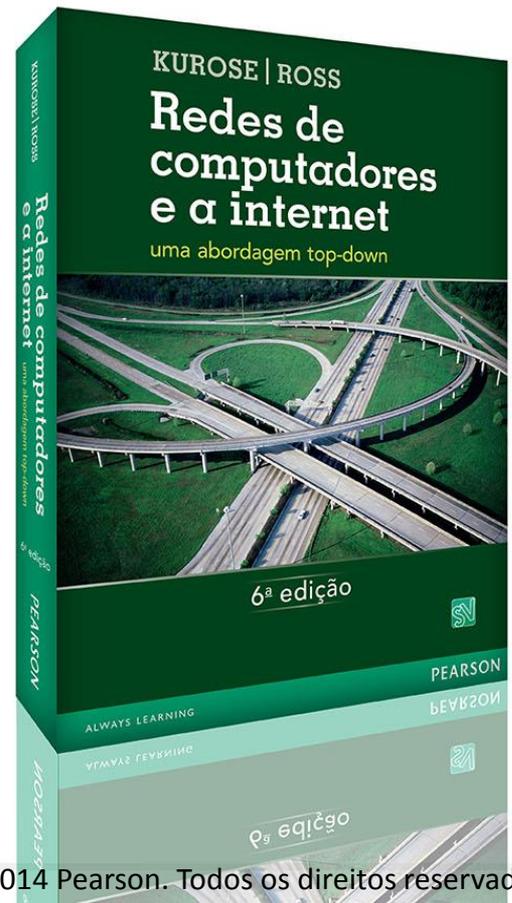


Capítulo 4

A camada de REDE

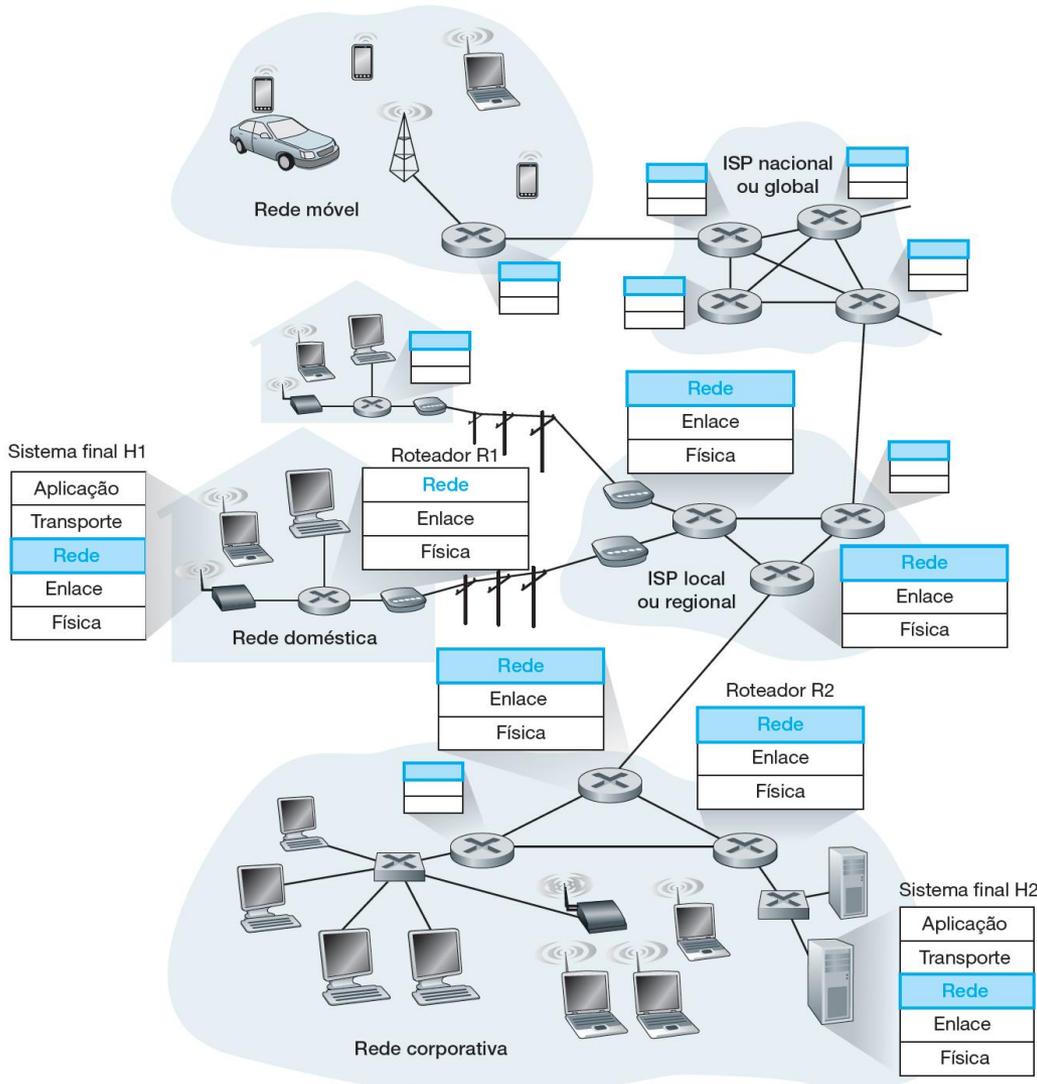


Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Introdução



- A camada de rede

Repasse e roteamento

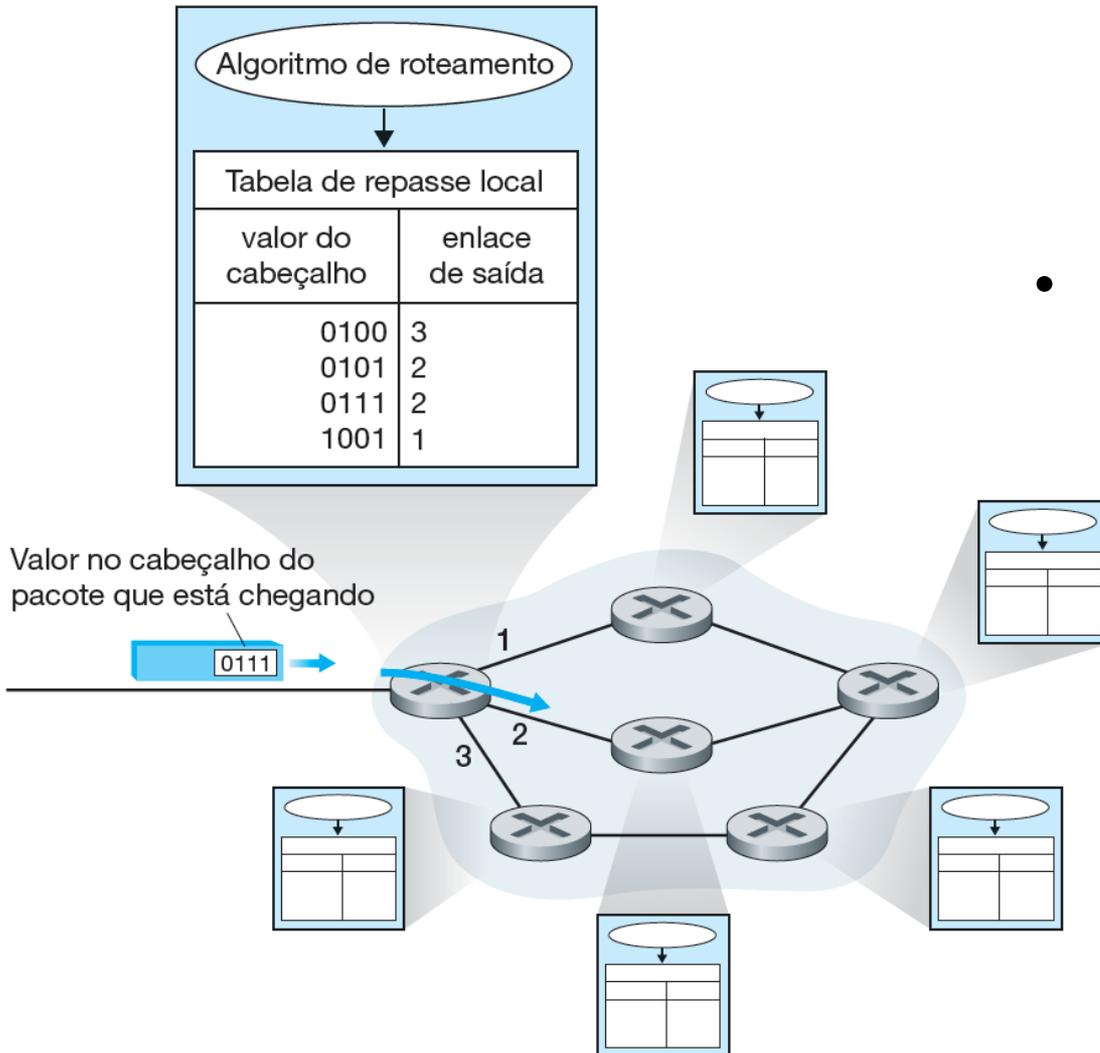
- O papel da camada de rede é transportar pacotes de um hospedeiro remetente a um hospedeiro destinatário.
- **Repasse.** Quando um pacote chega ao enlace de entrada de um roteador, este deve conduzi-lo até o enlace de saída apropriado.
- **Roteamento.** A camada de rede deve determinar a rota ou o caminho tomado pelos pacotes ao fluírem de um remetente a um destinatário.

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Repasse e roteamento



- Algoritmos de roteamento determinam valores em tabelas de repasse:

Modelos de serviço de rede

- O **modelo de serviço de rede** define as características do transporte de dados fim a fim entre uma borda da rede e a outra.

Alguns serviços específicos que poderiam ser oferecidos são:

- Entrega garantida.
- Entrega garantida com atraso limitado.
- Entrega de pacotes na ordem.
- Largura de banda mínima garantida.
- Jitter máximo garantido.
- Serviços de segurança.

Modelos de serviço de rede

- Modelos de serviço das redes Internet, ATM CBR e ATM ABR

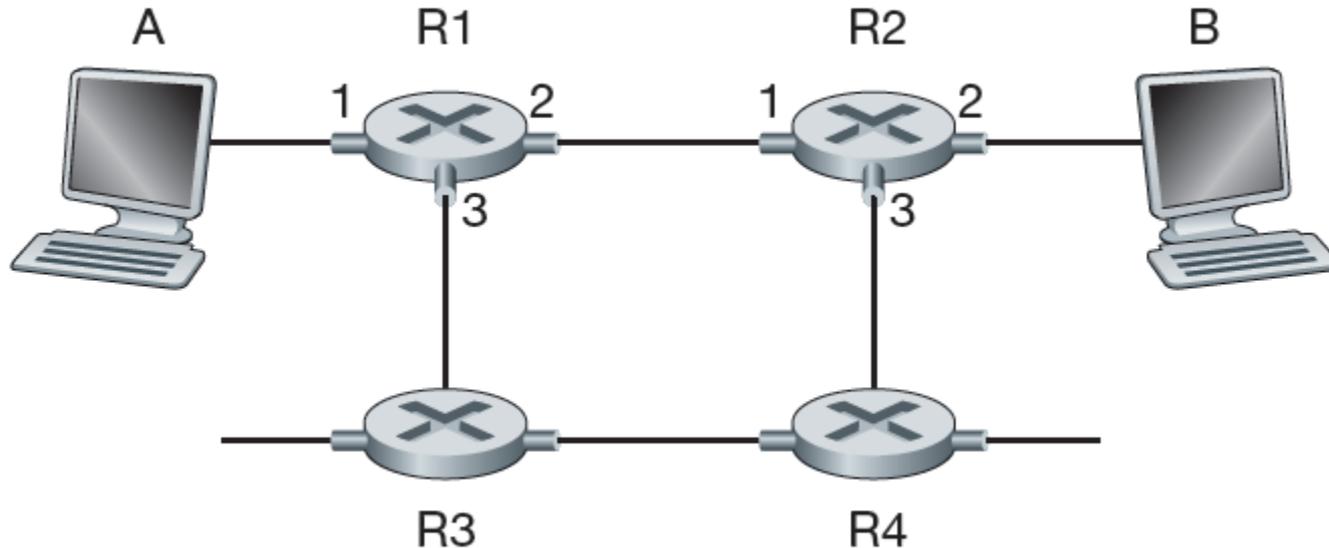
Arquitetura da rede	Modelo de serviço	Garantia de largura de banda	Garantia contra perda	Ordenação	Temporização	Indicação de congestionamento
Internet	Melhor esforço	Nenhuma	Nenhuma	Qualquer ordem possível	Não mantida	Nenhuma
ATM	CBR	Taxa constante garantida	Sim	Na ordem	Mantida	Não haverá congestionamento
ATM	ABR	Mínima garantida	Nenhuma	Na ordem	Não mantida	Indicação de congestionamento

Redes de circuitos virtuais

- Um circuito virtual (CV) consiste em:
 1. um caminho (isto é, uma série de enlaces e roteadores) entre hospedeiros de origem e de destino,
 2. números de CVs, um número para cada enlace ao longo do caminho e
 3. registros na tabela de repasse em cada roteador ao longo do caminho.

