

# **Redes de Computadores**

## **Camada de Rede**

Professor: Fábio Renato de Almeida

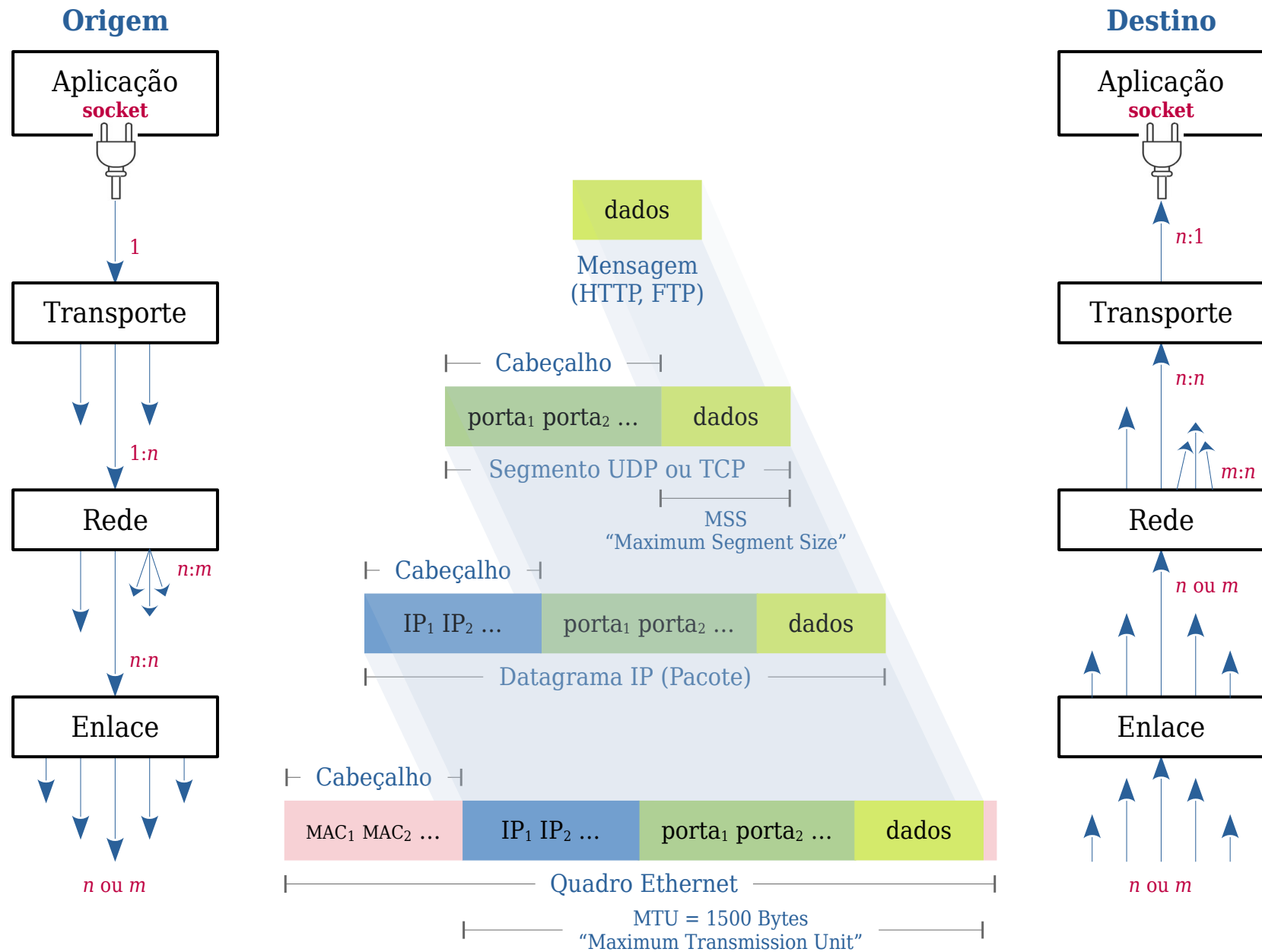
<https://github.com/fabiorenatodealmeida>

e-mail: [fabiorenatodealmeida@hotmail.com](mailto:fabiorenatodealmeida@hotmail.com)

# Bibliografia



# Pilha de Protocolos



# Camada de Rede - Repasse e Roteamento

Aplicação

Transporte

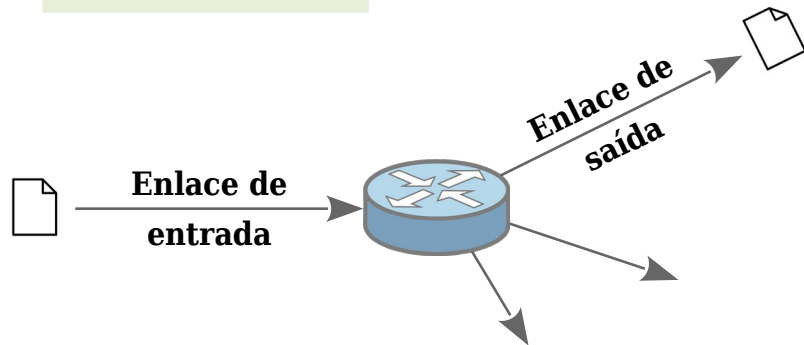
Rede

Enlace

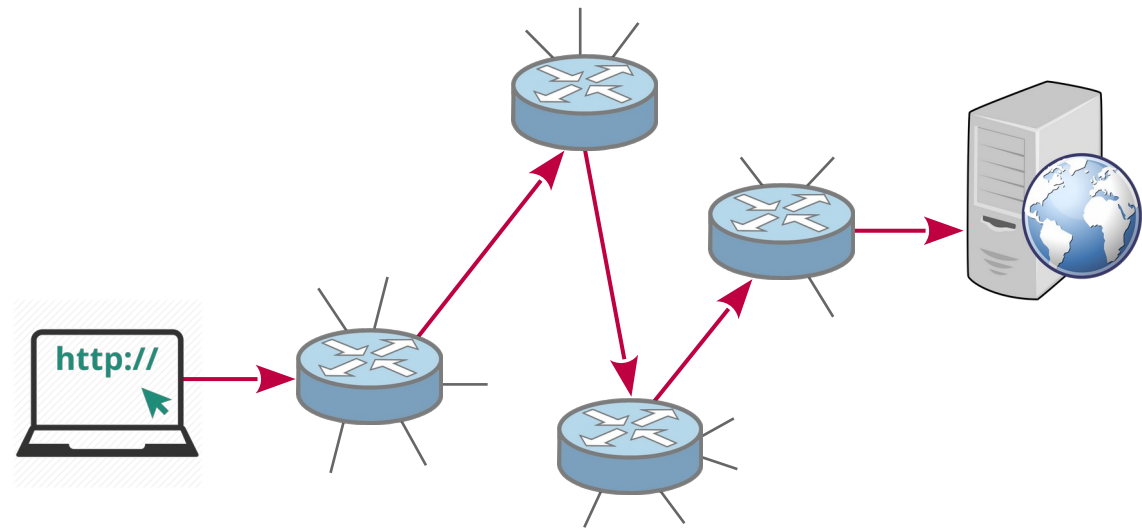
Física

Serviço de comunicação entre processos: Segmentos UDP / TCP

Serviço de comunicação entre hosts: Datagramas IP



Algoritmos e protocolos de roteamento alimentam a tabela de repasses nos roteadores



Roteamento  
(Routing)

# Funções da Camada de Rede

## Redes IP

- Repasse pelo endereço IP de destino
- Alimentação da tabela de repasses (Roteamento)
  - “A tabela de repasses nos roteadores é atualizada em média a cada 1..5 minutos”

## Redes de circuitos virtuais: ATM, Frame Relay, MPLS

- Repasse pelo identificador de conexão no pacote
- Alimentação da tabela de repasses (Roteamento)
- Estabelecimento de conexão

# Camada de Rede

## Modelos de Serviço em Redes IP e ATM

Arquitetura de rede	Internet	ATM	ATM
Modelo de serviço	Melhor esforço	CBR “Constant Bit Rate”	ABR “Available Bit Rate”
Garantia de largura de banda	–	Sim	Mínima
Garantia contra perda	–	Sim	–
Garantia de ordem de entrega	–	Sim	Sim
Temporização (jitter)	–	Sim	–
Indicação de congestionamento	–	Não haverá congestionamento	Sim

**Jitter** → Intervalo máximo entre a recepção de dois pacotes consecutivos

# Repasses em redes de circuitos virtuais

Possibilidade de reserva de recursos pelos roteadores...

Mas também há uma carga extra no gerenciamento de circuitos virtuais imposta ao núcleo da rede.

## Circuito Virtual (CV)

Cliente - R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub> - R<sub>3</sub> - R<sub>4</sub> - Servidor

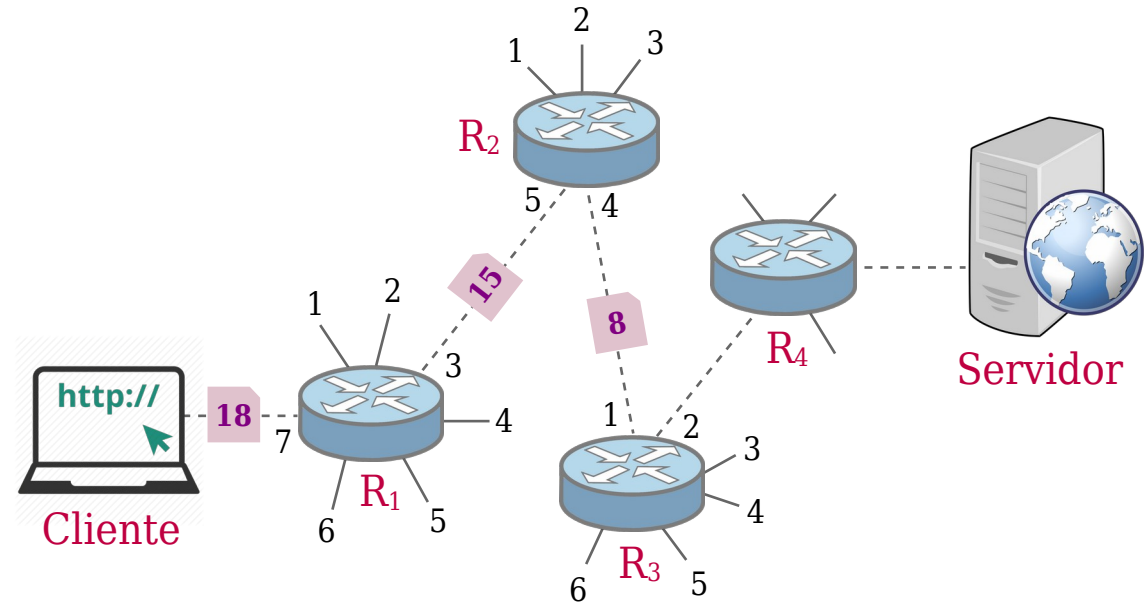


Tabela de repasses no roteador R<sub>1</sub>

Interface de entrada	Nº do CV de entrada	Interface de saída	Nº do CV de saída
1			
2			
2			
2			
6			
7	18	3	15
7			

Tabela de repasses no roteador R<sub>2</sub>

Interface de entrada	Nº do CV de entrada	Interface de saída	Nº do CV de saída
1			
2			
3			
4			
5	15	4	8

