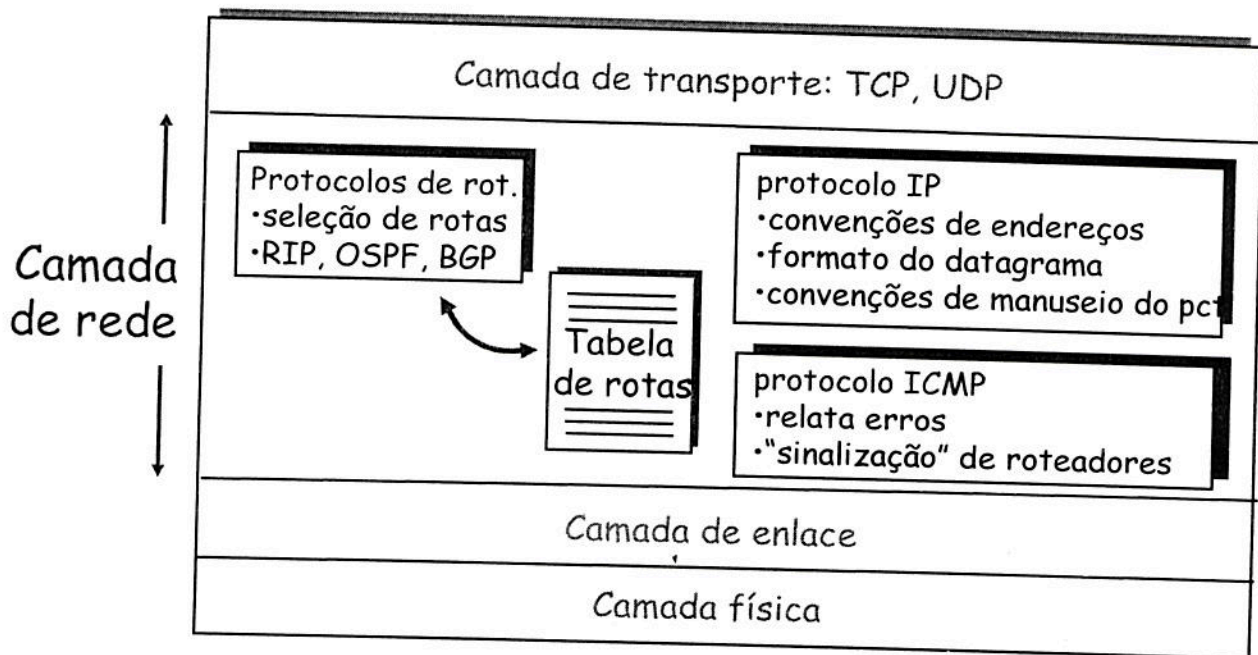


A Camada de Rede na Internet

Funções da camada de rede em estações, roteadores:



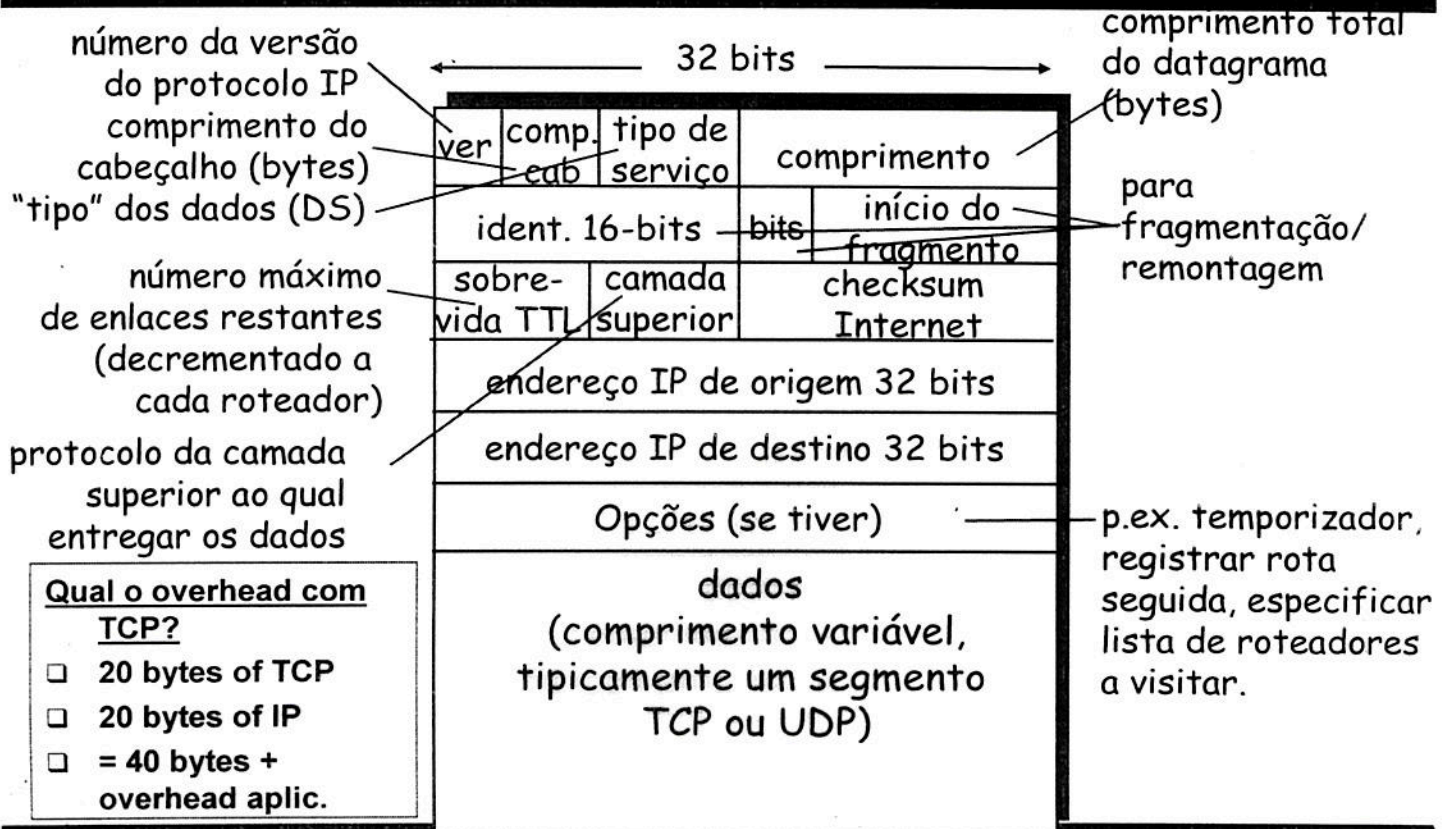
3

Protocolo Internet (IP)

- ☐ Protocolo de entrega Host a host da Internet
- ☐ Protocolo de datagrama não confiável e não orientado a conexão – serviço de entrega com o “melhor esforço” – best-effort
- ☐ Sem controle de erros ou controle de fluxo
- ☐ Alguma detecção de erros; descarta se corrompido
- ☐ TCP é usado se a confiabilidade é importante