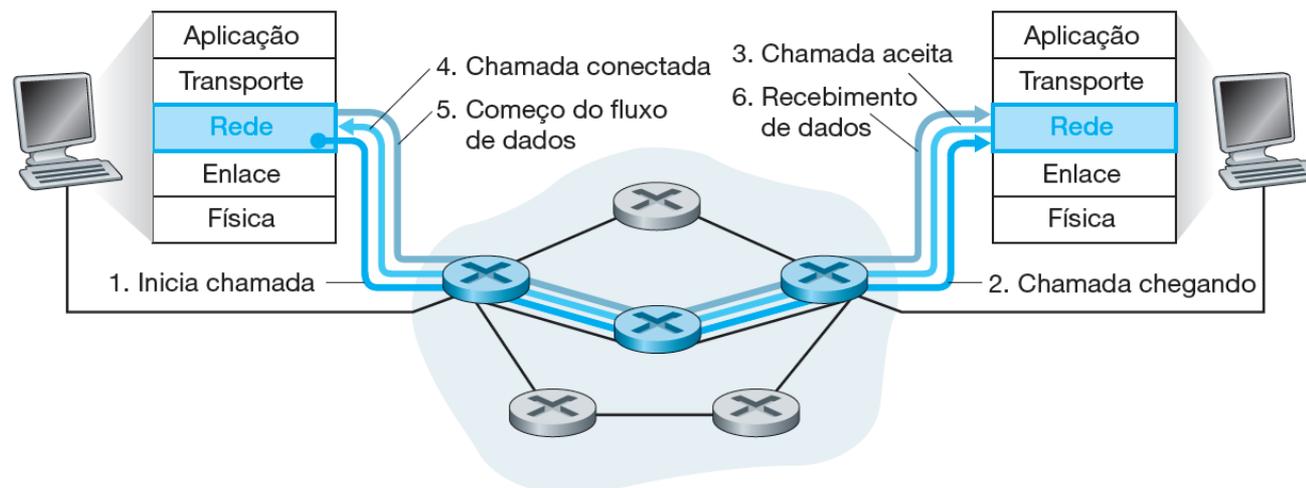
Redes de circuitos virtuais

- Uma rede de circuitos virtuais simples:



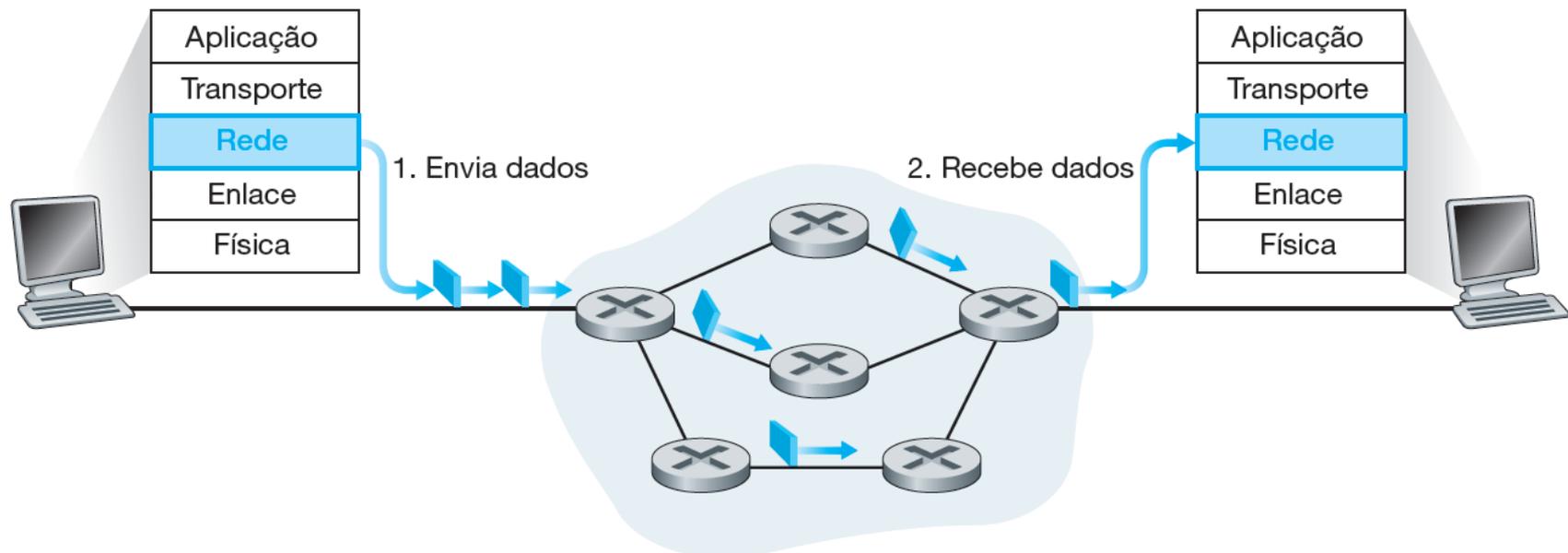
Redes de circuitos virtuais

- Há três fases que podem ser identificadas em um circuito virtual:
 1. Estabelecimento de CV.
 2. Transferência de dados.
 3. Encerramento do CV.



Redes de datagramas

- Em uma rede de datagramas, toda vez que um sistema final quer enviar um pacote, ele marca o pacote com o endereço do sistema final de destino e então o envia para dentro da rede.



Redes de datagramas

- Ao ser transmitido da origem ao destino, um pacote passa por uma série de roteadores.
- Cada um desses roteadores usa o endereço de destino do pacote para repassá-lo.
- Então, o roteador transmite o pacote para aquela interface de enlace de saída.
- A tabela de repasse de um roteador em uma rede de CVs é modificada sempre que é estabelecida uma nova conexão através do roteador ou sempre que uma conexão existente é desativada.

O que há dentro de um roteador?

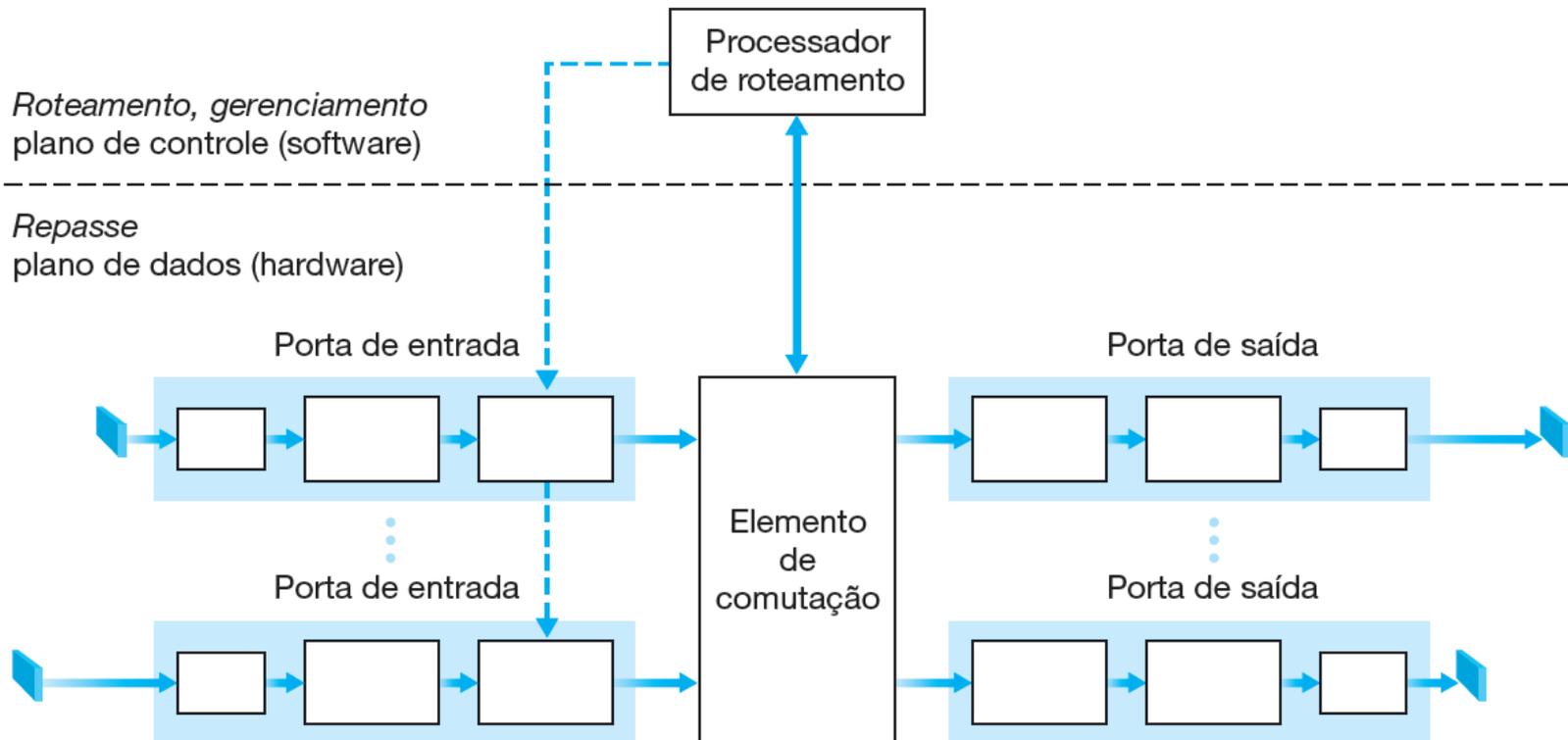
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

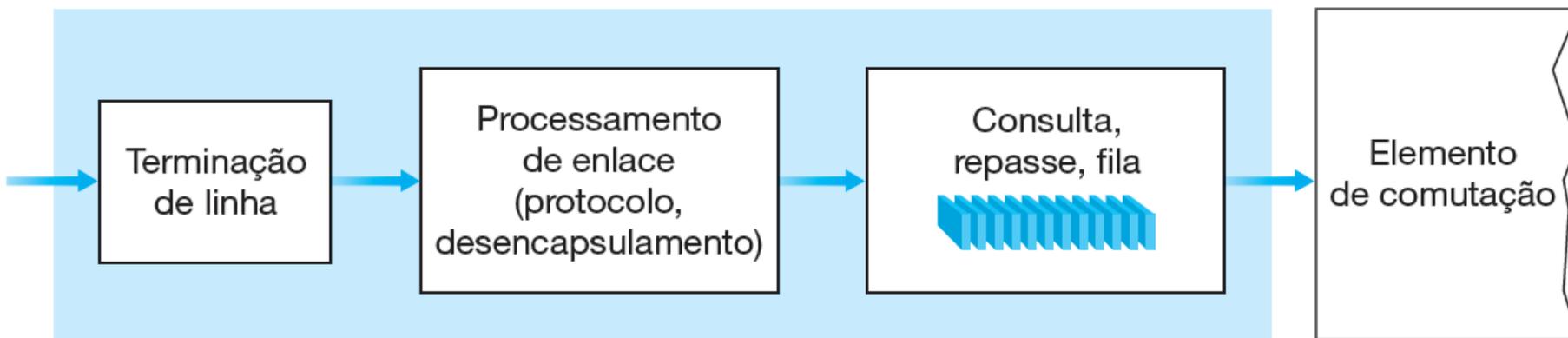
6ª edição

- Arquitetura de roteador



Processamento de entrada

- Processamento na porta de entrada



Elemento de comutação

É por meio do elemento de comutação que os pacotes são comutados de uma porta de entrada para uma porta de saída.

A comutação pode ser realizada de inúmeras maneiras:

- Comutação por memória.
- Comutação por um barramento.
- Comutação por uma rede de interconexão.