# Repasses em redes IP

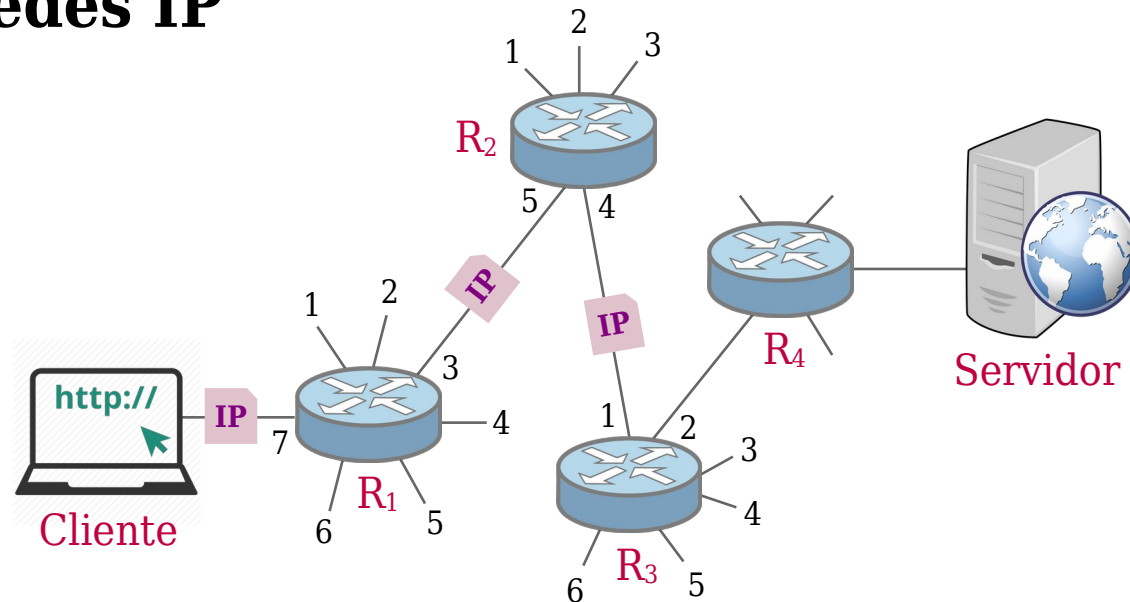


Tabela de repasses no roteador R<sub>1</sub>

Intervalo IP	Prefixo IP	Interface de saída
200 . 23 . 16 - 23 . 0 - 255	11001000 . 00010111 . 00010... . ....	1
200 . 23 . 24 . 0 - 255	11001000 . 00010111 . 00011000 . ....	2
200 . 23 . 24 - 31 . 0 - 255	11001000 . 00010111 . 00011... . ....	3
Qualquer outro	..... . .... . ....	6

Endereço IP de destino: 200.23.22.161 = 11001000.00010111.00010110.10100001  
 ↳ Interface de saída = 1

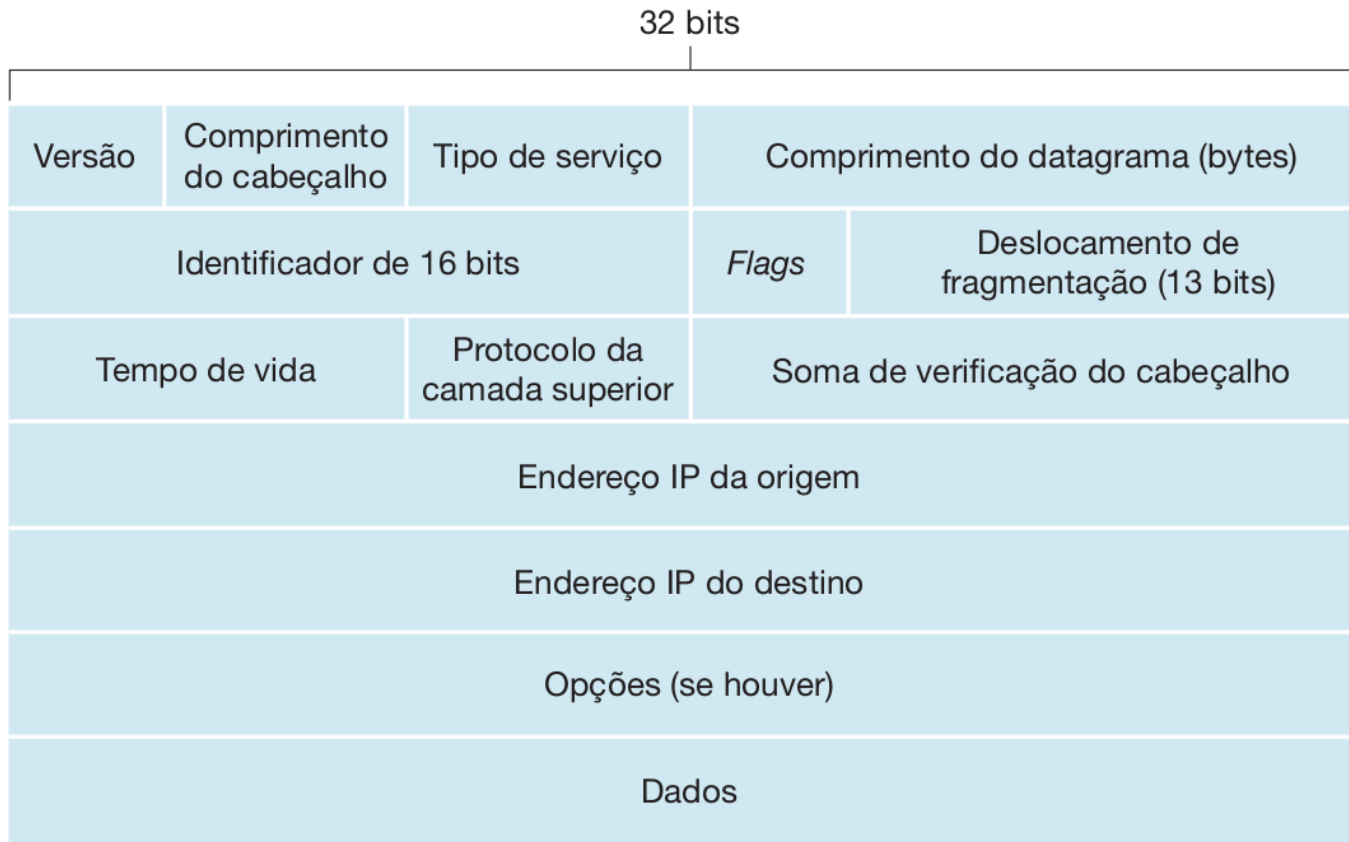
Endereço IP de destino: 200.23.24.170 = 11001000.00010111.00011000.10101010  
 ↳ Interface de saída = 2 (Regra de concordância do prefixo mais longo)



# Componentes da Camada de Rede

Aplicação	IPv4 / IPv6
Transporte	- Endereçamento
Rede	- Datagrama
Enlace	Protocolos de roteamento: OSPF, RIP, BGP → Tabela de repasses
Física	Sinalização: ICMP

# Datagrama IPv4



Versão (4 bits): IPv4.

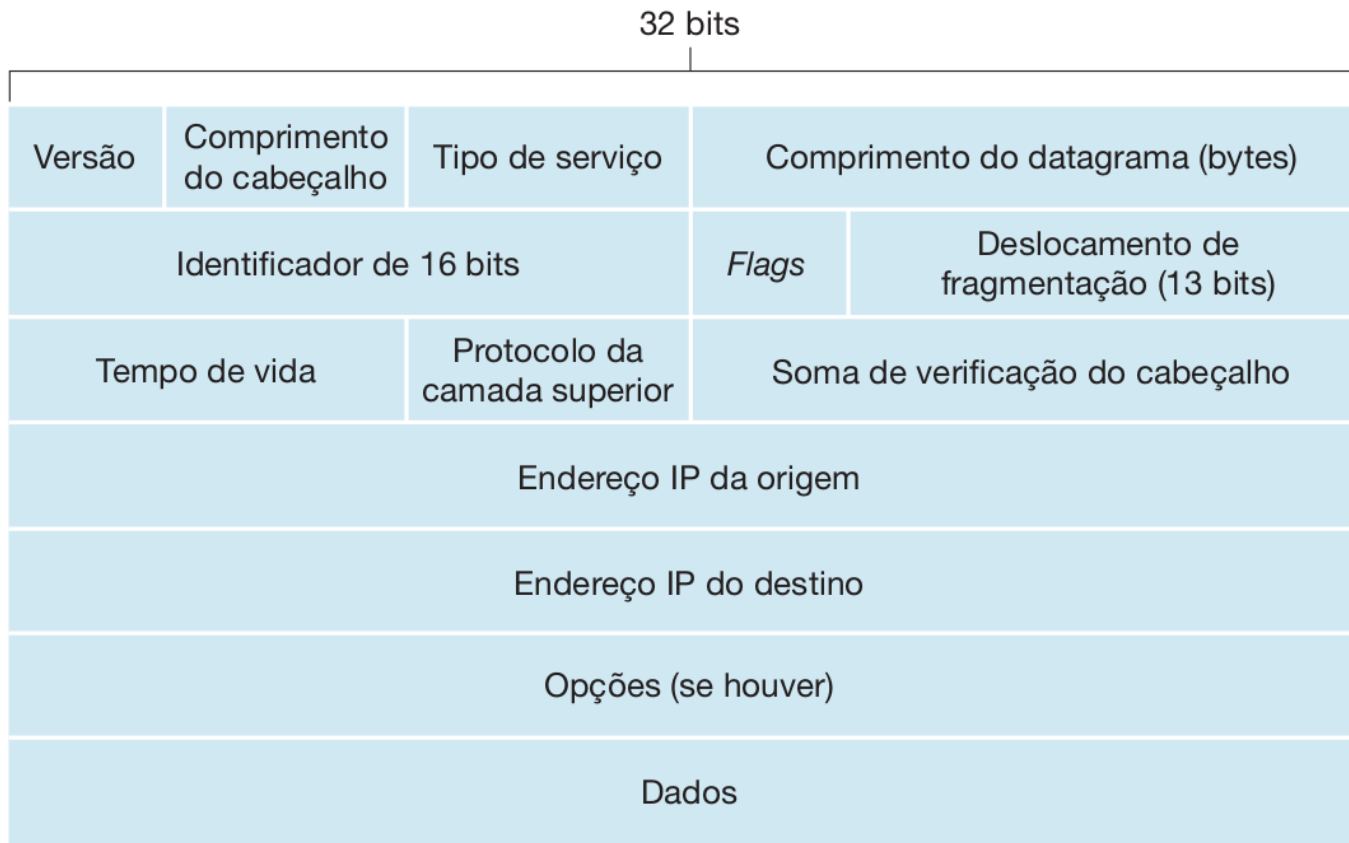
Comprimento do cabeçalho (4 bits): Tamanho do cabeçalho em palavras de 32 bits.

Tipo de serviço (8 bits): Datagramas com prioridade, de tempo real, etc.