7

Formato do datagrama IP



9

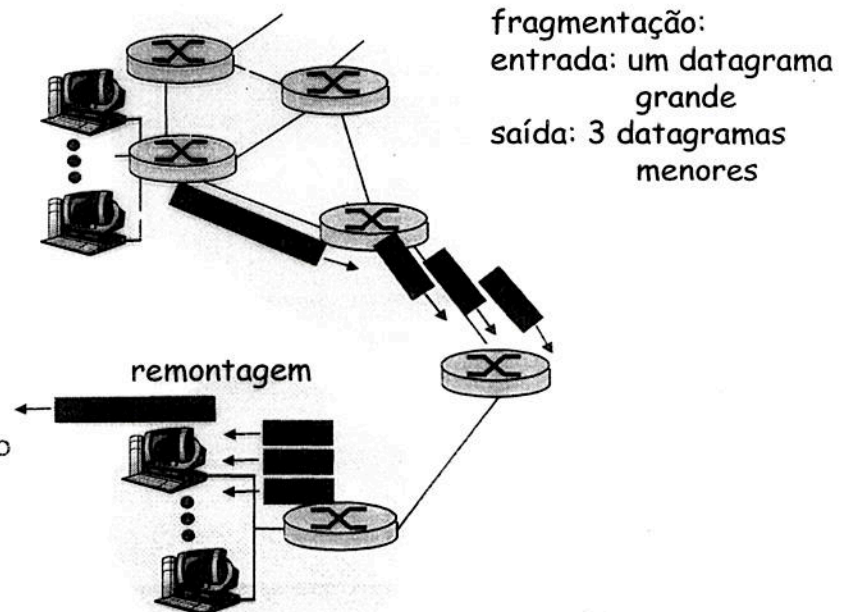
IP: Fragmentação & Remontagem

- 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



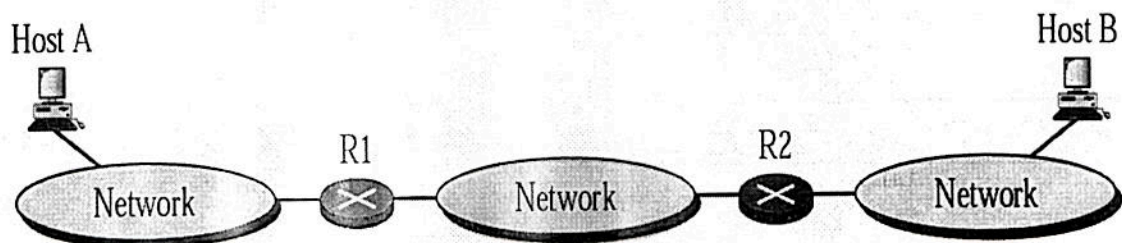
12

| | First byte | Second byte | Third byte | Fourth byte |
|---------|------------|-------------|------------|-------------|
| Class A | 0 | | | |
| Class B | 10 | | | |
| Class C | 110 | | | |
| Class D | 1110 | | | |
| Class E | 1111 | | | |

| | From | To |
|----------------|-----------------------------------|---|
| Class A | 0.0.0.0 Netid Hostid | 127.255.255.255 Netid Hostid |
| Class B | 128.0.0.0 Netid Hostid | 191.255.255.255 Netid Hostid |
| Class C | 192.0.0.0 Netid Hostid | 223.255.255.255 Netid Hostid |
| Class D | 224.0.0.0 Group address | 239.255.255.255 Group address |
| Class E | 240.0.0.0 Undefined | 255.255.255.255 Undefined |

| Routing table for host A | | Routing table for R1 | | Routing table for R2 | |
|--------------------------|----------------|----------------------|------------|----------------------|--------|
| Destination | Route | Destination | Route | Destination | Route |
| Host B | R1, R2, Host B | Host B | R2, Host B | Host B | Host B |

