

Capítulo 4: Camada de Rede

Objetivos do capítulo:

- ❑ entender os princípios por trás dos serviços da camada de rede:
 - ❑ modelos de serviço da camada de rede
 - ❑ repasse *versus* roteamento
 - ❑ como funciona um roteador
 - ❑ roteamento (seleção de caminho)
 - ❑ lidando com escala
 - ❑ tópicos avançados: IPv6, mobilidade
- ❑ instanciação, implementação na Internet

Capítulo 4: Camada de Rede

? 4.1 Introdução

? 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas

? 4.3 O que há dentro de um roteador

? 4.4 O Protocolo da Internet (IP)

- ? Formato do datagrama
- ? Endereçamento IPv4
- ? ICMP
- ? IPv6

? 4.5 Algoritmos de roteamento

- ? Estado de enlace
- ? Vetor de distâncias
- ? Roteamento hierárquico

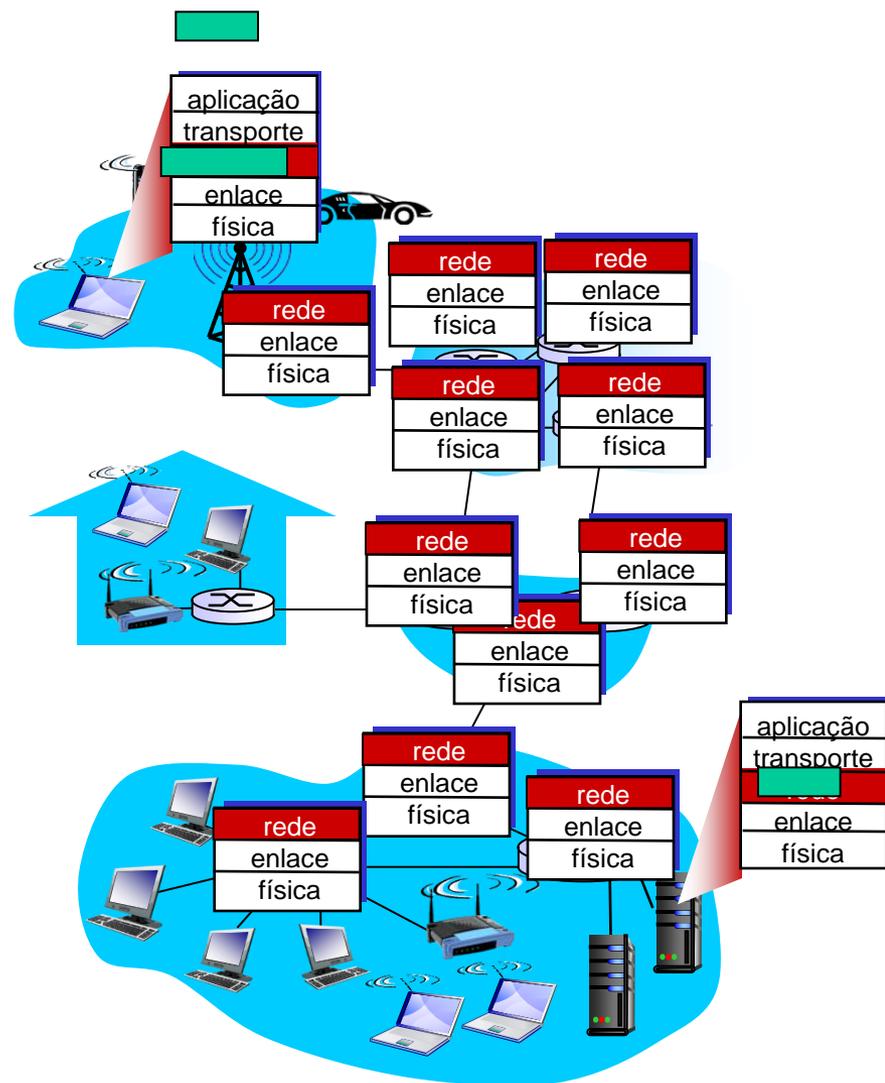
? 4.6 Roteamento na Internet

- ? RIP
- ? OSPF
- ? BGP

? 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

Camada de rede

- ? transporta segmentos da estação remetente à receptora
- ? no lado remetente, encapsula segmentos dentro de datagramas
- ? no lado receptor, entrega os segmentos para a camada de transporte
- ? protocolos da camada de rede em todos os sistemas finais e roteadores
- ? roteadores examinam campos de cabeçalho de todos os datagramas IP que passam por eles



Funções principais da camada de rede

? *repasse*: move pacotes de uma entrada do roteador para a saída apropriada

? *roteamento*: determina a rota a ser seguida pelos pacotes da fonte até o destino

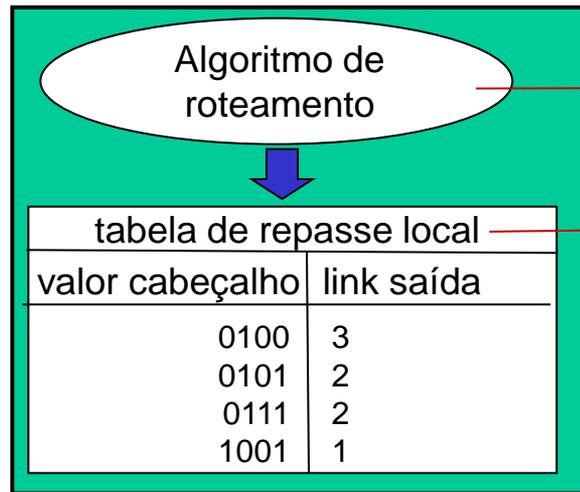
? *Algoritmos de roteamento*

analogia:

? *roteamento*: processo de planejar uma viagem da origem até o destino

? *repasse*: processo de atravessar uma encruzilhada durante a viagem

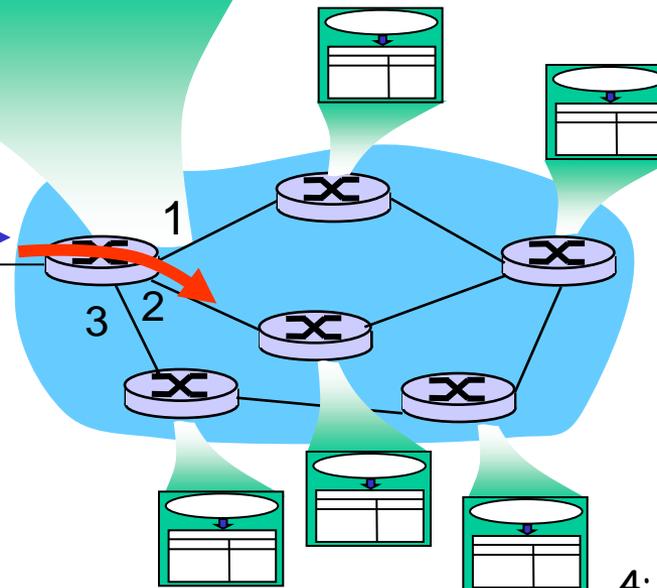
Relacionamento entre roteamento e repasse



algoritmo de roteamento determina o caminho fim-a-fim através da rede

tabela de repasse determina o repasse local neste roteador

valor no cabeçalho do pacote que está chegando



Estabelecimento de conexão

- 3° função importante em *algumas* arquiteturas de rede:
 - ATM, frame relay, X.25
- Antes dos pacotes fluírem, dois *hosts* e os roteadores intermediários estabelecem uma conexão virtual
 - roteadores são envolvidos
- Serviço de conexão das camadas de transporte e de rede:
 - rede:** entre dois *hosts* (envolve também roteadores intermediários no caso de CVs)
 - transporte:** entre dois processos

Modelo de serviço de rede

P: Qual é o *modelo de serviço* para o “canal” que transfere pacotes do remetente ao receptor?

Exemplos de serviços para pacotes individuais:

- ❓ Entrega garantida
- ❓ Entrega garantida com atraso limitado:
 - ❓ Ex.: menor que 40 mseg

Exemplos de serviços para um fluxo de datagramas:

- ❓ Entrega ordenada de pacotes
- ❓ Largura de banda mínima garantida
- ❓ restrições em mudanças no espaçamento entre pacotes.

Modelos de serviço da camada de rede:

Arquitetura de Rede	Modelo de serviço	Garantias ?				Indicação de congestion.?
		Banda	Perdas	Ordem	Tempo	
Internet	melhor esforço	nenhuma	não	não	não	não (inferido via perdas)
ATM	CBR	taxa constante	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	VBR	taxa garantida	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	ABR	mínima garantida	não	sim	não	sim
ATM	UBR	nenhuma	não	sim	não	não

Capítulo 4: Camada de Rede

? 4.1 Introdução

? 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas

? 4.3 O que há dentro de um roteador

? 4.4 O Protocolo da Internet (IP)

? Formato do datagrama

? Endereçamento IPv4

? ICMP

? IPv6

? IPSec

? 4.5 Algoritmos de roteamento

? Estado de enlace

? Vetor de distâncias

? Roteamento hierárquico

? 4.6 Roteamento na Internet

? RIP

? OSPF

? BGP

? 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

Serviços orientados e não orientados para conexão

- ❑ rede datagrama provê um serviço de camada de rede *sem conexões*
- ❑ rede *circuito virtual* provê um serviço de camada de rede *orientado para conexões*
- ❑ análogos aos serviços da camada de transporte (TCP/UDP), mas:
 - ❑ *Serviço: host-a-host*
 - ❑ *Sem escolha:* rede provê ou um ou o outro
 - ❑ *Implementação:* no núcleo da rede

Redes de circuitos virtuais

“caminho da-origem-ao-destino se comporta como um circuito telefônico”

- em termos de desempenho
- em ações da rede ao longo do caminho da-origem-ao-destino

- estabelecimento de cada chamada *antes* do envio dos dados
- cada pacote tem ident. de CV (e não endereços origem/dest)
- cada roteador no caminho da-origem-ao-destino mantém “estado” para cada conexão que o atravessa
- recursos de enlace, roteador (banda, *buffers*) podem ser *alocados* ao CV (recursos dedicados = serviço previsível)

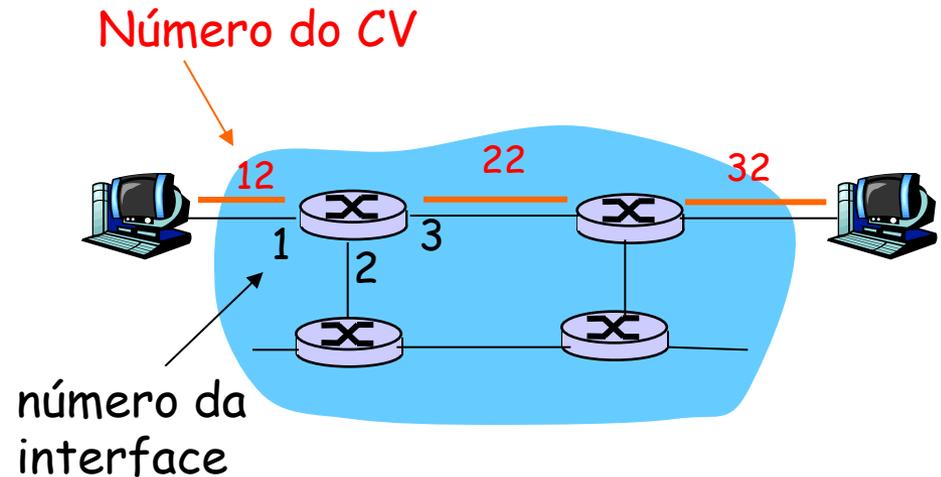
Implementação de CV

Um CV consiste de:

1. **caminho** da origem para o destino
 2. **números (identificadores) de CV**, um número para cada enlace ao longo do caminho
 3. **entradas nas tabelas de repasse** dos roteadores ao longo do caminho
- ? pacote que pertence a um CV carrega o número do CV (ao invés do endereço de destino)
 - ? Número do CV deve ser trocado a cada enlace
 - ? Novo número do CV vem da tabela de repasse

Tabela de repasse

Tabela de repasse no roteador noroeste:

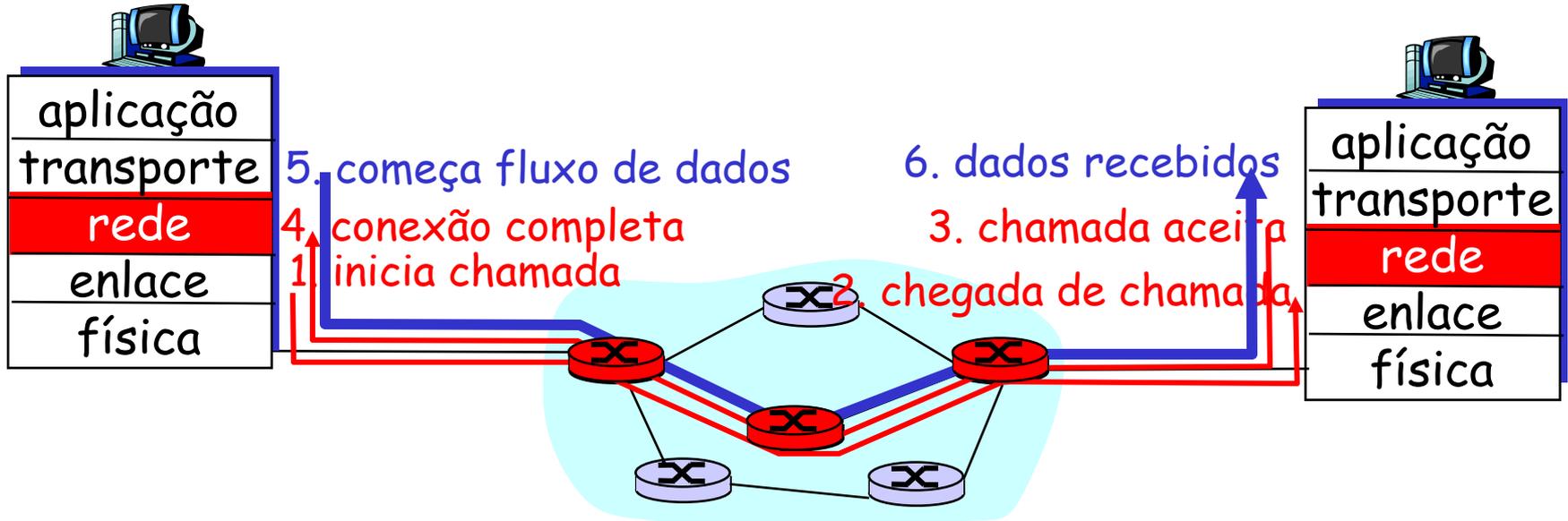


Interface de entrada	# CV de entrada	Interface de saída	# CV de saída
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Roteadores mantêm informação sobre o estado da conexão!

Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

- ? usados para estabelecer, manter, destruir CV
- ? usados em *ATM*, *frame-relay*, *X.25*
- ? não usados na Internet convencional



Rede de datagramas: o modelo da Internet

- ? não requer estabelecimento de chamada na camada de rede
- ? roteadores: não guardam estado sobre conexões fim a fim
 - ? não existe o conceito de "conexão" na camada de rede
- ? pacotes são repassados tipicamente usando endereços de destino
 - ? 2 pacotes entre o mesmo par origem-destino podem seguir caminhos diferentes

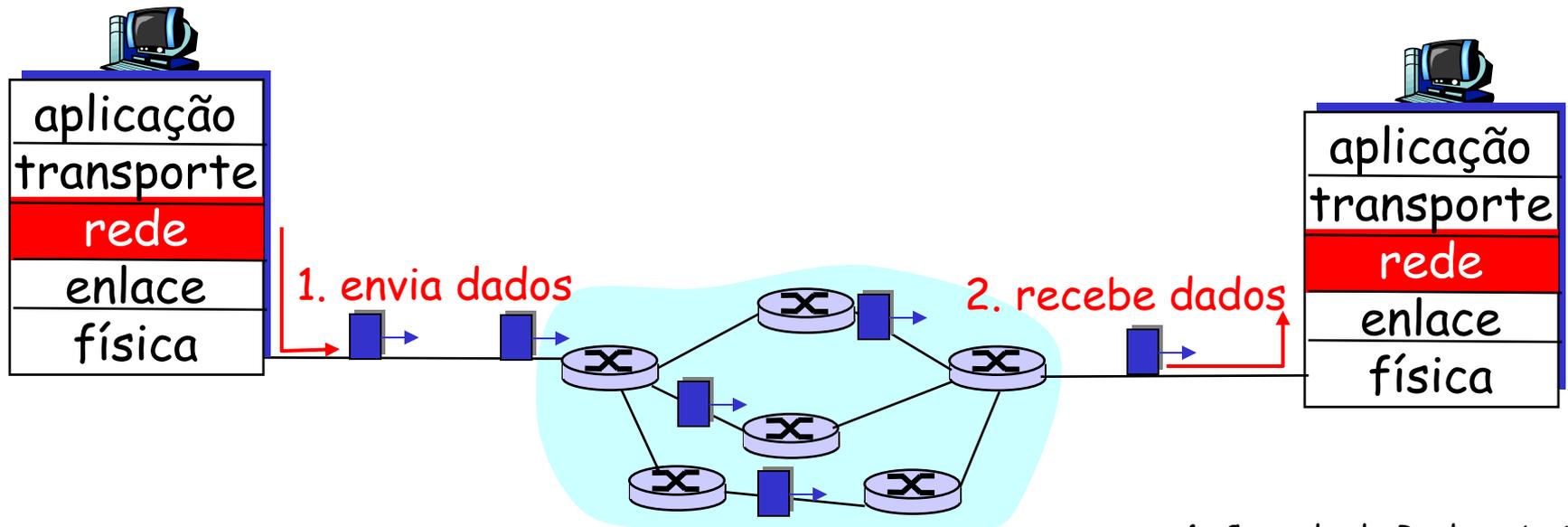
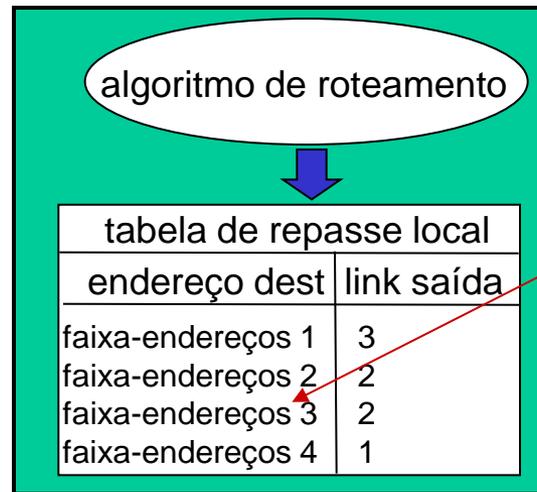


Tabela de repasse



4 bilhões de endereços IP, ao invés de listar endereços destino individuais lista *faixa* de endereços (entradas agregáveis da tabela)

endereço IP de destino no cabeçalho do pacote que chega

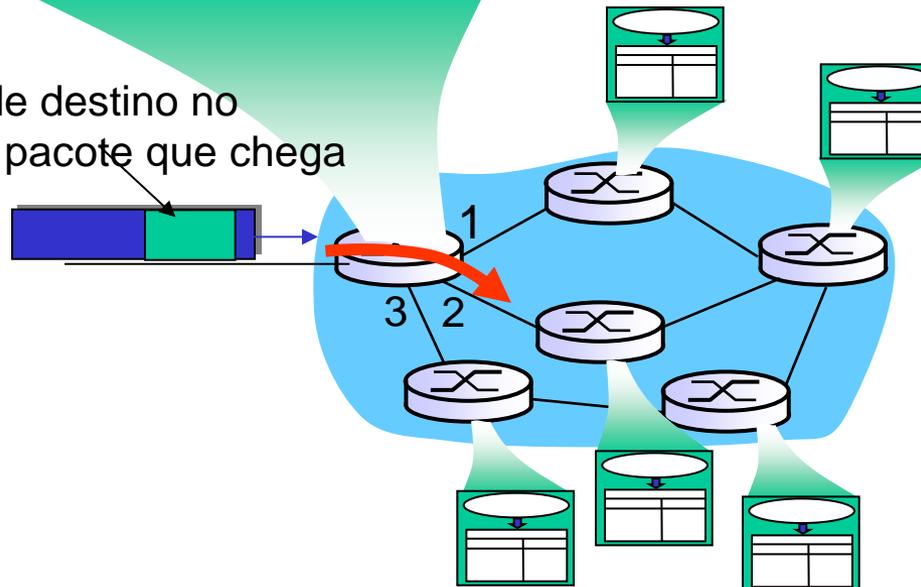


Tabela de repasse

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000 00010111 00010000 00000000 até 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 até 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 até 11001000 00010111 00011111 11111111	2
caso contrário	3

P: mas o que fazer se as faixas não forem assim tão arrumadas?