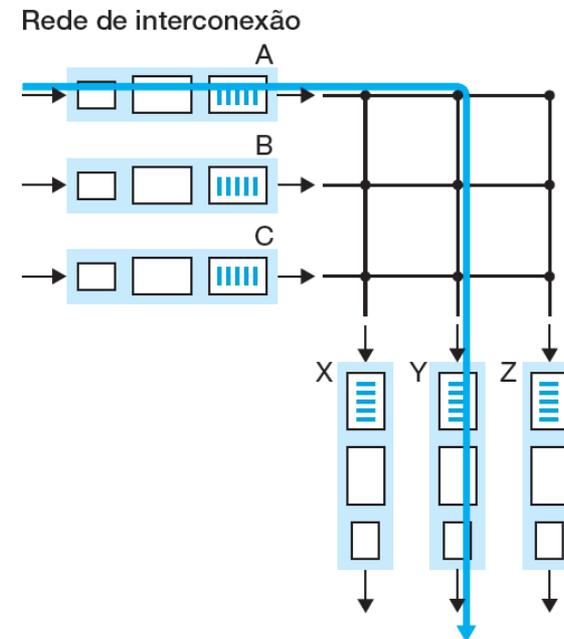
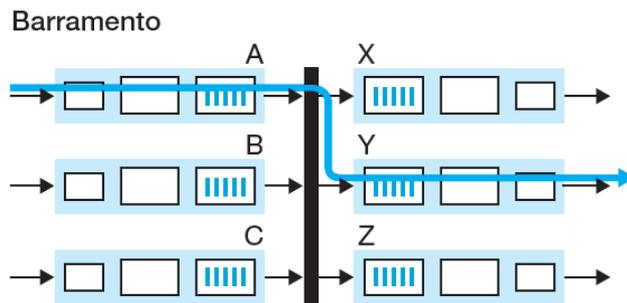
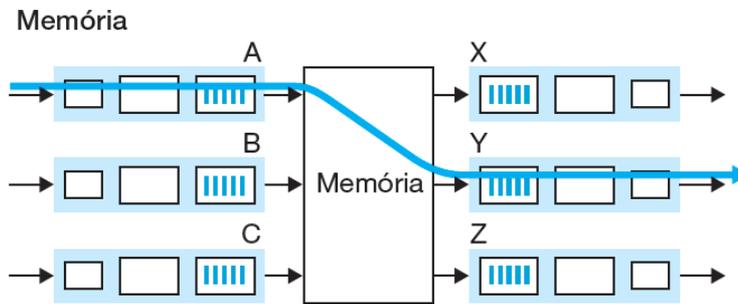
Elemento de comutação

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

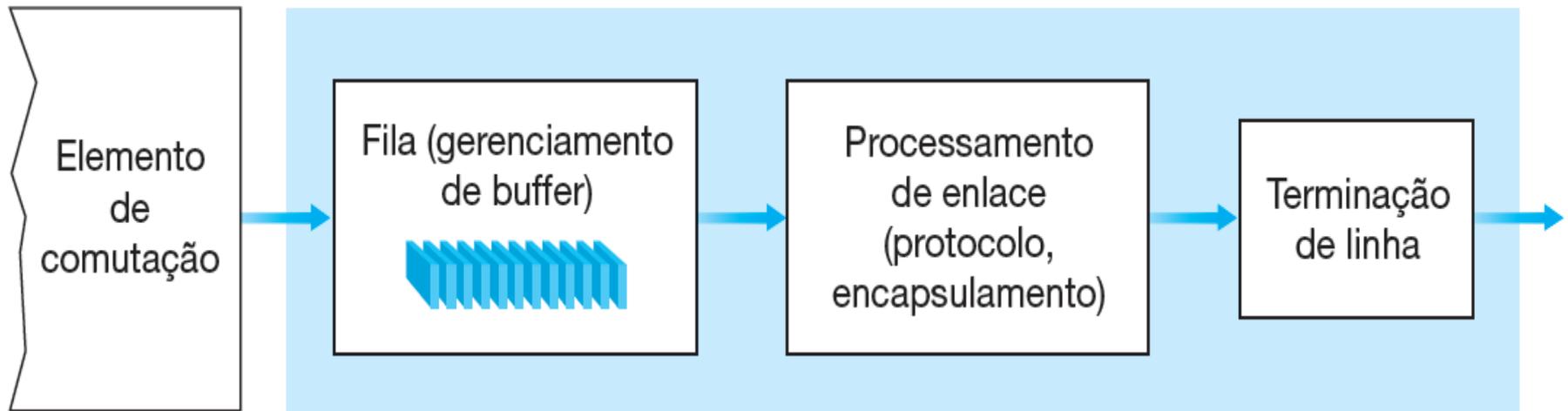


Legenda:

□ □ [||||] Porta de entrada [||||] □ □ Porta de saída

Processamento de saída

- Processamento de porta de saída



Onde ocorre formação de fila?

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Filas de pacotes podem se formar tanto nas portas de entrada como nas de saída.

O local e a extensão da formação de fila dependerão:

- da carga de tráfego,
- da velocidade relativa do elemento de comutação e
- da taxa da linha.

Onde ocorre formação de fila?

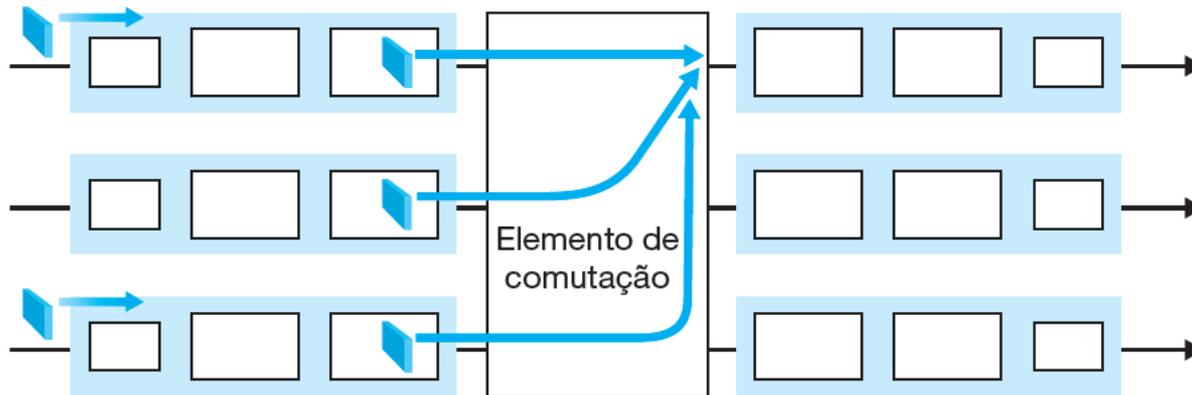
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

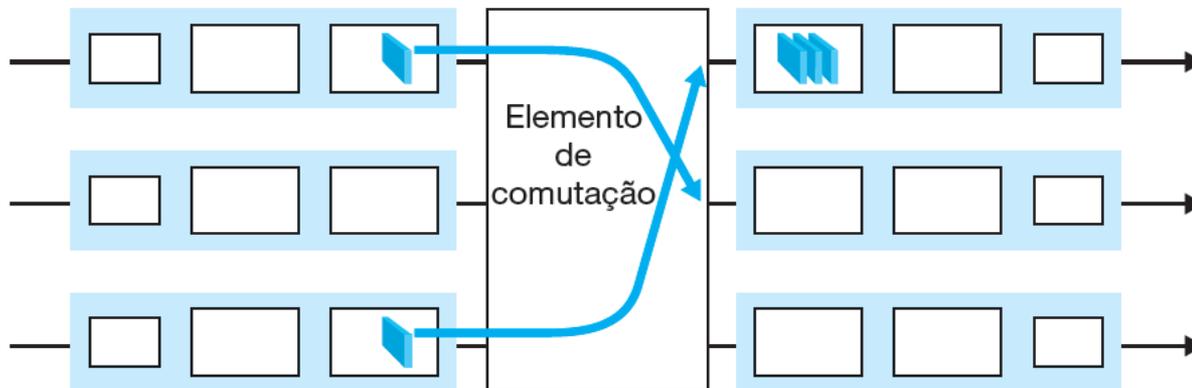
uma abordagem top-down

6ª edição

Disputa pela porta de saída no tempo t



Um tempo de pacote mais tarde



- Formação de fila na porta de saída

O Protocolo da Internet (IP): repasse e endereçamento na Internet

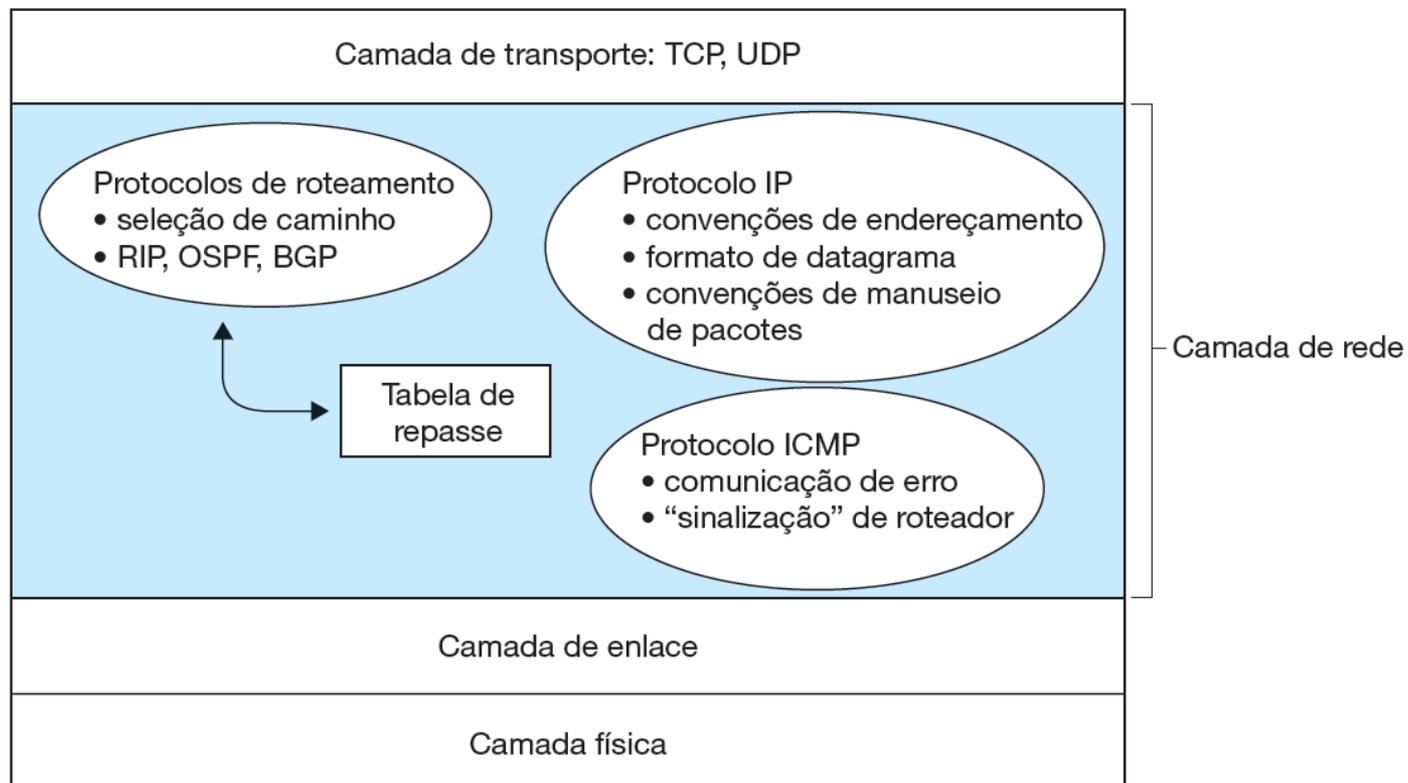
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

