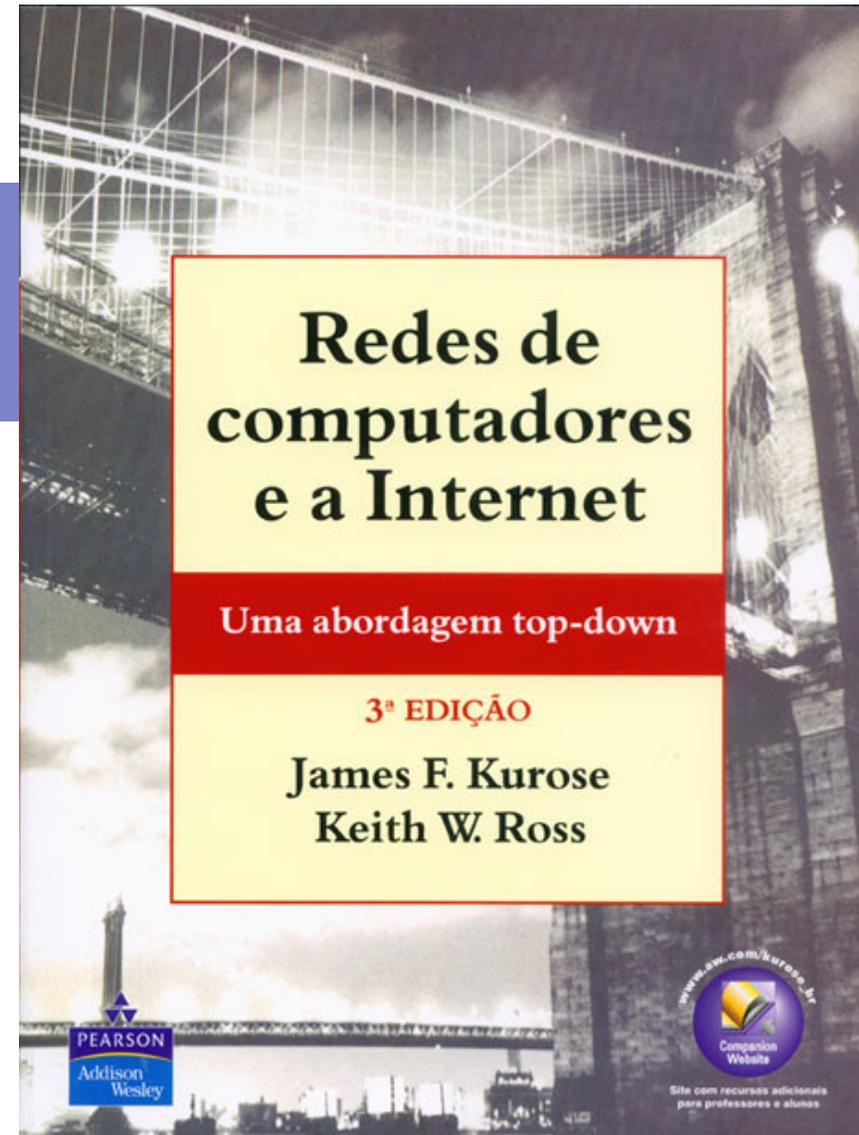


# Redes de computadores e a Internet

Prof. Gustavo Wagner

## Capítulo 4

A camada  
de rede



# 4 A camada de rede

## Objetivos do capítulo:

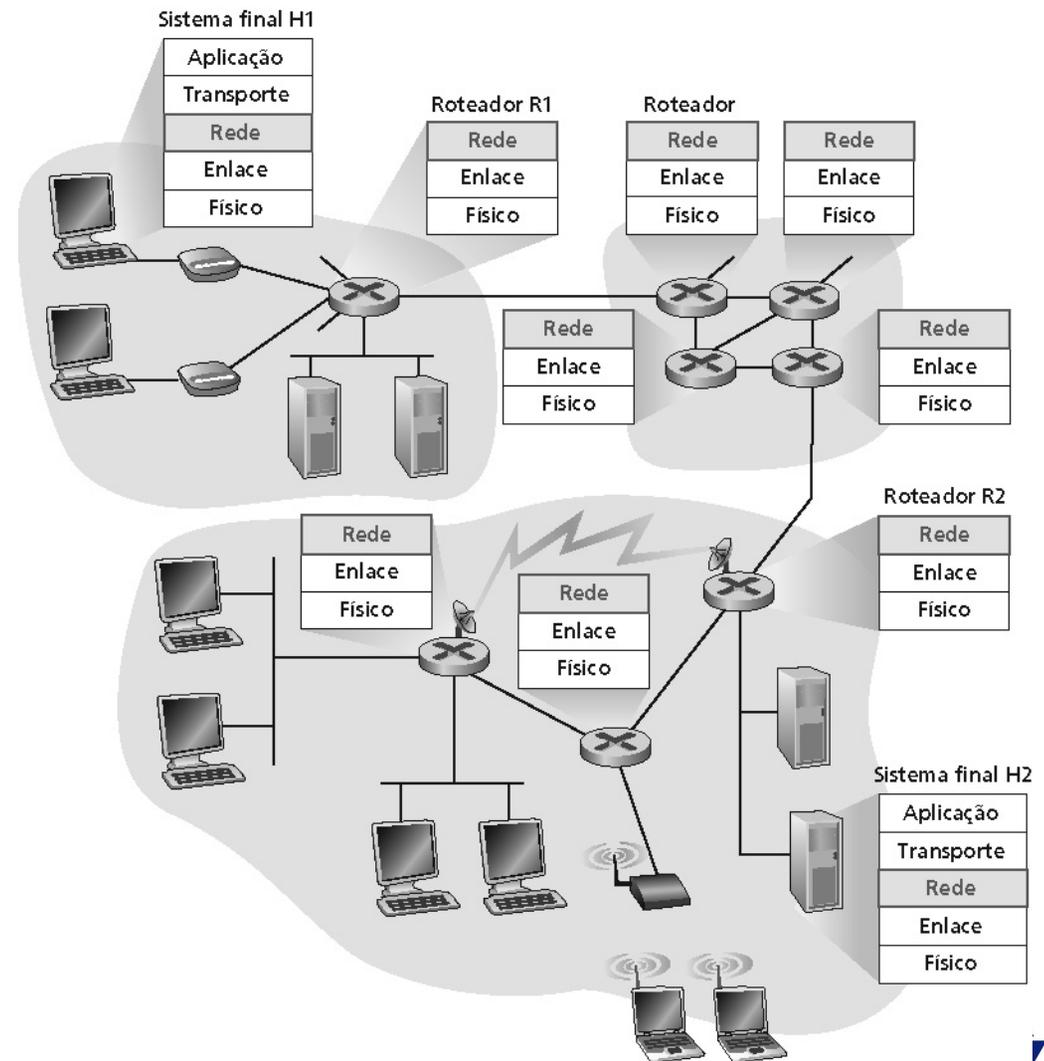
- Entender princípios dos serviços da camada de rede:
  - Roteamento (seleção de caminho)
  - Escalabilidade
  - Como funciona um roteador
  - Tópicos avançados: IPv6, mobilidade
- Instanciação e implementação na Internet

# 4 A camada de rede

- 4.1 Introdução
- 4.2 Circuito virtual e redes de datagrama
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 IP: Protocolo da Internet
  - Formato do datagrama
  - Endereçamento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
  - Link state
  - Distance vector
  - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Roteamento de broadcast e multicast

# 4 A camada de rede

- Transporta segmentos do hospedeiro transmissor para o receptor
- No lado transmissor encapsula os segmentos em datagramas
- No lado receptor, entrega os segmentos à camada de transporte
- Protocolos da camada de rede em *cada* hospedeiro, roteador
- Roteador examina campos de cabeçalho em todos os datagramas IP que passam por ele



