o cabeçalho com o destino
- O pacote é enviado da estação **A** para o nó comutador **4**



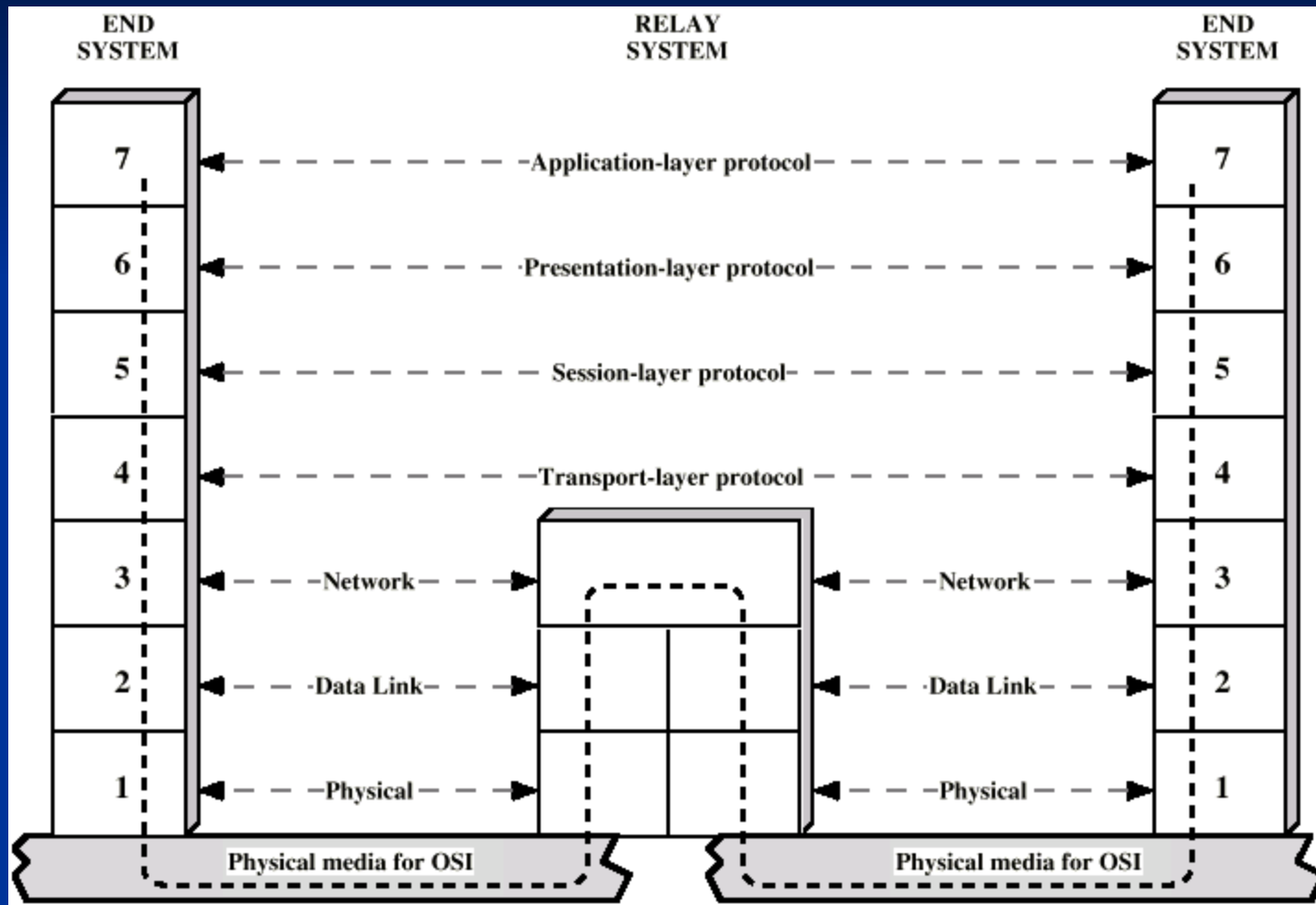


# Transmissão do pacote

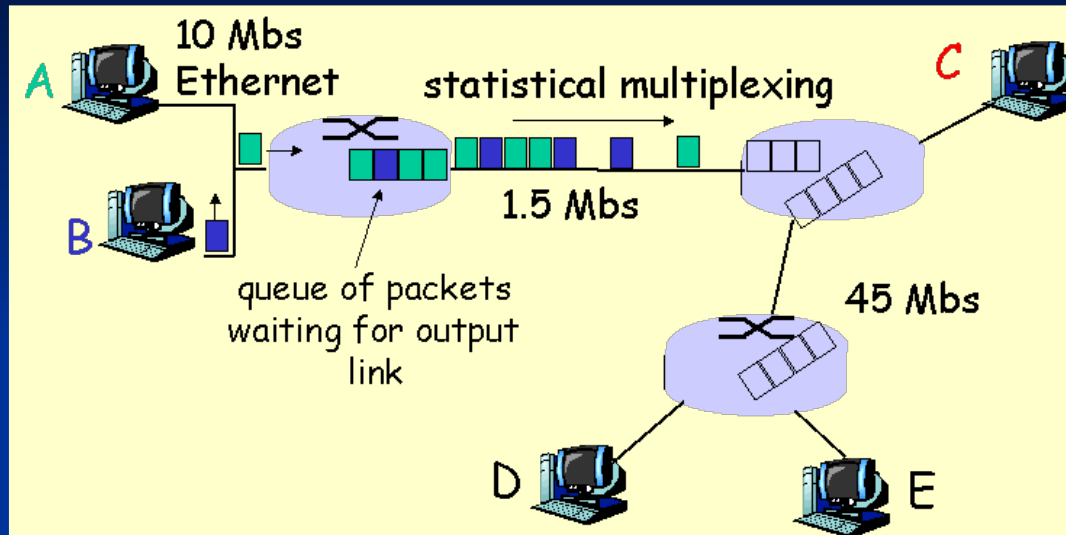
- O Nó 4 armazena o pacote.
- Determina a próxima rota (Nó 5)
- Enfila o pacote para ser transmitido naquele link (4->5).
- Quando o link estiver disponível, o pacote é enviado para o nó 5.
- O nó 5 repete o processo até o 6, que manda para



# Os nós intermediários



# Vantagens



- A eficiência da linha é maior, uma vez que um único link pode ser compartilhado por vários pacotes ao mesmo tempo
- Os pacotes são enfileirados e retransmitidos tão rápido quanto possível ao próximo nó do circuito.
- Na comutação de circuitos, a mensagem deveria esperar que um canal ficasse disponível, mesmo que todos estivessem disponíveis

# Vantagens

- Uma rede com esse estilo pode transportar dados com conversão de taxa.
- Isso significa que duas estações transmitindo em velocidades diferentes podem trocar pacotes, desde que se conecte ao seu nó comutador com a taxa apropriada