a. Routing tables based on route



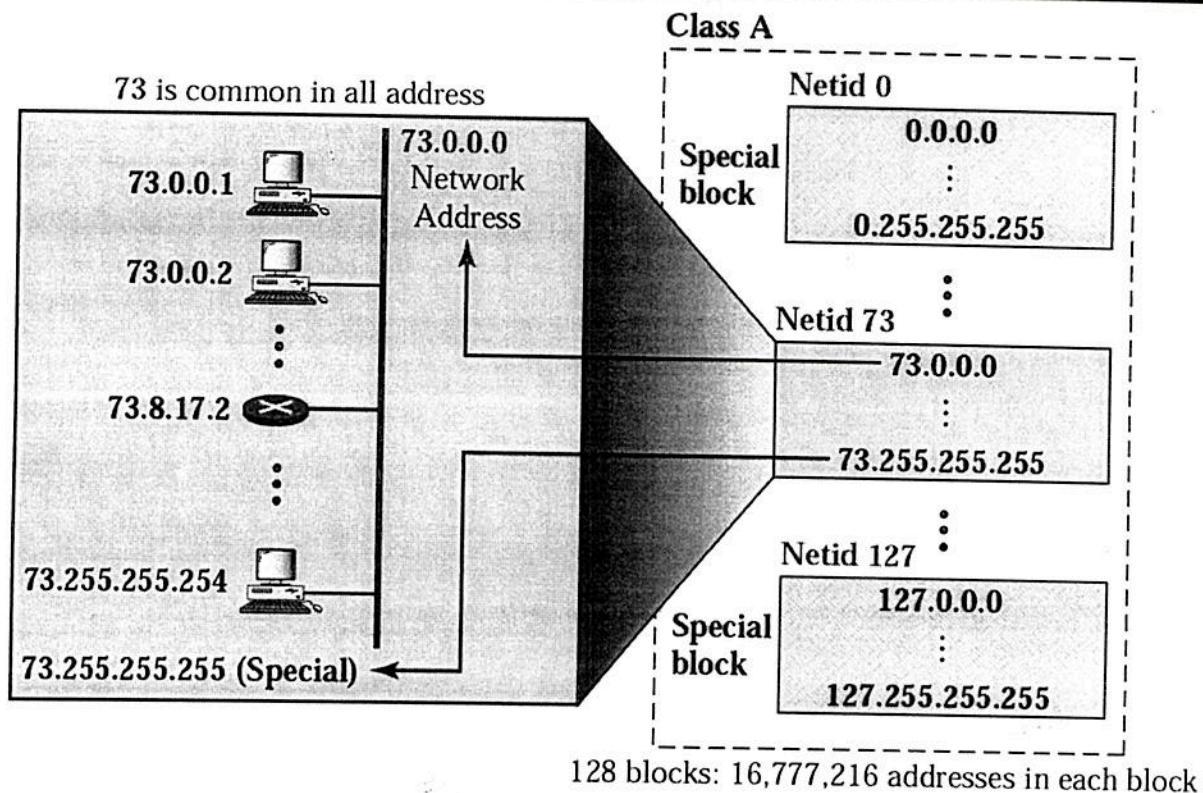
| Routing table for host A | | Routing table for R1 | | Routing table for R2 | |
|--------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| Destination | Next Hop | Destination | Next Hop | Destination | Next Hop |
| Host B | R1 | Host B | R2 | Host B | — |

b. Routing tables based on next hop

Endereços Classe A

- ❑ Numericamente os mais baixos
- ❑ Apenas um byte identifica o tipo da classe e o id da rede
- ❑ Três bytes para números de host
- ❑ 126 ($2^7 - 2$) redes classe A possíveis; máximo de 16,777,214 ($2^{24} - 2$) dispositivos em cada rede
- ❑ Organizações grande com número grande de hosts ou roteadores
- ❑ Muitos não utilizados