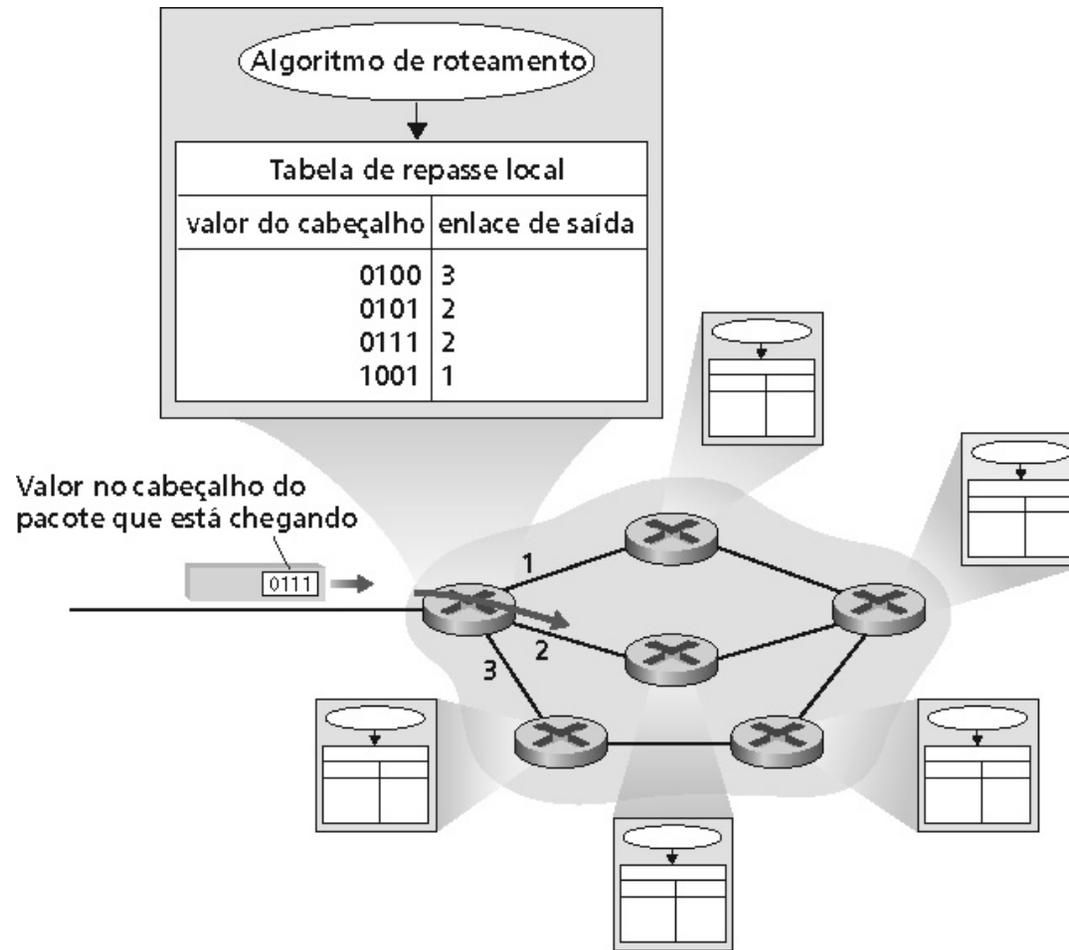
# 4 Funções-chave da camada de rede

- **Comutação(repasse):** mover pacotes da entrada do roteador para a saída apropriada do roteador
- **Roteamento:** determinar a rota a ser seguida pelos pacotes desde a origem até o destino.
  - **Algoritmos de roteamento**

## Analogia:

- **Roteamento:** processo de planejar a viagem da origem ao destino
- **Comutação:** processo de passar de uma cidade a outra por uma BR

# 4 Interação entre roteamento e comutação



# 4 Estabelecimento de conexão

- Função importante em *algumas* arquiteturas de rede:
  - ATM, frame relay, X.25
- Antes do fluxo de datagramas, dois hospedeiros e os devidos roteadores estabelecem uma conexão virtual
  - Roteadores são envolvidos
- Serviço de conexão da camada de rede e de transporte:
  - **Rede:** entre dois hospedeiros
  - **Transporte:** entre dois processos

# 4 Modelo de serviço de rede

**P.:** Como escolher o **modelo de serviço** para o “canal” de transporte de datagramas do transmissor ao receptor?

**Exemplo de serviços para datagramas individuais:**

- Garantia de entrega
- Garantia de entrega com menos do que 40 mseg de atraso

**Exemplo de serviços para um fluxo de datagramas:**

- Entrega em ordem dos datagramas
- Garantia de uma banda mínima para o fluxo
- Jitter máximo garantido: diferença de tempo entre dois pacotes consecutivos enviados deve ser igual ou similar à diferença dos de tempo dos dois pacotes recebidos

# 4 Modelos de serviço da camada de rede

Arquitetura de rede	Modelo de serviço	Parâmetros garantidos				Realim. de congestão
		Banda	Perda	Ordem	Tempo	
Internet	melhor esforço	não	não	não	não	não (examina perdas)
ATM	CBR	taxa constante	sim	sim	sim	não há congestão
ATM	VBR	taxa garantida	sim	sim	sim	não há congestão
ATM	ABR	mínimo garantido	não	sim	não	sim
ATM	UBR	não	não	sim	não	não

# 4 A camada de rede

- 4. 1 Introdução
- 4.2 Circuito virtual e redes de datagrama
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 IP: Protocolo da Internet
  - Formato do datagrama
  - Endereçamento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
  - Link state
  - Distance vector
  - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Roteamento de broadcast e multicast

# 4 Camada de rede: serviços de conexão e sem-conexão

- Redes de datagrama provêm serviços sem-conexão na camada de rede
- Redes de circuito virtual provêm serviços de conexão na camada de rede
- Análogo aos serviços da camada de transporte, mas:
  - **Serviço:** hospedeiro-a-hospedeiro
  - **Sem escolha:** a rede provê ou um ou outro
  - **Implementação:** no núcleo

# 4 Circuitos virtuais (VC)

“A ligação entre a origem e o destino emula uma ligação telefônica”

- Orientado ao desempenho
- A rede controla a conexão entre a origem e o destino
  
- Estabelecimento da conexão deve preceder o envio de dados. Liberação da conexão após os dados.
- Cada pacote transporta um identificador do CV, não transporta o endereço completo do destino
- Cada roteador na rota mantém informação de estado para conexão que passa por ele.
- O link e os recursos do roteador (banda, buffers) podem ser alocados por VC

# 4 Implementação de VC

Um VC consiste de:

1. Caminho da origem até o destino
2. Números de VC, um número para cada link ao longo do caminho (por que não um único número de VC para todos os roteadores?)
3. Entradas em tabelas de comutação em roteadores ao longo do caminho
  - Pacotes pertencentes a um VC carregam um número de VC.
  - O número de VC deve ser trocado em cada link.
  - Novos números de VC vêm da tabela de comutação