Política configurável no roteador

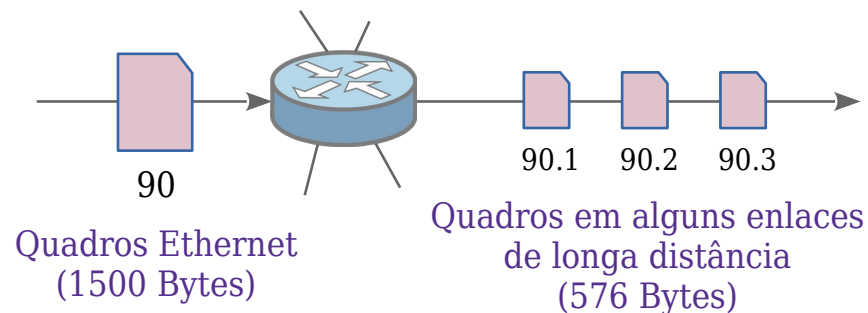
Comprimento do datagrama (16 bits): Tamanho total do datagrama, incluindo cabeçalho e dados (0..65535 Bytes - Raramente ultrapassa 1500 Bytes).

# Datagrama IPv4

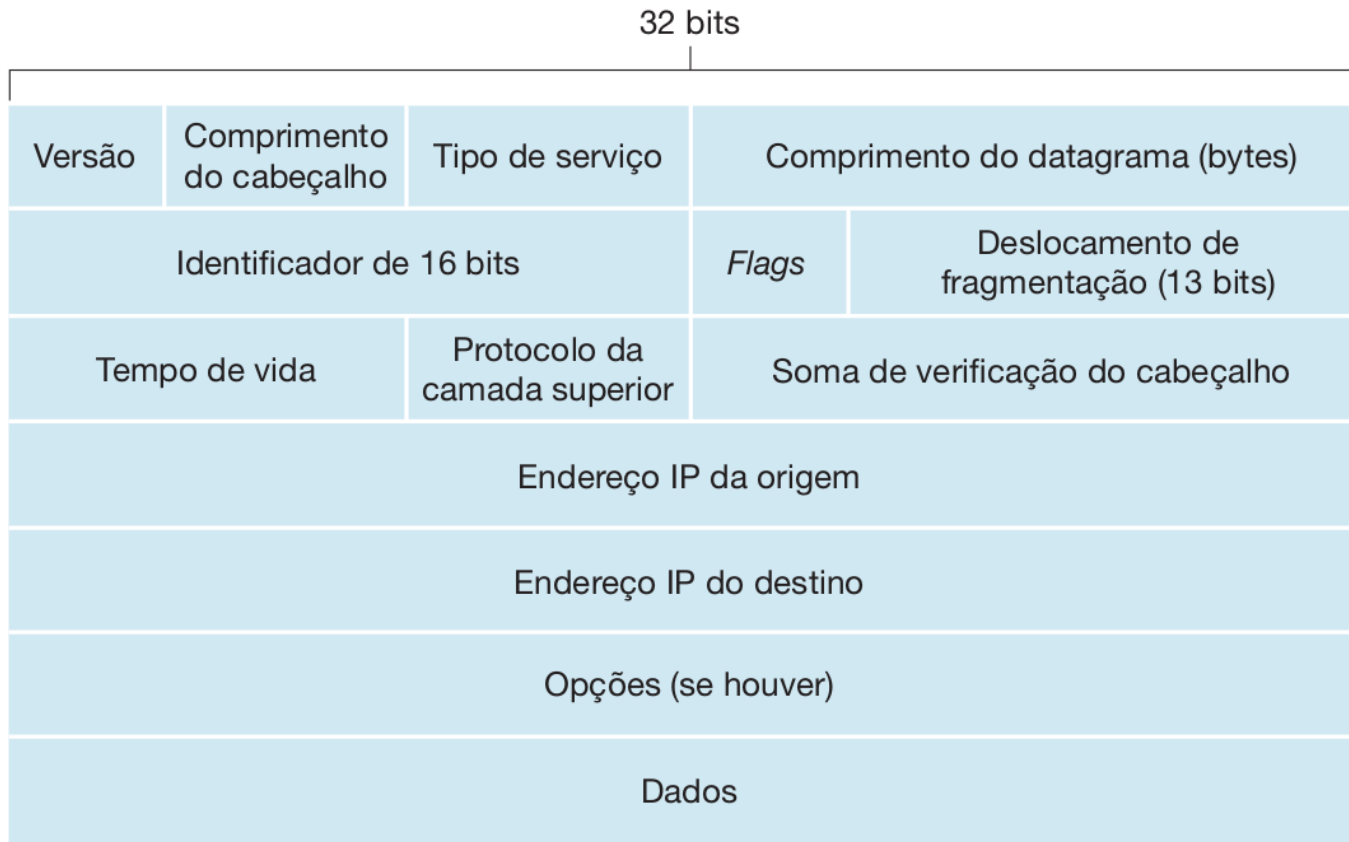


Identificador (16 bits), Flags (3 bits) e Deslocamento de fragmentação (13 bits):  
Relacionados a fragmentação de datagramas IPv4.

IPv6 não permite fragmentação em roteadores



# Datagrama IPv4



**Tempo de vida (8 bits):** Impede que datagramas circulem na rede para sempre.

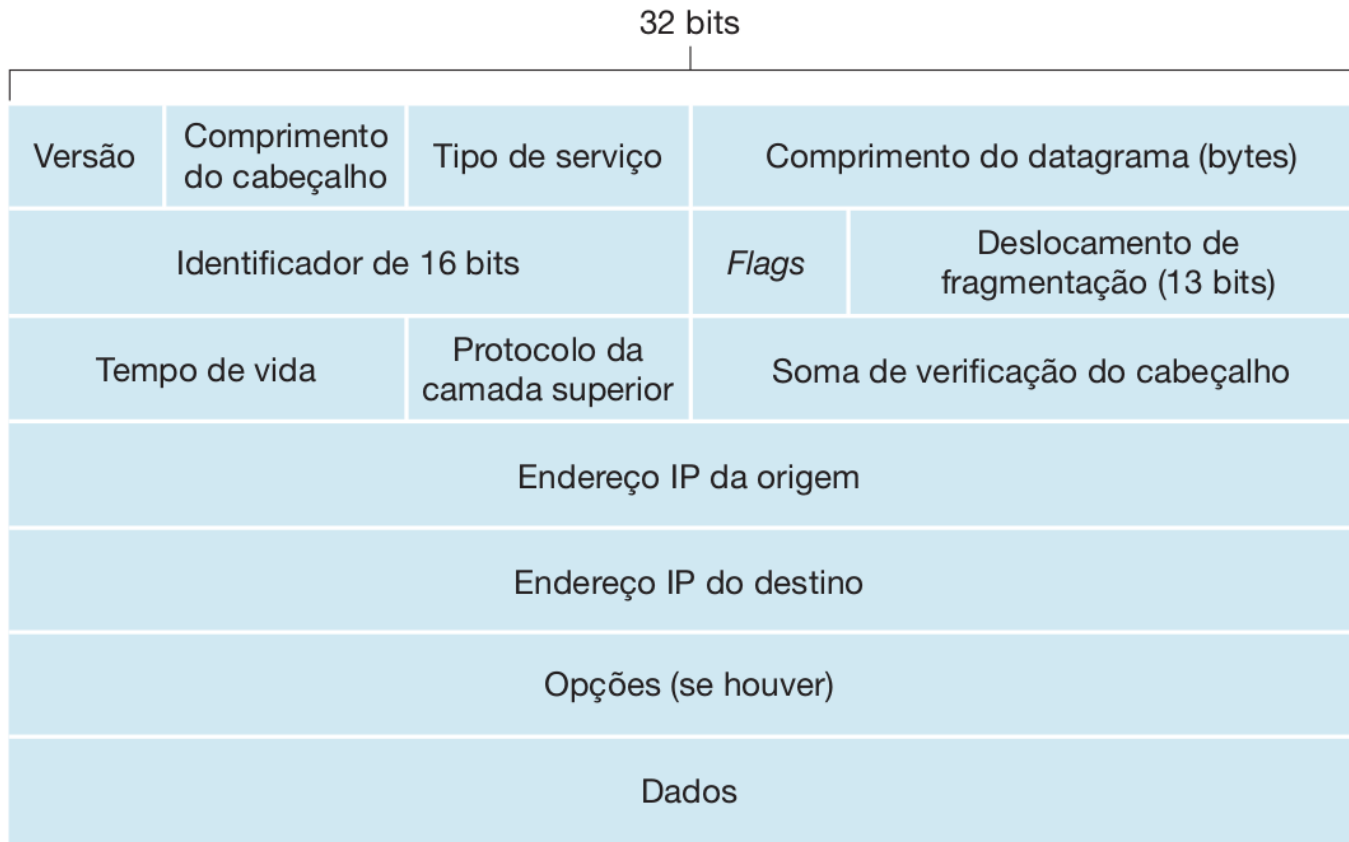
TTL = Time-To-Live

**Protocolo da camada superior (8 bits):** TCP (6), UDP (17), ICMP <sup>Camada-de-Rede</sup> (1).

**Soma de verificação do cabeçalho (16 bits):** Utilizado na detecção de erros de transmissão.

Notar que TCP e UDP tem uma soma de verificação sobre todo o segmento

# Datagrama IPv4



Endereços IP de origem e destino (32 bits): Identificação do remetente e destinatário.

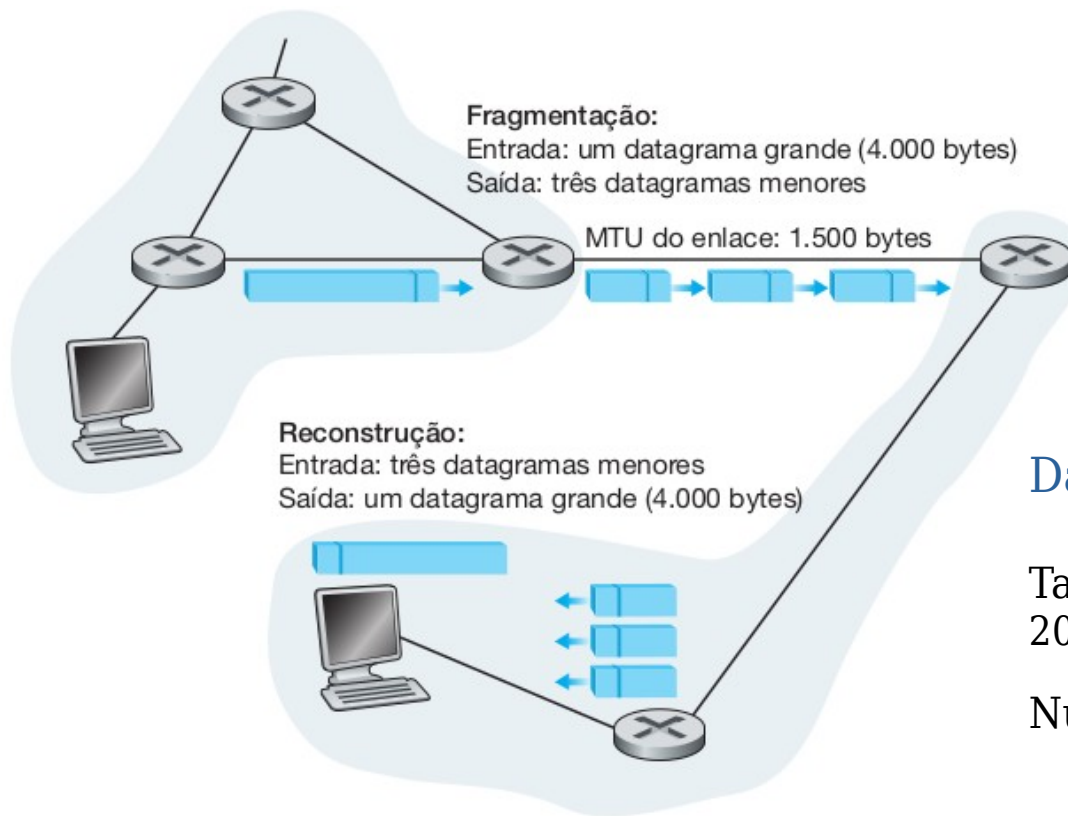
Opções: Parâmetros adicionais.