# Vantagens

- Quando o tráfego torna-se pesado em uma rede de comutação de circuitos, algumas conexões são bloqueadas.
- Na comutação de pacotes, todos os sinais emitidos são aceitos,
- apesar de ocorrer um aumento no retardo do envio

# Vantagens

- Pode-se usar níveis de prioridade.
- Assim, se um nó possui uma certa quantidade de pacotes enfileirados para a transmissão,
- ele pode transmitir primeiro os de maior prioridade, que dessa forma sofrem menor retardo

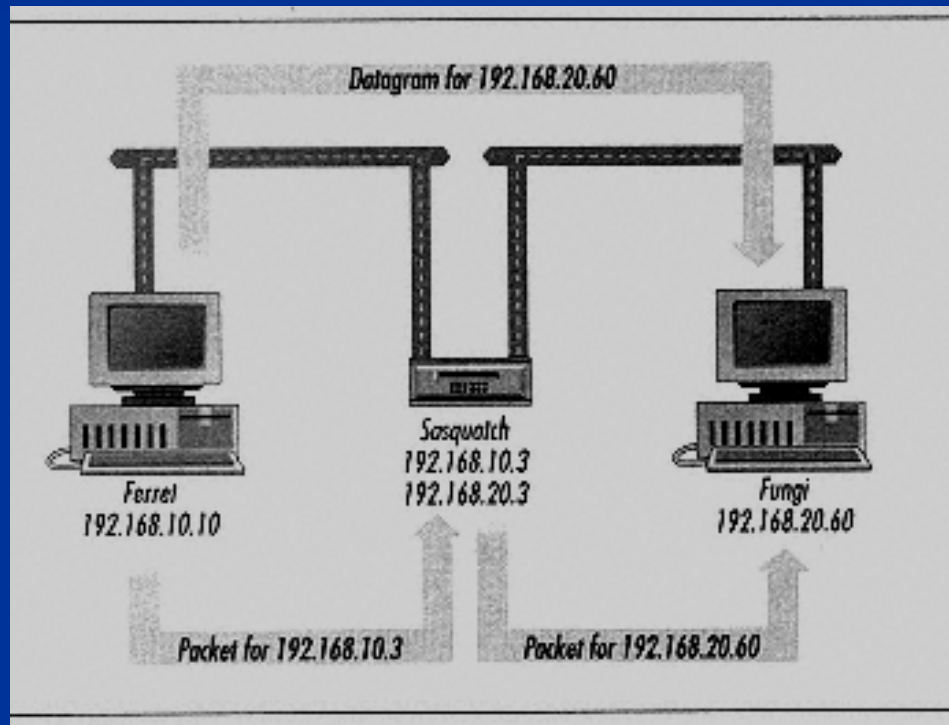
# Operação Interna

- Como a rede manipula o fluxo de pacotes através das rotas?
- Existem duas abordagens:

**Datagramas**  
**Circuitos Virtuais**

# datagrama

- Conceitos
  - pacotes X datagramas





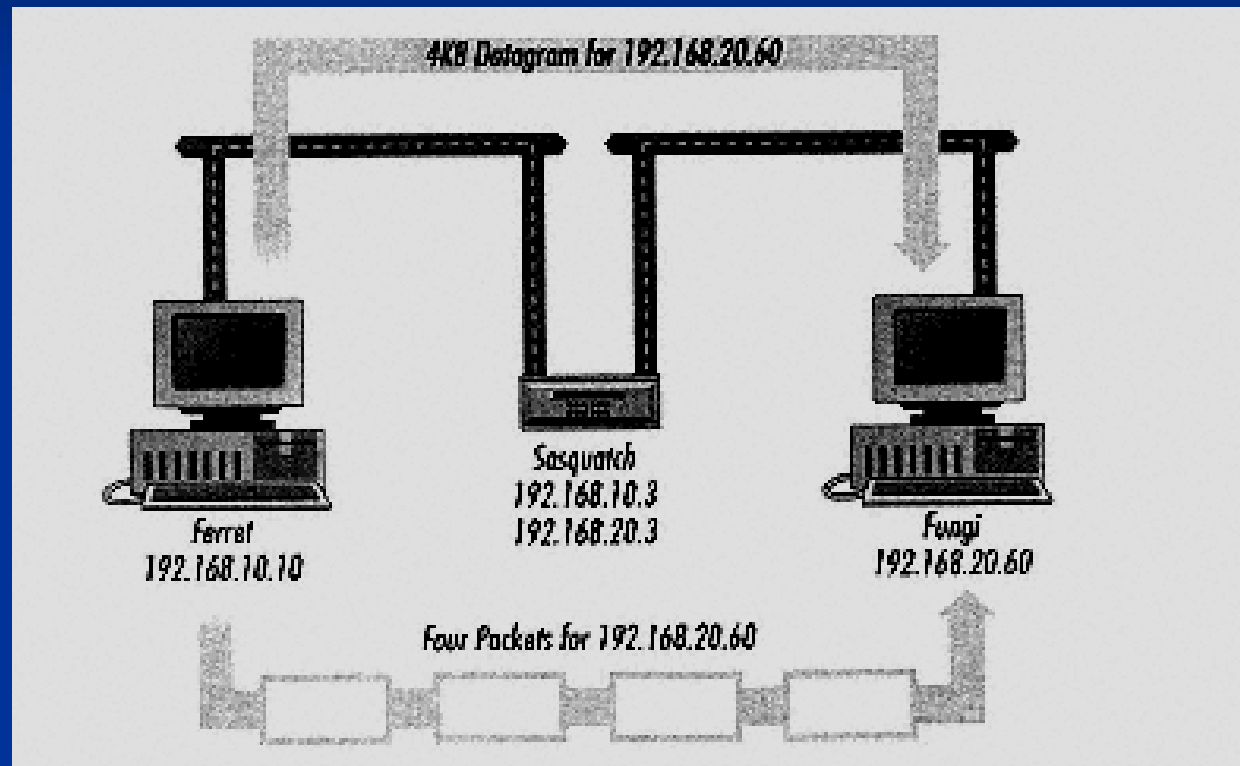
# Conteúdo do datagrama

- IP datagrams contém qualquer tipo de dado que está sendo transferido, associado aos cabeçalhos IP
- Pacotes IP são usados para fazer chegar o datagrama ao destino, como determinado nos cabeçalhos.
- Os pacotes estão sujeitos aos formatos de frames da camada 2, específicos para os mecanismos de uma determinada tecnologia de rede local.

# Datagrama

- Os pacotes podem portanto ser fragmentados, perdidos ou desordenados
- O datagrama permanece sempre como uma porção de dados original, enviada da origem para o destinatário,
- Independente do que esteja acontecendo com algum dos pacotes que são usados pelo datagrama.