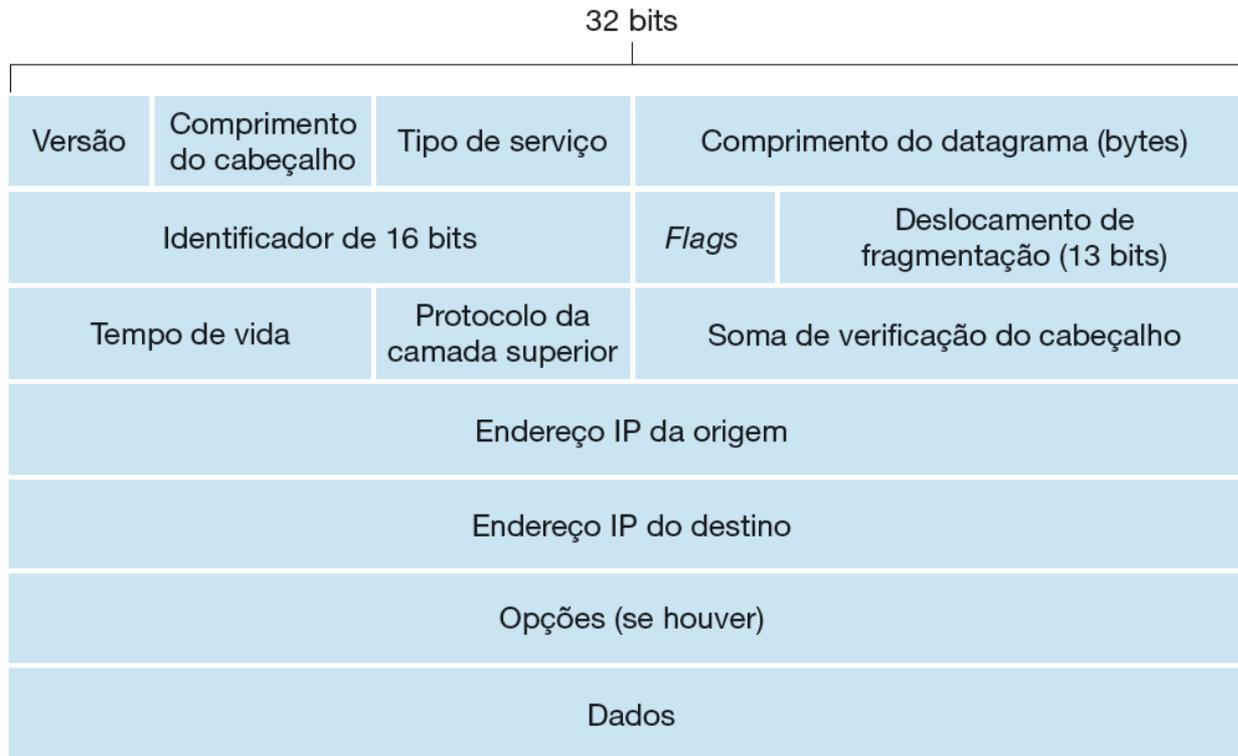
6ª edição

- Contemplando o interior da camada de rede da Internet



Formato de datagrama

- Formato do datagrama IPv4



Fragmentação do datagrama IP

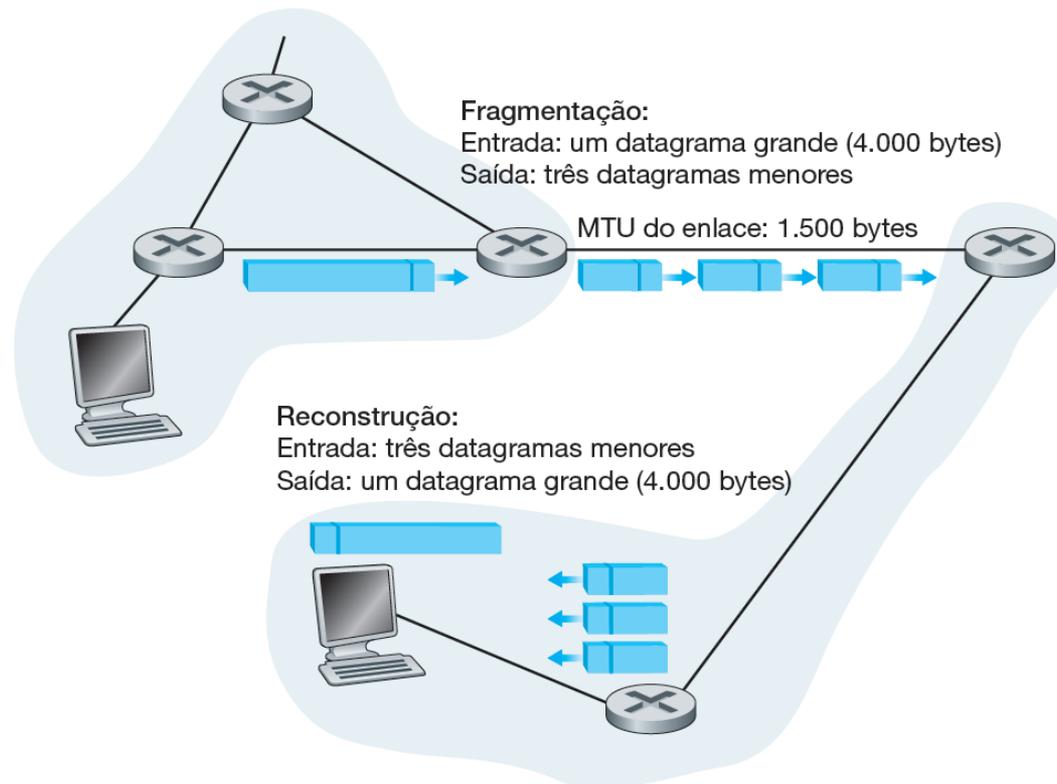
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Fragmentação e reconstrução IP



Fragmentação do datagrama IP

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Fragmentos IP

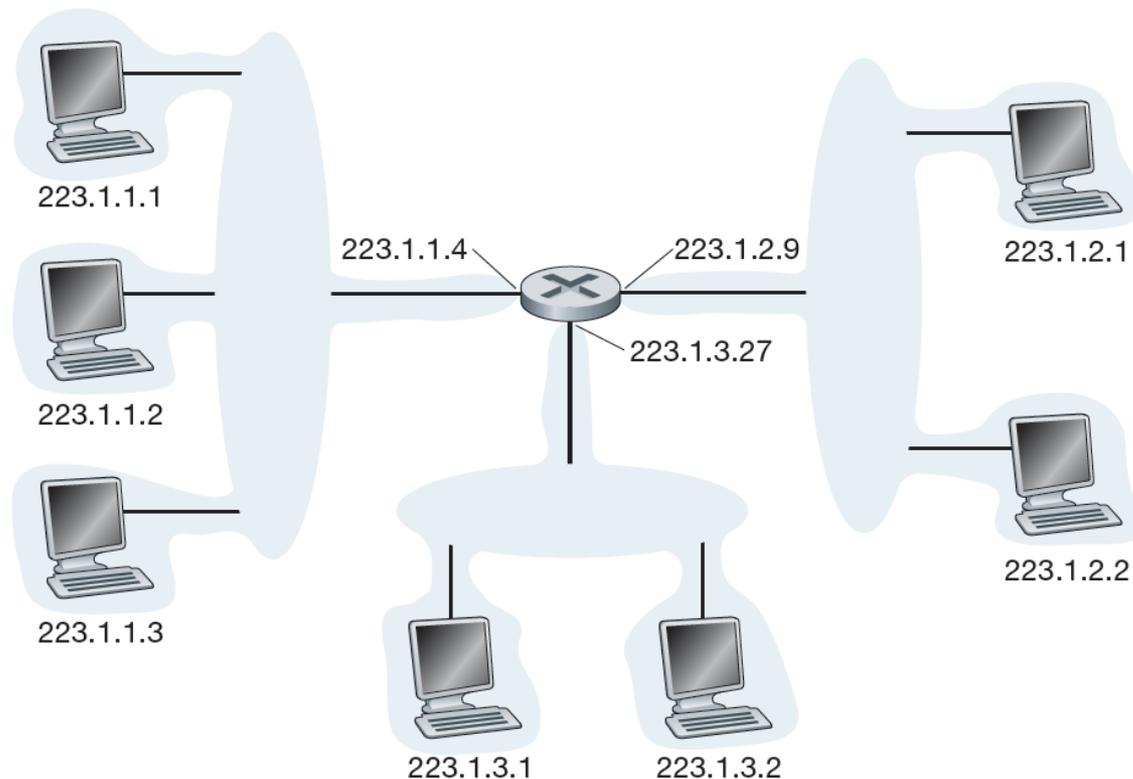
Fragmento	Bytes	ID	Deslocamento	Flag
1º fragmento	1.480 bytes no campo de dados do datagrama IP	identificação = 777	0 (o que significa que os dados devem ser inseridos a partir do byte 0)	1 (o que significa que há mais)
2º fragmento	1.480 bytes de dados	identificação = 777	185 (o que significa que os dados devem ser inseridos a partir do byte 1.480. Note que $185 \times 8 = 1.480$)	1 (o que significa que há mais)
3º fragmento	1.020 bytes de dados (= $3.980 - 1.480 - 1.480$)	identificação = 777	370 (o que significa que os dados devem ser inseridos a partir do byte 2.960. Note que $370 \times 8 = 2.960$)	0 (o que significa que esse é o último fragmento)

Endereçamento IPv4

- Um endereço IP está tecnicamente associado com uma interface.
- Cada endereço IP tem comprimento de 32 bits (equivalente a 4 bytes).
- Portanto, há um total de 2^{32} endereços IP possíveis.
- Fazendo uma aproximação de 2^{10} por 10^3 , é fácil ver que há cerca de 4 bilhões de endereços IP possíveis.
- Esses endereços são escritos em **notação decimal separada por pontos**.

Endereçamento IPv4

- Endereços de interfaces e sub-redes



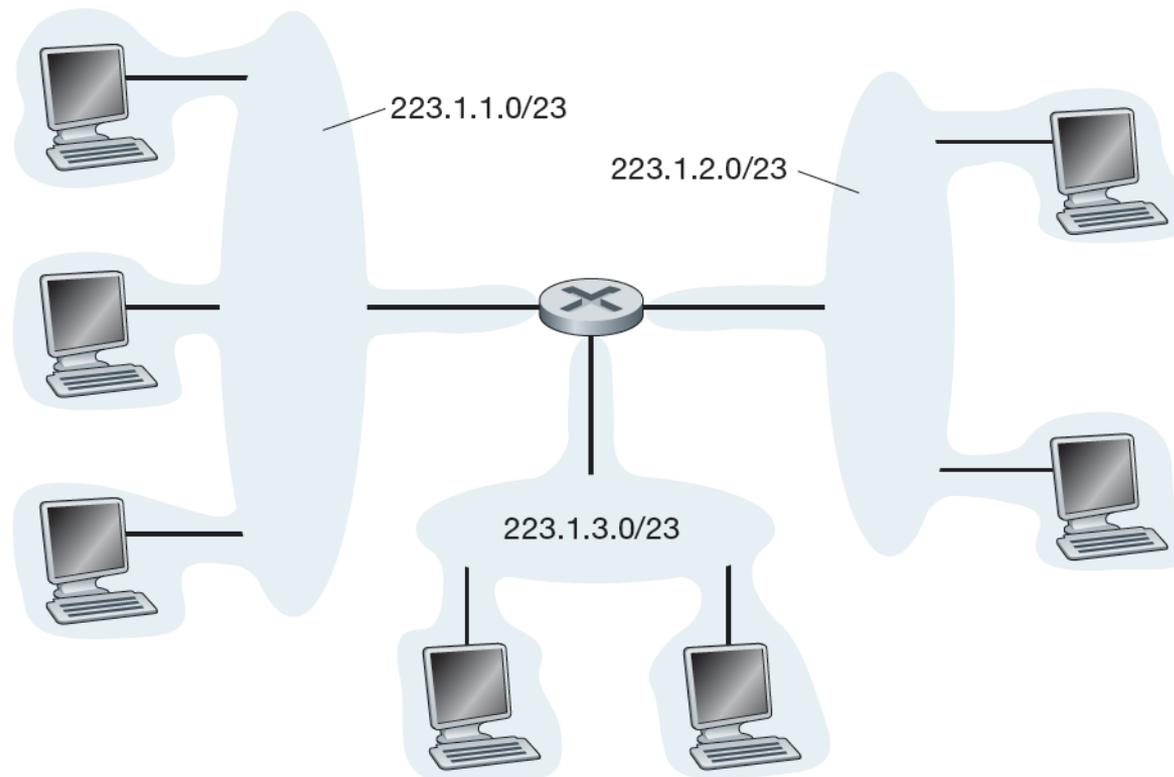
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

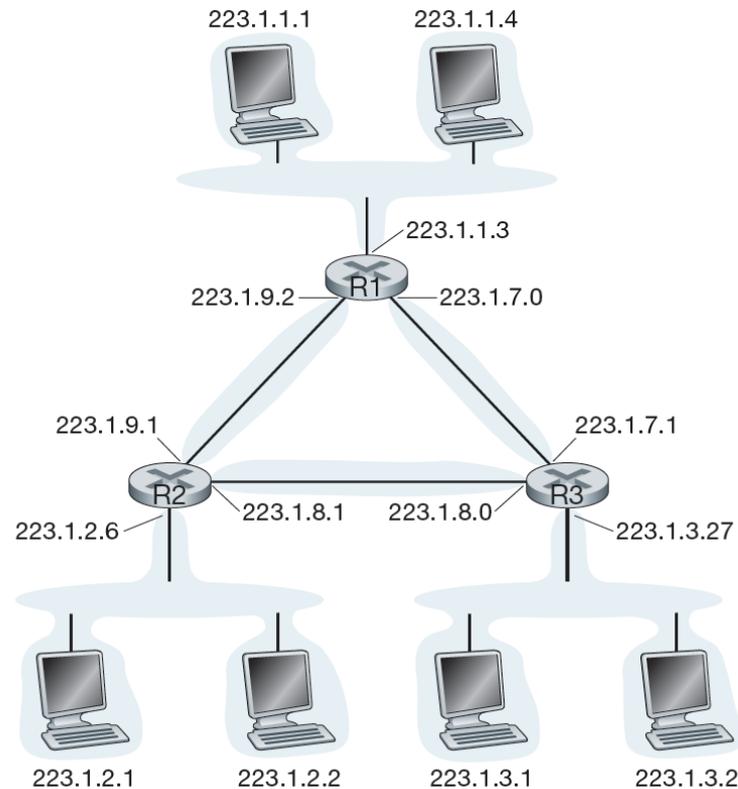
Endereçamento IPv4

- Endereços de sub-redes



Endereçamento IPv4

- Três roteadores interconectando seis sub-redes



Obtenção de um bloco de endereços

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Para obter um bloco de endereços IP para utilizar dentro da sub-rede de uma organização, um administrador de rede poderia:
 1. contatar seu ISP, que forneceria endereços a partir de um bloco maior de endereços que já estão alocados ao ISP.
 2. O ISP, por sua vez, dividiria seu bloco de endereços em oito blocos de endereços contíguos, do mesmo tamanho, e daria um deles a cada uma de um conjunto de oito organizações suportadas por ele (veja figura a seguir):

Obtenção de um bloco de endereços

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Bloco do ISP	200.23.16.0/20	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000
Organização 0	200.23.16.0/23	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000
Organização 1	200.23.18.0/23	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000
Organização 2	200.23.20.0/23	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000
...		
Organização 7	200.23.30.0/23	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000

Obtenção de um endereço de hospedeiro: o Protocolo de Configuração Dinâmica de Hospedeiros (DHCP)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- O DHCP permite que um hospedeiro obtenha (seja alocado a) um endereço IP de maneira automática.
- O DHCP é em geral denominado um **protocolo *plug and play***.
- O protocolo DHCP é um processo de quatro etapas:
 1. Descoberta do servidor DHCP.
 2. Oferta(s) dos servidores DHCP.
 3. Solicitação DHCP.
 4. DHCP ACK.