Datagramas IPv6 possuem cabeçalhos de tamanho fixo por razões de desempenho

Dados: Carga útil (payload) sendo transportada. Segmento TCP / UDP, mensagem ICMP.

Qual o tamanho mínimo e máximo do cabeçalho em um datagrama IPv4?

# Fragmentação do datagrama IPv4



Datagrama original

Tamanho: 4000 Bytes

20 bytes de cabeçalho IP + 3980 bytes de carga útil

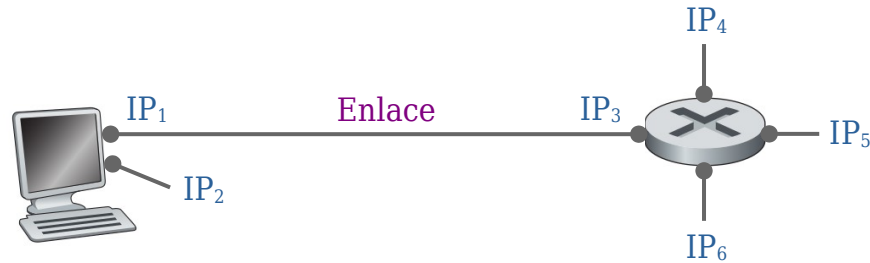
Número de sequência do datagrama: 90

Fragmento	Identificador	Flags	Deslocamento de fragmentação "Palavras de 64 bits"	Bytes
1	90	1	0	1480
2	90	1	185	1480
3	90	0	370	1020

Se um fragmento se perder, o datagrama original deverá ser retransmitido.

Sujeito a ataques DoS (O atacante envia apenas um suposto último fragmento de um datagrama maior).

# Endereçamento IPv4



O endereço IP está associado a uma interface de rede (●—IP).

Formato:  $a.b.c.d$  (32 bits) → Mais de 4 bilhões de endereços

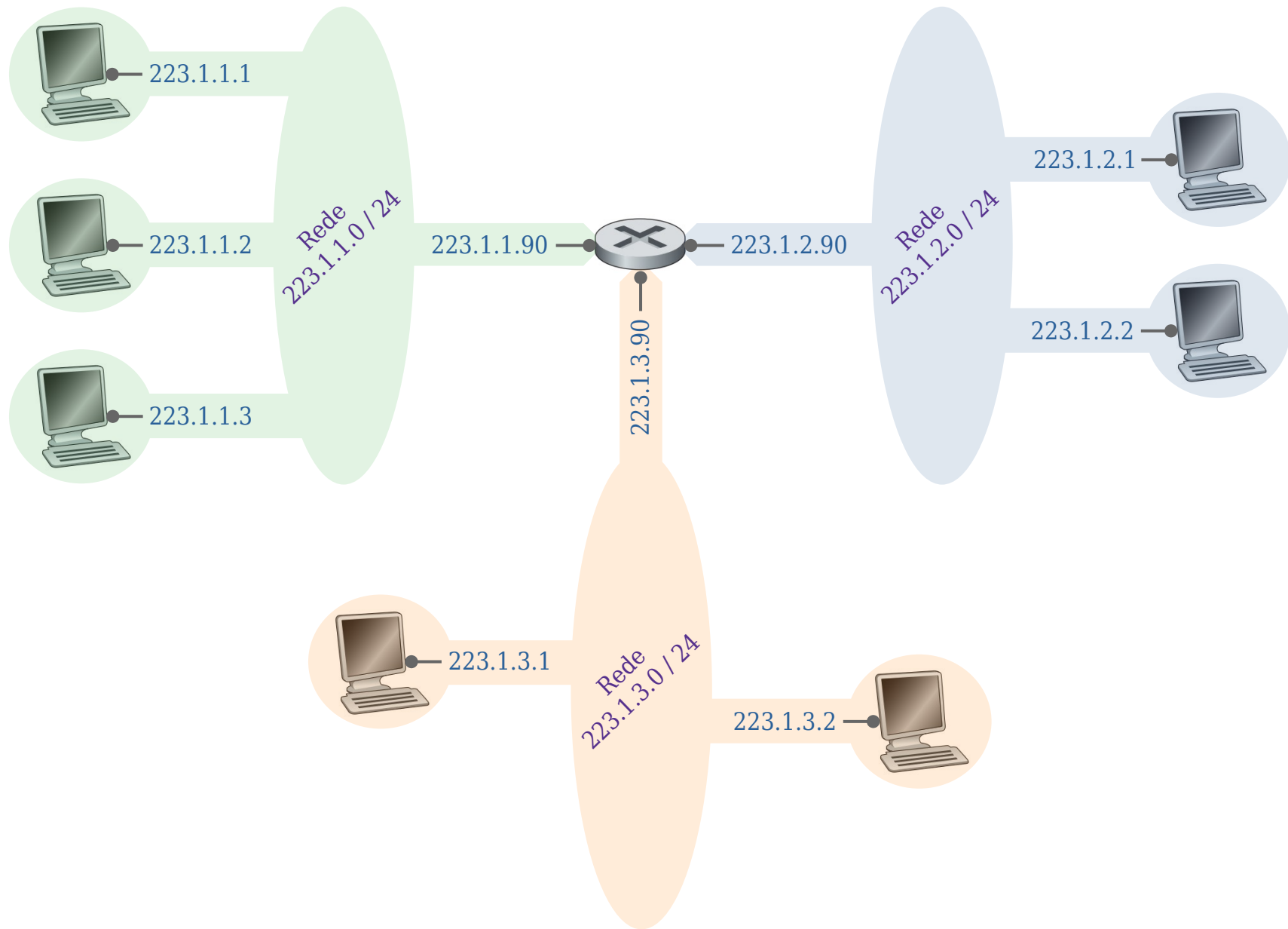
Exemplo:  $193.32.216.9 = 11000001.00100000.11011000.00001001$

Notação CIDR: Classless InterDomain Routing – Roteamento Interdomínio sem Classes