Concordância do prefixo mais longo

ao buscar por entrada na tabela de repasse por um dado endereço de destino, usa o prefixo *mais longo* que casa/bate com o endereço do destino.

Faixa do Endereço de Destino	Interface do enlace
11001000 00010111 00010*** *****	0
11001000 00010111 00011000 *****	1
11001000 00010111 00011*** *****	2
Caso contrário	3

exemplos:

ED: 11001000 00010111 00010110 10100001

qual interface?

ED: 11001000 00010111 00011000 10101010

qual interface?

Origens das redes de circuitos virtuais e de datagramas

Internet

- ? troca de dados entre computadores
 - ? serviço "elástico", sem reqs. temporais estritos
- ? muitos tipos de enlaces
 - ? características diferentes
 - ? serviço uniforme difícil
- ? sistemas terminais "inteligentes" (computadores)
 - ? podem se adaptar, exercer controle, recuperar de erros
 - ? **núcleo da rede simples, complexidade na "borda"**

ATM

- ? evoluiu da telefonia
- ? conversação humana:
 - ? temporização estrita, requisitos de confiabilidade
 - ? requer serviço garantido
- ? sistemas terminais "burros"
 - ? telefones
 - ? **complexidade dentro da rede**

Capítulo 4: Camada de Rede

- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - Formato do datagrama
 - Endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - Estado de enlace
 - Vetor de distâncias
 - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

Famílias de Roteadores

Integrated Services Routers

Performance and Services Density

 800 Series	 1800 Series	 2800 Series	 3800 Series
Small Office and Teleworker	Small Branch	Medium Branch	Medium to Large Branch

Unified WAN Services Platform

Performance and Services Scalability

 7200 Series	 7300 Series	 ASR 1000 Series	 6500 Series	 7600 Series
Head Office / WAN Aggregation				

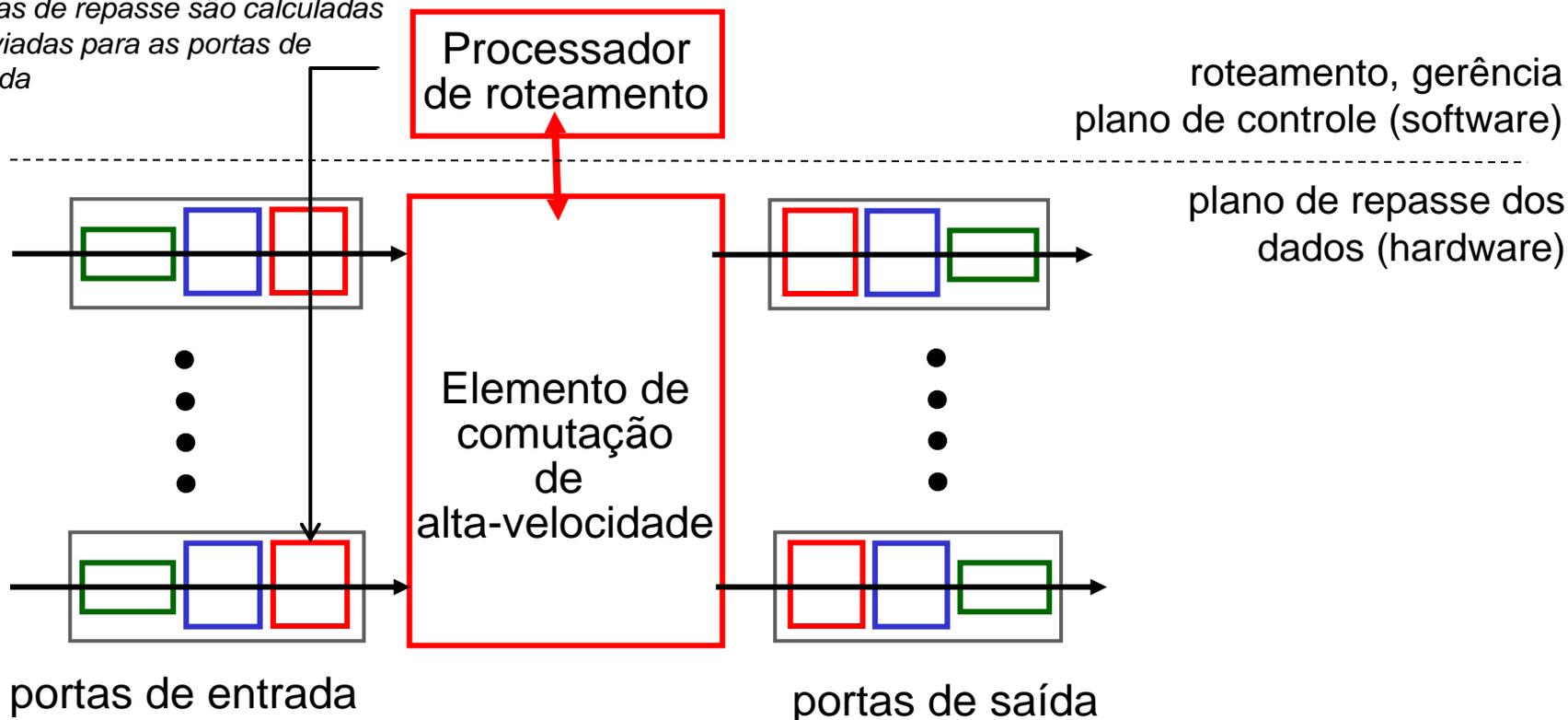
Ethernet Aggregation	Broadband Aggregation	Multiservice Aggregation	
 7600 Series	 10000 Series	 XR 12000/ 12000 Series	 CRS-1 Carrier Routing System
Intelligent IP/MLS Edge			Multiservice IP MPLS Core

Sumário da Arquitetura de Roteadores

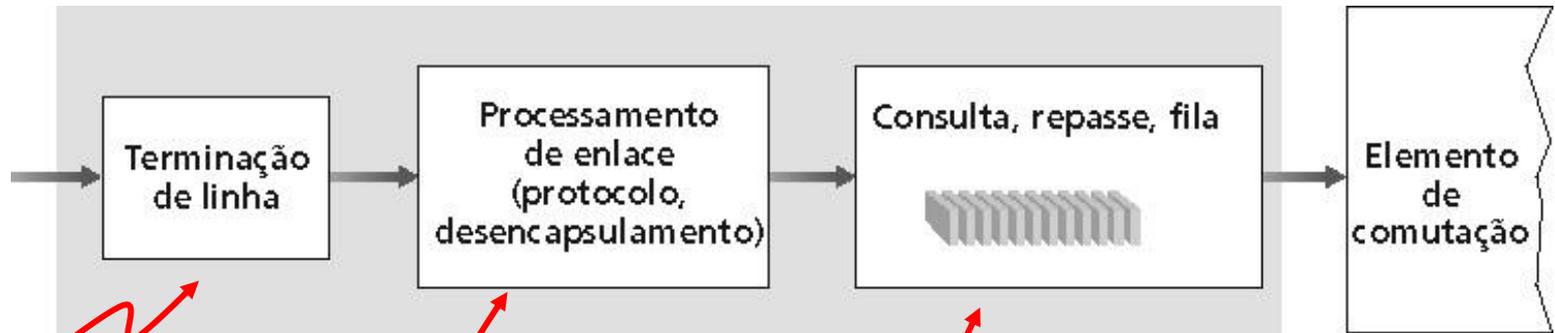
Duas funções chave de roteadores:

- ❑ rodam algoritmos/protocolos de roteamento (RIP, OSPF, BGP)
- ❑ repassam datagramas do enlace de entrada para o de saída

tabelas de repasse são calculadas e enviadas para as portas de entrada



Funções das Portas de Entrada



Camada física:
recepção de bits

Camada de enlace:
p.ex., Ethernet
veja capítulo 5

Comutação descentralizada:

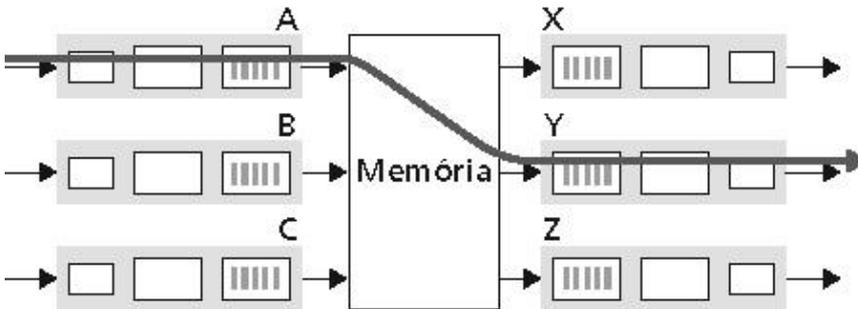
- ? dado o dest. do datagrama, procura porta de saída usando tab. de rotas na memória da porta de entrada
- ? meta: completar processamento da porta de entrada na '**velocidade da linha**'
- ? filas: se datagramas chegam mais rápido que taxa de re-envio para elemento de comutação

Elemento (matriz) de comutação

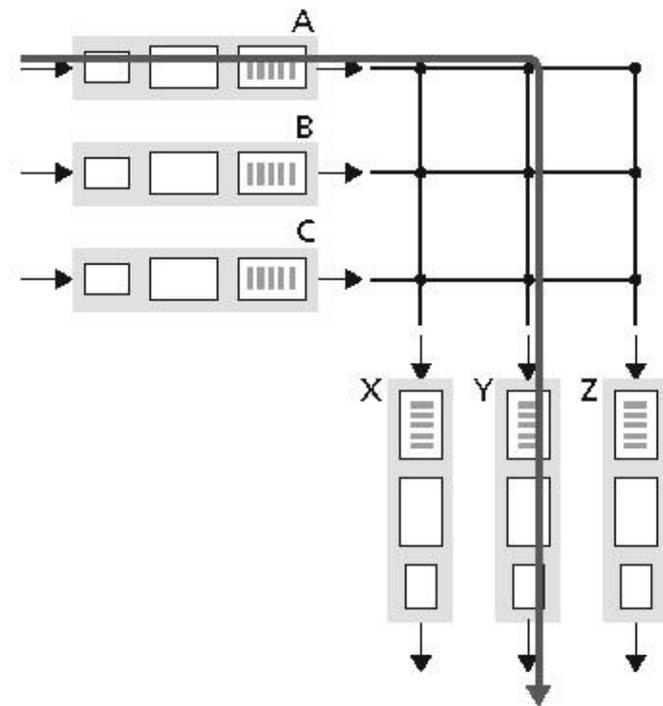
- ? transfere pacotes do buffer de entrada para o buffer de saída apropriado
- ? taxa de comutação: taxa na qual os pacotes podem ser transferidos das entradas para as saídas:
 - ? frequentemente medida como múltiplo das taxas das linhas de entrada/saída
 - ? N entradas: desejável taxa de comutação N vezes a taxa da linha.

Três tipos de elementos de comutação

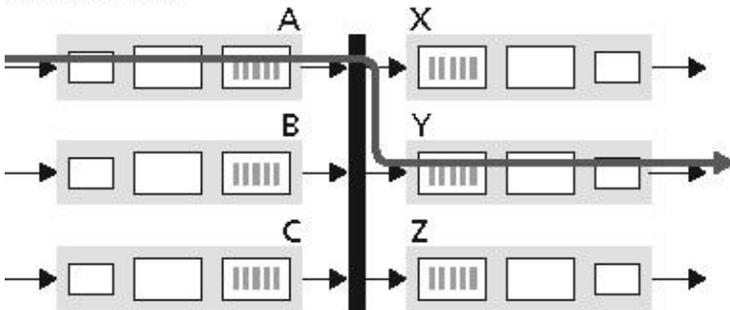
Memória



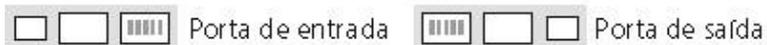
Crossbar



Barramento



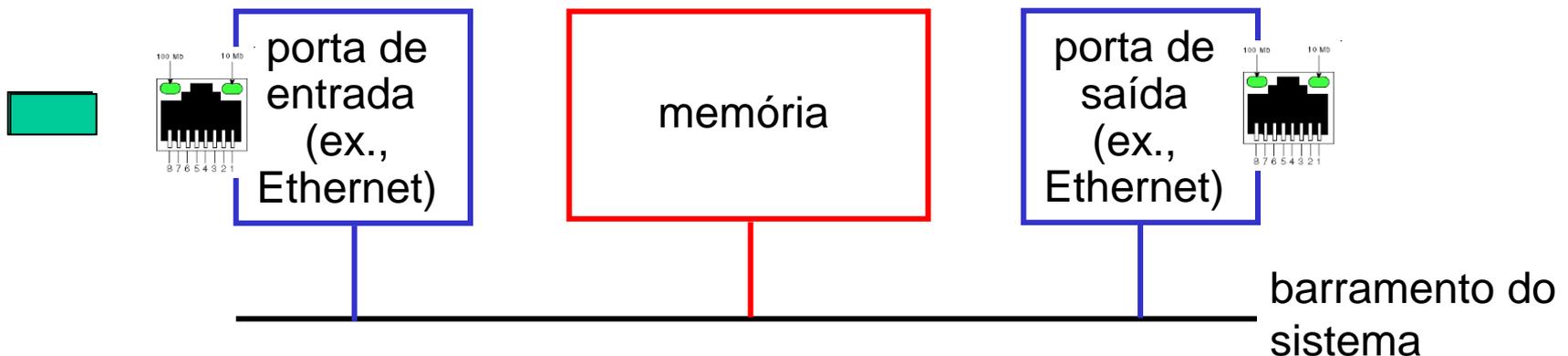
Legenda:



Comutação por Memória

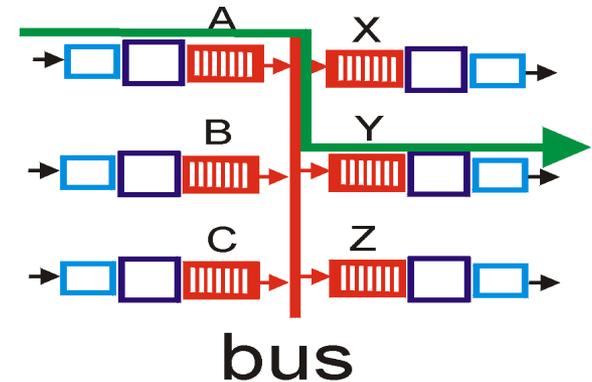
Roteadores da primeira geração:

- ❑ computadores tradicionais com comutação controlada diretamente pela CPU
- ❑ pacote copiado para a memória do sistema
- ❑ velocidade limitada pela largura de banda da memória (2 travessias do barramento por datagrama)



Comutação por um Barramento

- ❓ datagrama da memória da porta de entrada para a memória da porta de saída via um barramento compartilhado
- ❓ **Disputa (contenção) pelo barramento:** taxa de comutação limitada pela largura de banda do barramento
- ❓ Cisco 6500 usa barramento de 32 Gbps: velocidade suficiente para roteadores de acesso e corporativos.