# 4 Tabela de comutação

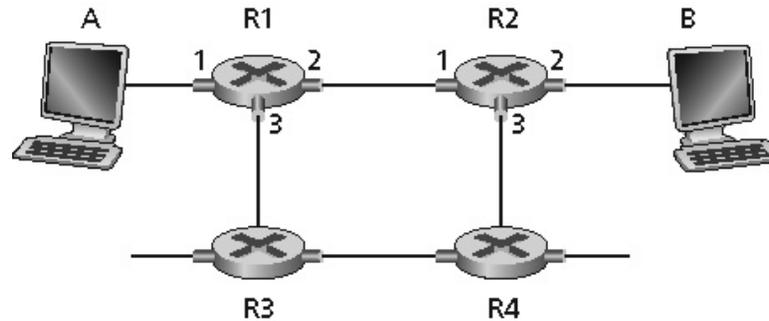


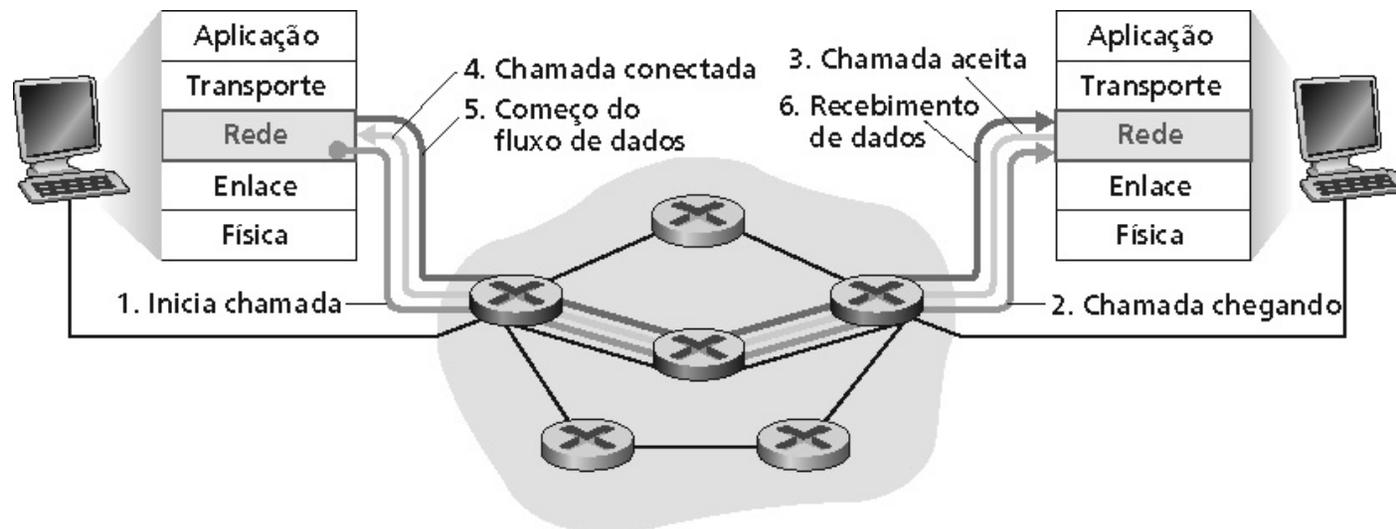
Tabela de comutação no roteador a noroeste:

Interface de entrada	VC # de entrada	Interface de saída	VC # de saída
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...	...	...	...

Roteadores mantêm informações de estado de conexão

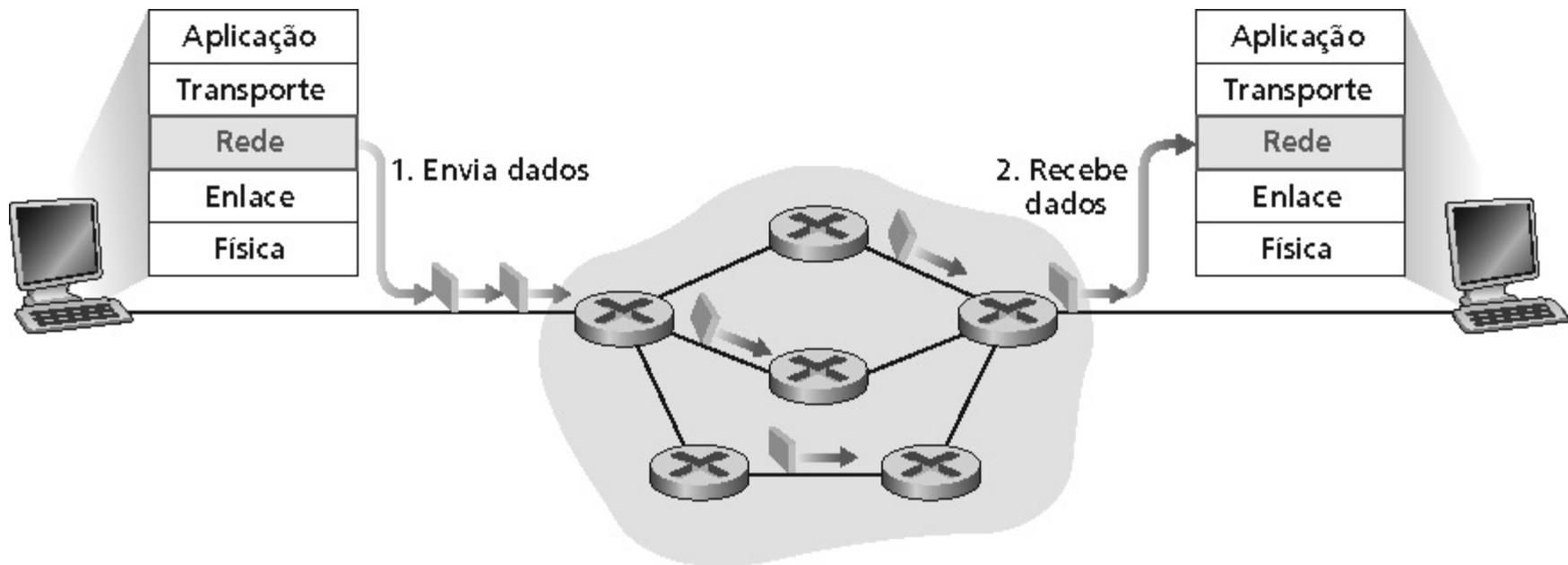
# 4 Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