$a.b.c.d/x$

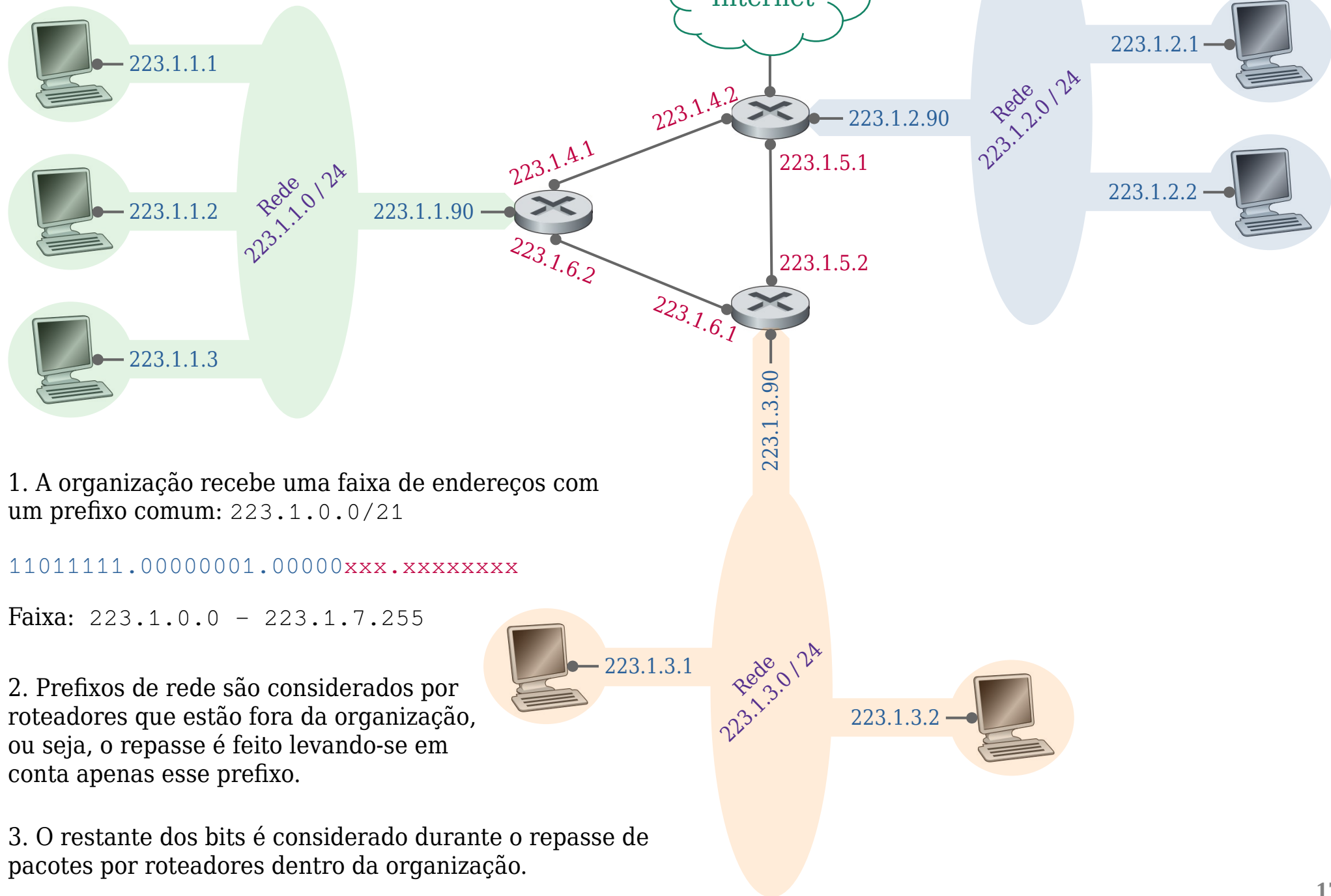


# Conexão entre redes IP





# Roteamento entre redes IP



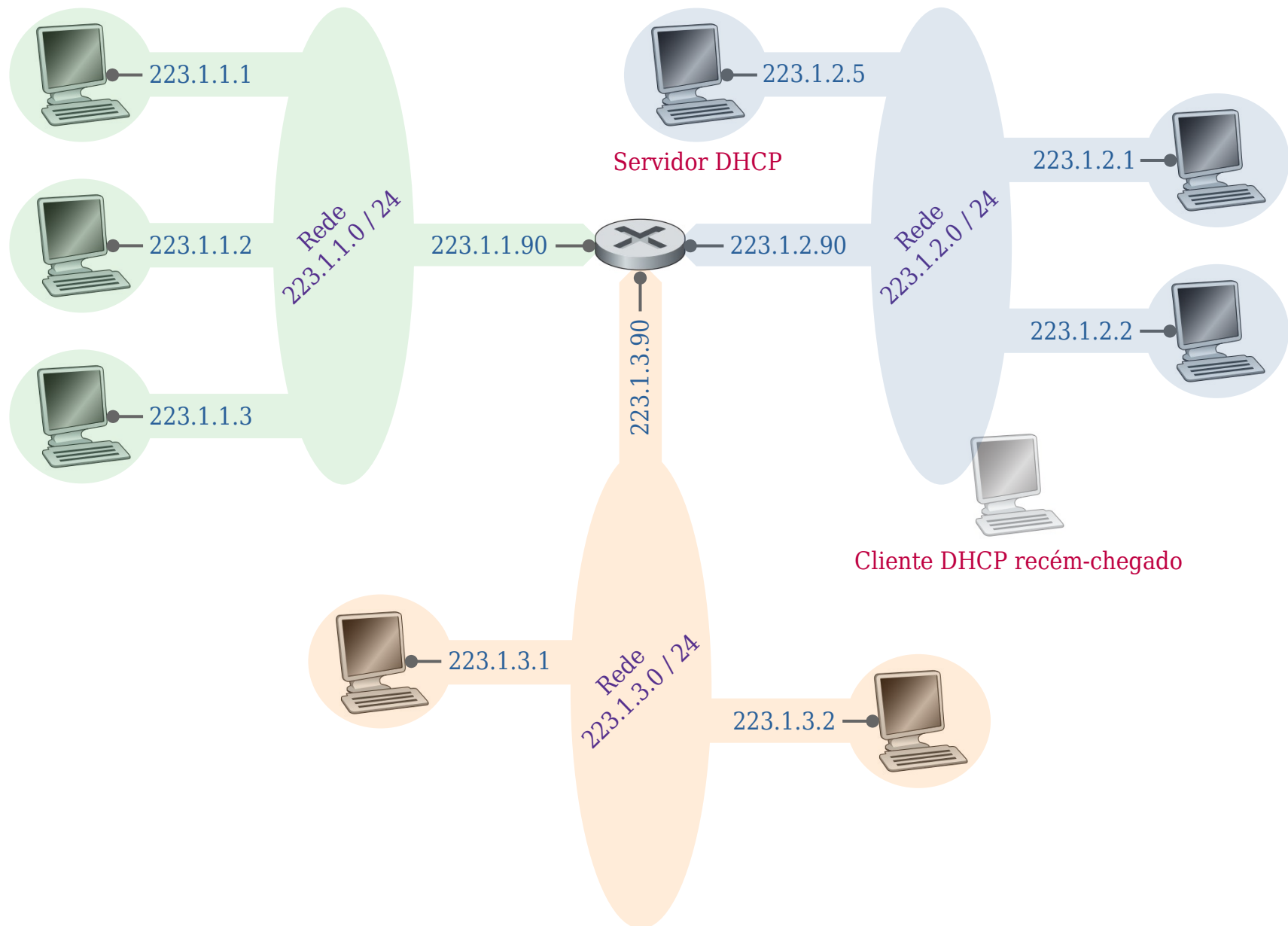
# Endereços IP privados, reservados e especiais...

Rede atual	0.0.0.0	
LAN Classe A	10.0.0.0	10.255.255.255
LAN Classe B	172.16.0.0	172.31.255.255
LAN Classe C	192.168.0.0	192.168.255.255
Multicast	224.0.0.0	239.255.255.255
Broadcast	255.255.255.255	
Reservado	240.0.0.0	255.255.255.254
Loopback <sup>(127.0.0.1)</sup>	127.0.0.0	127.255.255.255
<b>APIPA</b> <sup>Windows</sup> / <b>IPv4LL</b>	169.254.1.0	169.254.254.255

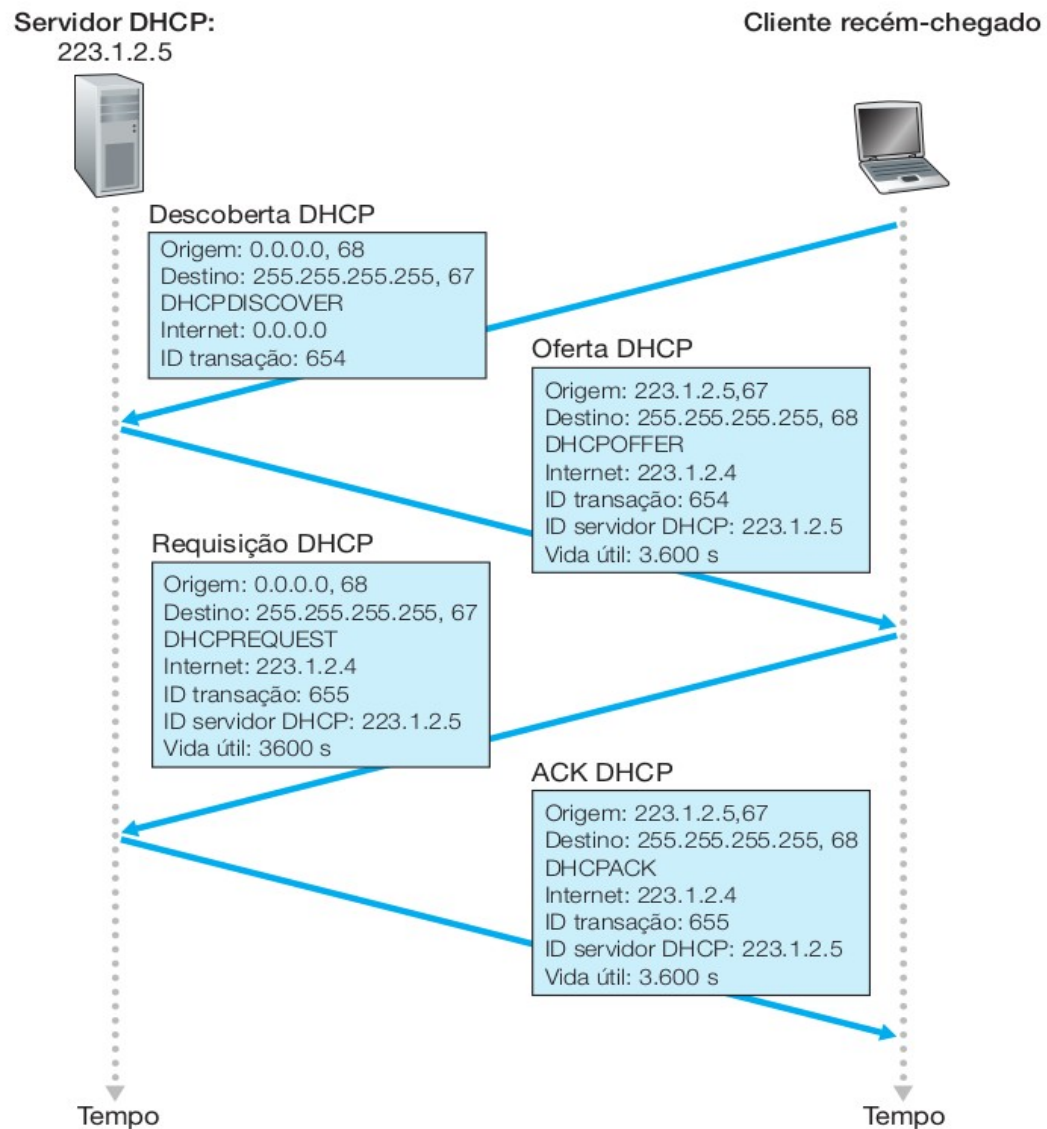
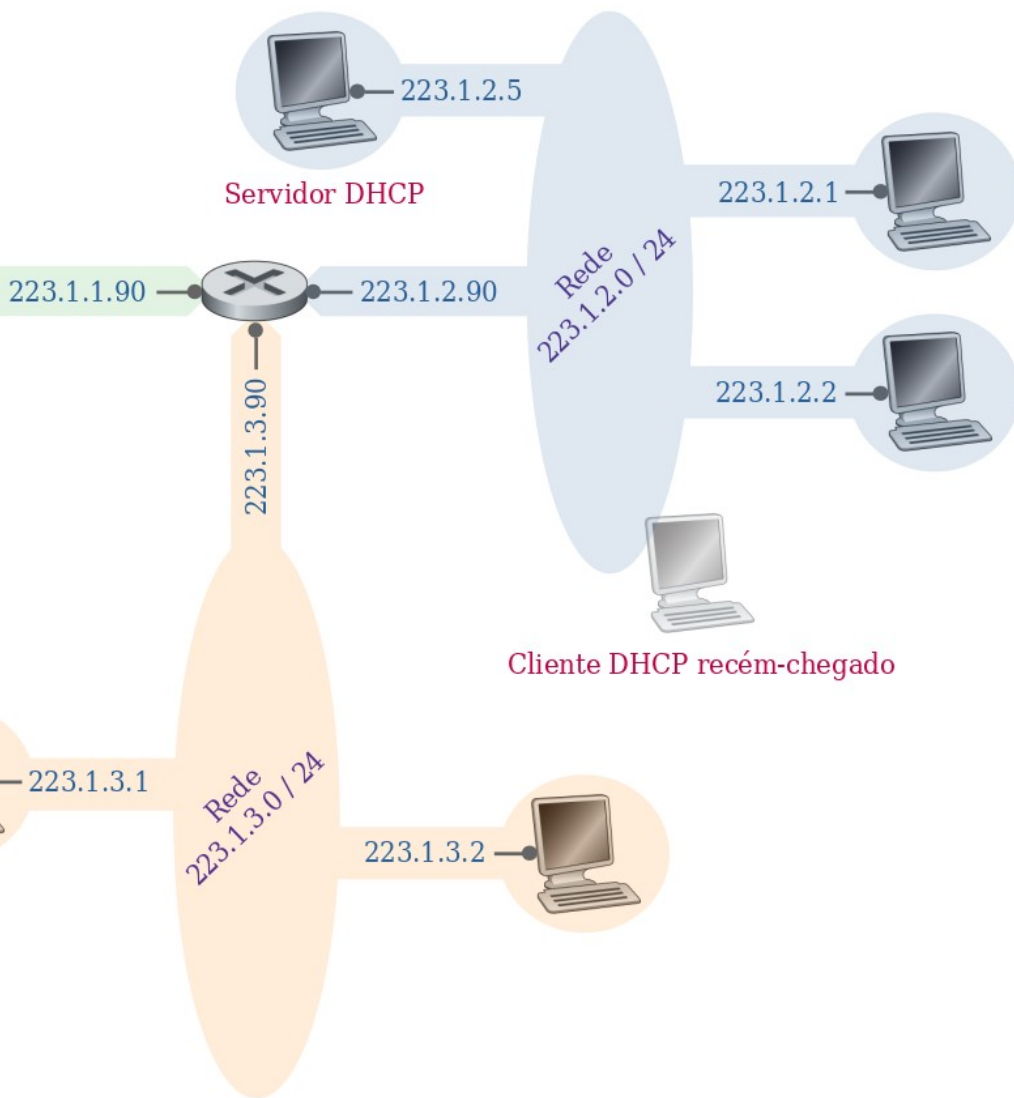
**APIPA ou IPv4 Link-Local Addresses** - Automatic Private IP Addressing: Quando um servidor DHCP não é encontrado, o host seleciona um endereço IP do intervalo que não esteja sendo utilizado por um host conectado a rede local. Não permite o acesso à Internet.

# DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

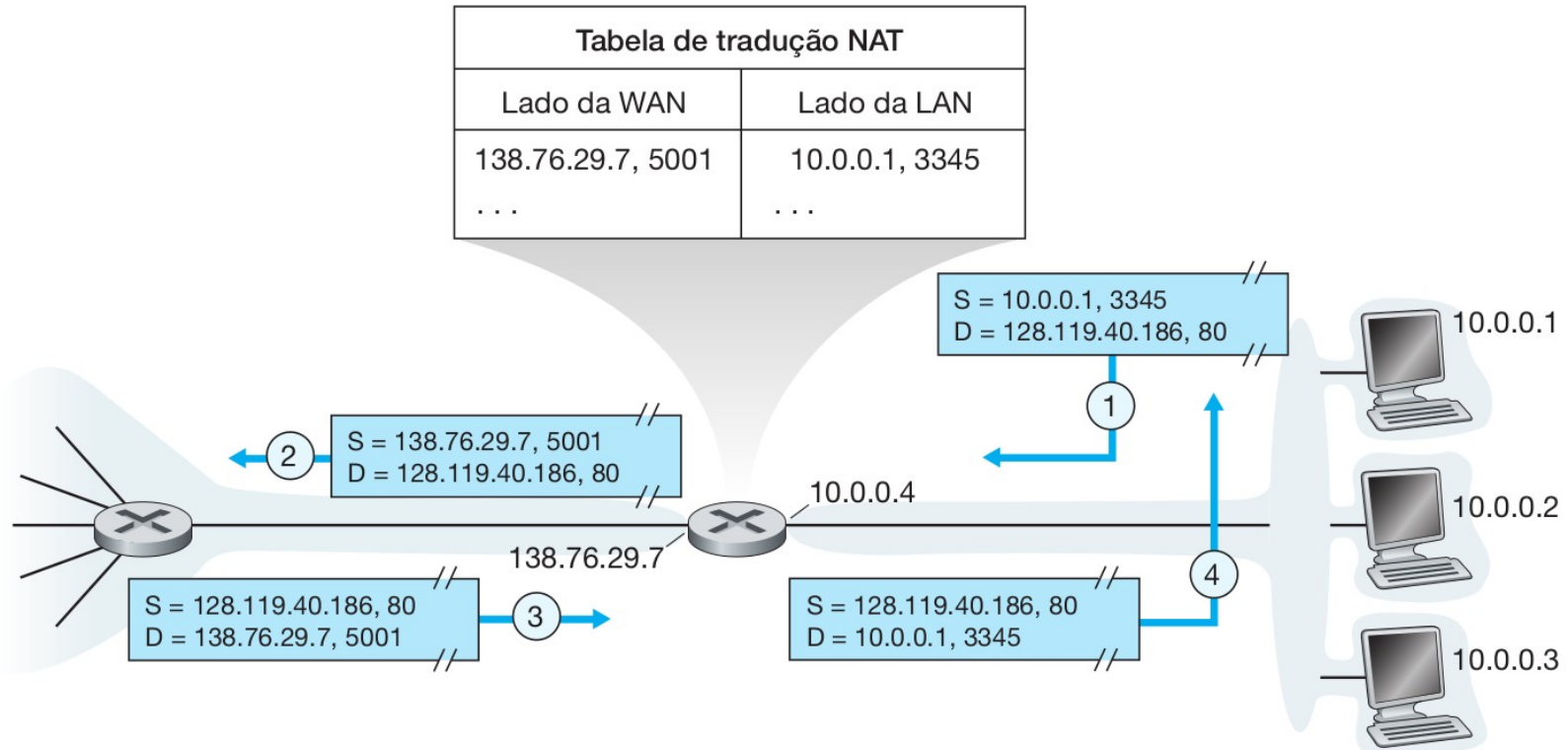
Configuração de endereços IP: Manual (IP estático) ou automática (IP dinâmico).



# Protocolo DHCP em ação...



# NAT - Network Address Translation



Normalmente NAT é configurado em roteadores de borda (gateways).

NAT com UPnP (Universal Plug and Play) habilitado: Protocolo que permite ao host descobrir e configurar uma NAT próxima.

$$(IP_{\text{público}}, \text{Porta}_{\text{pública}}) \rightarrow (IP_{\text{privado}}, \text{Porta}_{\text{privada}})$$

# NAT - Network Address Translation

Considerações **negativas** sobre o NAT:

- Portas devem ser usadas para endereçar processos, não hospedeiros.
- Roteadores devem processar pacotes apenas até a camada 3.
- Viola o princípio de comunicação fim a fim, ou seja, sem a interferência de nós que modifiquem endereços IP e números de porta.
- Interfere em aplicações P2P (BitTorrent, Skype). Um par A, por trás de uma NAT, não pode iniciar uma conexão TCP com um par B, por trás de outra NAT. Contudo a comunicação é possível por intermédio de um par X que não se encontra por trás de uma NAT. Os pares A e B comunicam ao par X seus endereços públicos estabelecidos via NAT UPnP. Dessa forma os pares A e B podem comunicar-se diretamente por uma conexão TCP.

Além disso, IPv6 resolve o problema da escassez de endereços IP.

# ICMP - Internet Control Message Protocol

Utilizado por hospedeiros (traceroute, ping) e roteadores para gerar mensagens de controle: notificação de erros, solicitação e resposta de eco para ping, expiração TTL, etc.

Mensagens ICMP são carregadas dentro de datagramas IP.

Tipo	Código	Descrição
0	0	Resposta de eco para ping
3	0	Rede de destino inalcançável
3	1	Hospedeiro de destino inalcançável
3	2	Protocolo de destino inalcançável
3	3	Porta de destino inalcançável
8	0	Solicitação de eco
11	0	TTL expirado

Estrutura do ICMP:

- **Tipo (8 bits)** - Tipo de mensagem.
- **Código (8 bits)** - Informação de contexto adicional.
- **Checksum (16 bits)** - Soma de verificação.
- **Cabeçalho (32 bits)** - Conteúdo depende do tipo/código da mensagem ICMP.
- **Dados** - Varia de acordo com o tipo/código da mensagem. Tipicamente um cabeçalho do datagrama IP que resultou na criação da mensagem ICMP e os primeiros 8 bytes de dados desse datagrama.

# Datagrama IPv6

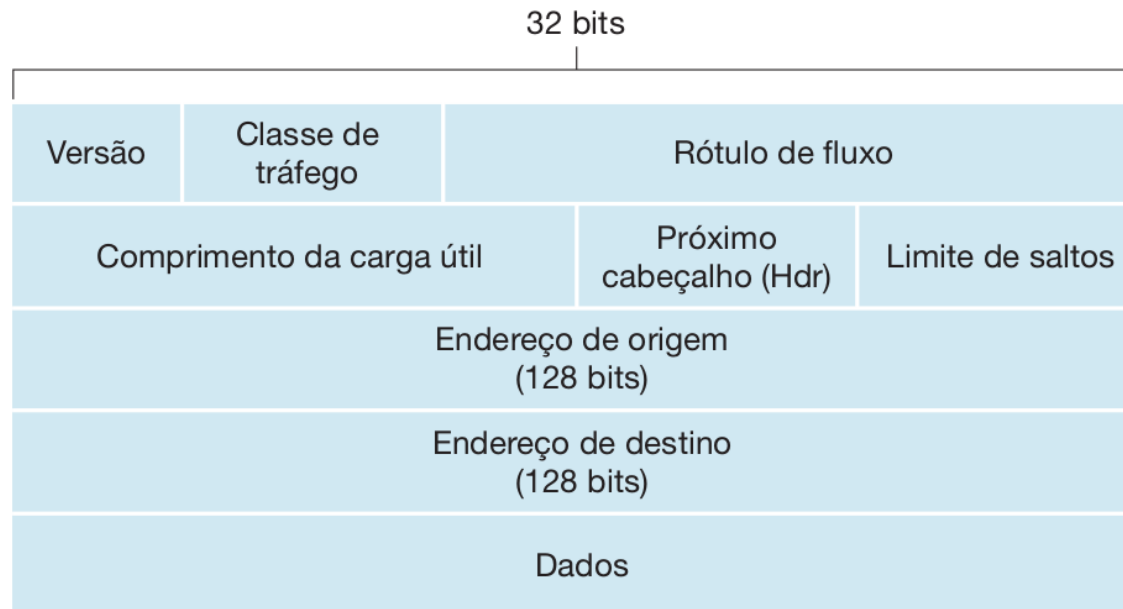
## Motivação

Escassez de endereços IPv4.

De fato, o último conjunto de endereços IP de 32 bits foi disponibilizado para distribuição regional em 2011.

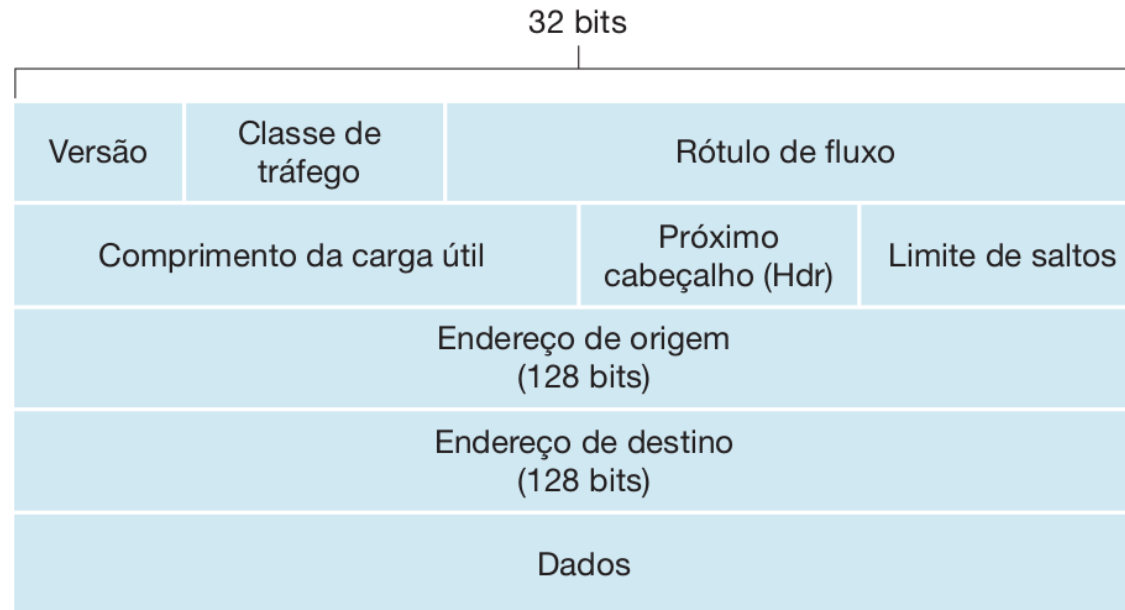
## Características principais

- Endereçamento de 128 bits → “Cada grão de areia do planeta pode ter um endereço IP”.
- Cada hospedeiro tem um endereço público e, portanto, não requer NAT.
- Introduz endereçamento do tipo **anycast**, que permite que um datagrama seja entregue a qualquer membro de um grupo. Exemplo: requisição HTTP ao servidor Web mais próximo.
- Cabeçalho de comprimento fixo (40 bytes) → processamento mais veloz do datagrama IP.
- Se uma fragmentação for necessária, o hospedeiro enviando o pacote recebe uma mensagem ICMPv6 informando que o pacote é muito grande e, portanto, deve providenciar datagramas menores (**carga sobre as extremidades da rede**).