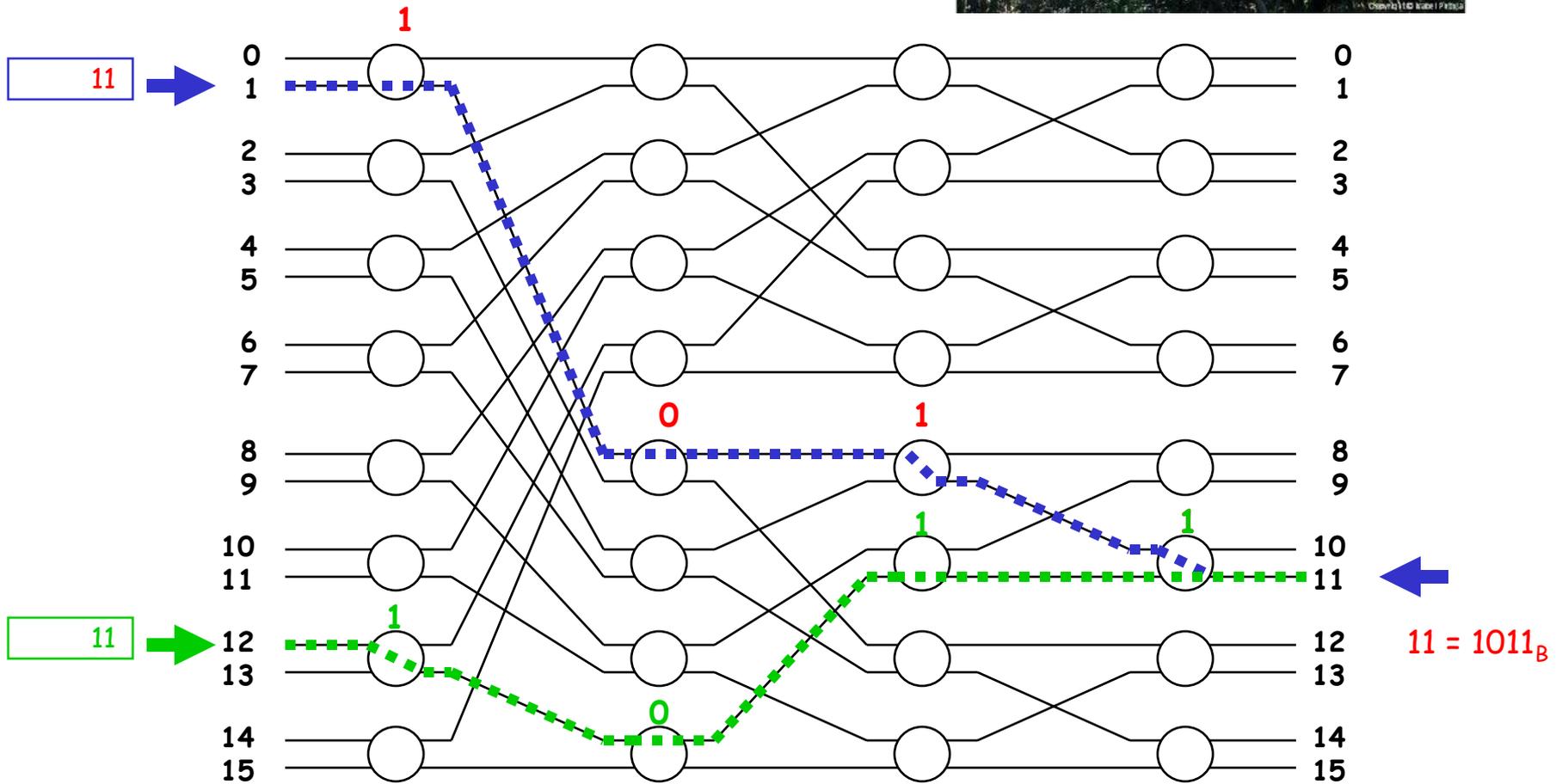


Comutação por uma rede de interconexão

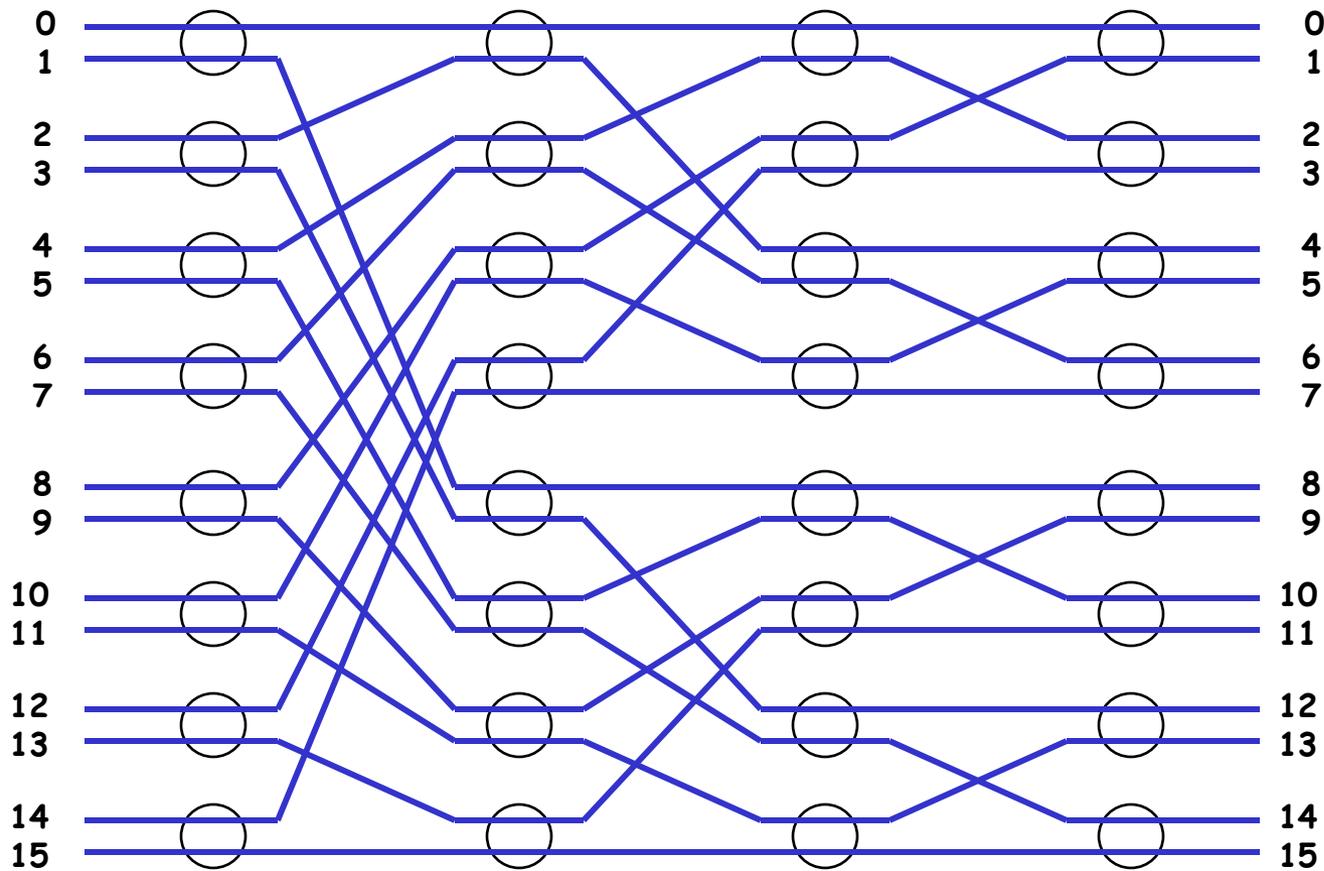
- ? supera limitações de banda dos barramentos
- ? Redes Banyan, outras redes de interconexão desenvolvidas inicialmente para interligar processadores num sistema multiprocessador
- ? Projeto avançado: fragmentar datagrama em células de tamanho fixo, comutar células através da matriz de comutação.
- ? Cisco 12000: comuta 60 Gbps pela rede de interconexão.



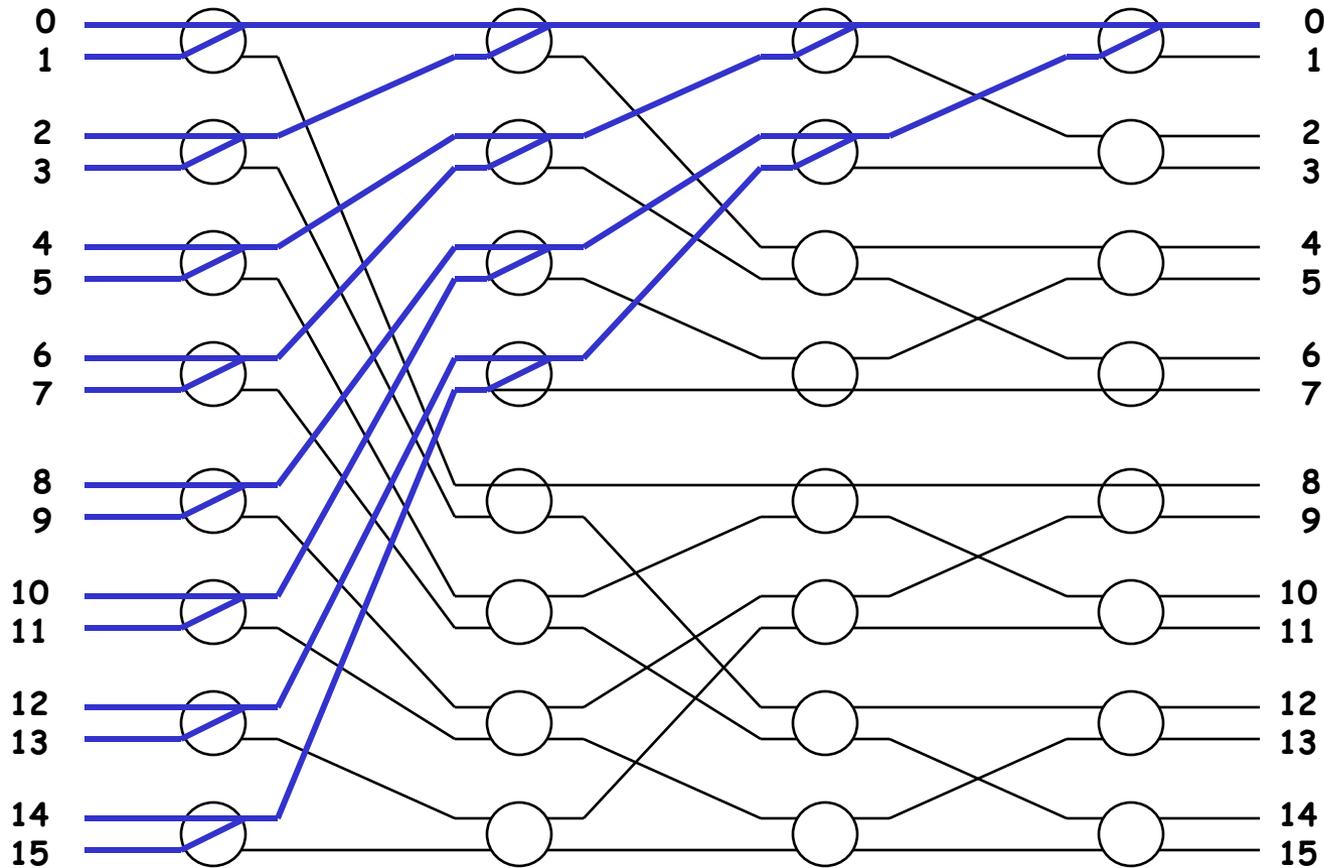
Rede de Banyan



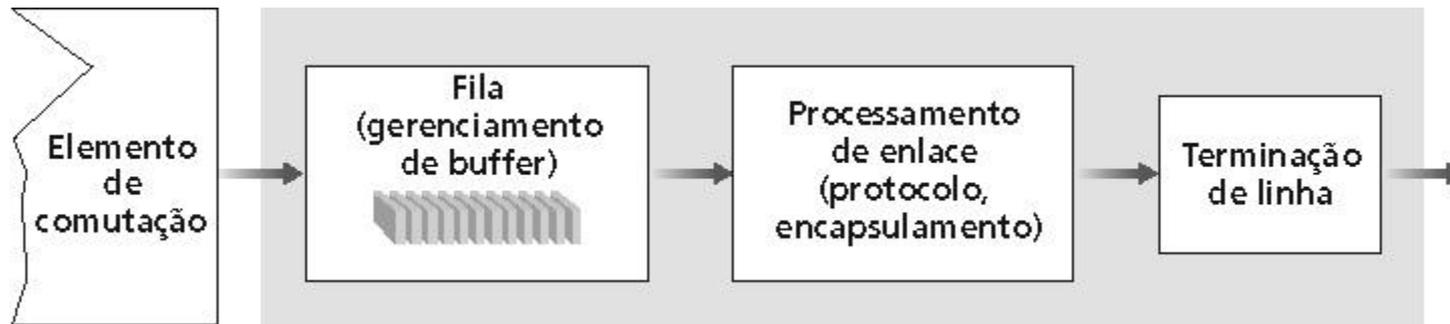
Tráfego com interferência mínima



Tráfego com interferência máxima (hot spot)



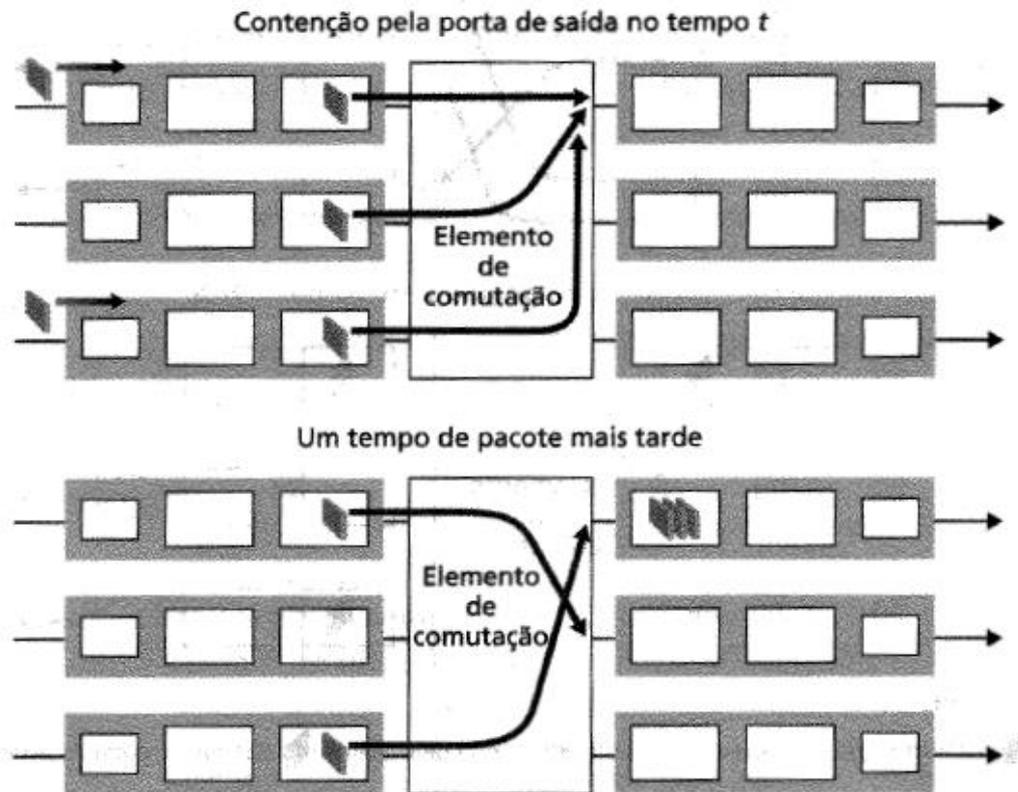
Portas de Saída



- ? **enfileiramento** necessário quando datagramas chegam do elemento de comutação mais rapidamente do que a taxa de transmissão
- ? **disciplina de escalonamento** escolhe um dos datagramas enfileirados para transmissão

Filas na Porta de Saída

- usa *buffers* quando taxa de chegada através do comutador excede taxa de transmissão de saída
- enfileiramento (retardo), e perdas devidas ao transbordo do buffer da porta de saída!*



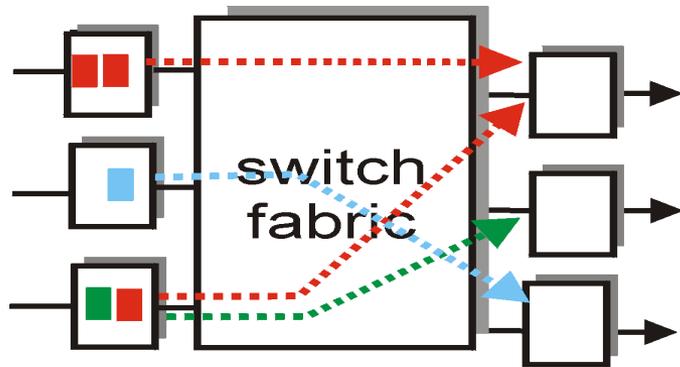
Tamanho das filas

- ❓ regra prática da RFC3439: enfileiramento médio igual ao RTT "típico" (ex., 250 mseg) vezes a capacidade do link C
 - ❓ Ex.: $C = 10$ Gbps: buffer de 2,5 Gbit
- ❓ recomendação recente: com N fluxos, enfileiramento igual a:

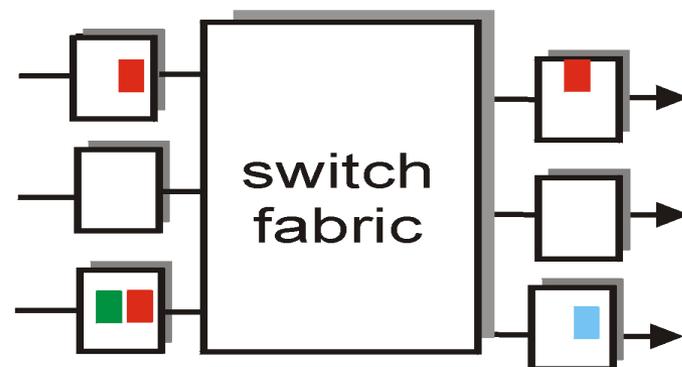
$$\frac{RTT \cdot C}{\sqrt{N}}$$

Filas na Porta de Entrada

- ? Se o elemento de comutação for mais lento do que a soma das portas de entrada juntas -> pode haver filas nas portas de entrada
 - ? *retardo de enfileiramento e perdas devido ao transbordo do buffer de entrada!*
- ? *Bloqueio de cabeça de fila:* datagrama na cabeça da fila impede outros na mesma fila de avançarem



output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred



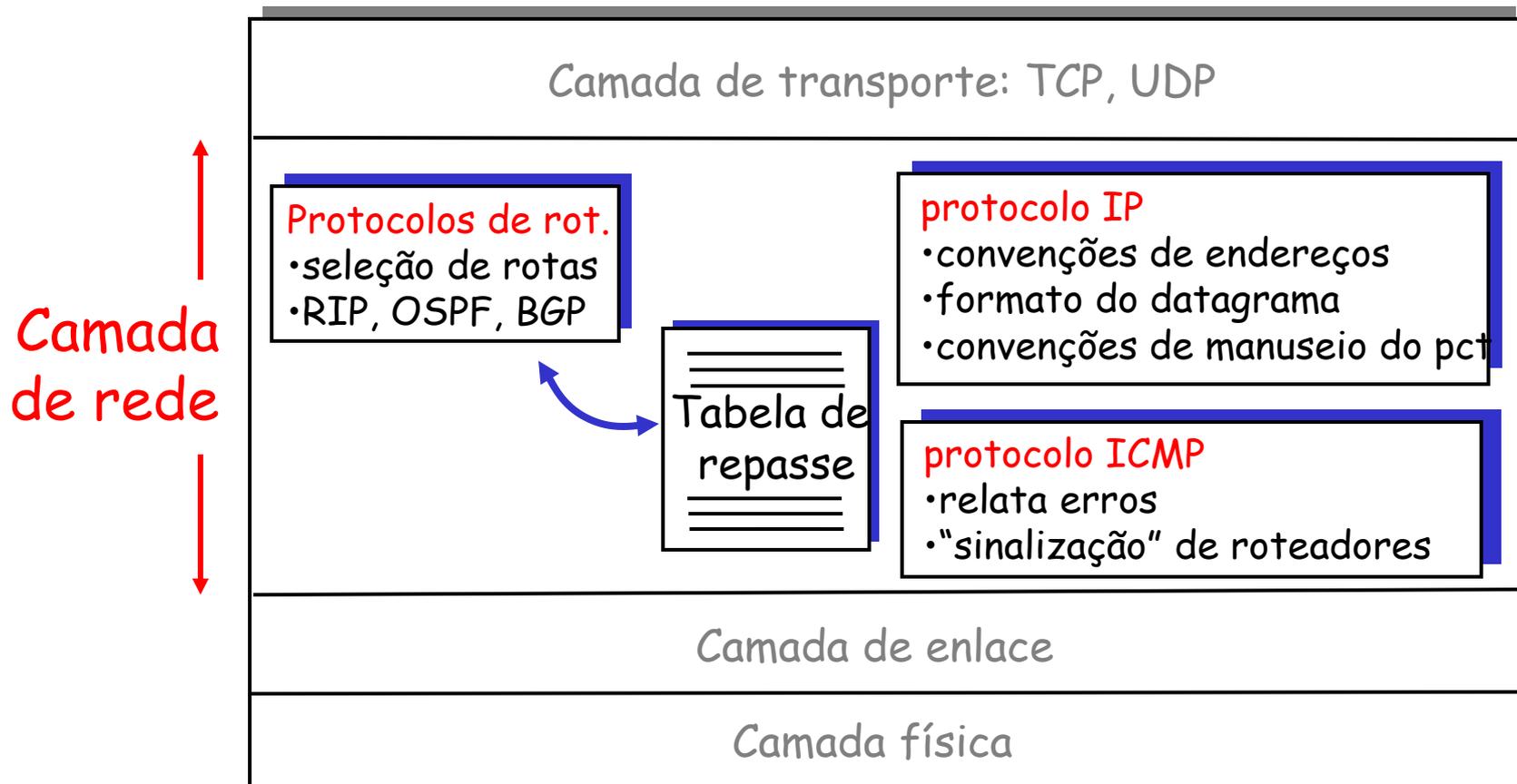
green packet
experiences HOL blocking

Capítulo 4: Camada de Rede

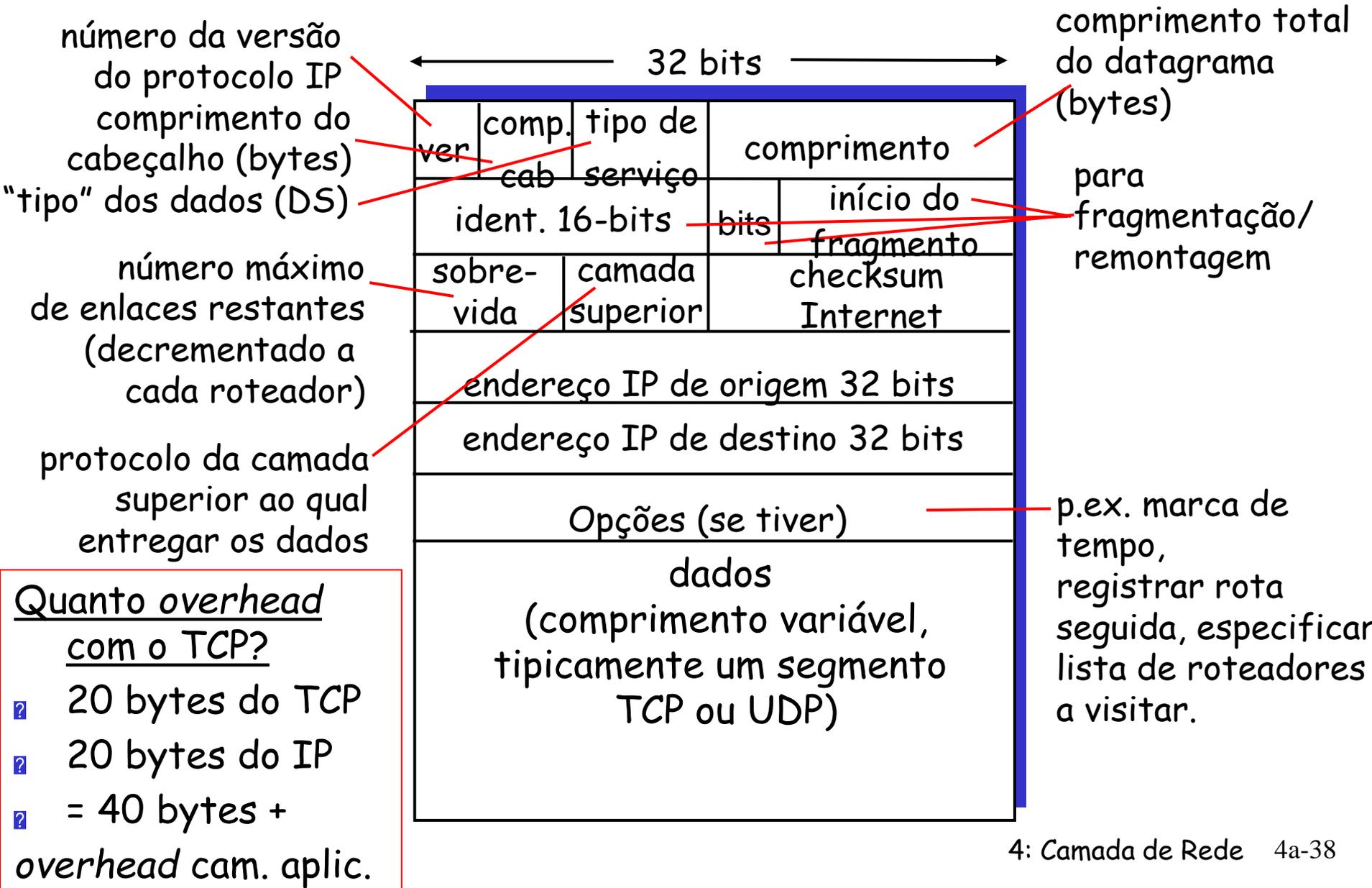
- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - Formato do datagrama
 - Endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - Estado de enlace
 - Vetor de distâncias
 - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

A Camada de Rede na Internet

Funções da camada de rede em estações, roteadores:

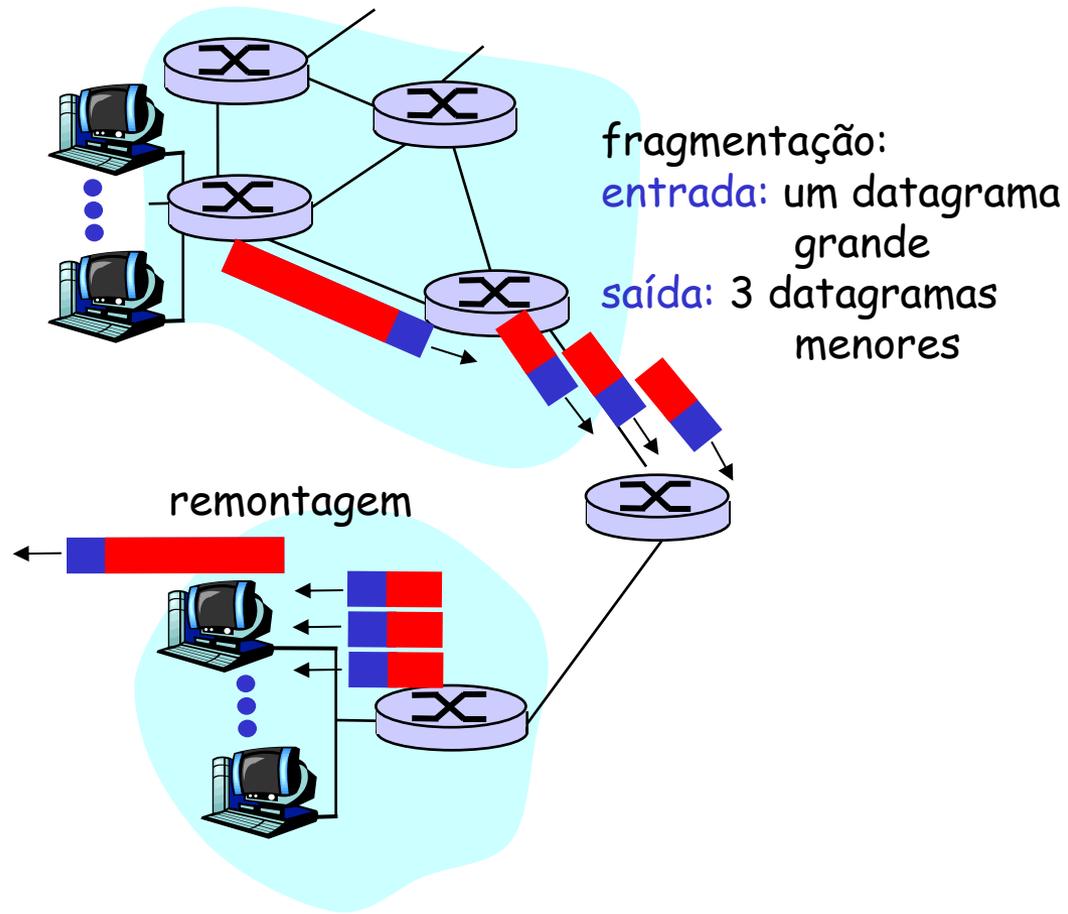


Formato do datagrama IP



IP: Fragmentação & Remontagem

- ? cada enlace de rede tem MTU (*max.transmission unit*) - maior tamanho possível de quadro neste enlace.
 - ? tipos diferentes de enlace têm MTUs diferentes
- ? datagrama IP muito grande dividido ("fragmentado") dentro da rede
 - ? um datagrama vira vários datagramas
 - ? "remontado" apenas no destino final
 - ? bits do cabeçalho IP usados para identificar, ordenar fragmentos relacionados



IP: Fragmentação & Remontagem

Exemplo

- ❓ Datagrama de 4000 bytes
- ❓ MTU = 1500 bytes

1480 bytes de dados

início = 1480/8

	compr	ID	bit_frag	início	
	=4000	=x	=0	=0	

um datagrama grande vira vários datagramas menores

	compr	ID	bit_frag	início	
	=1500	=x	=1	=0	

	compr	ID	bit_frag	início	
	=1500	=x	=1	=185	

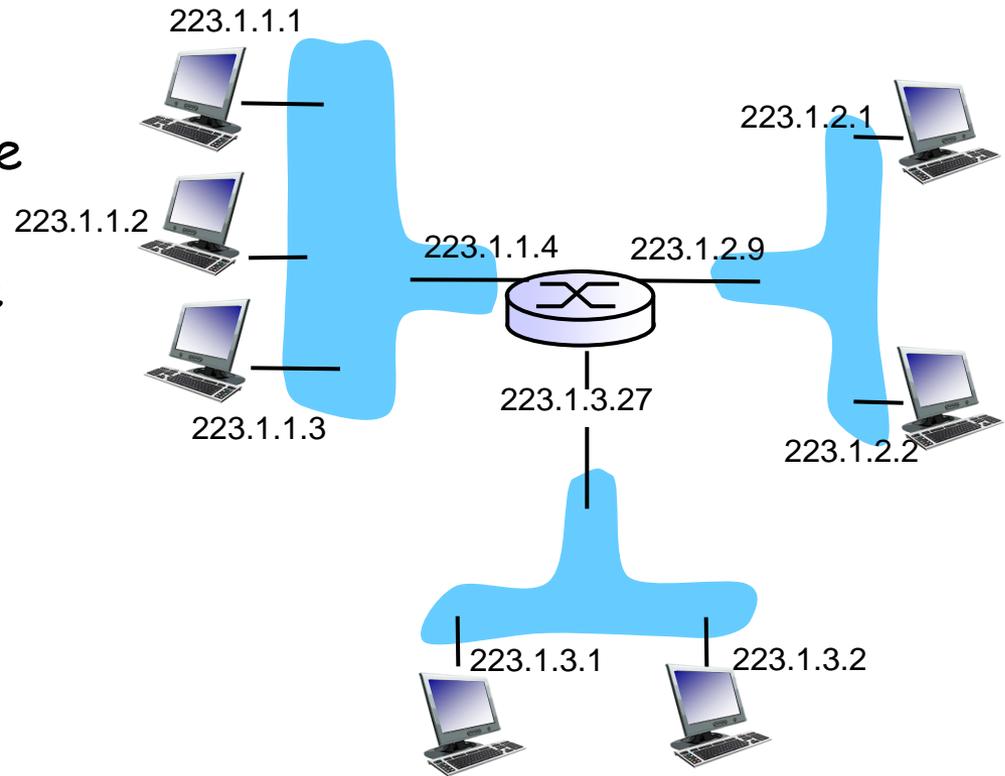
	compr	ID	bit_frag	início	
	=1040	=x	=0	=370	

Capítulo 4: Camada de Rede

- ? 4.1 Introdução
- ? 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- ? 4.3 O que há dentro de um roteador
- ? 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - ? Formato do datagrama
 - ? **Endereçamento IPv4**
 - ? ICMP
 - ? IPv6
- ? 4.5 Algoritmos de roteamento
 - ? Estado de enlace
 - ? Vetor de distâncias
 - ? Roteamento hierárquico
- ? 4.6 Roteamento na Internet
 - ? RIP
 - ? OSPF
 - ? BGP
- ? 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

Endereçamento IP: introdução

- ? **endereço IP:** ident. de 32-bits para *interface* de estação, roteador
- ? **interface:** conexão entre estação, roteador e enlace físico
 - ? roteador típico tem múltiplas interfaces
 - ? estação típica possui uma ou duas interfaces (ex.: Ethernet e Wi-fi)
- ? **endereços IP associados a cada interface**



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{0000001}_{1} \underbrace{0000001}_{1} \underbrace{0000001}_{1}$$

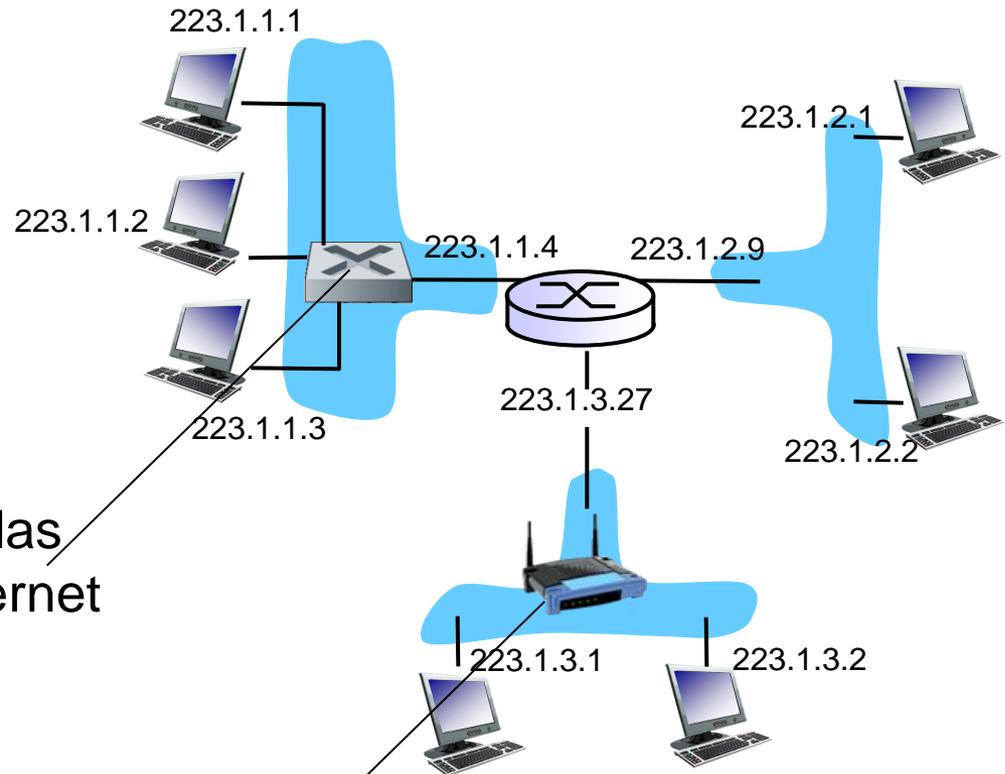
Endereçamento IP: introdução

P: como as interfaces são realmente conectadas?

R: aprenderemos nos capítulos 5 e 6.