Obtenção de um endereço de hospedeiro: o Protocolo de Configuração Dinâmica de Hospedeiros (DHCP)

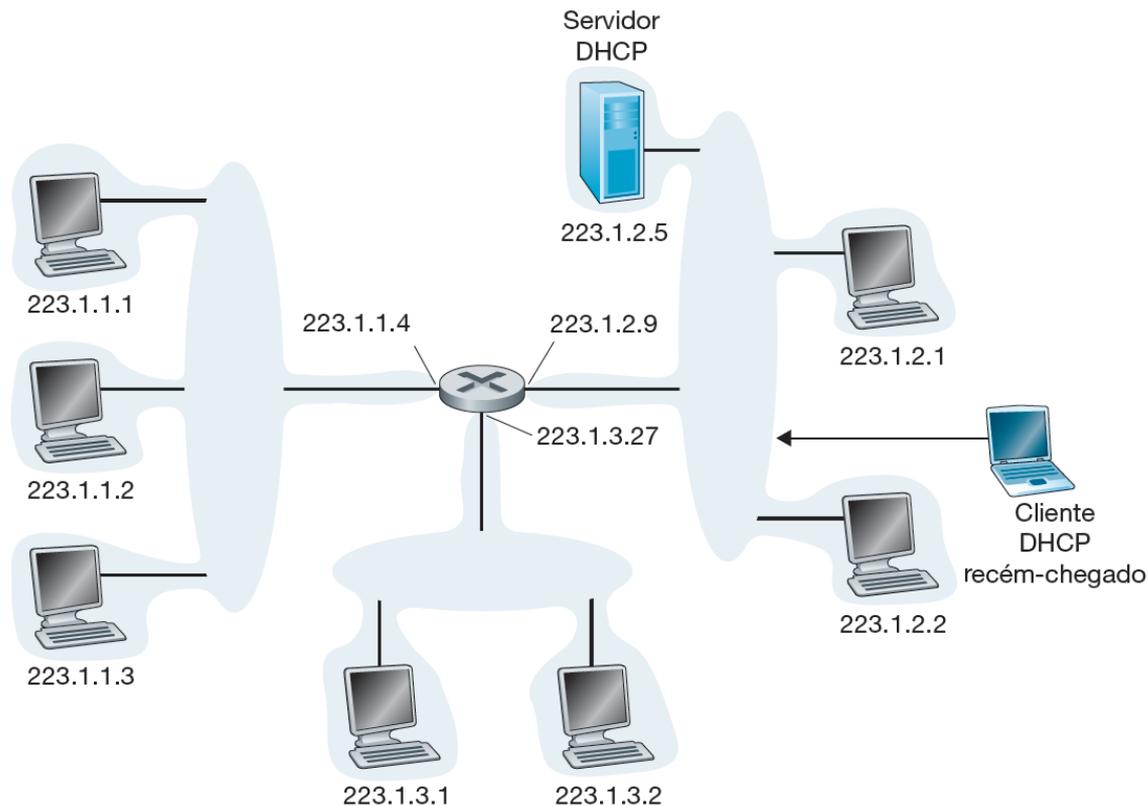
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Cenário cliente-servidor DHCP



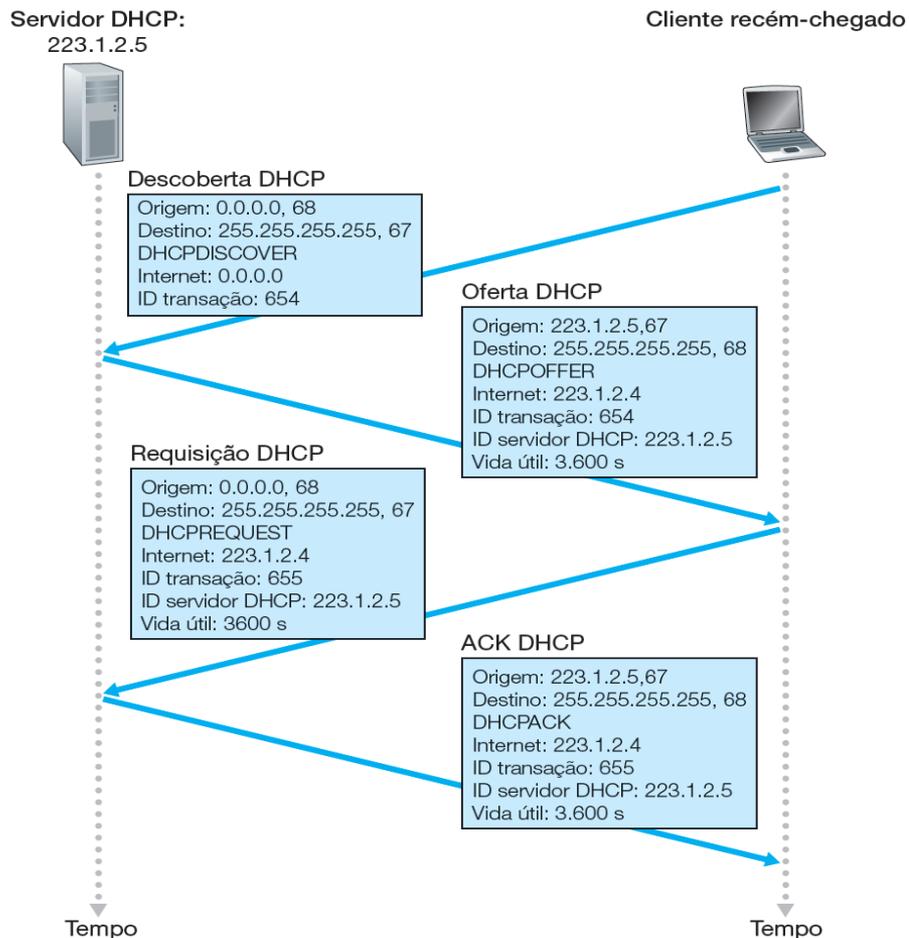
Obtenção de um endereço de hospedeiro: o Protocolo de Configuração Dinâmica de Hospedeiros (DHCP)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

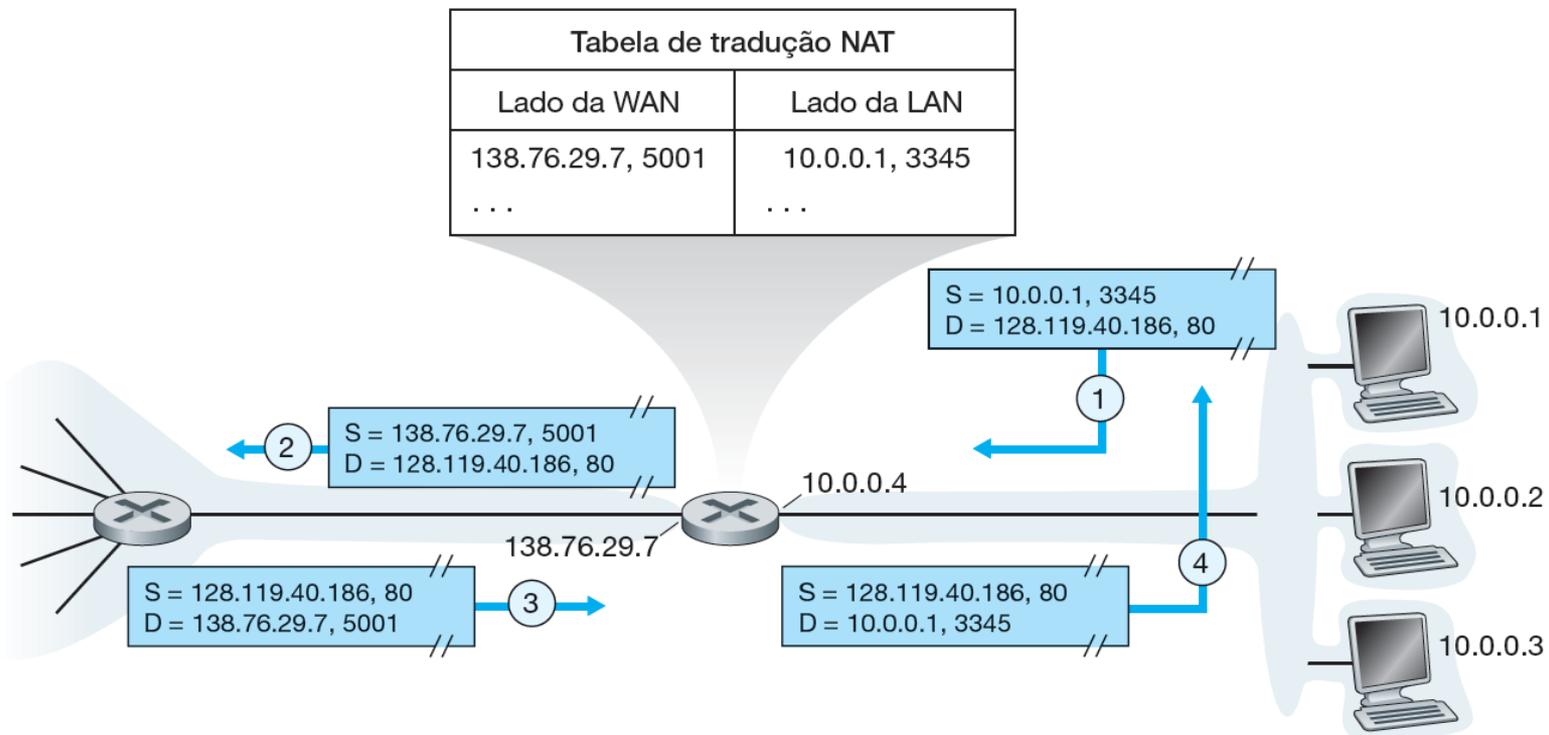
6ª edição



- Interação cliente-servidor DHCP

Tradução de endereços na rede (NAT)

- Tradução de endereços de rede (S = Origem, D = Destino)



Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- O ICMP é usado por hospedeiros e roteadores para comunicar informações de camada de rede entre si.
- A utilização mais comum do ICMP é para comunicação de erros.
- Mensagens ICMP têm um campo de tipo e um campo de código.
- O conhecido programa ping envia uma mensagem ICMP do tipo 8 código 0 para o hospedeiro especificado.
- Alguns tipos de mensagens ICMP selecionadas são mostrados a seguir.

Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

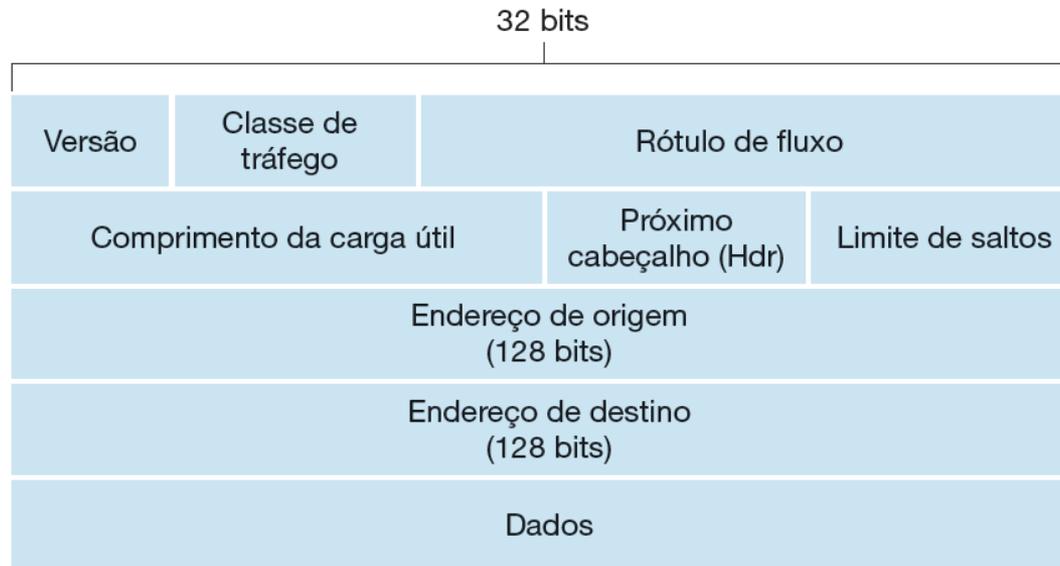
6ª edição

- Tipos de mensagens ICMP

Tipo ICMP	Código	Descrição
0	0	resposta de eco (para <i>ping</i>)
3	0	rede de destino inalcançável
3	1	hospedeiro de destino inalcançável
3	2	protocolo de destino inalcançável
3	3	porta de destino inalcançável
3	6	rede de destino desconhecida
3	7	hospedeiro de destino desconhecido
4	0	repressão da origem (controle de congestionamento)
8	0	solicitação de eco
9	0	anúncio do roteador
10	0	descoberta do roteador
11	0	TTL expirado
12	0	cabeçalho IP inválido

IPv6

- Para atender a essa necessidade de maior espaço para endereços IP, foi desenvolvido um novo protocolo IP, o IPv6.
- Formato do datagrama IPv6



Uma breve investida em segurança IP

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- O IPsec foi desenvolvido para ser compatível com o IPv4 e o IPv6.
- Em particular, para obter os benefícios do IPv6, não precisamos substituir as pilhas dos protocolos em todos os roteadores e hospedeiros na Internet.

Os serviços oferecidos por uma sessão IPsec incluem:

- Acordo criptográfico.

Uma breve investida em segurança IP

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Codificação das cargas úteis do datagrama IP.
- Integridade dos dados.
- Autenticação de origem.

Quando dois hospedeiros estabelecem uma sessão IPsec, todos os segmentos TCP e UDP enviados entre eles serão codificados e autenticados.

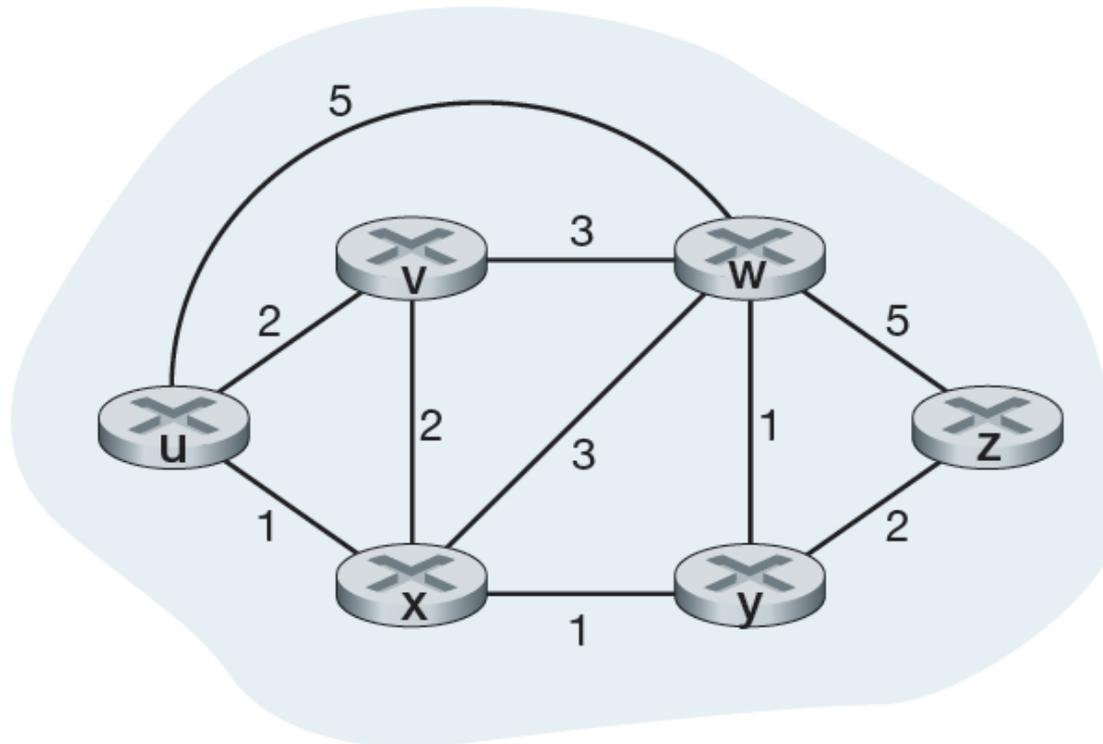
O IPsec oferece uma cobertura geral, protegendo toda a comunicação entre os dois hospedeiros para todas as aplicações de rede.

Algoritmos de roteamento

- Em geral um hospedeiro está ligado diretamente a um roteador, o **roteador *default*** para esse hospedeiro.
- Denominamos **roteador de origem** o roteador *default* do hospedeiro de origem e **roteador de destino** o roteador *default* do hospedeiro de destino.
- O problema de rotear um pacote do hospedeiro de origem até o hospedeiro de destino se reduz, claramente, ao problema de direcionar o pacote do roteador de origem ao roteador de destino.

Algoritmos de roteamento

- Um grafo é usado para formular problemas de roteamento.



Algoritmos de roteamento

- Um **algoritmo de roteamento global** calcula o caminho de menor custo entre uma origem e um destino usando conhecimento completo e global sobre a rede.
- Em um **algoritmo de roteamento descentralizado**, o cálculo do caminho de menor custo é realizado de modo iterativo e distribuído.
- Em **algoritmos de roteamento estáticos**, as rotas mudam muito devagar ao longo do tempo, muitas vezes como resultado de intervenção humana

Algoritmos de roteamento

- **Algoritmos de roteamento dinâmicos** mudam os caminhos de roteamento à medida que mudam as cargas de tráfego ou a topologia da rede.
- Em um **algoritmo sensível à carga**, custos de enlace variam dinamicamente para refletir o nível corrente de congestionamento no enlace subjacente.

O algoritmo de roteamento de estado de enlace (LS)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Algoritmo de estado de enlace para o nó de origem u

```
1  Inicialização
2       $N' = \{u\}$ 
3      para todos os nós  $v$ 
4          se  $v$  for um vizinho de  $u$ 
5              então  $D(v) = c(u,v)$ 
6              senão  $D(v) = \infty$ 
7
8  Loop
9      encontre  $w$  não em  $N'$  tal que  $D(w)$  é um mínimo
10     adicione  $w$  a  $N'$ 
11     atualize  $D(v)$  para cada vizinho  $v$  de  $w$  e não em  $N'$ :
12          $D(v) = \min( D(v), D(w) + c(w,v) )$ 
13     /* o novo custo para  $v$  é o velho custo para  $v$  ou
14        o custo do menor caminho conhecido para  $w$  mais o custo de  $w$  para  $v$  */
15 até  $N' = N$ 
```

O algoritmo de roteamento de vetor de distâncias (DV)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Algoritmo de vetor de distâncias (DV)

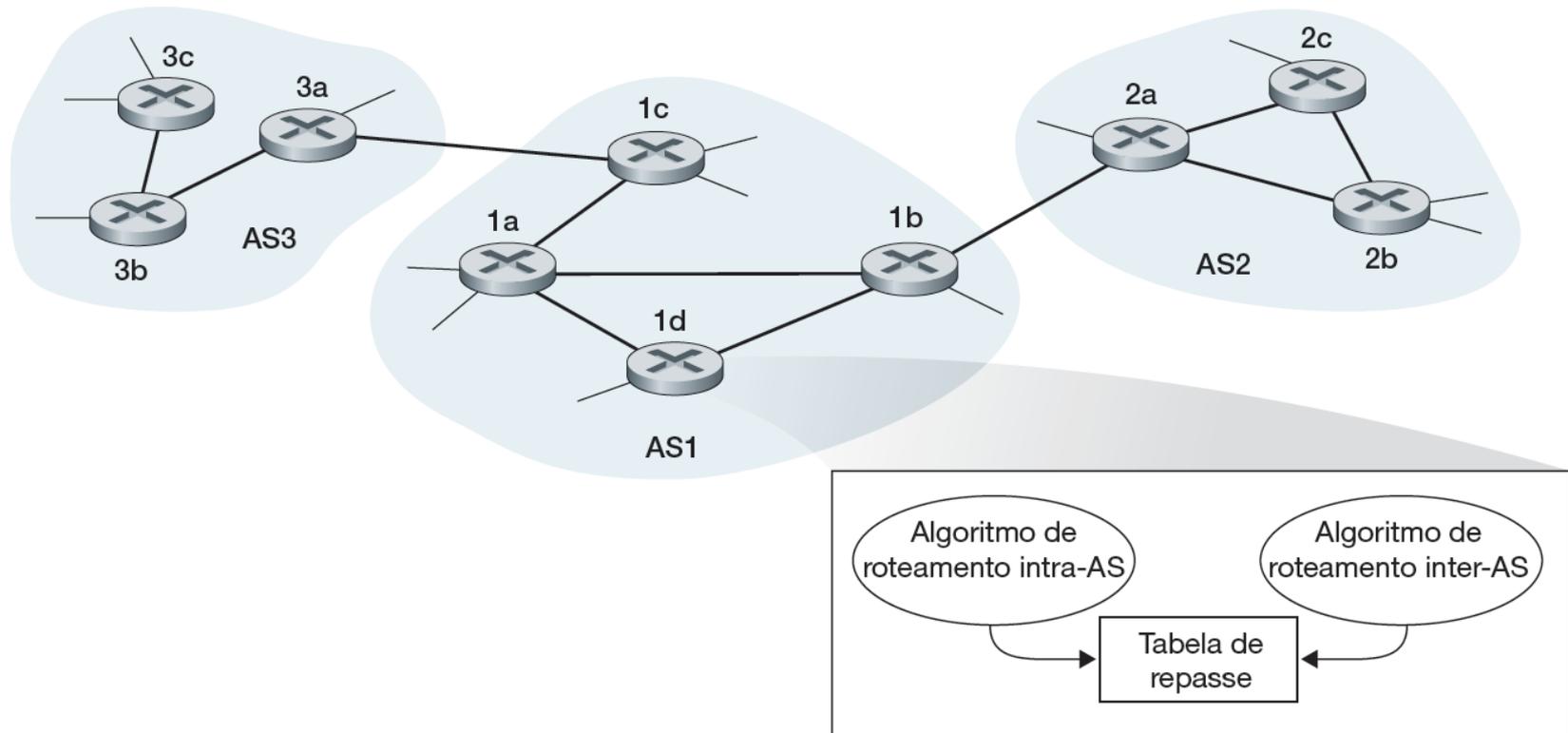
```
    Para cada nó,  $x$ :
1  Inicialização:
2      para todos os destinos  $y$  em  $N$ :
3           $D_x(y) = c(x,y)$  /* se  $y$  não é um vizinho então  $c(x,y) = \infty$  */
4  para cada vizinho  $w$ 
5       $D_w(y) = ?$  para todos os destinos  $y$  em  $N$ 
6  para cada vizinho  $w$ 
7      envia vetor de distâncias  $D_x = [D_x(y): y \text{ em } N]$  para  $w$ 
8
9  loop
10     espere (até que ocorra uma mudança no custo do enlace ao vizinho
11          $w$  ou até a recepção de um vetor de distâncias do vizinho  $w$ )
12
13     para cada  $y$  em  $N$ :
14          $D_x(y) = \min_v \{c(x,v) + D_v(y)\}$ 
15
16     se  $D_x(y)$  mudou para algum destino  $y$ 
17         envia vetor de distâncias  $D_x = [D_x(y): y \text{ em } N]$  para todos os vizinhos
18
19 para sempre
```

Roteamento hierárquico

- Todos os roteadores dentro do mesmo AS rodam o mesmo algoritmo de roteamento e dispõem das informações sobre cada um dos outros.
- O algoritmo de roteamento que roda dentro de um AS é denominado um **protocolo de roteamento intrassistema autônomo**.
- A figura a seguir ilustra um exemplo simples com três ASs: AS1, AS2 E AS3.