# Datagrama IPv6



Versão (4 bits): IPv6.

Classe de tráfego (8 bits): Datagramas com prioridade, de tempo real, etc.

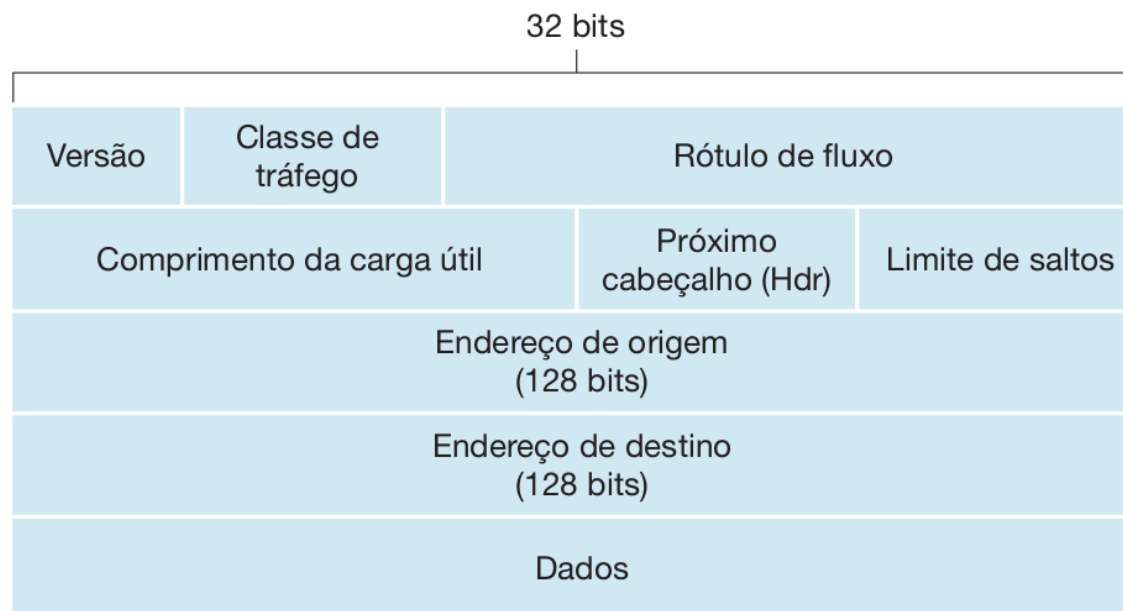
Política configurável no roteador

Rótulo de fluxo (20 bits): Permite marcar pacotes que precisam de tratamento especial, como um serviço de qualidade não padrão (usuário da rede com alta prioridade).

Comprimento da carga útil (16 bits): Tamanho do campo de dados no datagrama.

Próximo cabeçalho (8 bits): Identifica o protocolo encapsulado (dados) - TCP, UDP, ICMP, ... ou até mesmo o campo “Opções” padrão do cabeçalho IPv4.

# Datagrama IPv6



Limite de saltos (8 bits): TTL = Time-To-Live.

Endereços IP de origem e destino (128 bits): Identificação do remetente e destinatário.

Oito grupos de quatro dígitos hexadecimais

8145:010C:0000:0000:1100:1A06:8800:0001

Zeros a esquerda podem ser omitidos (Zero Suppression)

8145:010C:0000:0000:1100:1A06:8800:0001 = 8145:10C:0:0:1100:1A06:8800:1

Blocos consecutivos de zeros podem ser substituídos, apenas uma vez, por :: (Zero Compression)

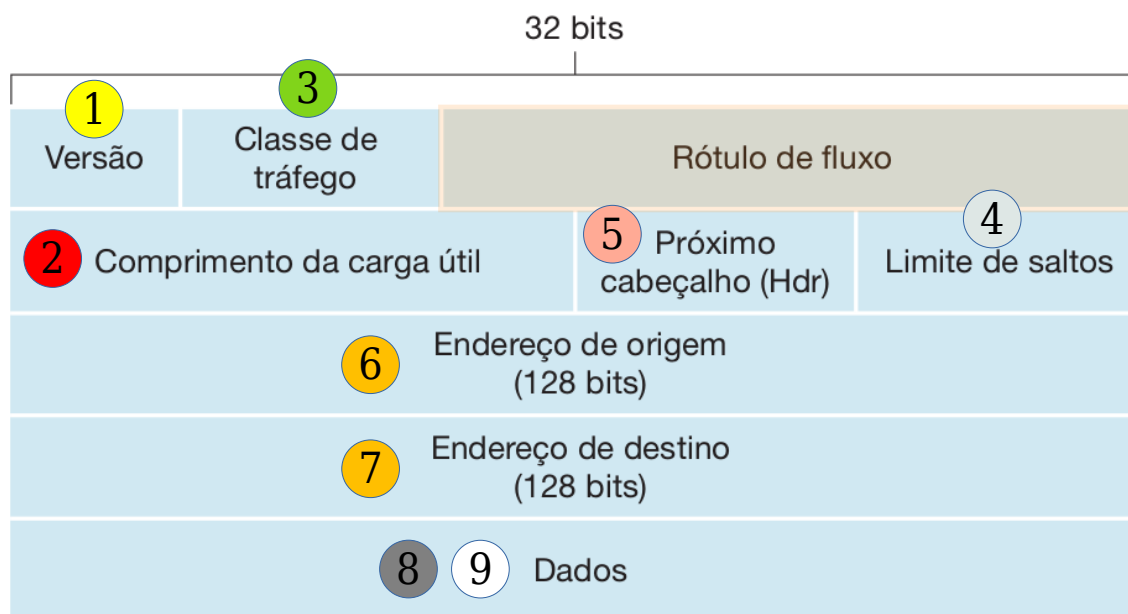
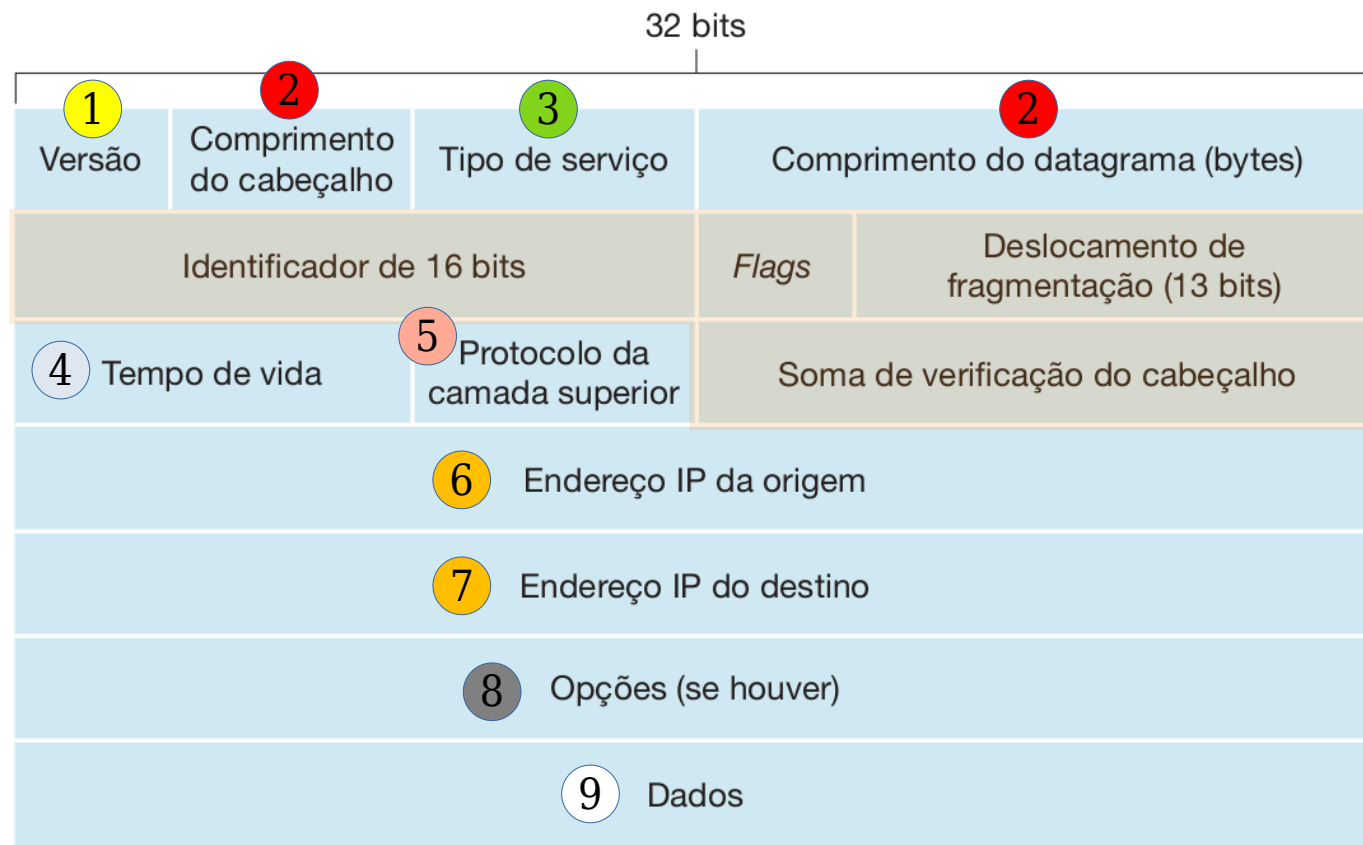
8145:10C:0:0:1100:1A06:8800:1 = 8145:10C::1100:1A06:8800:1

Endereço de loopback

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001 = 0:0:0:0:0:0:0:1 = ::1

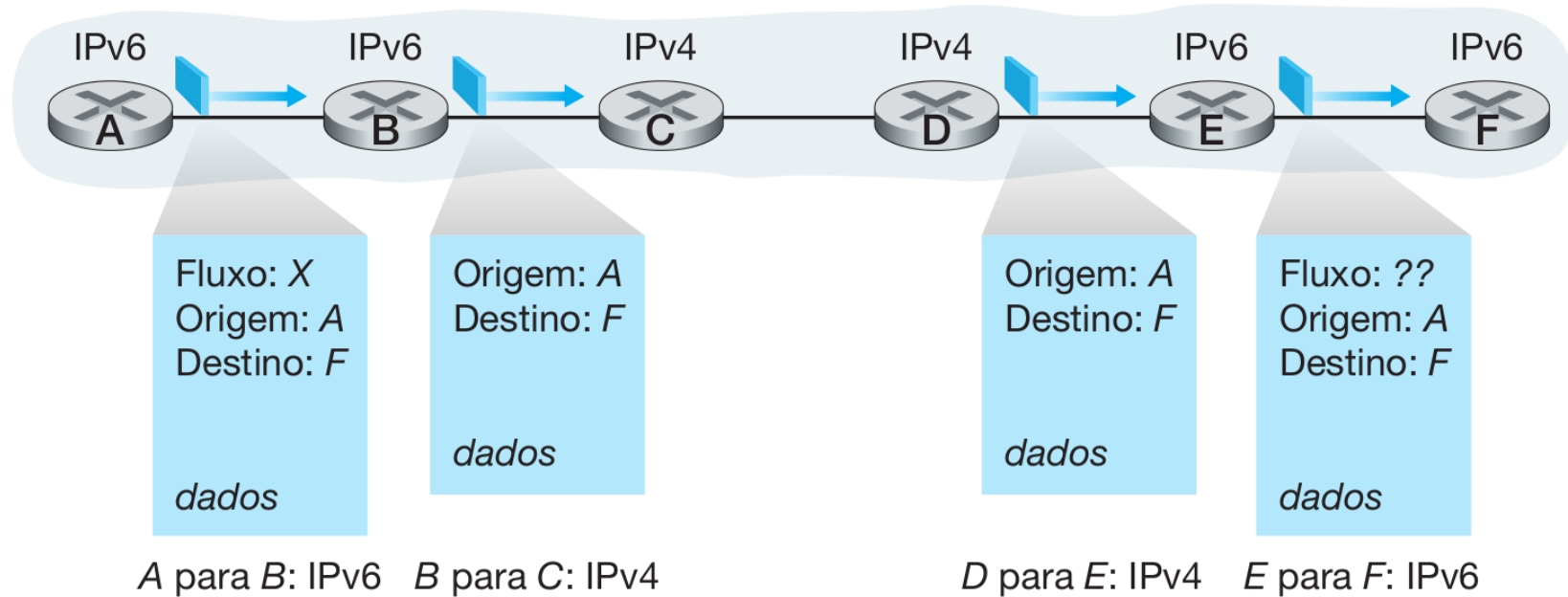
Dados: Carga útil (payload) sendo transportada. Segmento TCP / UDP, mensagem ICMP.