# Um datagrama, quatro pacotes

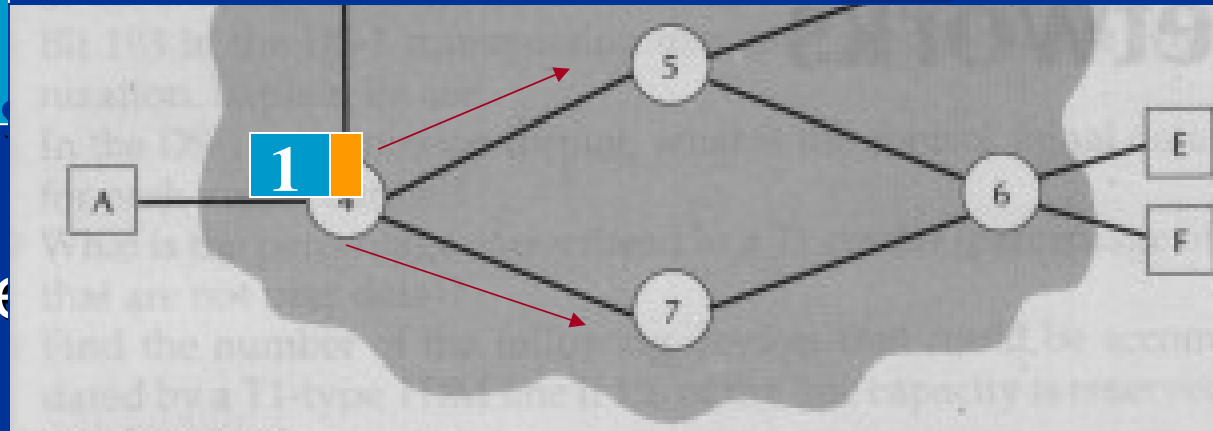


# Datagramas

- Nessa abordagem, cada pacote é tratado de forma independente.
- Não importa o pacote anterior ou o posterior.
- Vamos supor que três pacotes devam ser enviados da Estação **A** para a Estação **E**.

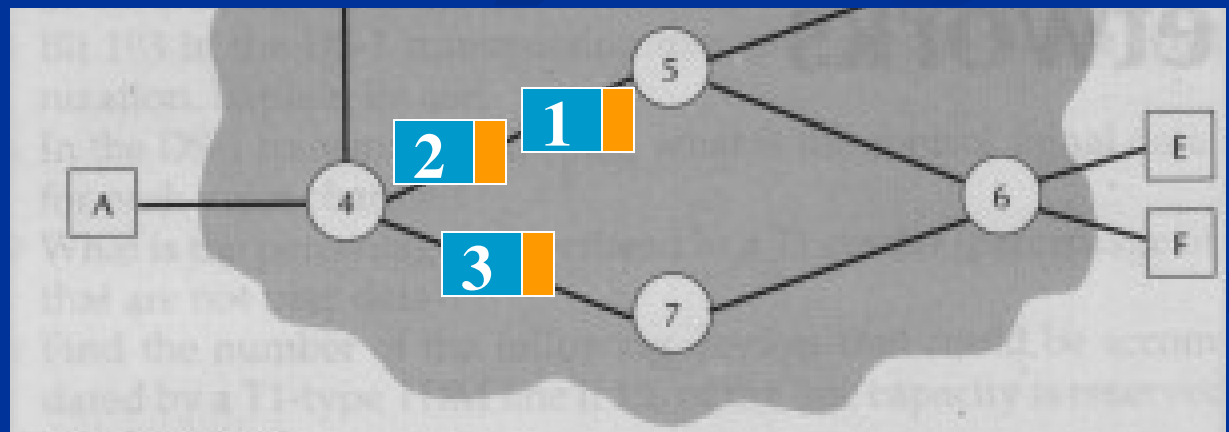
# Datagramas

- **A** transmite os pacotes 1-2-3 para o nó comutador **4**.
- Em cada pacote, o nó **4** deve:
  - Analisar o cabeçalho
  - Detectar erros
  - tomar uma decisão de roteamento.
- Quando o pacote chega, o nó 4 deve decidir se manda pelo 5 ou pelo 7



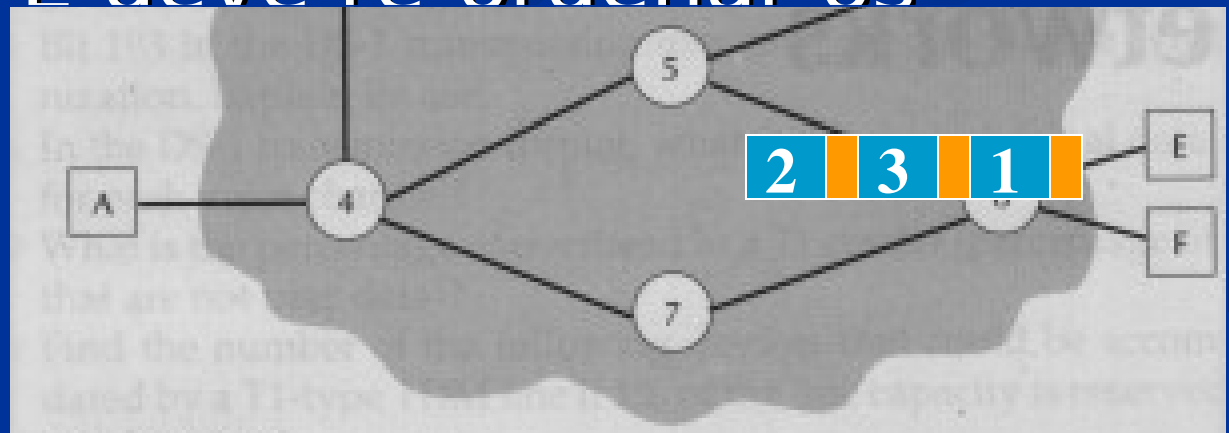
# Datagramas

- A mesma decisão deve ser tomada para os três pacotes,
- que podem seguir rotas diferentes em função da escolha