- Usado para estabelecer, manter e encerrar circuitos virtuais
- Usados em ATM, frame-relay e X-25
- Não é usado na Internet atualmente



# 4 Redes de datagrama

- Não existe estabelecimento de conexão na camada de rede
- Roteadores: não existe estado sobre conexões fim-a-fim
  - O conceito “conexão” não existe na camada de rede
- Pacotes são encaminhados pelo endereço do hospedeiro de destino
  - Pacotes para o mesmo destino podem seguir diferentes rotas



# 4 Tabela de comutação

Endereço com 32 bits: 4 bilhões de  
entradas possíveis

<u>Destination Address Range</u>	<u>Link Interface</u>
11001000 00010111 00010000 00000000 through 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 through 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 through 11001000 00010111 00011111 11111111	2
otherwise	3

# 4 Encontro de prefixos maiores

Prefix Match	Link Interface
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
otherwise	3

## Exemplos

DA: 11001000 00010111 00010110 10100001

Qual interface?

DA: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual interface?

# 4 Datagrama versus circuito virtual

- **Internet**
- Dados trocados entre computadores
  - Serviço elástico, requisitos de atraso não críticos
- Sistemas finais inteligentes
  - Podem adaptar-se, realizar controle e recuperação de erros
  - A rede é simples; a complexidade fica nas pontas
- Muitos tipos de enlaces
  - Características diferentes
  - Difícil obter um serviço uniforme

## ATM

- Originário da telefonia
- Conversação humana:
  - Tempos estritos, exigências de confiabilidade
  - Necessário para serviço garantido
- Sistemas finais “burros”
  - Telefones
  - Complexidade dentro da rede

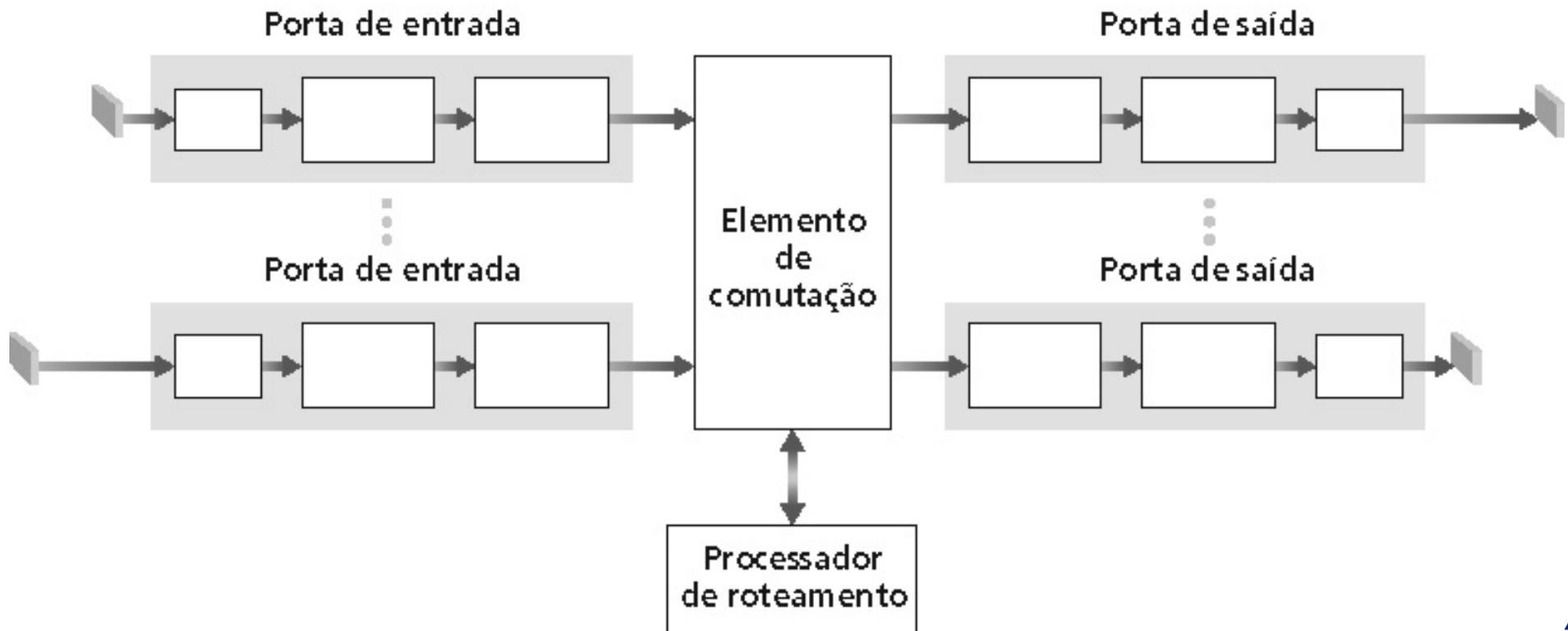
# 4 A camada de rede

- 4.1 Introdução
- 4.2 Circuito virtual e redes de datagrama
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 IP: Protocolo da Internet
  - Formato do datagrama
  - Endereçamento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
  - Link state
  - Distance vector
  - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Roteamento de broadcast e multicast