R: Ethernet interfaces cabeadas conectadas por switches Ethernet

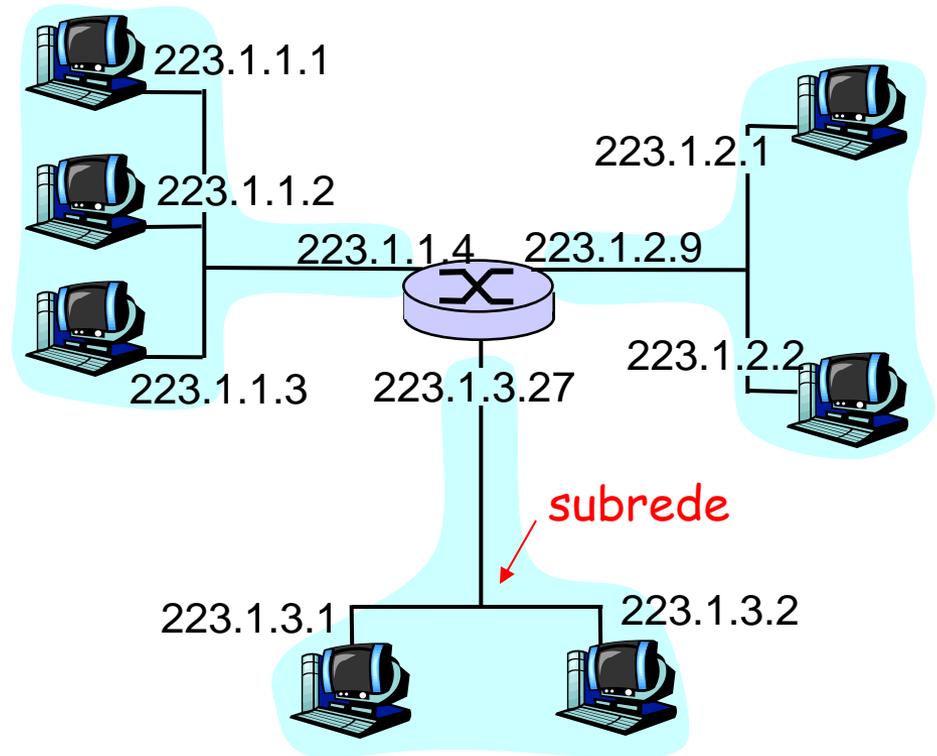
Por enquanto: não nos preocupemos em como uma interface está conectada a outra (sem participação de um roteador)



R: interfaces WiFi sem fio conectadas por estação base WiFi

Subredes

- ? endereço IP:
 - ? parte de rede (bits de mais alta ordem)
 - ? parte de estação (bits de mais baixa ordem)
- ? *O que é uma subrede IP?*
 - ? interfaces de dispositivos com a mesma parte de subrede nos seus endereços IP
 - ? podem alcançar um ao outro **sem passar por um roteador intermediário**

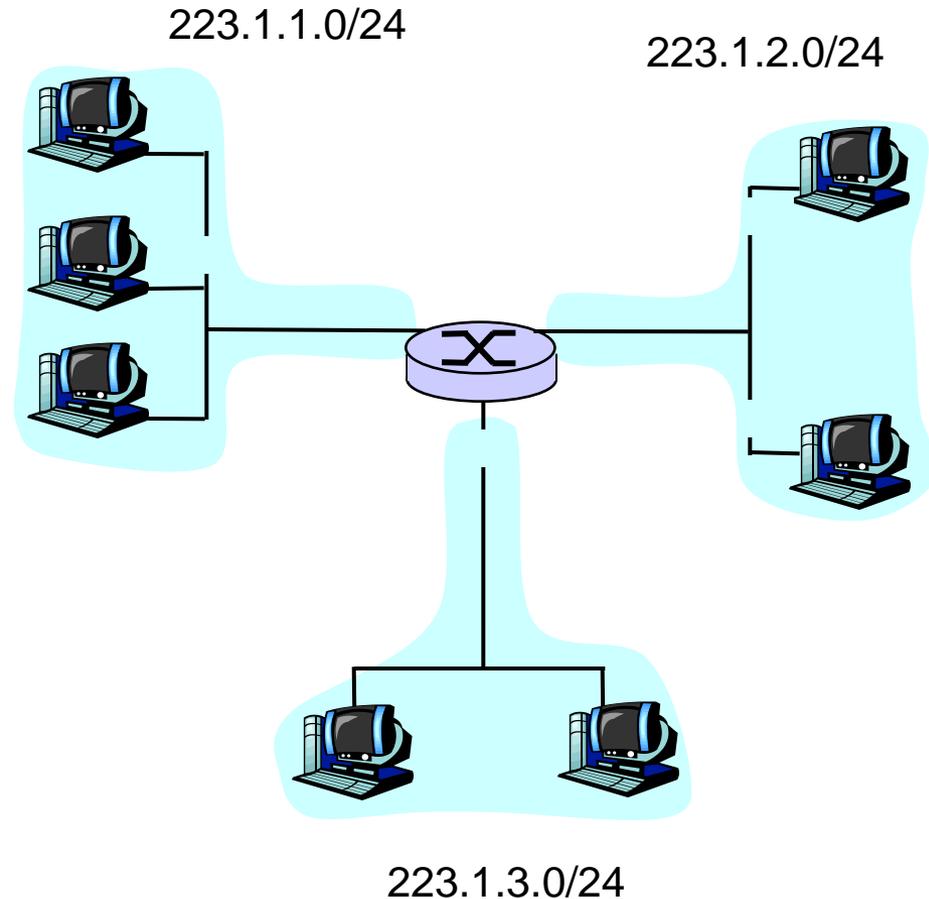


rede composta por 3 subredes

Subredes

Receita

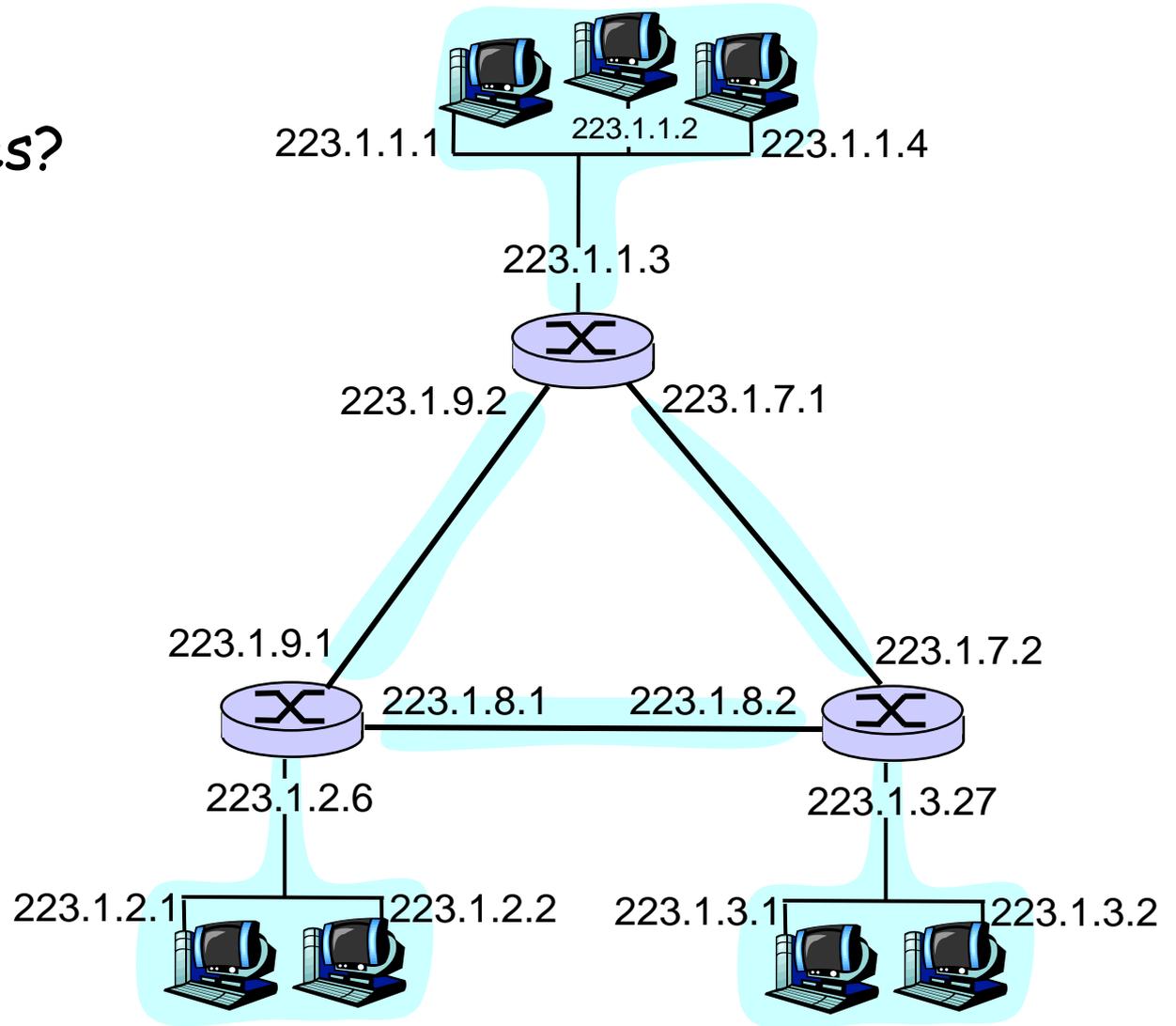
- ? desassociar cada interface do seu roteador, estação
- ? criar "ilhas" de redes isoladas
- ? cada rede isolada é uma **subrede**



Máscara da
sub-rede: /24

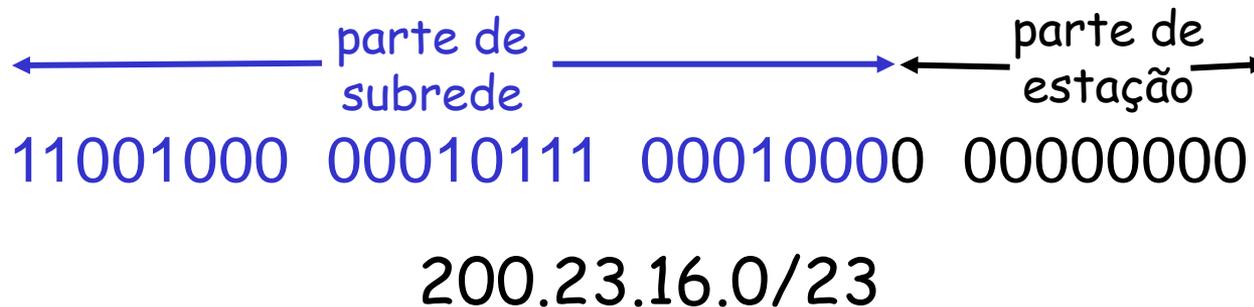
Subredes

Quantas subredes?



Endereçamento IP: CIDR

- ? **CIDR: Classless InterDomain Routing**
(Roteamento Interdomínio sem classes)
 - ? parte de rede do endereço de comprimento arbitrário
 - ? formato de endereço: **a.b.c.d/x**, onde x é o no. de bits na parte de subrede do endereço



Endereços IP: como conseguir um?

P: Como o *host* obtém um endereço IP?

- ❑ codificado pelo administrador num arquivo
 - Windows: Painel de controle->Rede->Configuração>tcp/ip->propriedades
 - UNIX: /etc/rc.config

- ❑ **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:** obtém endereço dinamicamente de um servidor
 - "plug-and-play"

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

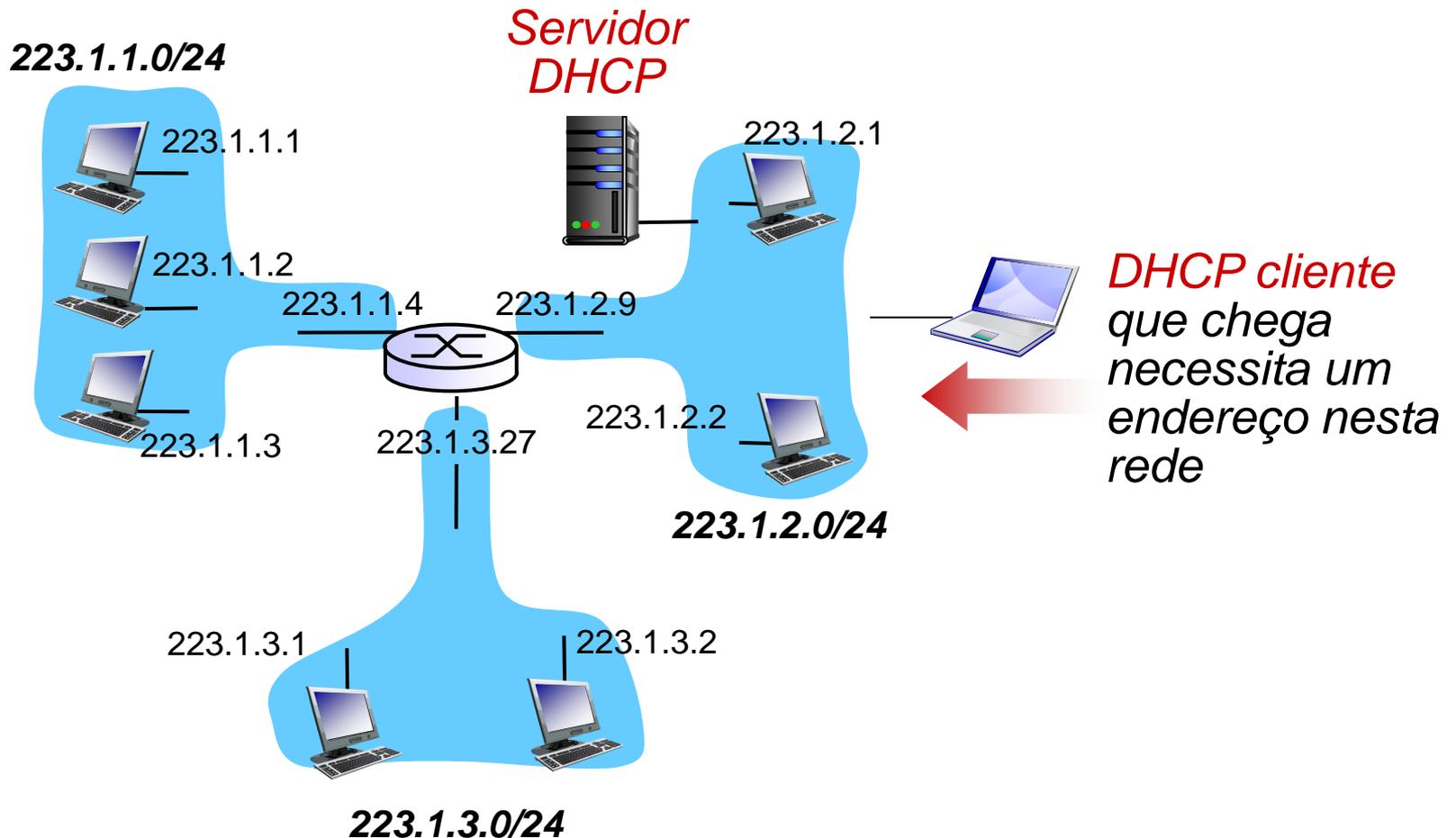
Objetivo: permitir ao *host* obter *dinamicamente* o seu endereço IP do servidor da rede quando entra na rede

- ❑ pode renovar o empréstimo pelo uso do endereço
- ❑ permite a reutilização de endereços (retém o endereço apenas enquanto estiver conectado)
- ❑ suporte a usuários móveis que queiram entrar na rede (mais brevemente)

Visão geral do DHCP:

- ❑ host envia em broadcast msg "DHCP discover" [opcional]
- ❑ servidor DHCP responde com msg "DHCP offer" [opcional]
- ❑ host solicita endereço IP: msg "DHCP request"
- ❑ servidor DHCP envia endereço: msg "DHCP ack"