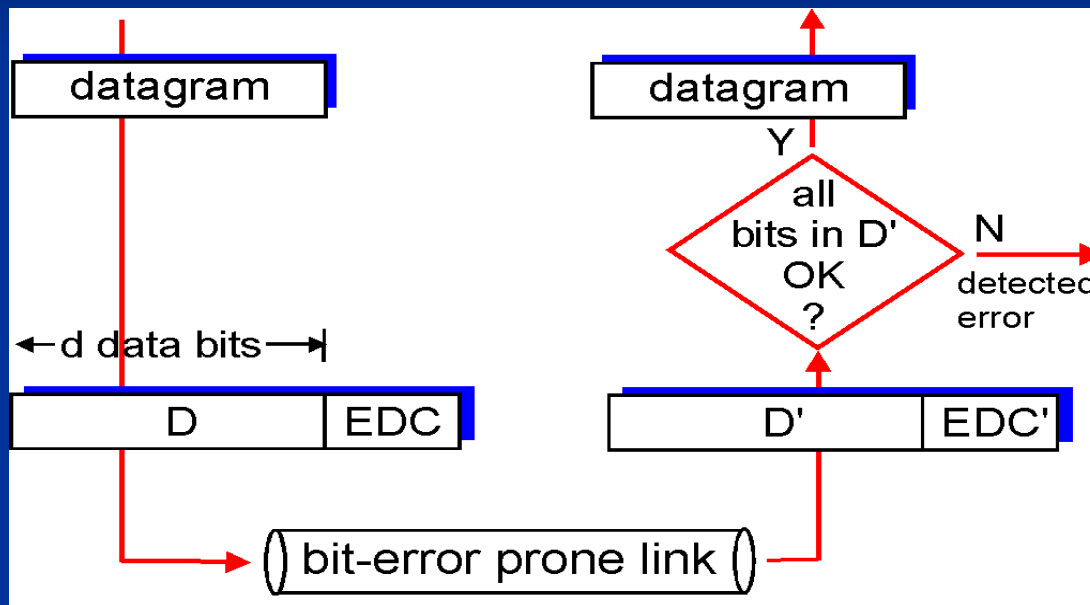


# Datagramas

- Dessa forma, podem acontecer alguns problemas:
- A ordem de chegada não ser a mesma.
- A estação E deve re-ordenar os pacotes.



# Detecção de erros



EDC=error detection control

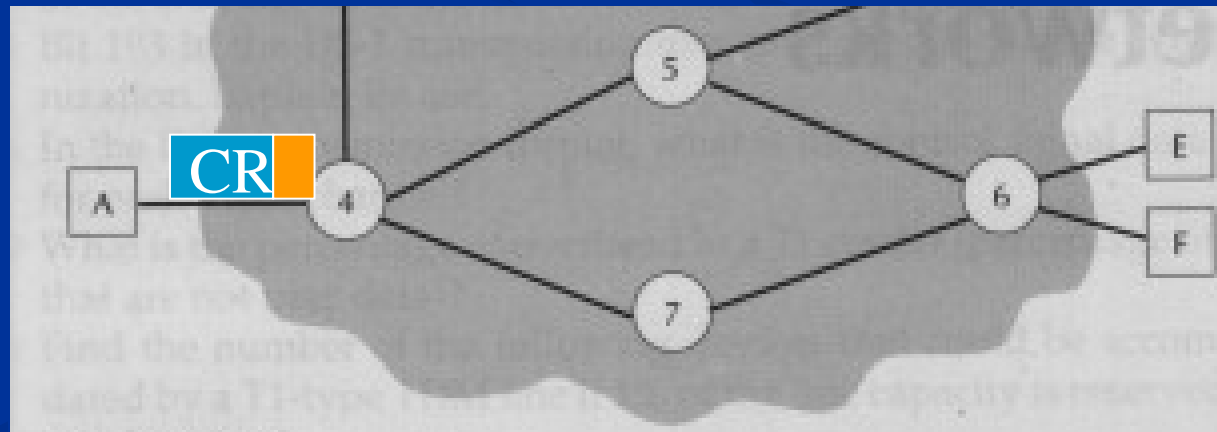


# Datagramas

- Pacotes podem ser perdidos sem que o nó 6 tome conhecimento.
- Por exemplo, se o nó 7 intermediário sai do ar,
- todas suas filas de pacotes são perdidas.
- O pacote 3 não chega, e a estação E é quem deve tomar providências para retransmissão.

# Circuitos Virtuais

- Nessa abordagem, uma rota pré-definida é estabelecida antes que qualquer pacote seja transmitido.
- Nesse caso, a estação A manda para 4 um pacote especial, chamado **Call Request**

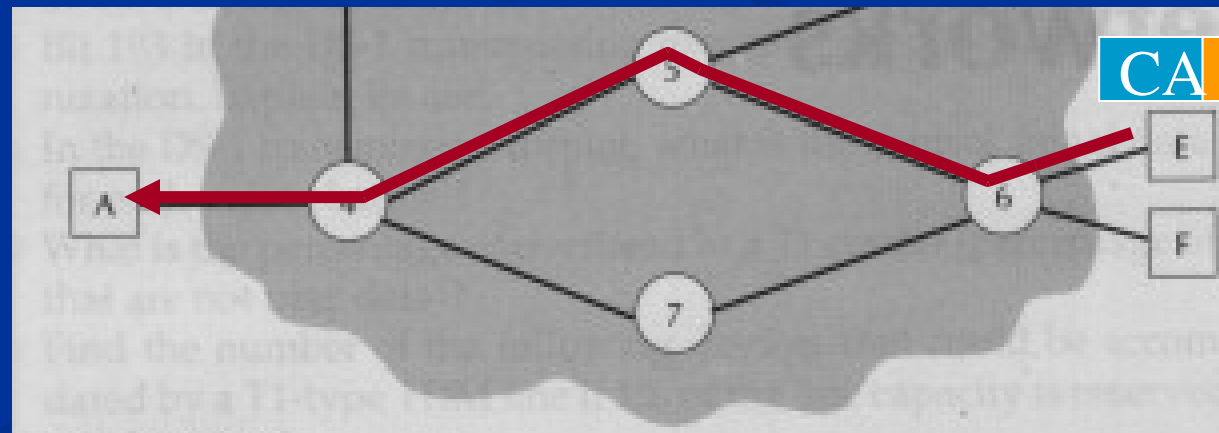


# Circuitos Virtuais

- Esse pacote solicita uma conexão com **E**.
- O nó comutador **4** decide rotear esse pacote e todos os subsequentes para **5**.
- O nó **5** decide rotear esse e os pacotes subsequentes até o nó **6**.
- O nó **6** finalmente manda o *Call Request* para **E**.