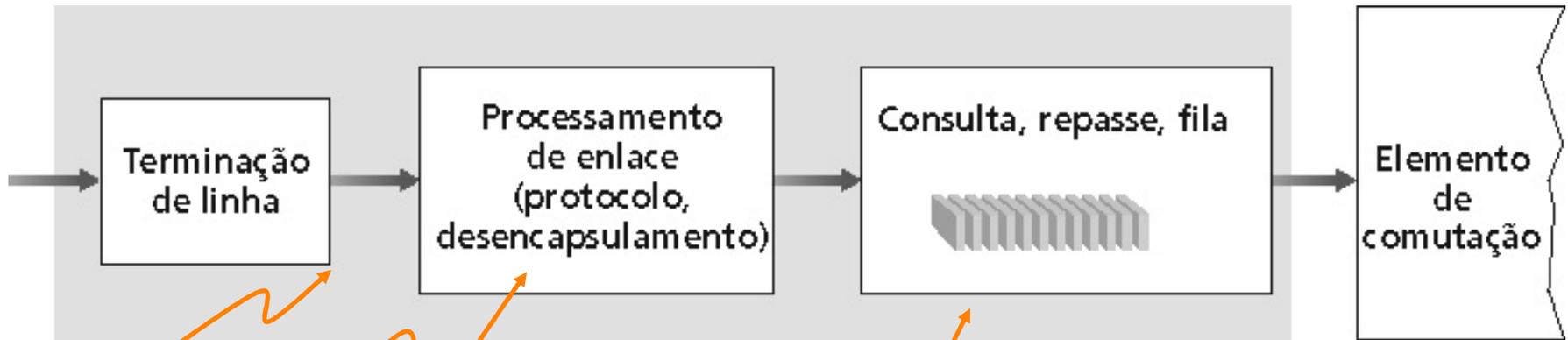
# 4 Visão geral da arquitetura do roteador

Duas funções-chave do roteador:

- Executar algoritmos/protocolos (RIP, OSPF, BGP)
- **Comutar** os datagramas do link de entrada para o link de saída



# 4 Funções da porta de entrada



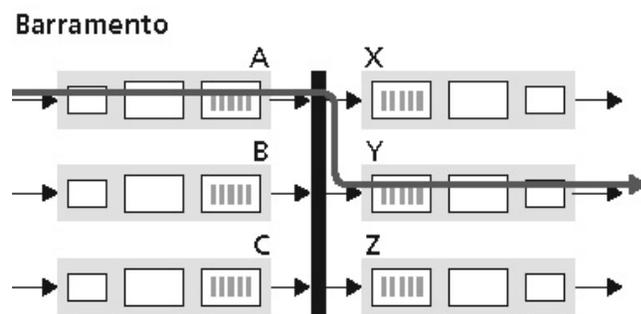
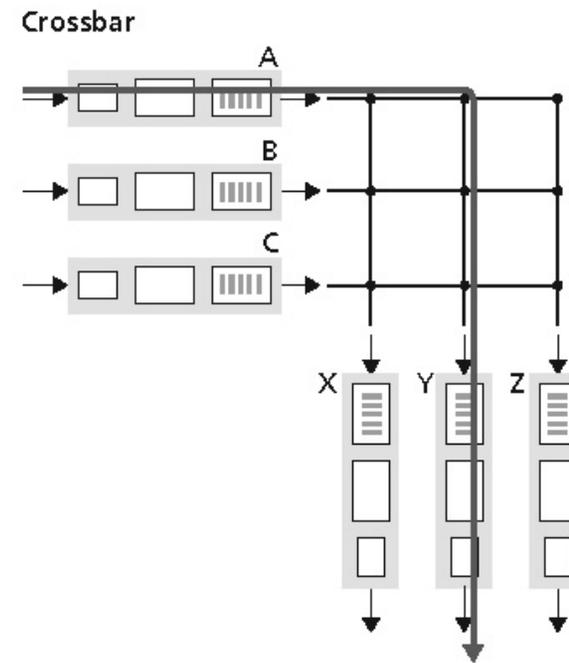
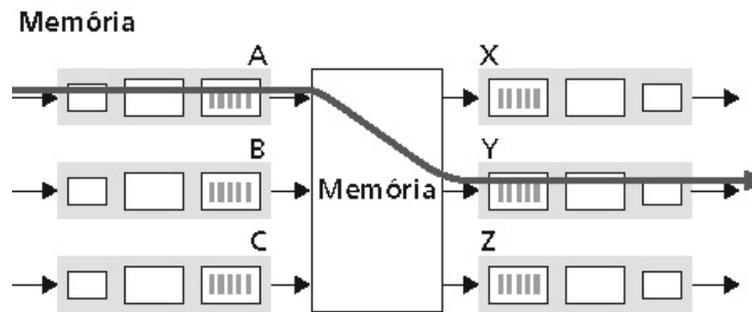
Camada física:  
recepção de bits