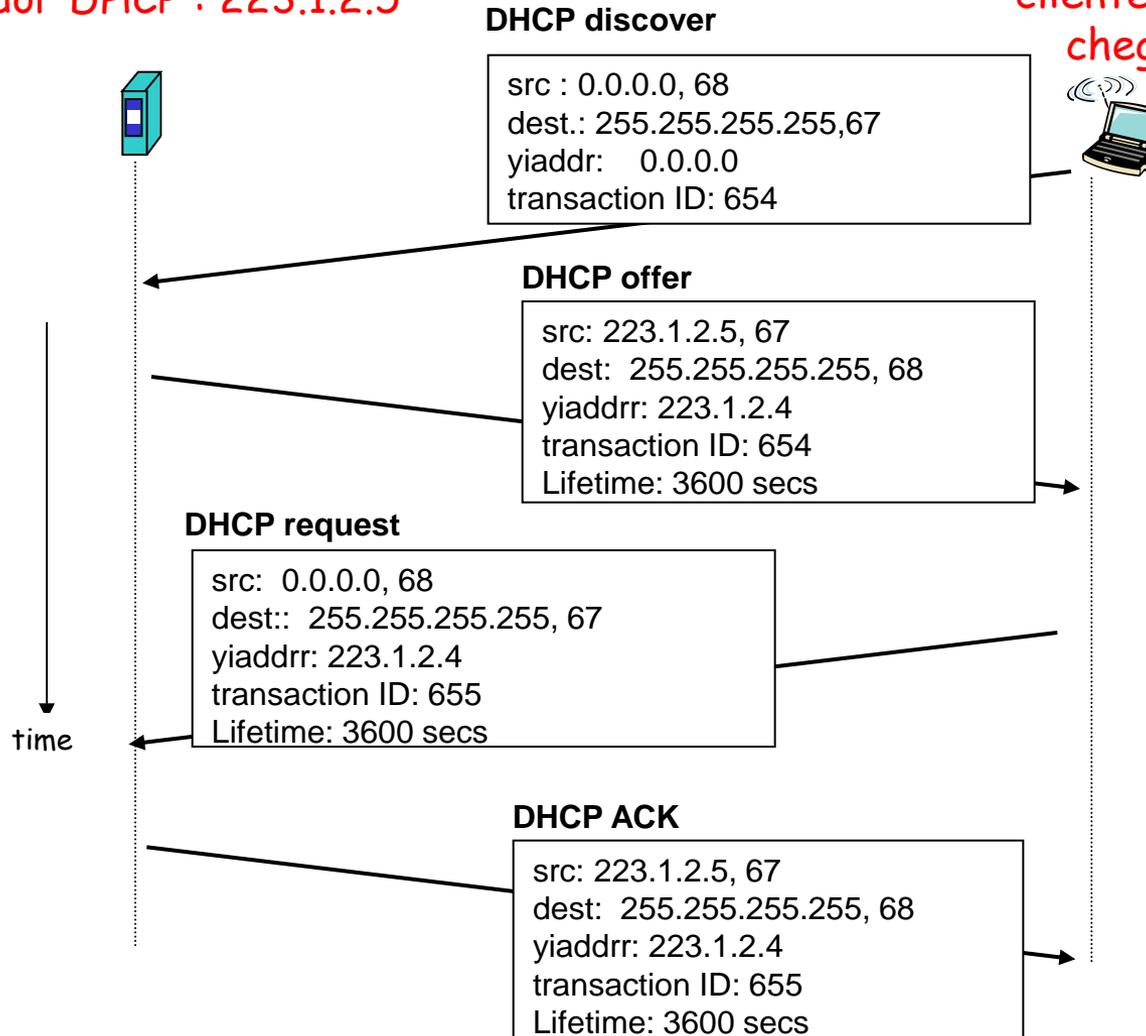
cenário DHCP cliente-servidor



cenário DHCP cliente-servidor

servidor DHCP : 223.1.2.5

cliente que chega

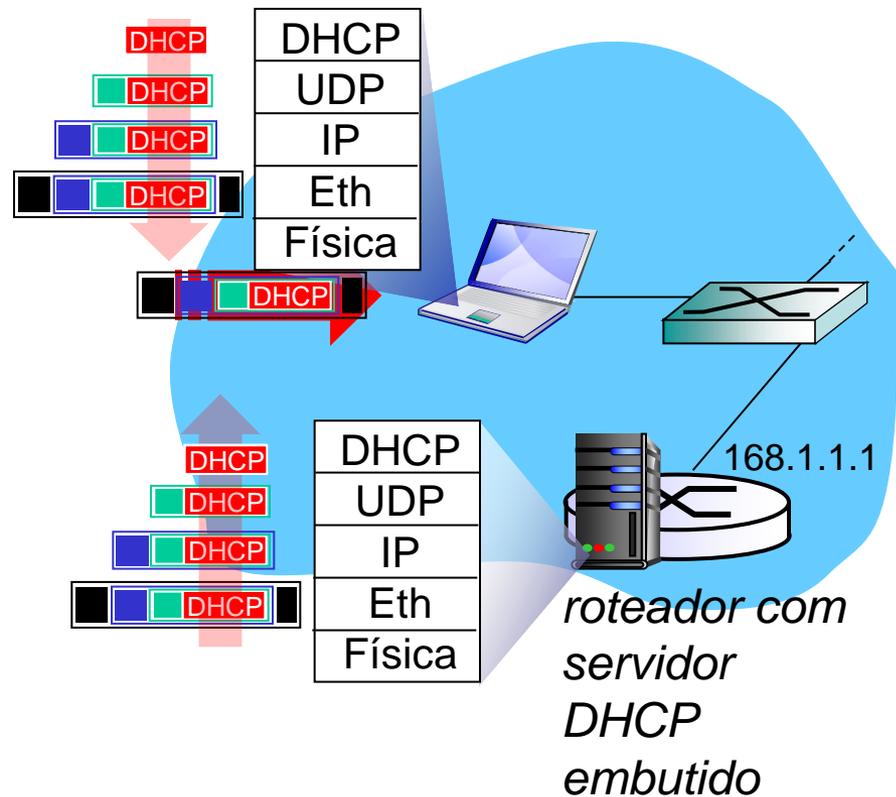


DHCP: mais do que endereços

IP

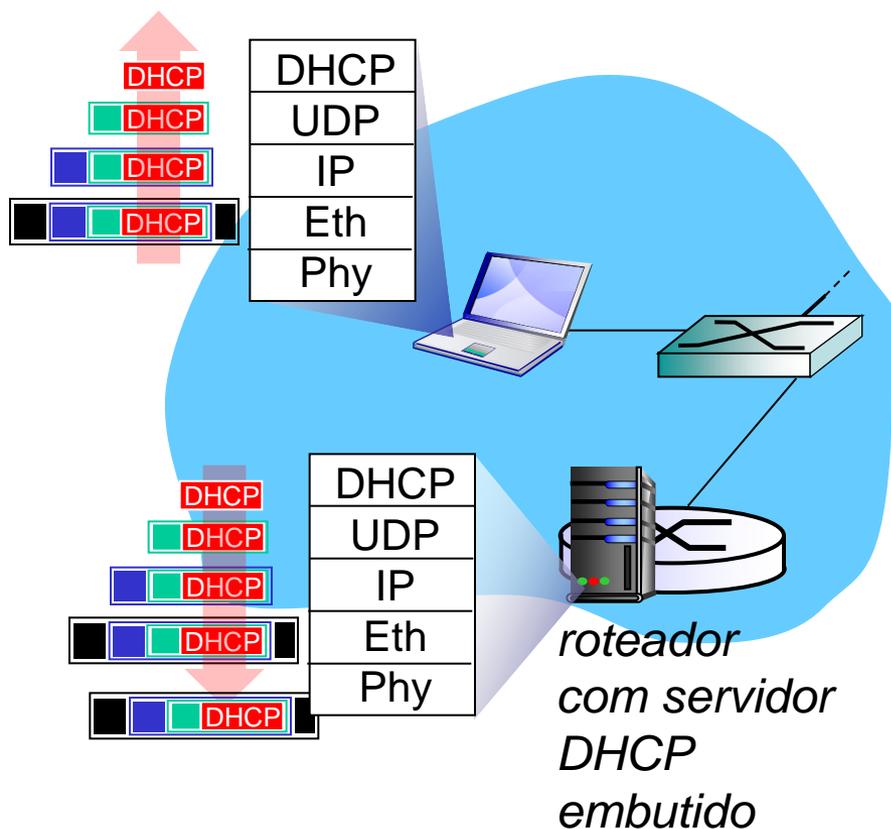
- ❑ O DHCP pode retornar mais do que apenas o endereço IP alocado na subrede:
 - ❑ endereço do próximo roteador para o cliente
 - ❑ nome e endereço IP do servidor DNS
 - ❑ máscara de rede (indicando as porções do endereço que identificam a rede e o hospedeiro)

DHCP: exemplo



- ? laptop ao se conectar necessita seu endereço IP, end. do primeiro roteador, end. do servidor DNS: usa DHCP
- ? pedido DHCP encapsulado em UDP, encapsulado no IP, encapsulado no Ethernet 802.1
- ? quadro Ethernet difundido (dest.: FFFFFFFFFFFFFFFF) na LAN, recebido no roteador que está rodando o servidor DHCP
- ? Ethernet demultiplexado para IP, demultiplexado para UDP, demultiplexado para DHCP

DHCP: exemplo



- ? servidor DHCP prepara o ACK DHCP contendo o endereço IP do cliente, o endereço IP do primeiro roteador para o cliente, o nome e o endereço IP do servidor DNS
- ? encapsula a mensagem DHCP no servidor, quadro é repassado para o cliente, e é demultiplexado até o DHCP no cliente.
- ? cliente agora conhece o seu endereço IP, o nome e end. IP do servidor DNS, end. IP do seu primeiro roteador

DHCP: saída do Wireshark

Message type: **Boot Request (1)**
Hardware type: Ethernet
Hardware address length: 6
Hops: 0
Transaction ID: 0x6b3a11b7
Seconds elapsed: 0
Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Server host name not given
Boot file name not given
Magic cookie: (OK)
Option: (t=53,l=1) **DHCP Message Type = DHCP Request**
Option: (61) Client identifier
 Length: 7; Value: 010016D323688A;
 Hardware type: Ethernet
 Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Option: (t=50,l=4) Requested IP Address = 192.168.1.101
Option: (t=12,l=5) Host Name = "nomad"
Option: (55) Parameter Request List
 Length: 11; Value: 010F03062C2E2F1F21F92B
 1 = Subnet Mask; 15 = Domain Name
 3 = Router; 6 = Domain Name Server
 44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server

pedido

Message type: **Boot Reply (2)**
Hardware type: Ethernet
Hardware address length: 6
Hops: 0
Transaction ID: 0x6b3a11b7
Seconds elapsed: 0
Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
Client IP address: 192.168.1.101 (192.168.1.101)
Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Next server IP address: 192.168.1.1 (192.168.1.1)
Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Server host name not given
Boot file name not given
Magic cookie: (OK)
Option: (t=53,l=1) DHCP Message Type = DHCP ACK
Option: (t=54,l=4) Server Identifier = 192.168.1.1
Option: (t=1,l=4) Subnet Mask = 255.255.255.0
Option: (t=3,l=4) Router = 192.168.1.1
Option: (6) Domain Name Server
 Length: 12; Value: 445747E2445749F244574092;
 IP Address: 68.87.71.226;
 IP Address: 68.87.73.242;
 IP Address: 68.87.64.146
Option: (t=15,l=20) Domain Name = "hsd1.ma.comcast.net."

resposta

Endereços IP: como conseguir um?

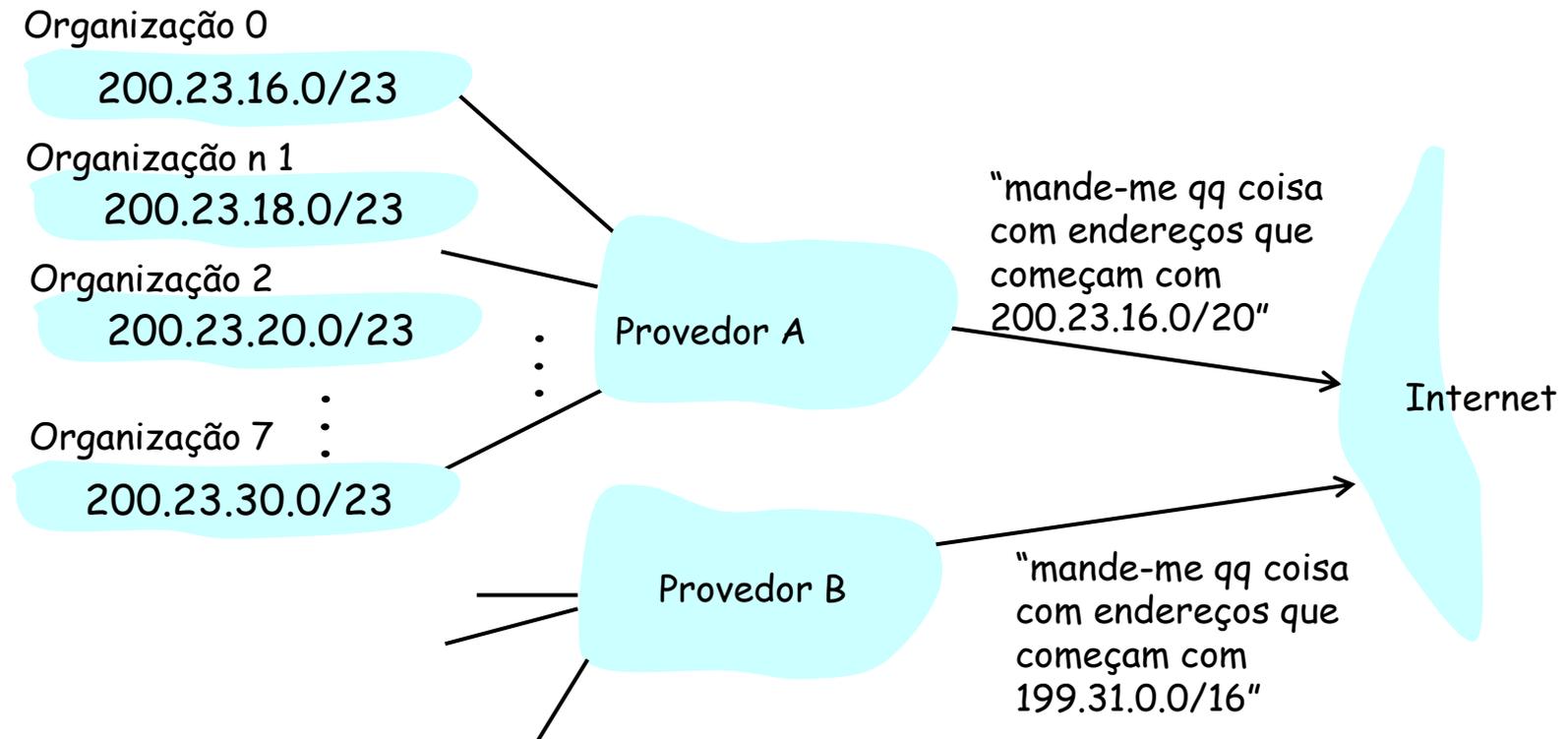
P: Como a rede obtém a parte de rede do endereço IP?

R: Recebe uma porção do espaço de endereços do seu ISP (provedor)

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

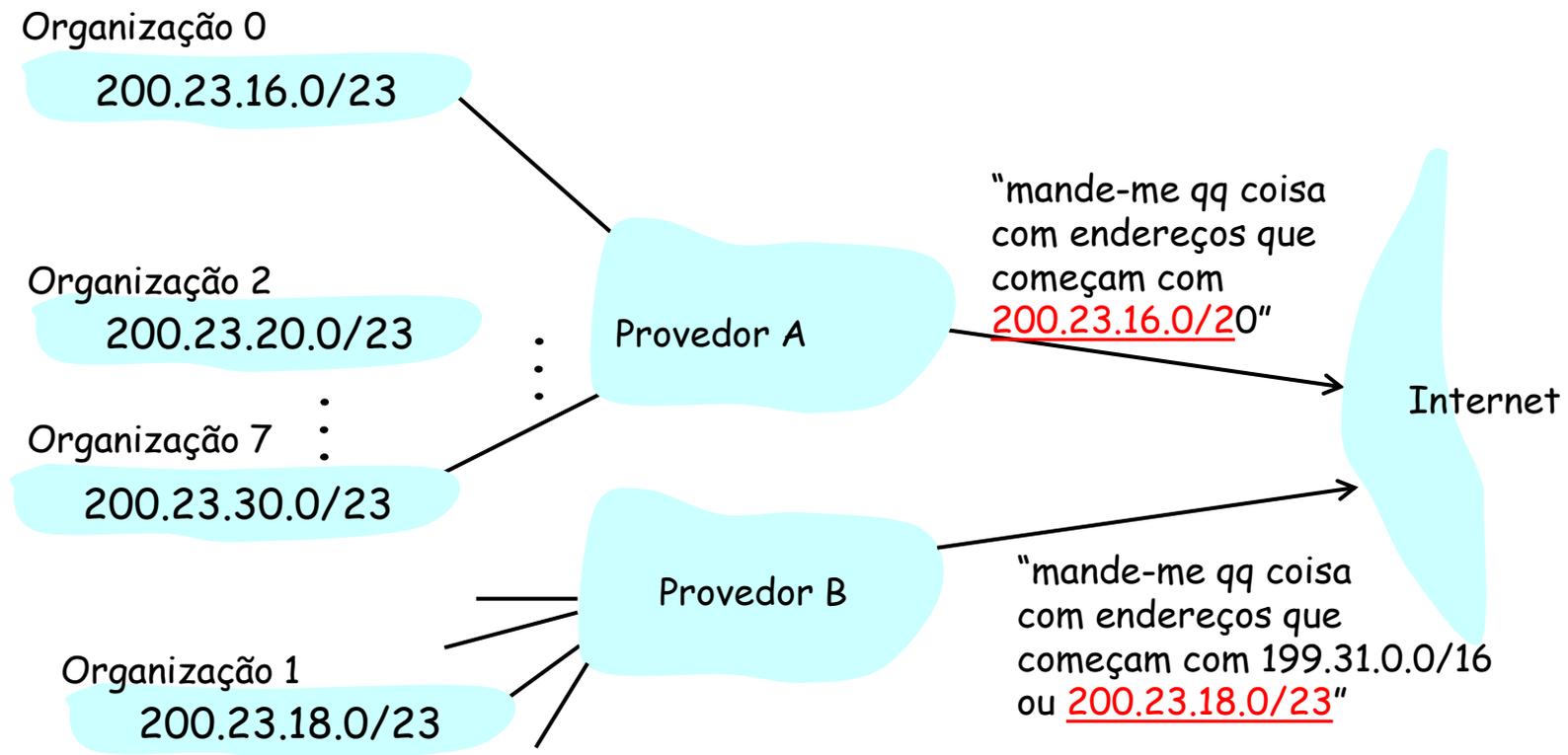
Endereçamento hierárquico: agregação de rotas

Endereçamento hierárquico permite anunciar eficientemente informação sobre rotas:



Endereçamento hierárquico: rotas mais específicas

Provedor B tem uma rota mais específica para a Organização 1



Endereçamento IP: a última palavra...

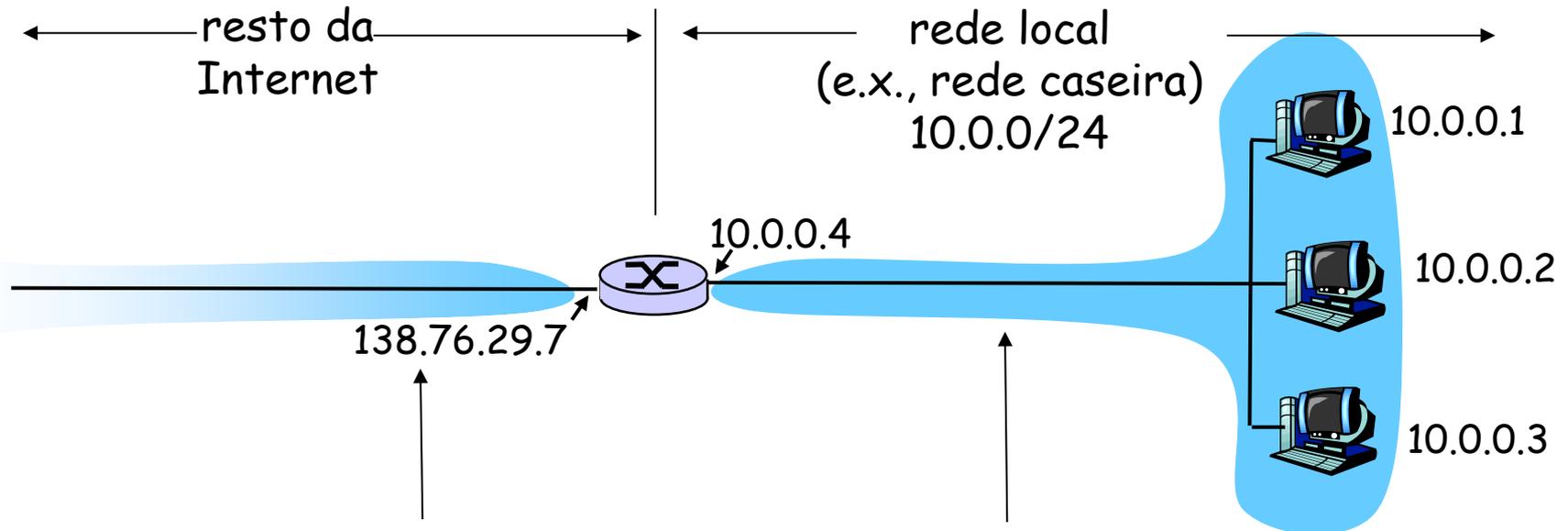
P: Como um provedor IP consegue um bloco de endereços?