Roteamento hierárquico

- Um exemplo de sistemas autônomos interconectados:



Roteamento intra-AS na Internet

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

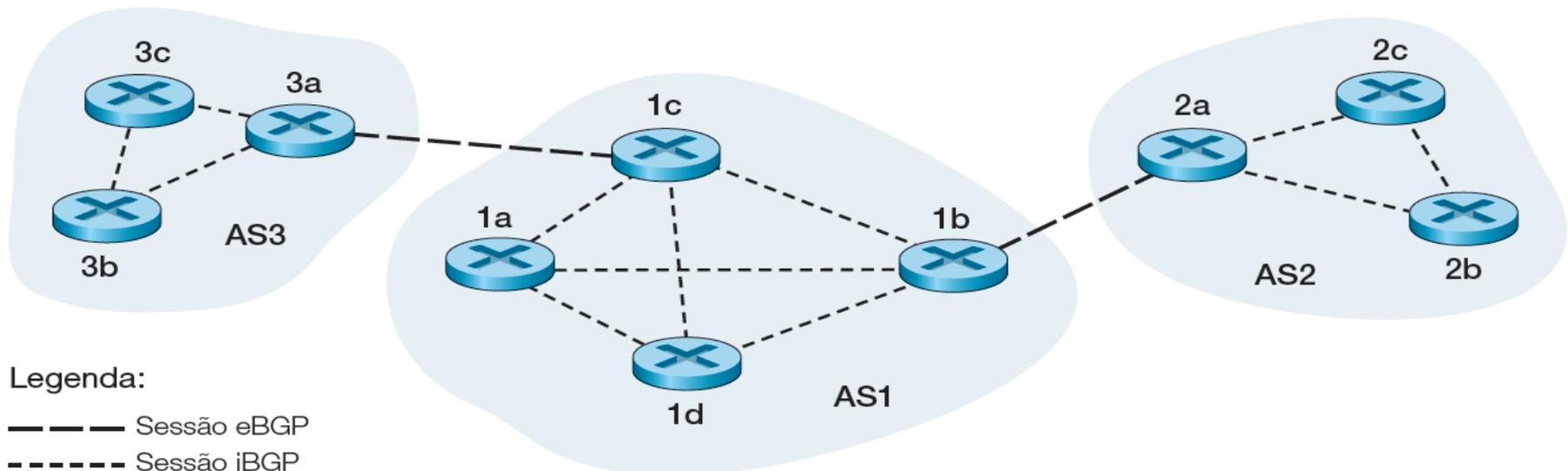
- Um protocolo de roteamento intra-AS é usado para determinar como é rodado o roteamento dentro de um sistema autônomo (AS).
- Historicamente, dois protocolos de roteamento têm sido usados para roteamento dentro de um sistema autônomo na Internet:
 1. o protocolo de informações de roteamento, **RIP** (Routing Information Protocol) e
 2. o **OSPF** (Open Shortest Path First).

Roteamento inter-AS: BGP

- O BGP oferece a cada AS meios de:
 1. Obter de ASs vizinhos informações de alcançabilidade de sub-redes.
 2. Propagar a informação de alcançabilidade a todos os roteadores internos ao AS.
 3. Determinar rotas “boas” para sub-redes com base na informação de alcançabilidade e na política do AS.

Roteamento inter-AS: BGP

- No BGP, pares de roteadores trocam informações de roteamento por conexões TCP semipermanentes usando a porta 179.
- Sessões eBGP e iBGP

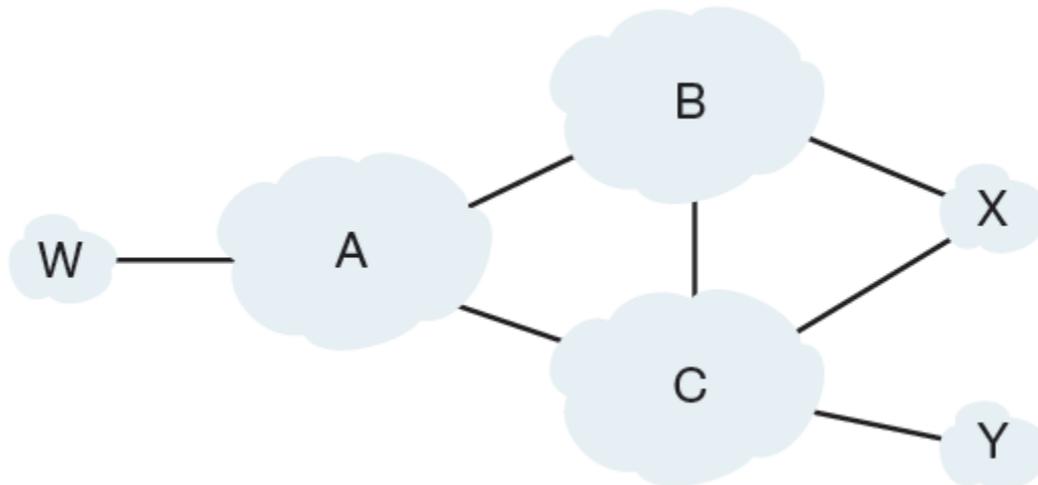


Roteamento inter-AS: BGP

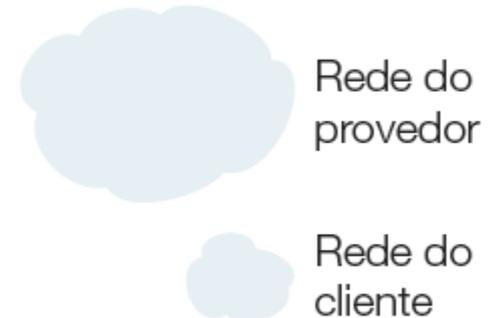
- O BGP permite que cada AS conheça quais destinos podem ser alcançados por meio de seus ASs vizinhos.
- No BGP, um sistema autônomo é identificado por seu **número de sistema autônomo** (ASN) globalmente exclusivo [RFC 1930].
- Quando um roteador anuncia um prefixo para uma sessão BGP, inclui vários atributos BGP juntamente com o prefixo.
- O BGP usa eBGP e iBGP para distribuir rotas a todos os roteadores dentro de ASs.

Roteamento inter-AS: BGP

- Um cenário BGP simples



Legenda:



Algoritmos de roteamento por difusão (*broadcast*)

KUROSE | ROSS

**Redes de
computadores
e a internet**

uma abordagem top-down

6ª edição

- Talvez o modo mais direto de conseguir comunicação por difusão seja o nó remetente enviar uma cópia separada do pacote para cada destino, como mostra a figura a seguir.
- A técnica mais óbvia para conseguir difusão é uma abordagem de inundação na qual o nó de origem envia uma cópia do pacote a todos os seus vizinhos.
- Na inundação controlada por número de sequência, um nó de origem coloca seu endereço, bem como um número de sequência de difusão em um pacote de difusão e então envia o pacote a todos os seus vizinhos.

Algoritmos de roteamento por difusão (*broadcast*)

KUROSE | ROSS

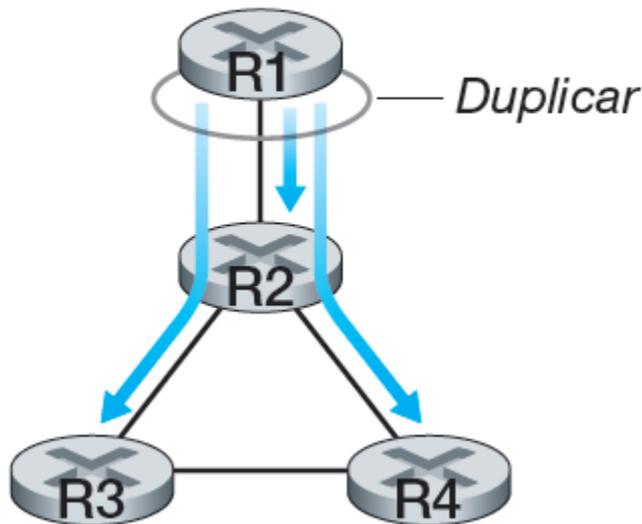
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

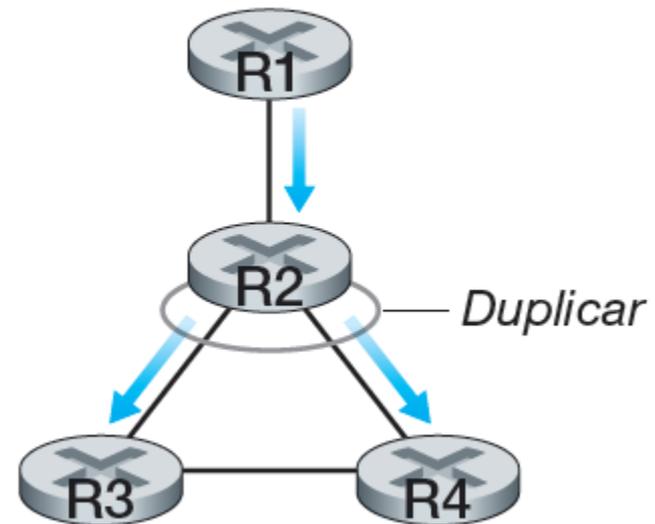
6ª edição

- Duplicação na origem versus duplicação dentro da rede

Criação/transmissão de duplicatas



a.



b.

Algoritmos de roteamento por difusão (*broadcast*)

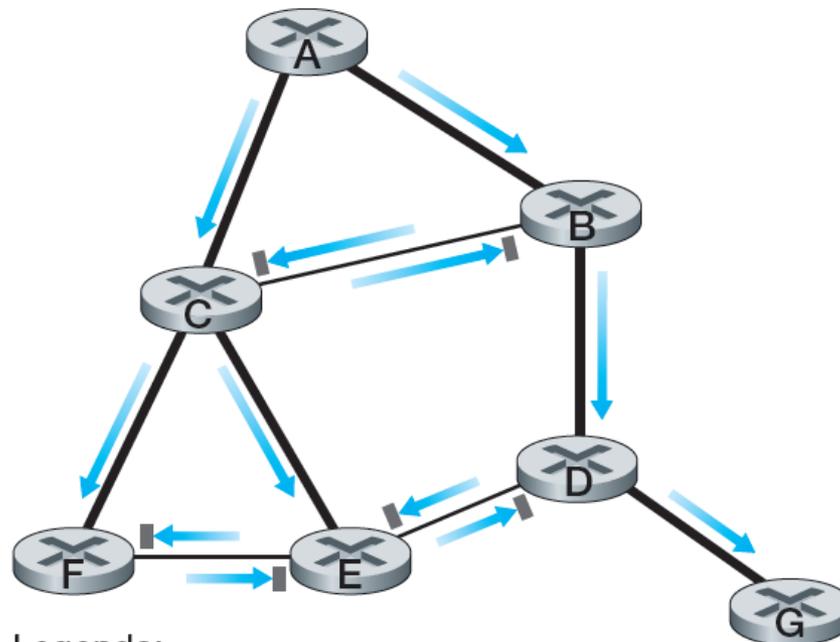
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Repasse pelo caminho inverso



Legenda:

→ pacote será repassado

→■ pacote não será repassado além do roteador receptor

Algoritmos de roteamento por difusão (*broadcast*)

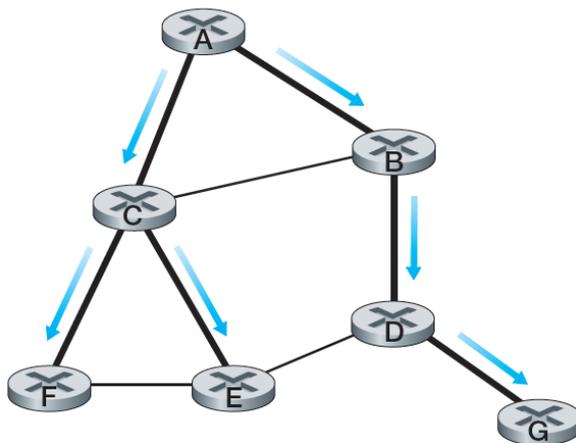
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

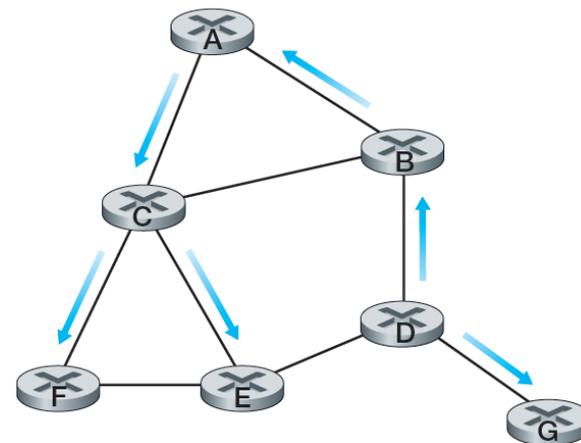
uma abordagem top-down

6ª edição

- Assim, outra abordagem para o fornecimento de difusão é os nós da rede construírem uma *spanning tree*, em primeiro lugar.
- Na **abordagem de nó central** da construção de uma *spanning tree*, é definido um nó central.



a. Difusão iniciada em A



b. Difusão iniciada em D

Algoritmos de roteamento por difusão (*broadcast*)