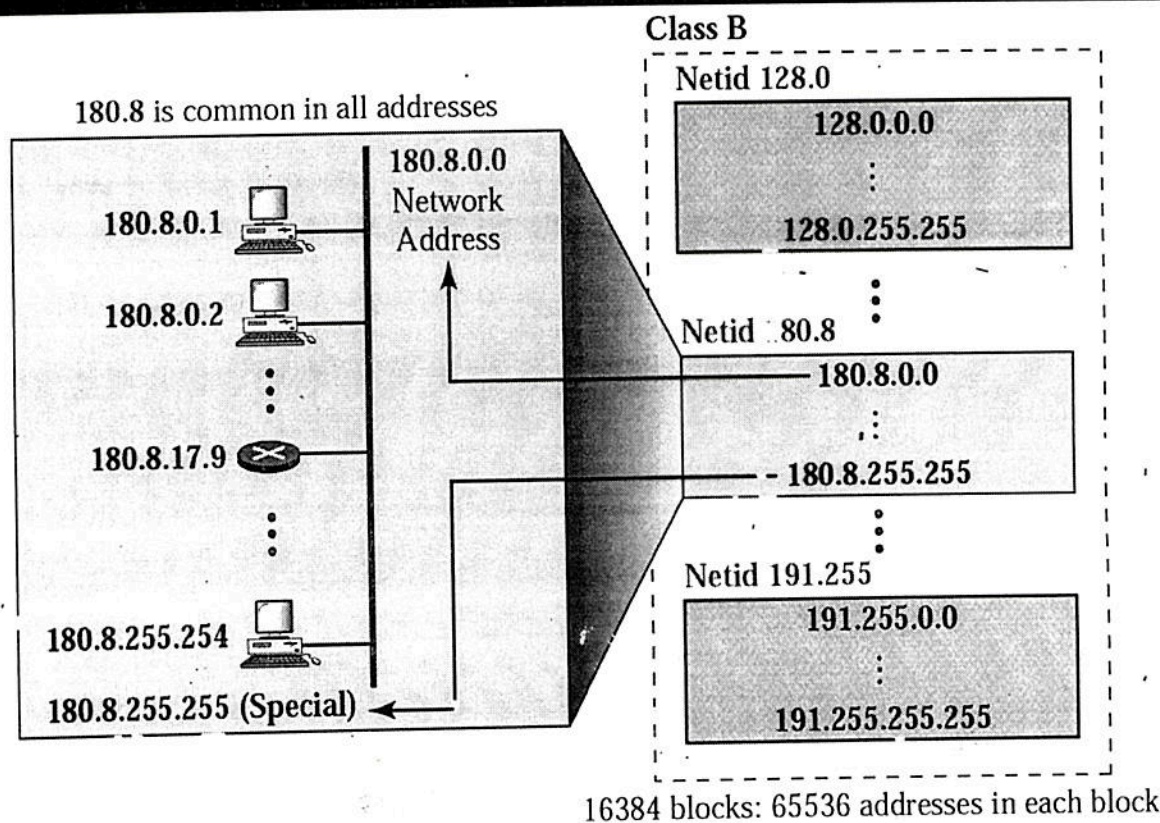
Blocos na classe A



Endereços Classe B

- ❑ Primeiros dois octetos são número da rede; últimos dois octetos são número do host
- ❑ 16,384 (2^{14}) blocos possíveis para atribuição com o máximo de 65,534 ($2^{16} - 2$) endereços possíveis para hosts em cada rede
- ❑ Organizações de tamanho médio
- ❑ Muitos não utilizados