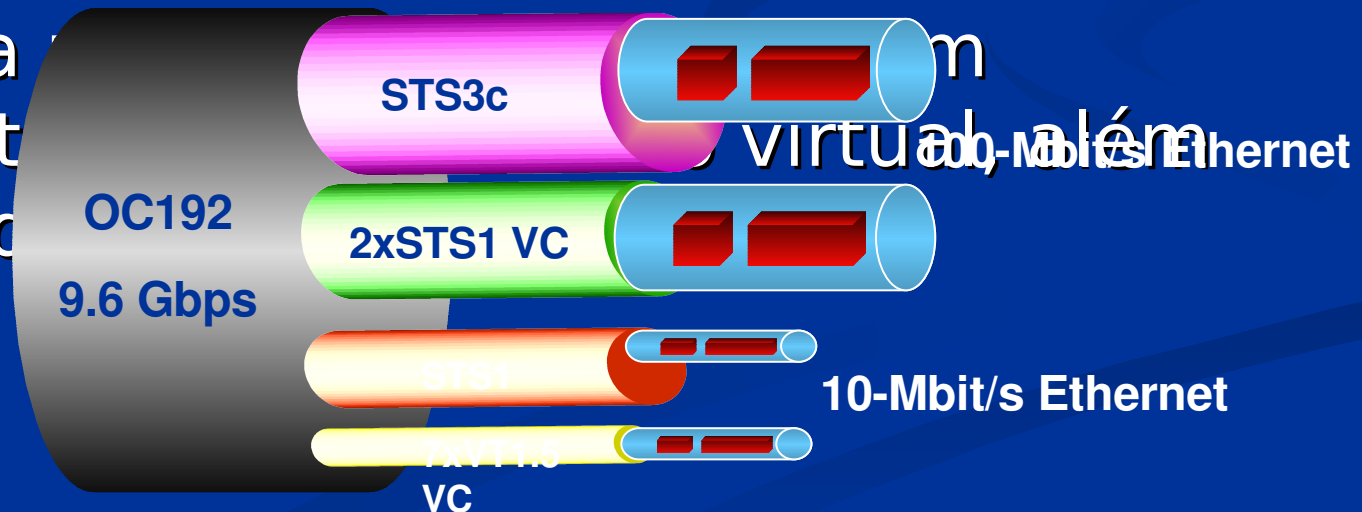
# Call Accept

- Se a estação **E** está apta a receber, envia para o nó **6** um pacote Call Accept,
- que é transmitido de volta para **5,4** e **A**.



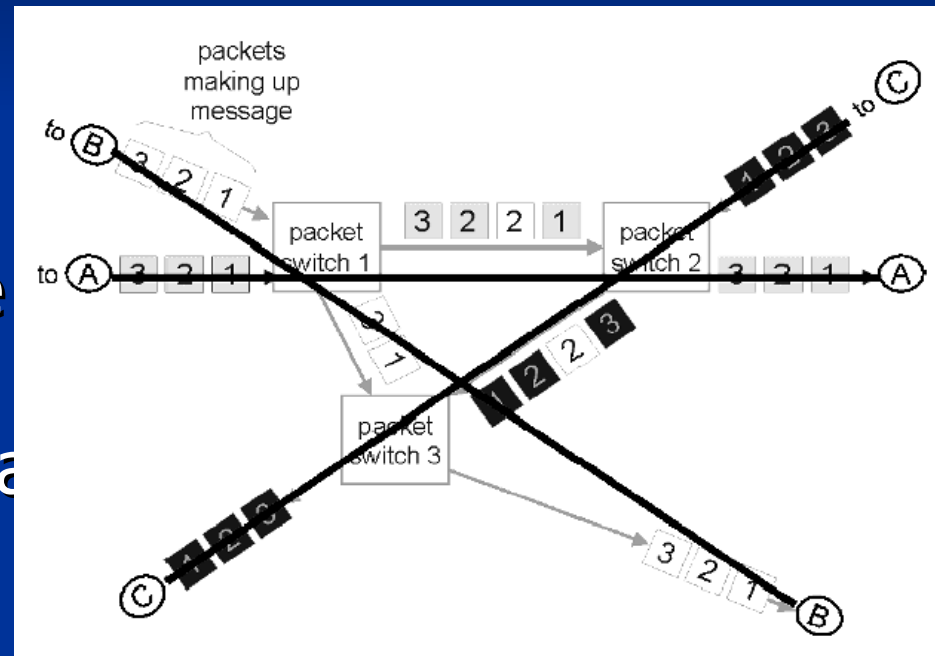
# Circuitos Virtuais

- As estações A e E podem agora trocar pacotes através da rota que foi determinada.
- Devido ao fato que a rota é fixada para o intervalo de duração da conexão, é similar a um circuito numa rede de comutação de circuitos.
- Cada conexão é identificada por um ID dos circuitos virtuais.



# Circuitos virtuais

- Uma vez que cada nó sabe que rota o pacote deve percorrer,
- nenhuma decisão de roteamento precisa ser tomada durante a transmissão.
- A rota é decidida antes do início da transmissão.



# Circuitos virtuais

- O estabelecimento da rota antes da transmissão não significa um caminho dedicado,
- como na comutação de circuitos.
- O pacote continua sendo colocado nos *buffers* em cada nó comutador
- e enfileirado antes de ser transmitido ao próximo nó

# Circuitos Virtuais

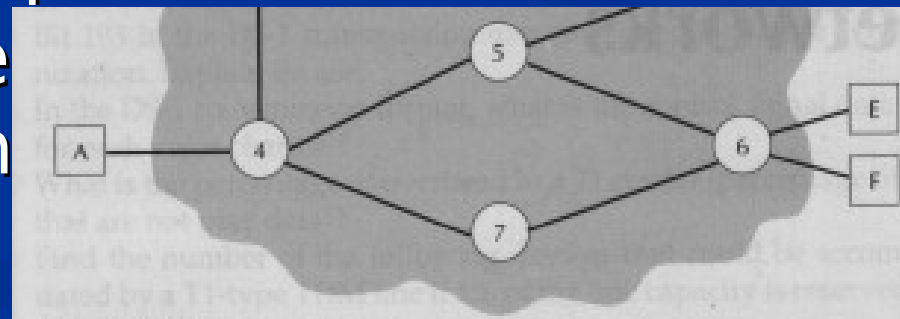
- A diferença para a abordagem de datagramas é a ausência de decisão de roteamento em cada pacote.
- Ela é feita apenas uma vez para todos os pacotes a serem transmitidos naquele circuito virtual.

Vantagens?