Camada de enlace:  
ex.: Ethernet  
(veja capítulo 5)

## Comutação descentralizada:

- Dado o destino do datagrama, procura a porta de saída usando a tabela de comutação na memória da porta de entrada
- Objetivo: completar o processamento da porta de entrada na 'velocidade da linha'
- Fila: se os datagramas chegam mais rápido do que a taxa de comutação para o switch

# 4 Três tipos de estrutura de comutação



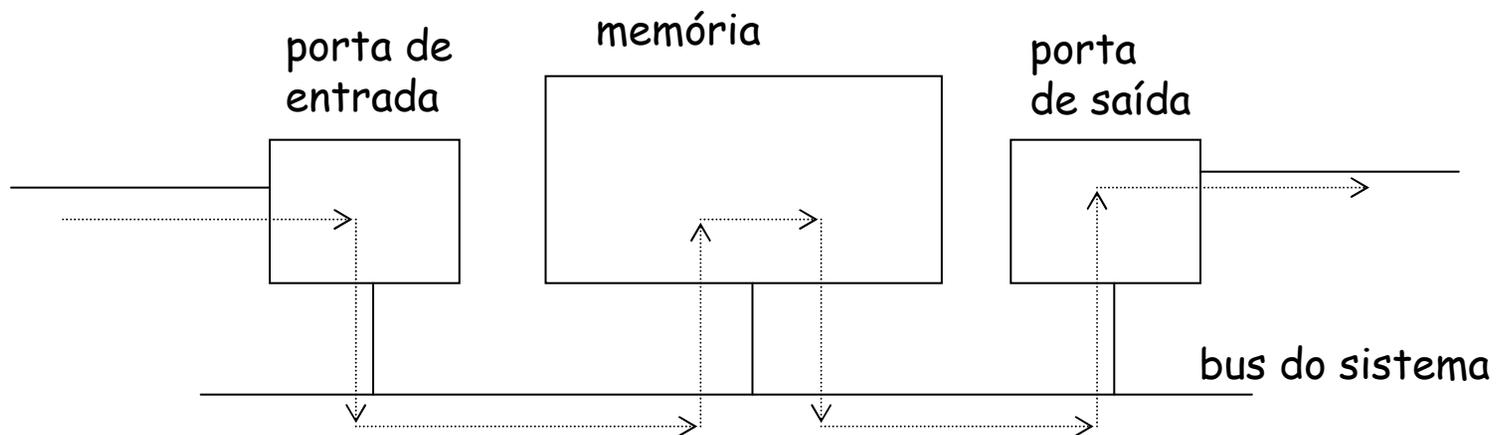
Legenda:



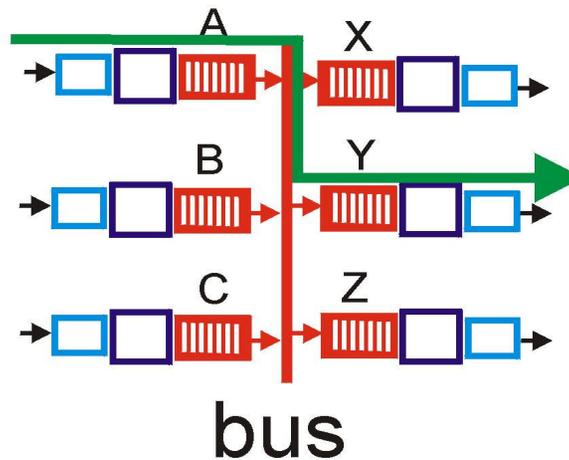
# 4 Comutação via memória

## Primeira geração de roteadores:

- Computadores tradicionais com comutação sob controle direto da CPU
- Pacote copiado para a memória do sistema
- Velocidade limitada pela largura de banda (2 bus cruzados por datagrama)