R: **ICANN**: **I**nternet **C**orporation for **A**ssigned **N**ames and **N**umbers (www.icann.org.br)

- ❑ aloca endereços
- ❑ gerencia DNS
- ❑ aloca nomes de domínio, resolve disputas

Através da IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*)

Tradução de endereços na rede (NAT)



Todos os datagramas *deixando* a rede local têm o *mesmo* único endereço IP NAT origem: 138.76.29.7, e diferentes números de porta origem

Datagramas com origem ou destino nesta rede usam endereços 10.0.0/24 para origem e destino (como usual)

Tradução de endereços na rede (NAT)

- ❑ **Motivação:** a rede local usa apenas um endereço IP, no que concerne ao mundo exterior:
 - ❑ não há necessidade de alocar faixas de endereços do ISP:
 - apenas um endereço IP é usado para todos os dispositivos
 - ❑ pode modificar endereços de dispositivos na rede local sem notificar o mundo exterior
 - ❑ pode trocar de ISP sem mudar os endereços dos dispositivos na rede local
 - ❑ dispositivos dentro da rede local não são explicitamente endereçáveis, i.e., visíveis do mundo exterior (um incremento de segurança)

Tradução de endereços na rede (NAT)

Implementação: um roteador NAT deve:

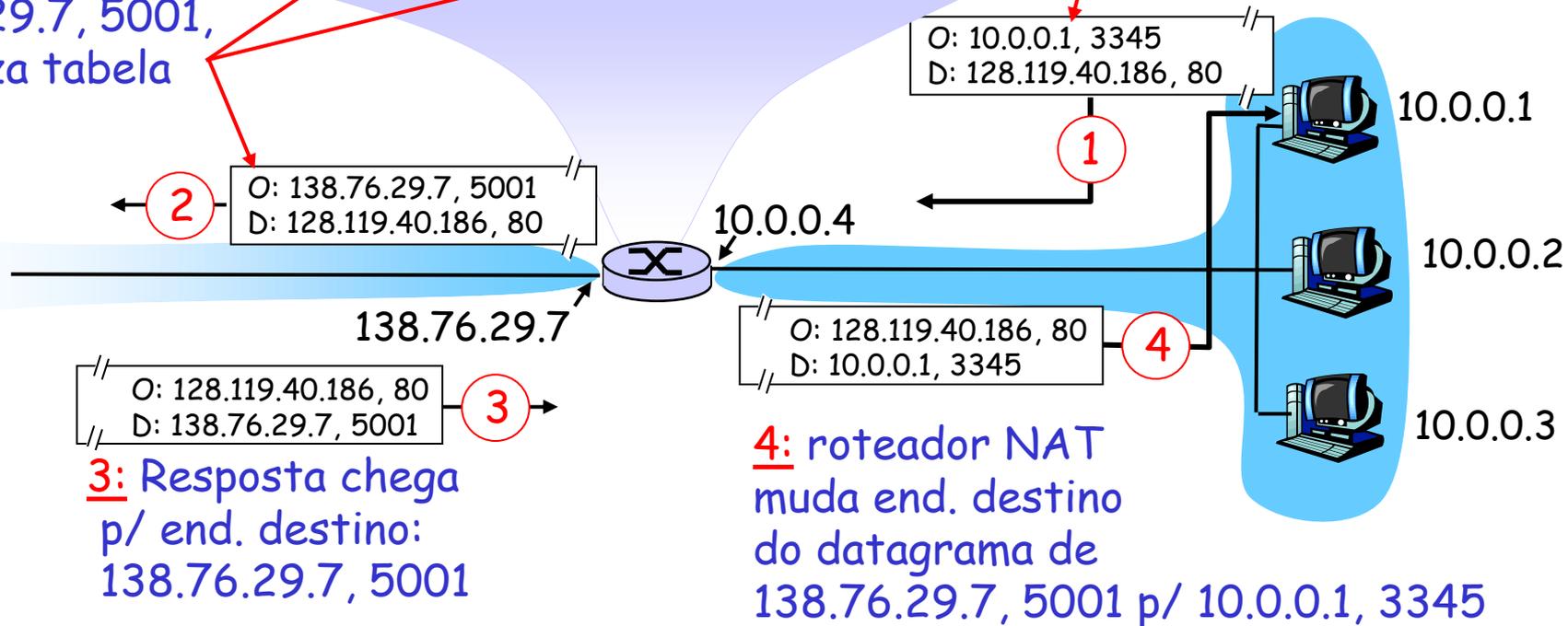
- ▣ *datagramas saindo: trocar* (IP origem, # porta) de cada datagrama saindo para (IP NAT, novo # porta)
... clientes/servidores remotos vão responder usando (IP NAT, novo # porta) como endereço destino.
- ▣ *lembrar (na tabela de tradução NAT)* cada par de tradução (IP origem, # porta) para (IP NAT, novo # porta)
- ▣ *datagramas entrando: trocar* (IP NAT, novo # porta) nos campos de destino de cada datagrama entrando para o (IP origem, # porta) correspondente armazenado na tabela NAT

Tradução de endereços na rede (NAT)

Tabela de tradução NAT	
end. lado WAN	end. lado LAN
138.76.29.7, 5001	10.0.0.1, 3345
.....

2: roteador NAT muda end. origem do datagrama de 10.0.0.1, 3345 p/ 138.76.29.7, 5001, e atualiza tabela

1: host 10.0.0.1 envia datagrama p/ 128.119.40.186, 80

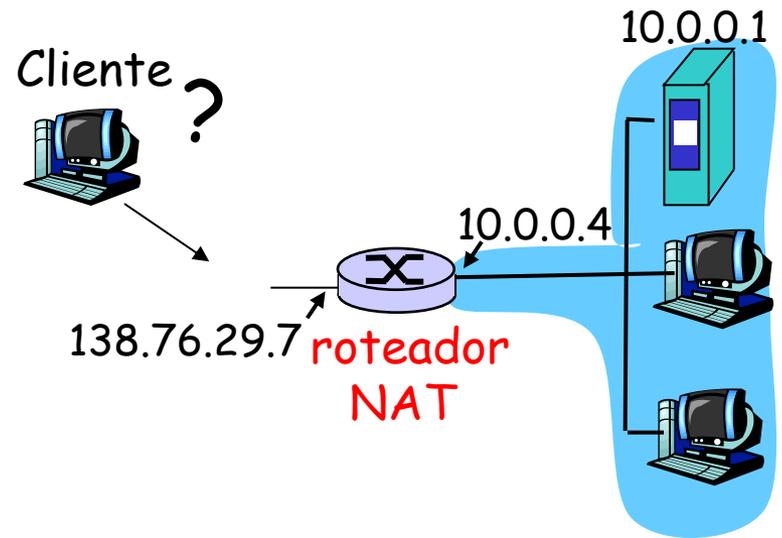


Tradução de endereços na rede (NAT)

- ❓ campo do número de porta com 16-bits:
 - ❓ 60.000 conexões simultâneas com um único endereço no lado WAN!
- ❓ NAT é controverso:
 - ❓ roteadores deveriam processar somente até a camada 3
 - ❓ viola o argumento fim-a-fim
 - possibilidade do uso de NAT deve ser levado em conta pelos projetistas de aplicações (p.e., P2P)
 - ❓ escassez de endereços, por outro lado, deveria ser resolvida com o IPv6

Problema de travessia do NAT

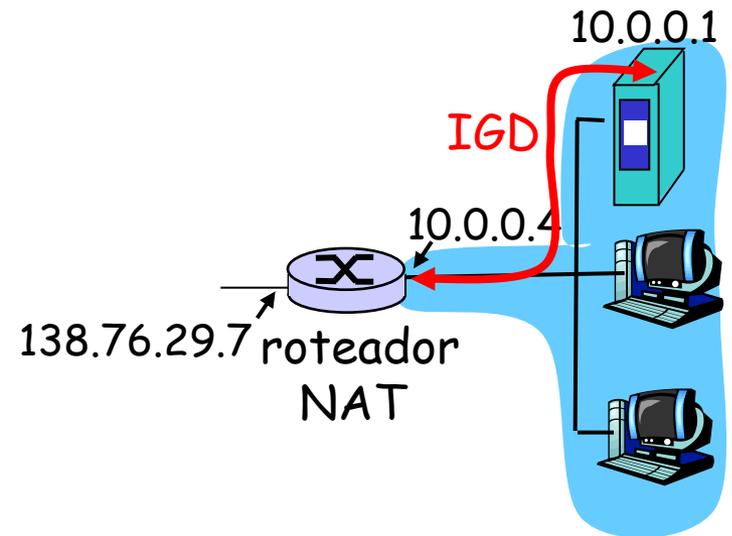
- ? o cliente quer conectar com o servidor com end. 10.0.0.1
 - ? endereço 10.0.0.1 é local à LAN (cliente não pode usá-lo como endereço de destino)
 - ? há apenas um endereço visível externamente: 138.76.29.7
- ? **solução 1:** configurar estaticamente o NAT para encaminhar para o servidor pedidos de conexão entrantes numa dada porta.
 - ? Ex: (123.76.29.7, porta 2500) sempre encaminhado para 10.0.0.1 porta 25000



Problema de travessia do NAT

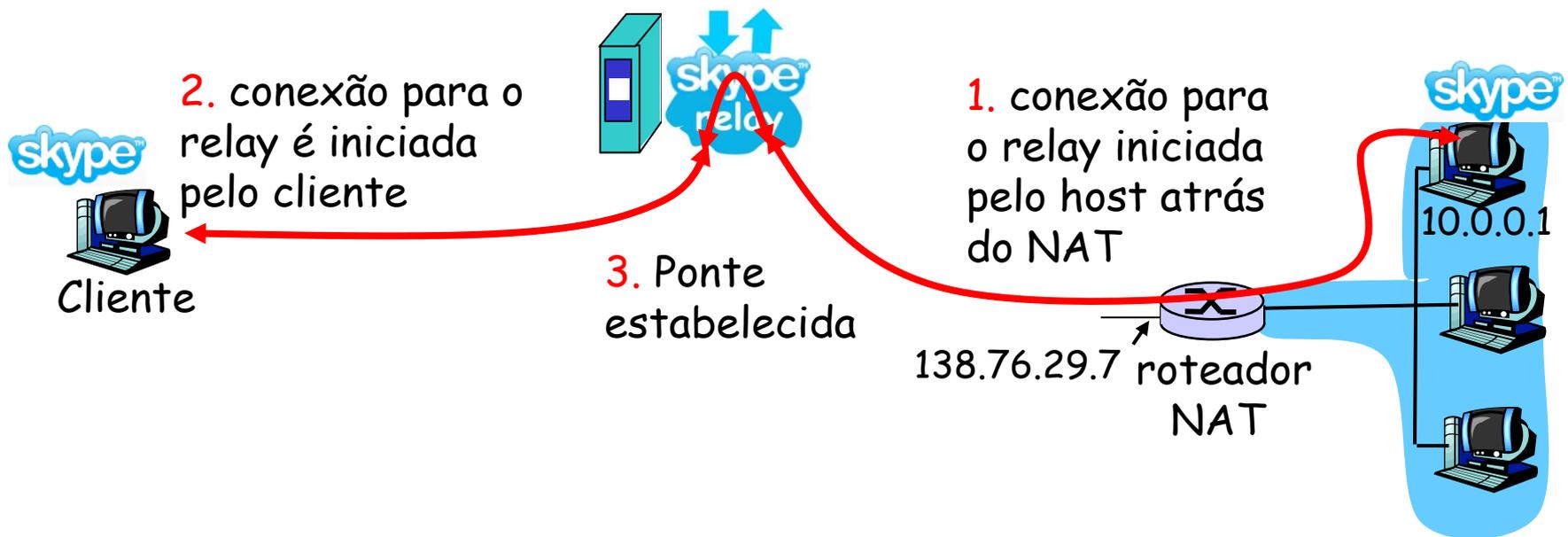
- ❓ **solução 2:** Protocolo Internet Gateway Device (IGD) do Universal Plug and Play (UPnP). Permite aos hosts que estejam atrás de NATs:
- ❖ descobrir o endereço público IP (138.76.29.7)
 - ❖ Adicionar/remover mapeamento de portas (com tempos de validade)

i.e., automatiza a configuração do mapeamento estático de portas NAT



Problema de travessia do NAT

- ❓ **solução 3:** repasse (usado pelo Skype)
 - ❓ clientes atrás do NAT se conecta ao relay
 - ❓ cliente externo também se conecta ao relay
 - ❓ Repasse serve de intermediário entre pacotes de uma conexão para a outra



Capítulo 4: Camada de Rede

- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - Formato do datagrama
 - Endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - Estado de enlace
 - Vetor de distâncias
 - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

❓ usado por estações, roteadores para comunicar informação s/ camada de rede

❓ relatar erros: estação, rede, porta, protocolo inalcançáveis

❓ pedido/resposta de eco (usado por ping)

❓ camada de rede "acima de" IP:

❓ msgs ICMP transportadas em datagramas IP

❓ **mensagem ICMP:** tipo, código mais primeiros 8 bytes do datagrama IP causando erro

<u>Tipo</u>	<u>Código</u>	<u>descrição</u>
0	0	resposta de eco (ping)
3	0	rede dest. inalcançável
3	1	estação dest. inalcançável
3	2	protocolo dest. inalcançável
3	3	porta dest. inalcançável
3	6	rede dest. desconhecida
3	7	estação dest. desconhecida
4	0	abaixar fonte (controle de congestionamento - ã usado)
8	0	pedido eco (ping)
9	0	anúncio de rota
10	0	descobrir roteador
11	0	TTL (sobrevida) expirada
12	0	erro de cabeçalho IP

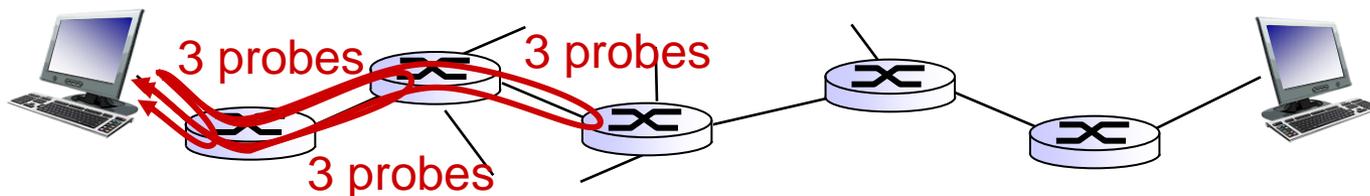
Traceroute e ICMP

- ❑ Origem envia uma série de segmentos UDP para o destino
 - ❑ Primeiro tem TTL =1
 - ❑ Segundo tem TTL=2, etc.
 - ❑ Número de porta improvável
- ❑ Quando n-ésimo datagrama chega ao n-ésimo roteador:
 - ❑ Roteador descarta datagrama
 - ❑ Envia p/ origem uma mensagem ICMP (tipo 11, código 0)
 - ❑ Mensagem inclui nome e endereço IP do roteador

- ❑ Quando a mensagem ICMP chega, origem calcula RTT
- ❑ Traceroute faz isto 3 vezes

Critério de parada

- ❑ Segmento UDP eventualmente chega à estação destino
- ❑ Destino retorna pacote ICMP "porta inalcançável" (tipo 3, código 3)
- ❑ Quando origem recebe este pacote ICMP, pára.



Capítulo 4: Camada de Rede

- ? 4.1 Introdução
- ? 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- ? 4.3 O que há dentro de um roteador
- ? 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - ? Formato do datagrama
 - ? Endereçamento IPv4
 - ? ICMP
 - ? IPv6
- ? 4.5 Algoritmos de roteamento
 - ? Estado de enlace
 - ? Vetor de distâncias
 - ? Roteamento hierárquico
- ? 4.6 Roteamento na Internet
 - ? RIP
 - ? OSPF
 - ? BGP
- ? 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*

IPv6

- ❓ **Motivação inicial:** espaço de endereços de 32-bits em breve completamente alocado.
 - ❓ Esgotou em 2011 na ICANN
- ❓ **Motivação adicional:**
 - ❓ formato do cabeçalho facilita acelerar processamento/repasse
 - ❓ mudanças no cabeçalho para facilitar QoS

formato do datagrama IPv6:

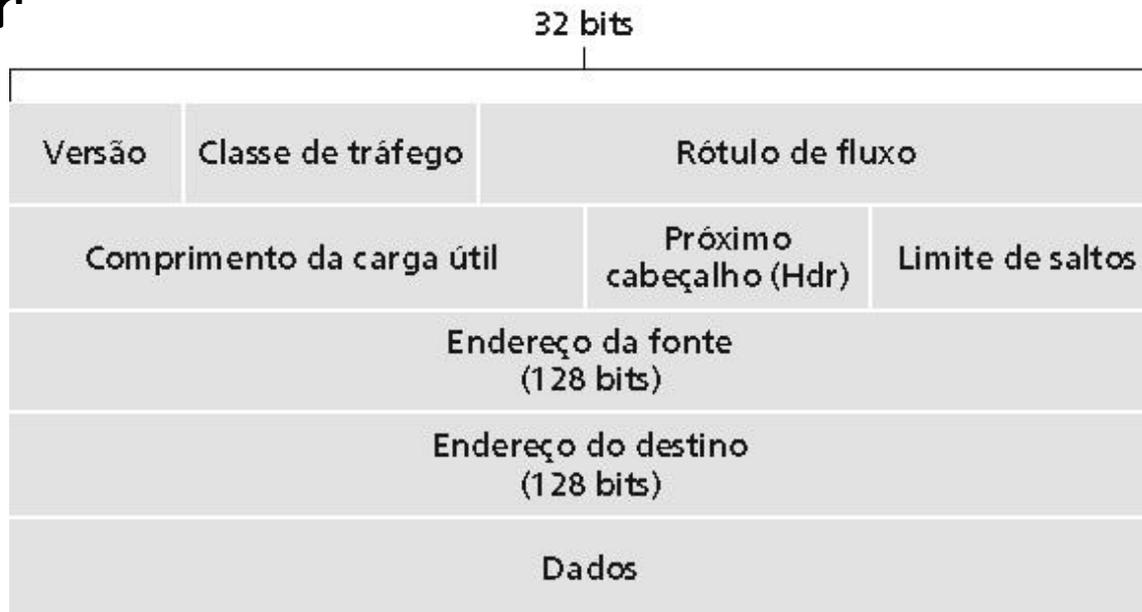
- ❓ cabeçalho de tamanho fixo de 40 bytes
- ❓ não admite fragmentação

Cabeçalho IPv6

Classe de tráfego: identifica prioridade entre datagramas no fluxo

Rótulo do Fluxo: identifica datagramas no mesmo "fluxo" (conceito de "fluxo" mal definido).