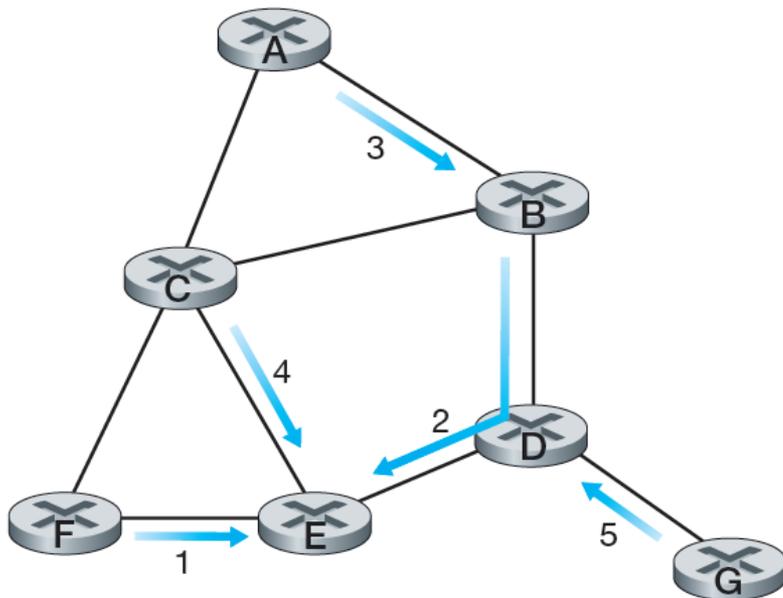
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

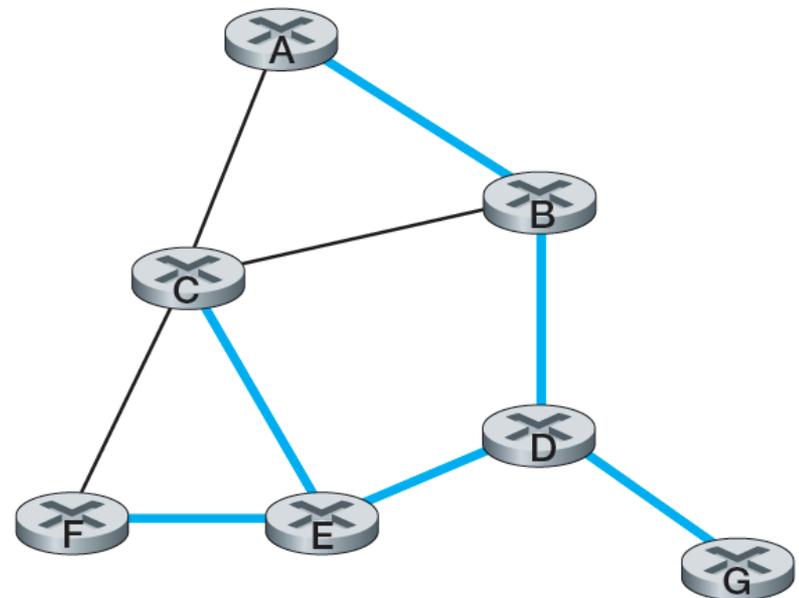
uma abordagem top-down

6ª edição

- Construção de uma *spanning tree* com centro



a. Construção da *spanning tree* passo a passo



b. *Spanning tree* construída

Serviço para um grupo (*multicast*)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Na comunicação para um grupo, enfrentamos imediatamente dois problemas:
 1. como identificar os destinatários de um pacote desse tipo e
 2. como endereçar um pacote enviado a um desses destinatários.
- Um pacote para um grupo é endereçado usando **endereço indireto**.
- O grupo de destinatários associados a um endereço classe D é denominado **grupo *multicast***.

Serviço para um grupo (*multicast*)

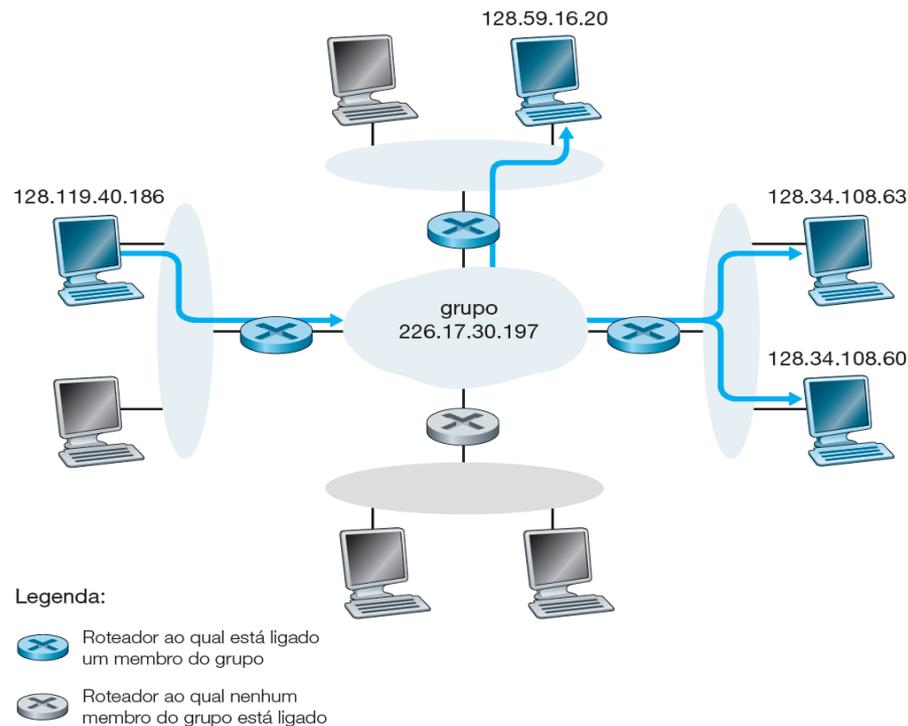
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- O serviço para um grupo: um datagrama endereçado ao grupo é entregue a todos os membros do grupo



Serviço para um grupo (*multicast*)

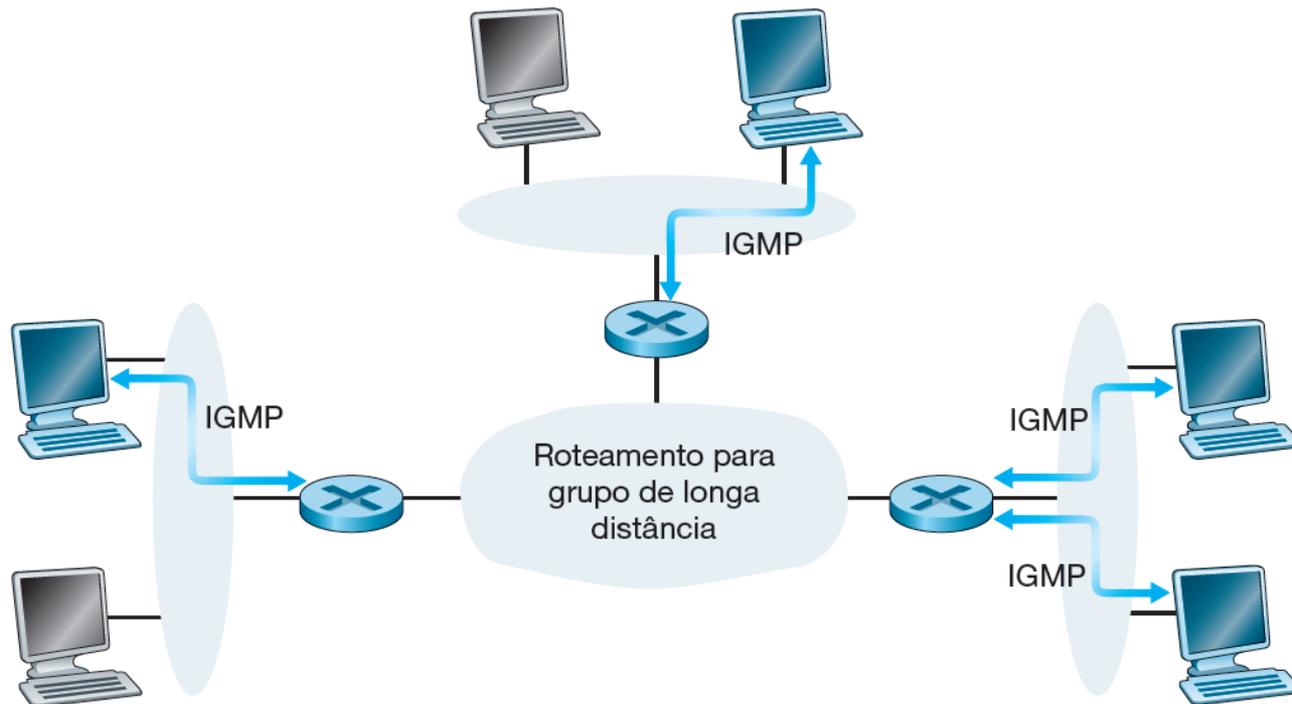
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Os dois componentes de grupo da camada de rede: IGMP e protocolos de roteamento para um grupo



Serviço para um grupo (*multicast*)

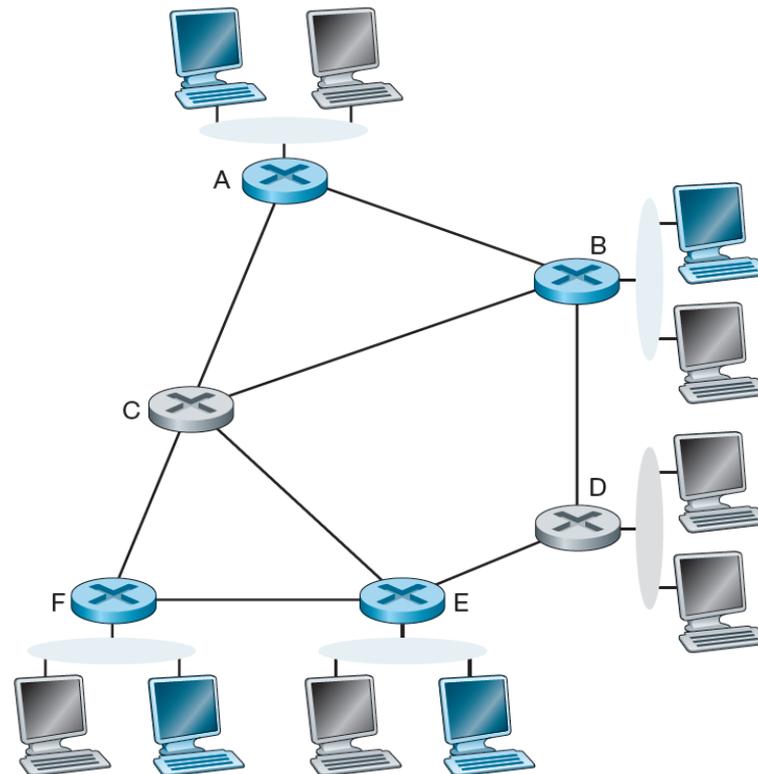
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Hospedeiros do grupo, seus roteadores conectados e outros roteadores



Serviço para um grupo (*multicast*)

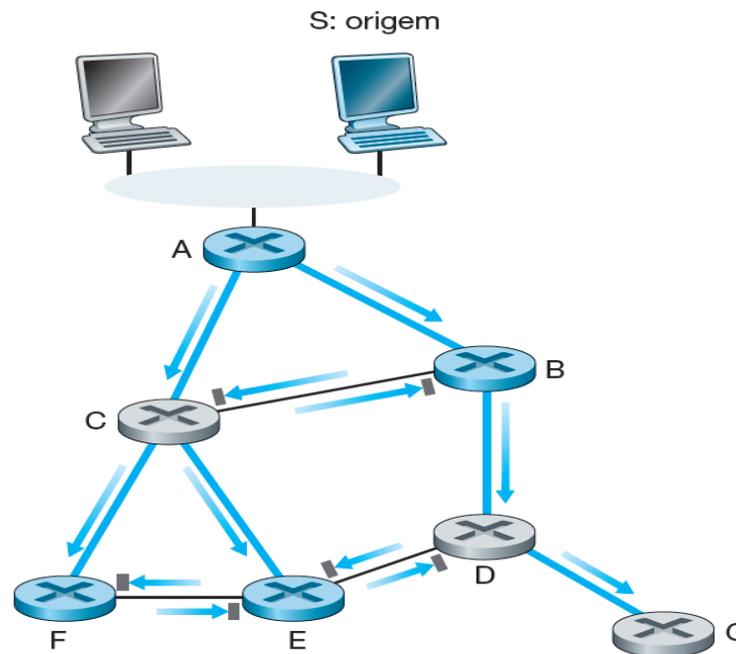
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Repasse pelo caminho inverso, no caso do serviço para um grupo



Legenda:

→ pacote será repassado

→■ pacote não será repassado além do roteador destinatário