# 4 Comutação via bus

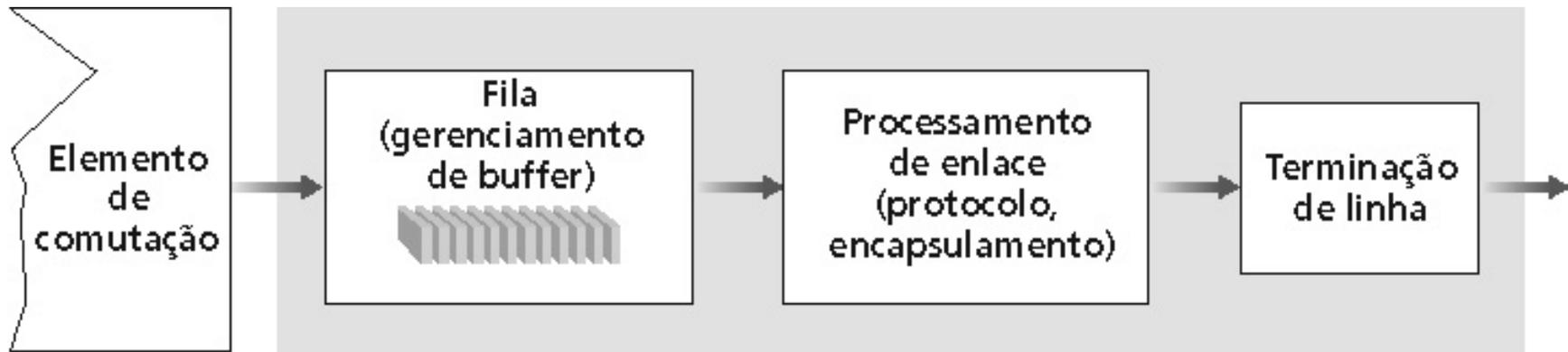


- Datagrama da memória da porta de entrada para a memória da porta de saída através de um bus compartilhado
- **Contenção do bus:** velocidade de comutação limitada pela largura de banda do bus
- Barramento de 1 Gbps, Cisco 1900: velocidade suficiente para roteadores de acesso e de empresas (não para roteadores regionais ou de backbone)

# 4 Comutação via rede de interconexão

- Supera as limitações de largura de banda do bus
- Redes de Banyan, outras redes de interconexão inicialmente desenvolvidas para conectar processadores em multiprocessamento
- Projeto avançado: fragmentar datagramas em células de tamanho fixo, comutar as células através do switch.
- Cisco 12000: comuta Gbps através da rede de interconexão

# 4 Portas de saída

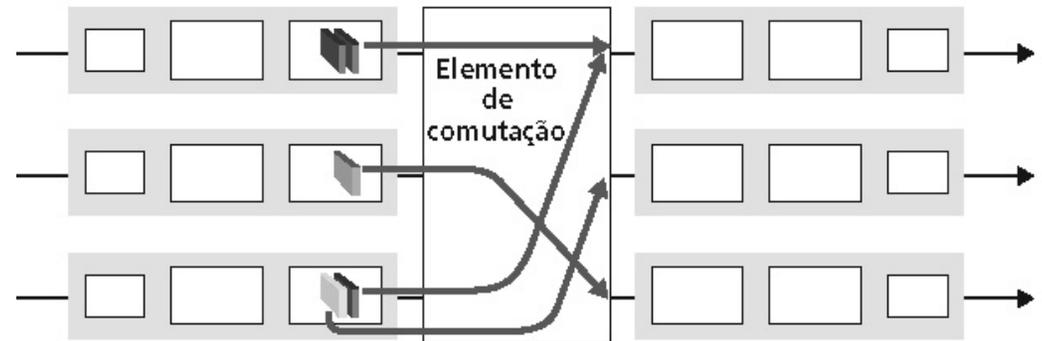


- **Buffering** necessário quando datagramas chegam do switch mais rápido do que a taxa de transmissão
- **Disciplina de agendamento** escolhe entre os datagramas na fila para transmissão

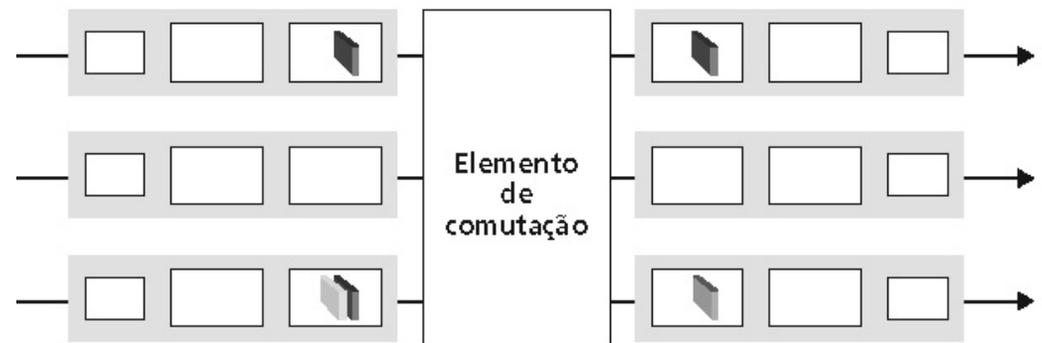
# 4 Enfileiramento na porta de saída

- Buffering: quando a taxa de chegada pelo switch excede a velocidade da linha de saída
- **Queueing (atraso) e perda devido ao buffer overflow da porta de saída!**

Contenção pela porta de saída no tempo  $t$  — um pacote escuro pode ser transferido



Pacote claro do último retângulo sofre bloqueio HOL



Legenda:

- destinado à porta de saída mais alta
- destinado à porta de saída do meio
- destinado à porta de saída mais baixa

# 4 Enfileiramento na porta de entrada

- Switch mais lento que as portas de entrada combinadas -> pode ocorrer filas na entrada
- **Bloqueio Head-of-the-Line (HOL):** datagrama na frente da fila impede os outros na fila de se moverem para adiante
- **Atraso e perda na fila devido ao overflow no buffer de entrada!**