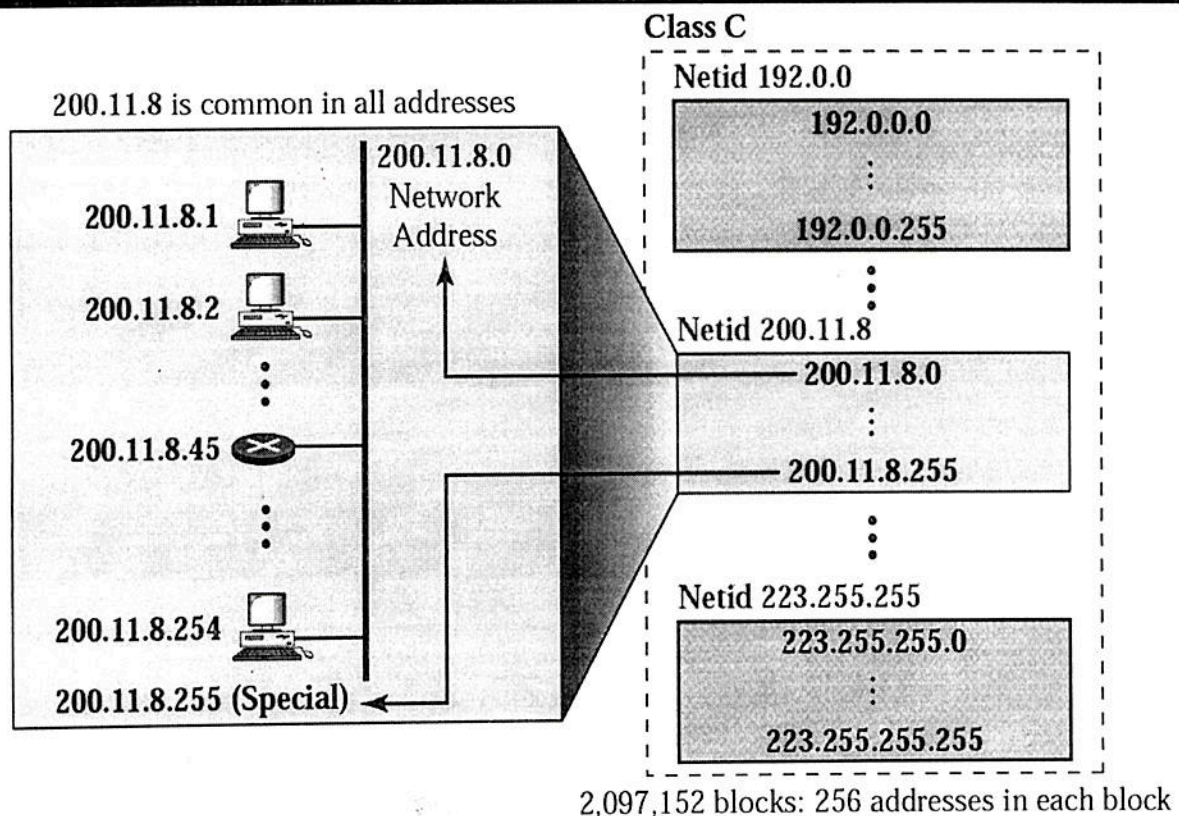
Blocos na classe B



Endereços Classe C

- ❑ Primeiros três octetos são número da rede; último octeto é número de host
- ❑ 2,097,152 (2^{21}) blocos para atribuição
 - ❑ 56 usados em endereços privados
- ❑ Primeiros três bytes (netid) são os mesmos
- ❑ Cada bloco tem apenas 254 ($2^8 - 2$) endereços; menos do que qualquer organização precisa

Blocos na Classe C

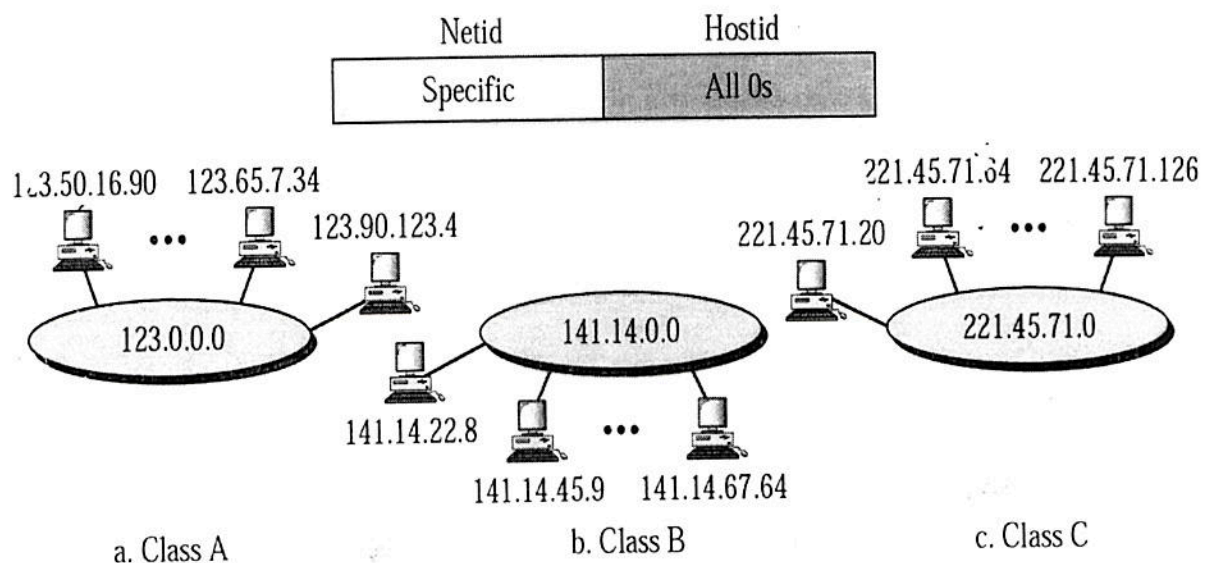


Endereços para Redes Privadas

- ❑ Classe A - 10.0.0.0 a 10.255.255.255 – 2^{24}
- ❑ Classe B - 172.16.0.0 a 172.31.255.255 - 2^{20}
- ❑ Classe C - 192.168.0.0 a 192.168.255.255 – 2^{16}