# Circuitos Virtuais

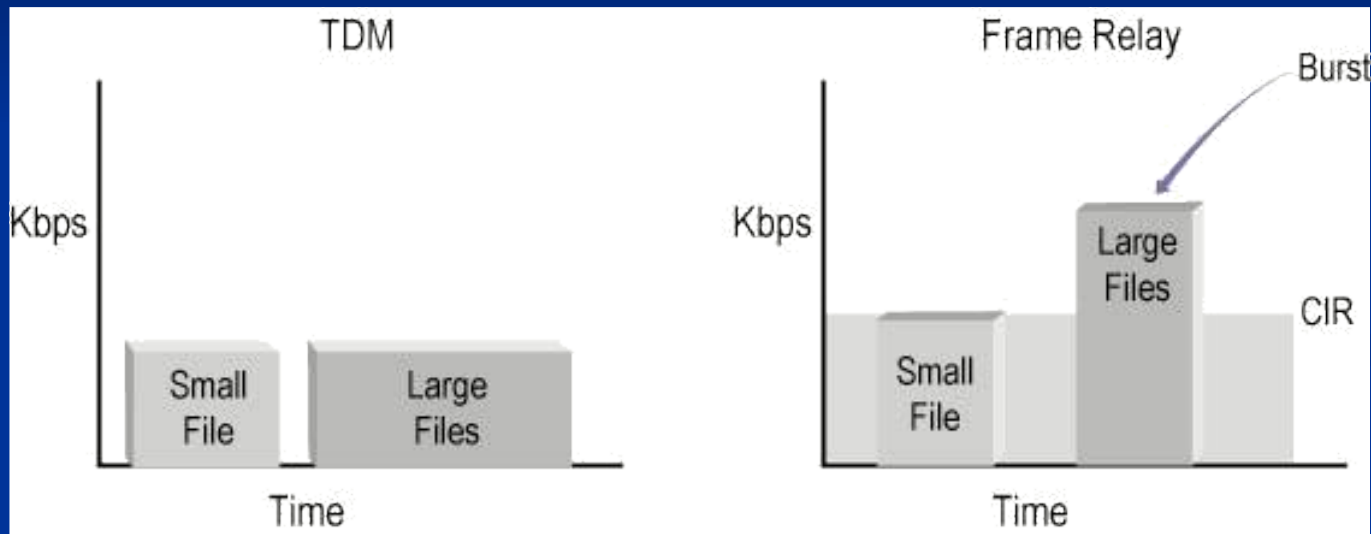
- A transmissão é mais rápida.
- Podem ser negociados alguns parâmetros de serviço para a transmissão em um determinado circuito da rede.
- A rede mesmo se encarrega do sequenciamento dos pacotes e do controle de erro, que antes dos pacotes ch



# Circuitos Virtuais

- A vantagem do uso de datagramas é que a fase de estabelecimento do circuito é evitada.
- Assim, se a quantidade de pacotes a ser transmitida é pequena, o envio de datagramas é mais rápido.
- Por serem mais primitivos, os datagramas são também mais flexíveis que os circuitos virtuais.

# Circuitos virtuais e permanentes



Frame Relay Bursting & Performance

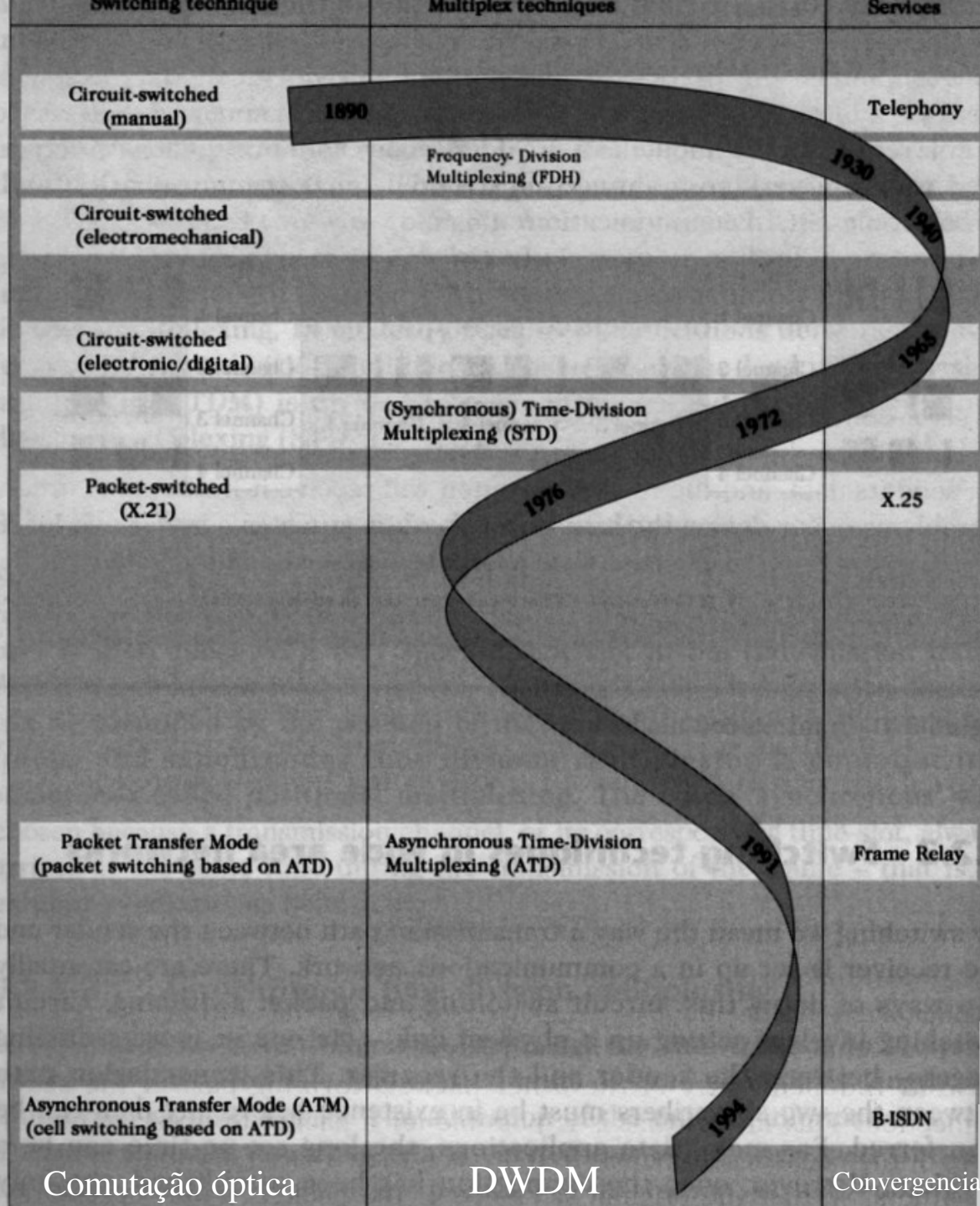
CIR=committed information rate

# Congestionamento e falhas

- Se ocorre congestionamento, os datagramas podem seguir por rotas alternativas.
- A adaptação ao congestionamento é mais difícil nos circuitos virtuais.
- Quando um dos nós da rede falha, os datagramas procuram outra rota. Todos os circuitos virtuais que passam por aquele nó falham.