# IPv4 × IPv6



# Transição do IPv4 para o IPv6

## O problema...



**Nota:** Sistemas IPv6 são habilitados para enviar, rotear e receber datagramas IPv4.

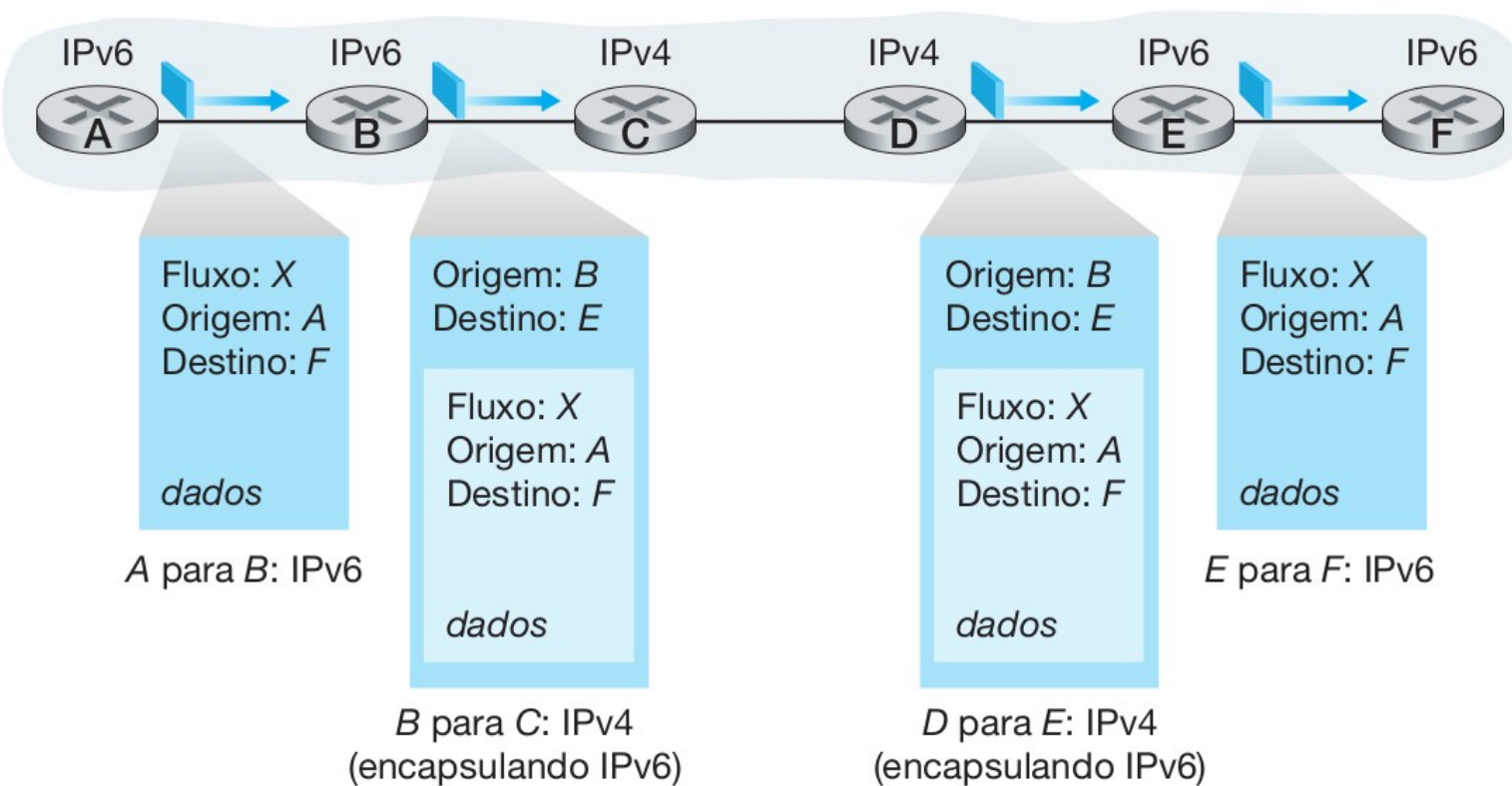
# Transição do IPv4 para o IPv6

## A solução: Túnel IP

Visão lógica

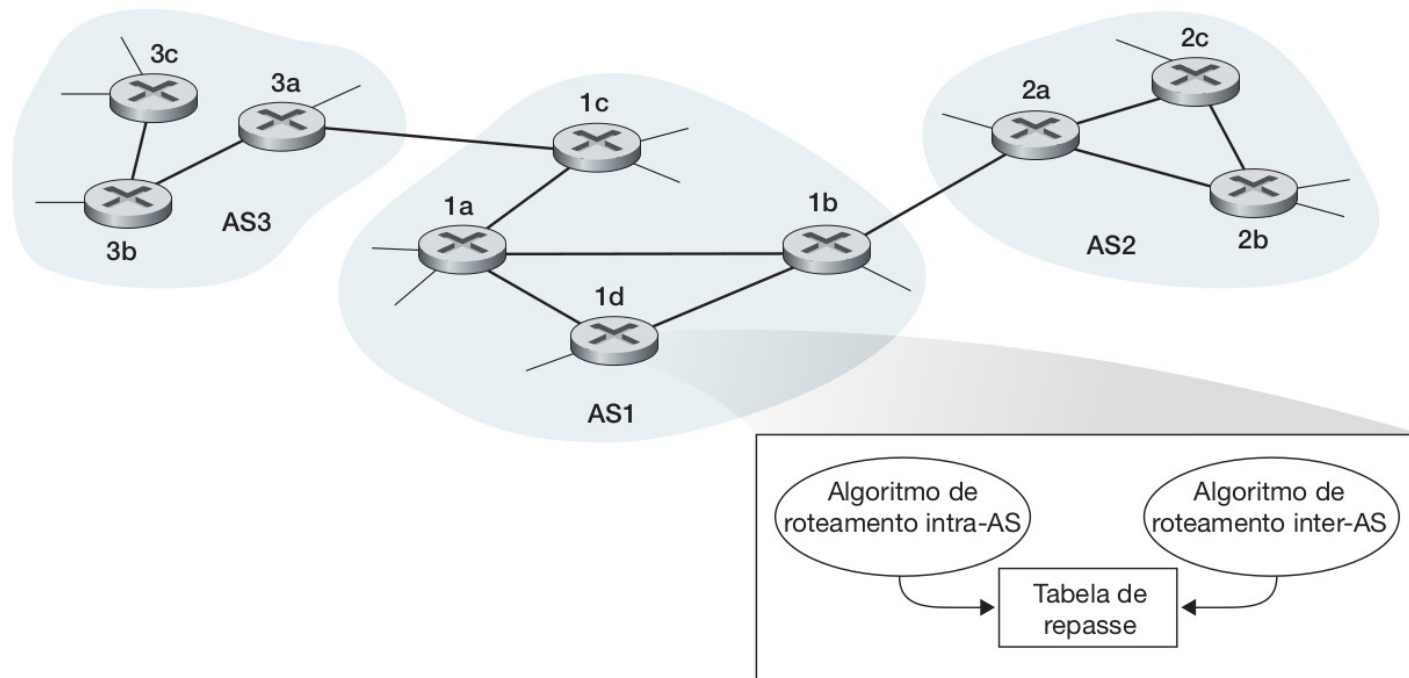


Visão física



# Roteamento na Internet (Hierárquico)

Roteadores são agrupados de modo a formar sistemas autônomos (Autonomous Systems - ASs), os quais são gerenciados pelo mesmo ISP ou corporação. Assim sendo, em um AS os roteadores estão sob o mesmo controle administrativo e técnico e rodam, todos, o mesmo protocolo de roteamento (OSPF - Open Shortest Path First ou RIP - Routing Information Protocol).



Roteadores de borda (gateways) em cada AS são responsáveis pela comunicação inter-AS e rodam o protocolo BGP (Border Gateway Protocol).

# Questões de revisão

1. Vamos rever um pouco da terminologia usada em redes de computadores. Lembre-se de que o nome de um pacote na camada de transporte é segmento e que o nome de um pacote na camada de enlace é quadro. Qual é o nome de um pacote de camada de rede? Lembre-se de que roteadores e comutadores da camada de enlace são denominados comutadores de pacotes. Qual é a diferença fundamental entre um roteador e um comutador da camada de enlace?
2. Discuta por que cada porta de entrada em um roteador de alta velocidade armazena uma cópia de sombra da tabela de repasses.
3. Roteadores têm endereços IP? Em caso positivo, quantos?
4. Qual é o equivalente binário de 32 bits para o endereço IP 223.1.3.27?
5. Suponha que haja três roteadores entre os hospedeiros de origem e de destino. Ignorando a fragmentação, um datagrama IP enviado do hospedeiro de origem até o hospedeiro de destino transitará por quantas interfaces? Quantas tabelas de repasses serão indexadas para deslocar o datagrama desde a origem até o destino?
6. Suponha que uma aplicação gere blocos de 40 bytes de dados a cada 20 ms e que cada bloco seja encapsulado em um segmento TCP e, em seguida, em um datagrama IP. Que porcentagem de cada datagrama será sobrecarga e que porcentagem será dados de aplicação?

## Questões de revisão

7. Suponha que o hospedeiro A envie ao hospedeiro B um segmento TCP encapsulado em um datagrama IP. Quando o hospedeiro B recebe o datagrama, como sua camada de rede sabe que deve passar o segmento (isto é, a carga útil do datagrama) para TCP e não para UDP ou qualquer outra coisa?
8. Suponha que você compre um roteador sem fio e o conecte a seu modem a cabo. Suponha também que seu ISP designe dinamicamente um endereço IP a seu dispositivo conectado (isto é, seu roteador sem fio). Suponha ainda que você tenha cinco PCs em casa e que usa 802.11 para conectá-los sem fio ao roteador. Como são designados endereços IP aos cinco PCs? O roteador sem fio usa NAT? Por quê?