Próximo cabeçalho: identifica protocolo da camada superior



Outras mudanças em relação ao IPv4

- ❑ **Checksum:** removido completamente para reduzir tempo de processamento a cada roteador
- ❑ **Opções:** permitidas, porém fora do cabeçalho, indicadas pelo campo "Próximo Cabeçalho"
- ❑ **ICMPv6:** versão nova de ICMP
 - ❑ tipos adicionais de mensagens, p.ex. "Pacote Muito Grande"
 - ❑ funções de gerenciamento de grupo multiponto

Espaço de Endereçamento

? Um endereço IPv4 é formado por 32 bits.

? $2^{32} = 4.294.967.296$

? Um endereço IPv6 é formado por 128 bits.

? $2^{128} =$

340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768
.211.456

? ~56 octilhões ($5,6 \times 10^{28}$) de endereços IP por ser humano

? ~79 octilhões ($7,9 \times 10^{28}$) de vezes a quantidade de endereços IPv4

Endereços IPv6 (RFC 4291)

? Exemplos:

? ABCD:EF01:2345:6789:ABCD:EF01:2345:6789

? 2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A

? Representação de endereços IPv4:

? 0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38

? Ou em formato comprimido

? ::FFFF:129.144.52.38

Endereços IPv6

? Eliminação de zeros:

? Os endereços:

- 2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A endereço unicast
- FF01:0:0:0:0:0:0:101 endereço multicast
- 0:0:0:0:0:0:0:1 endereço de loopback
- 0:0:0:0:0:0:0:0 endereço não especificado

? Podem ser escritos como:

- 2001:DB8::8:800:200C:417A endereço unicast
- FF01::101 endereço multicast
- ::1 endereço de loopback
- :: endereço não especificado

Espaço de Endereçamento do IPv6 (19/07/2007)

0000::/8	Reserved by IETF	[RFC4291]
0100::/8	Reserved by IETF	[RFC4291]
0200::/7	Reserved by IETF	[RFC4048]
0400::/6	Reserved by IETF	[RFC4291]
0800::/5	Reserved by IETF	[RFC4291]
1000::/4	Reserved by IETF	[RFC4291]
2000::/3	Global Unicast	[RFC4291]
4000::/3	Reserved by IETF	[RFC4291]
6000::/3	Reserved by IETF	[RFC4291]
8000::/3	Reserved by IETF	[RFC4291]
A000::/3	Reserved by IETF	[RFC4291]
C000::/3	Reserved by IETF	[RFC4291]
E000::/4	Reserved by IETF	[RFC4291]
F000::/5	Reserved by IETF	[RFC4291]
F800::/6	Reserved by IETF	[RFC4291]
FC00::/7	Unique Local Unicast	[RFC4193]
FE00::/9	Reserved by IETF	[RFC4291]
FE80::/10	Link Local Unicast	[RFC4291]
FEC0::/10	Reserved by IETF	[RFC3879]
FF00::/8	Multicast	[RFC4291]

Alocação de Endereços Unicast

Globais (22/12/2006)

2001:0000::/23	IANA	01 Jul 99	[1]
2001:0200::/23	APNIC	01 Jul 99	
2001:0400::/23	ARIN	01 Jul 99	
2001:0600::/23	RIPE NCC	01 Jul 99	
2001:0800::/23	RIPE NCC	01 May 02	
2001:0A00::/23	RIPE NCC	02 Nov 02	
2001:0C00::/23	APNIC	01 May 02	[2]
2001:0E00::/23	APNIC	01 Jan 03	
2001:1200::/23	LACNIC	01 Nov 02	
2001:1400::/23	RIPE NCC	01 Feb 03	
2001:1600::/23	RIPE NCC	01 Jul 03	
2001:1800::/23	ARIN	01 Apr 03	
2001:1A00::/23	RIPE NCC	01 Jan 04	
2001:1C00::/22	RIPE NCC	01 May 04	
2001:2000::/20	RIPE NCC	01 May 04	
2001:3000::/21	RIPE NCC	01 May 04	
2001:3800::/22	RIPE NCC	01 May 04	
2001:3C00::/22	RESERVED	11 Jun 04	[3]
2001:4000::/23	RIPE NCC	11 Jun 04	

2001:12F0::/ 32 Bloco de produção alocado à RNP. Blocos alocados para a UFPE em 09/10/15: 2001:12F0:912::/48, 2001:12F0:913::/48, 2001:12F0:914::/48.

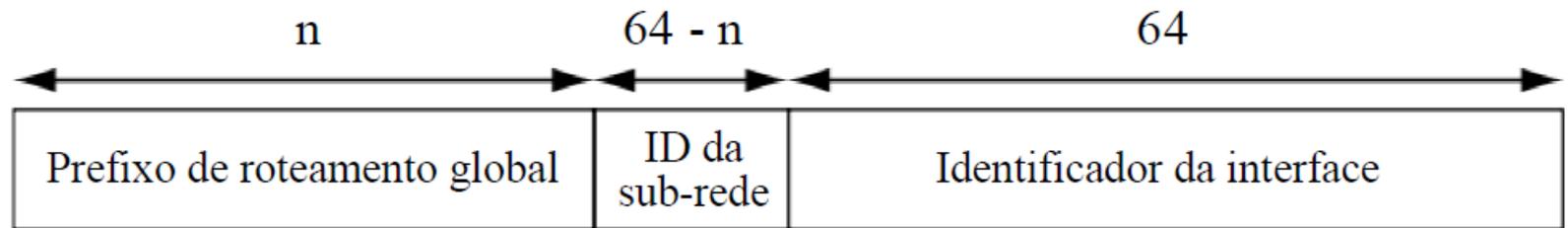
Alocação de Endereços Unicast

Globais (22/12/2006)

2	2001:4200::/23	AfriNIC	01 Jun 04
2	2001:4400::/23	APNIC	11 Jun 04
2	2001:4600::/23	RIPE NCC	17 Aug 04
2	2001:4800::/23	ARIN	24 Aug 04
2	2001:4A00::/23	RIPE NCC	15 Oct 04
2	2001:4C00::/23	RIPE NCC	17 Dec 04
2	2001:5000::/20	RIPE NCC	10 Sep 04
2	2001:8000::/19	APNIC	30 Nov 04
2	2001:A000::/20	APNIC	30 Nov 04
2	2001:B000::/20	APNIC	08 Mar 06
2	2002:0000::/16	6to4	01 Feb 01
2	2003:0000::/18	RIPE NCC	12 Jan 05
2	2400:0000::/12	APNIC	03 Oct 06
2	2600:0000::/12	ARIN	03 Oct 06
2	2610:0000::/23	ARIN	17 Nov 05
2	2620:0000::/23	ARIN	12 Sep 06
2	2800:0000::/12	LACNIC	03 Oct 06
2	2A00:0000::/12	RIPE NCC	03 Oct 06
2	2C00:0000::/12	AfriNIC	03 Oct 06

Endereçamento Unicast

? Global Unicast

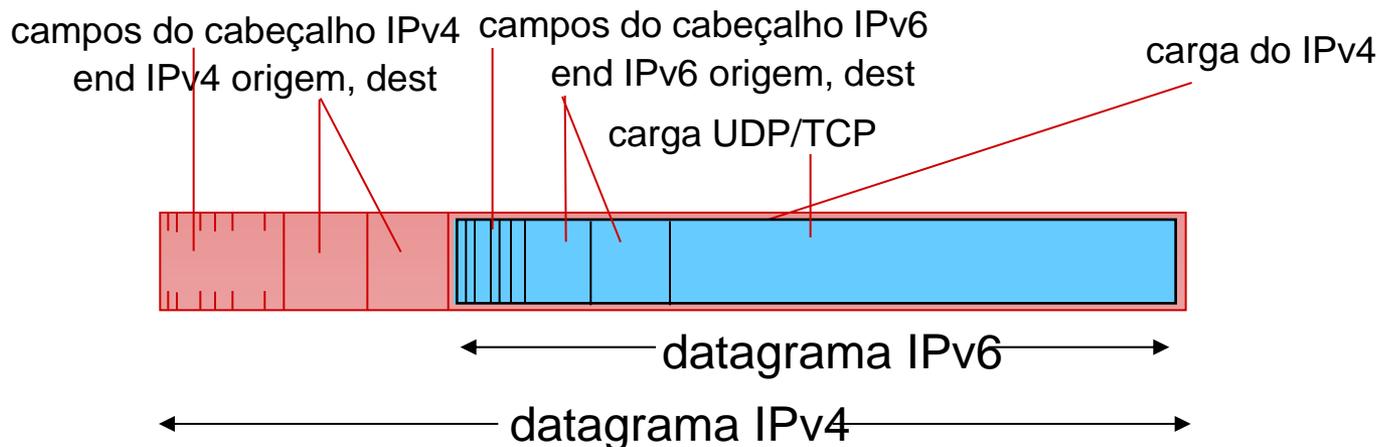


? Divisão de endereços:

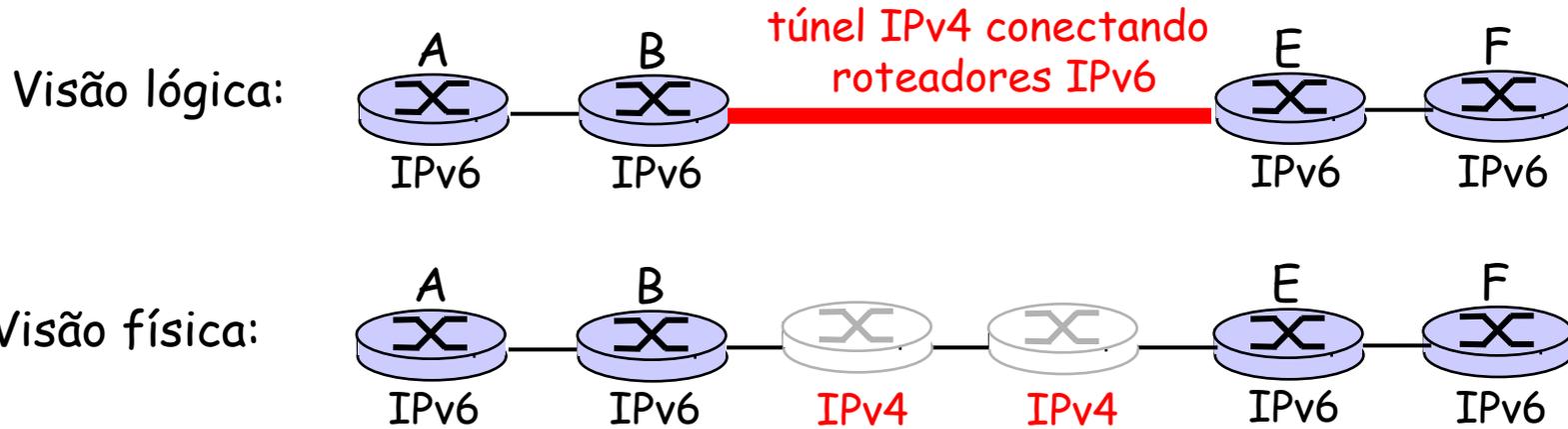
- <http://ipv6.br/paginas/subnet>

Transição do IPv4 para o IPv6

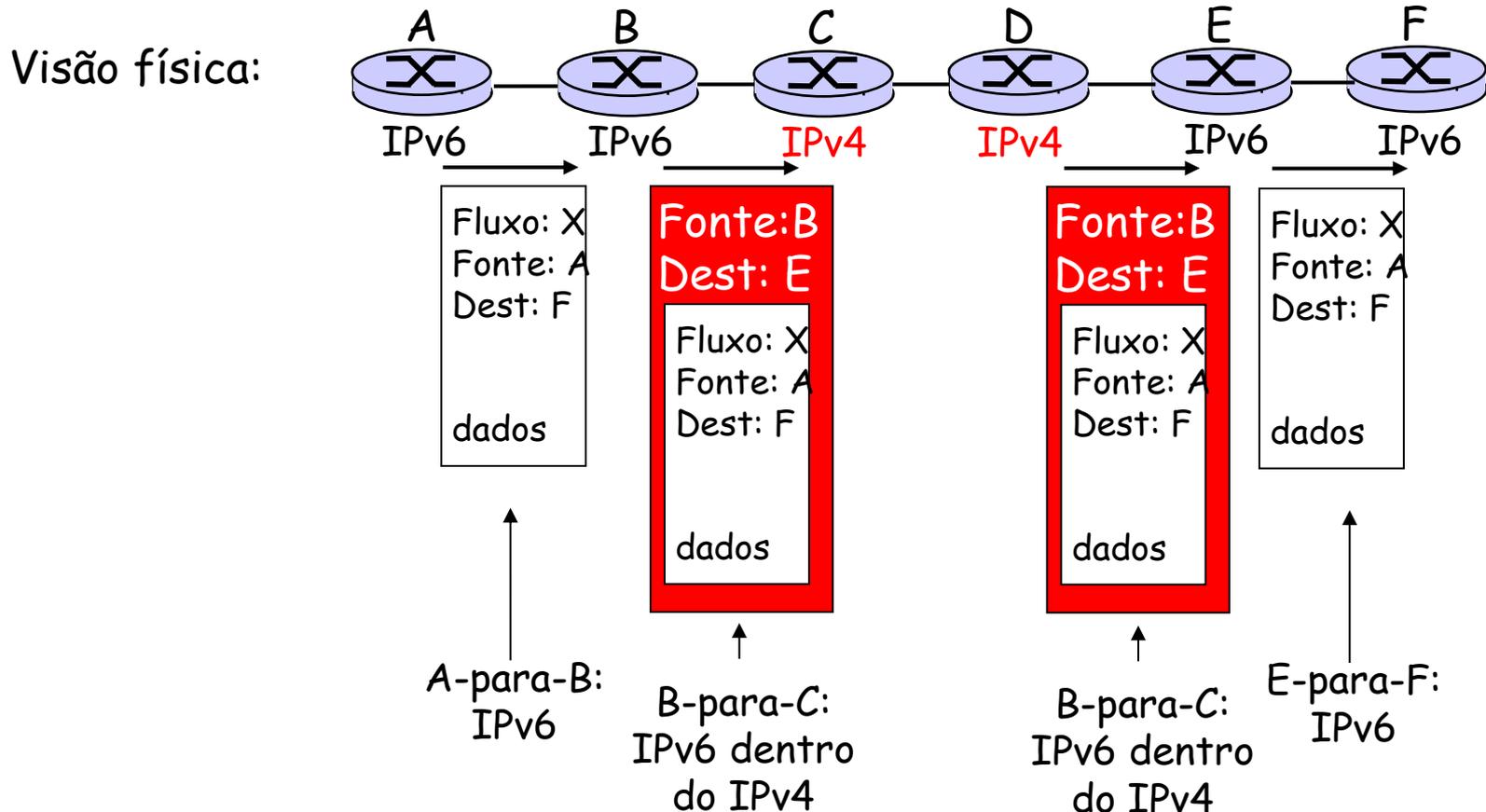
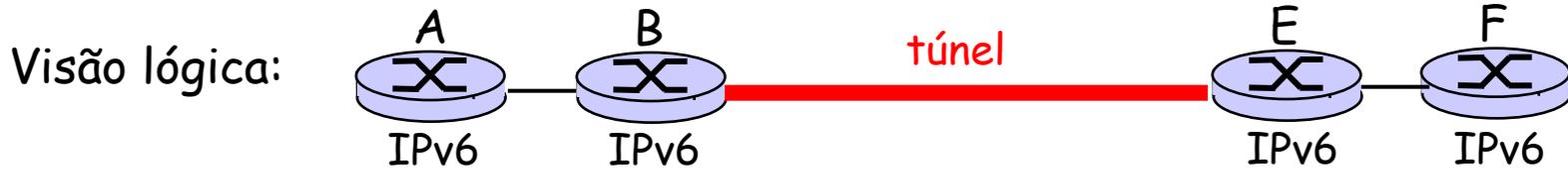
- ? Nem todos os roteadores podem ser atualizados simultaneamente
 - ? “dias de mudança geral” inviáveis
 - ? Como a rede pode funcionar com uma mistura de roteadores IPv4 e IPv6?
- ? **Tunelamento:** datagramas IPv6 carregados em datagramas IPv4 entre roteadores IPv4



Tunelamento



Tunelamento



Capítulo 4: Camada de Rede

- 4.1 Introdução
- 4.2 Redes de circuitos virtuais e de datagramas
- 4.3 O que há dentro de um roteador
- 4.4 O Protocolo da Internet (IP)
 - Formato do datagrama
 - Endereçamento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmos de roteamento
 - Estado de enlace
 - Vetor de distâncias
 - Roteamento hierárquico
- 4.6 Roteamento na Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Roteamento *broadcast e multicast*