# Evolução dos métodos de transmissão de dados

A tendência dos métodos modernos é a utilização de circuitos virtuais em suas operações internas



# O tamanho do pacote

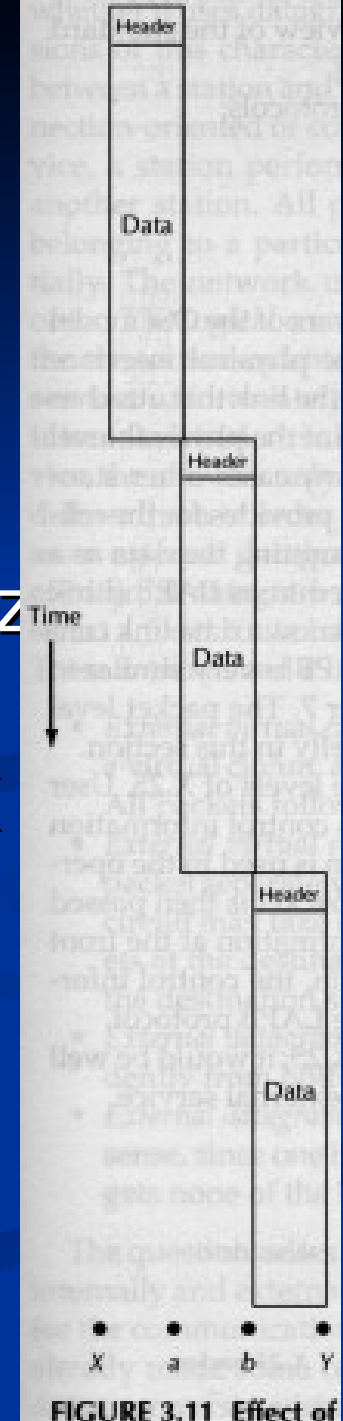
- O tamanho do pacote usado na rede tem influência direta no tempo de transmissão.
- Exemplo:
  - Precisamos transmitir 30 octetos de sinal de uma estação **X** para **Y** através dos nós ***a*** e ***b***
  - Vamos considerar a necessidade de um cabeçalho de 3 octetos

# Efeito do Tamanho do pacote no tempo de transmissão

## ■ Situação (1):

- A mensagem é composta por um pacote apenas, que totaliza 33 bytes
- O pacote é transmitido de **X** para o nó **a**
- Quando o pacote inteiro for recebido por **a**, ele pode ser transmitido para **b**
- de **b** para **Y** ocorre o mesmo retardo

O tempo de transmissão é de 99 tempos-de-octetos (33x3 pacotes)

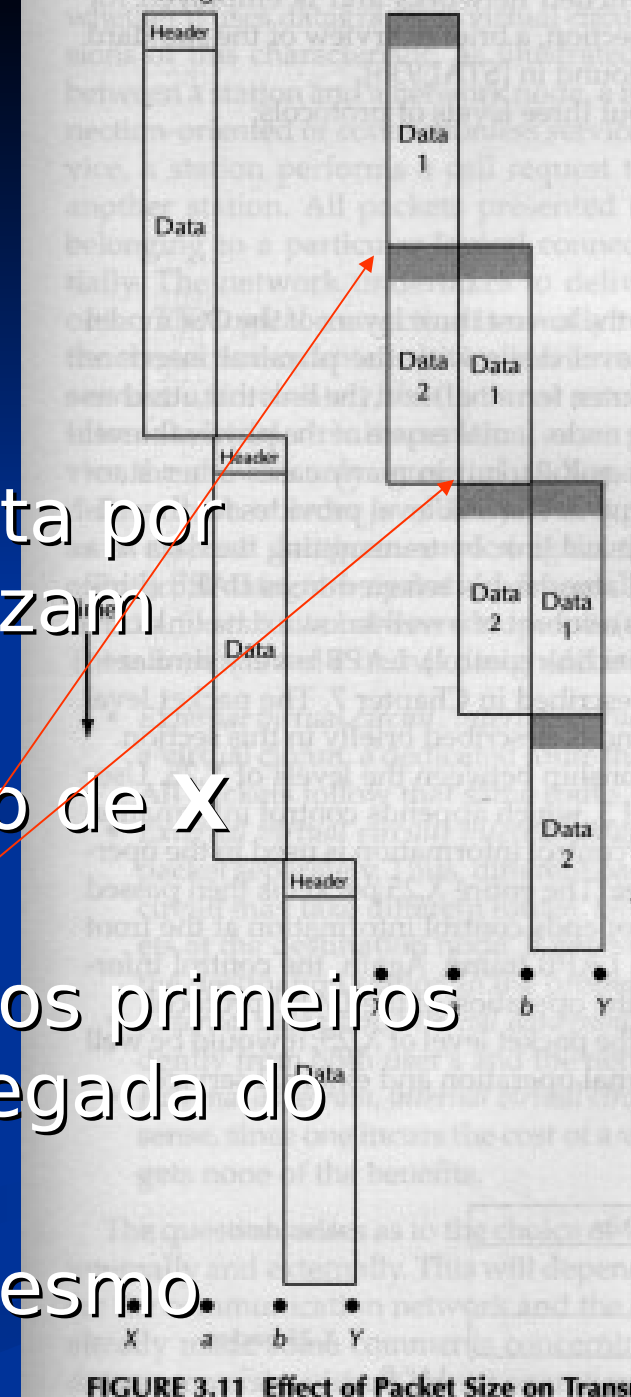


# Efeito do Tamanho do pacote no tempo de transmissão

## ■ Situação (2):

- A mensagem é composta por dois pacotes, que totalizam 36 bytes  $(15+3)*2$
- O pacote1 é transmitido de **X** para o nó **a**
- O nó **a** pode transmitir os primeiros 18 octetos antes da chegada do segundo pacote
- de **b** para **Y** ocorre o mesmo retardo

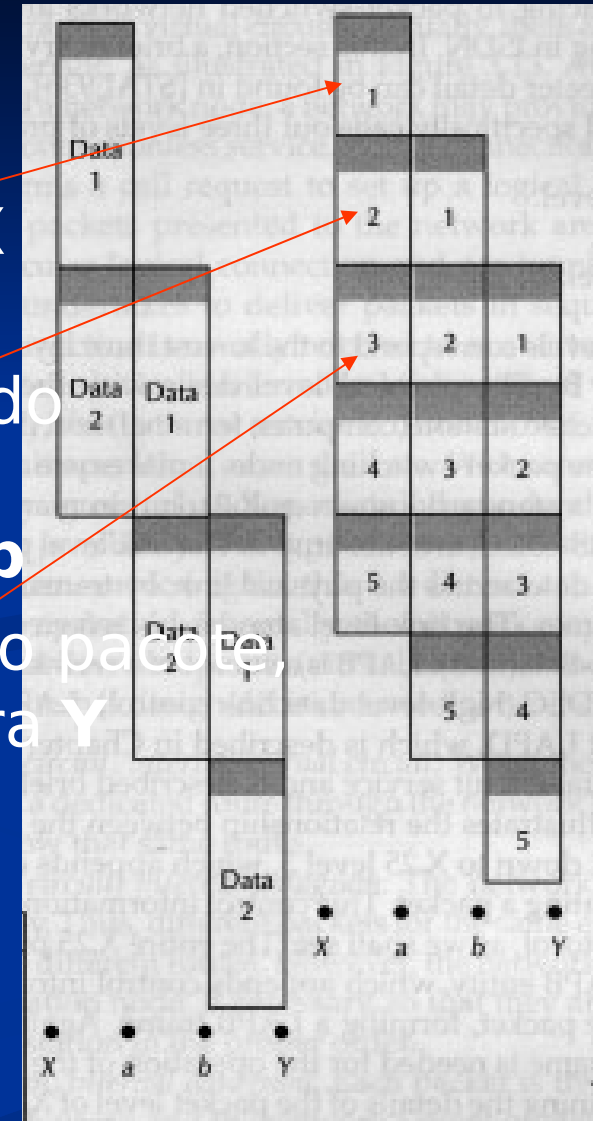
O tempo de transmissão é de 72 tempos-de-octetos (18x4 slots de tempo)





## ■ Situação (3):

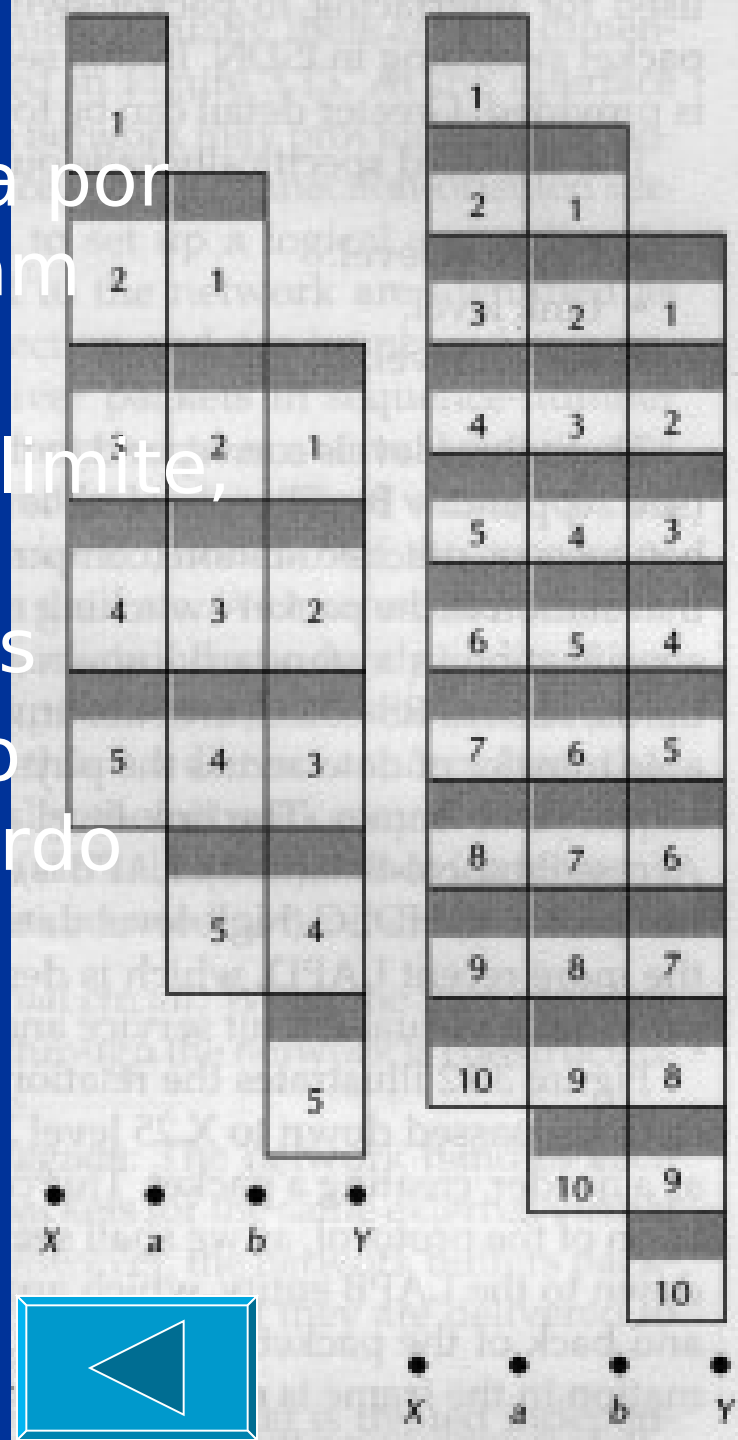
- A mensagem é composta por cinco pacotes, que totalizam 45 bytes ( $5 \times (6+3)$ )
- O pacote1 é transmitido de **X** para o nó **a**.
- Quando **X** transmite o segundo pacote, **a** já passou o primeiro para **b**.
- Quando **X** transmite o terceiro pacote, o primeiro já passou de **b** para **Y**.
- A sobreposição de tempos de transmissão é maior ainda (cada nó pode começar a transmitir ainda mais cedo)










## ■ Situação (4):

- A mensagem é composta por dez pacotes, que totalizam 60 bytes ( $10 \times (3 + 3)$ )
- É atingida uma situação limite, devido a sobrecarga imposta pelos cabeçalhos
- Além disso, na figura não está representado o retardo imposto pela formação da fila nos Nós.

O tempo de transmissão é de 72 tempos-de-octetos ( $6 \times 12$  slots de tempo)



**TABLE 3.6 Comparison of Communication Switching Techniques**

	<b>Circuit Switching</b>	<b>Datagram Packet Switching</b>	<b>Virtual-Circuit Packet Switching</b>
	Dedicated transmission path	No dedicated path	No dedicated path
	Continuous transmission of data	Transmission of packets	Transmission of packets
	Fast enough for interactive	Fast enough for interactive	Fast enough for interactive
	Messages are not stored	Packets may be stored until delivered	Packets stored until delivered
	The path is established for entire conversation	Route established for each packet	Route established for entire conversation
	Call setup delay; negligible transmission delay	Packet transmission delay	Call setup delay; packet transmission delay
	Busy signal if called party busy	Sender may be notified if packet not delivered	Sender notified of connection denial
	Overload may block call setup; no delay for established calls	Overload increases packet delay	Overload may block call setup; increases packet delay
	User responsible for message loss protection	Network may be responsible for individual packets	Network may be responsible for packet sequences
	Usually no speed or code conversion	Speed and code conversion	Speed and code conversion
	Fixed-bandwidth transmission	Dynamic use of bandwidth	Dynamic use of bandwidth
	No overhead bits after call setup	Overhead bits in each packet	Overhead bits in each packet