Endereço de Rede

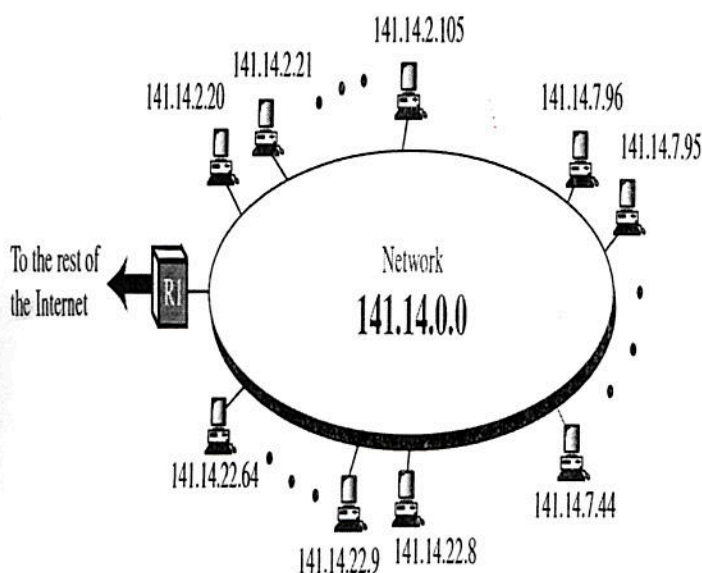
- ❑ Primeiro endereço do bloco; atribuído a qualquer empresa
- ❑ Define a rede; não pode ser atribuído a host
- ❑ Tem ambas partes de rede e host, com 0s para id de host
- ❑ Define a rede para o resto da Internet



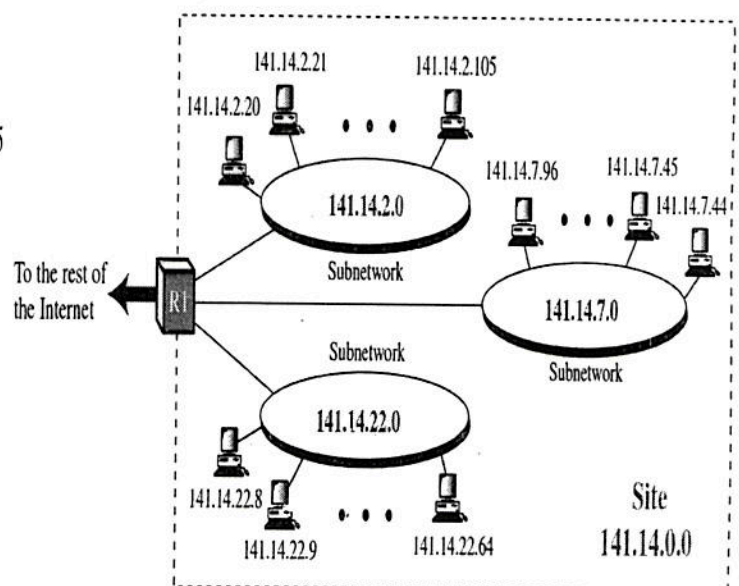
Subnetting

- ❑ Endereçamento IP é hierárquico
- ❑ Primeiro encontra o dispositivo através do endereço da rede (netid)
- ❑ Então alcança o host usando a segunda parte do endereço (hostid)
- ❑ *Subnetting* pode ser usado para dividir a rede em redes menores ou subredes

Subnetting (cont)



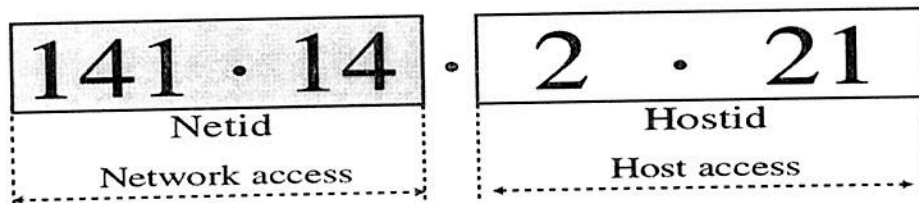
Rede com dois níveis de hierarquia (sem subredes)



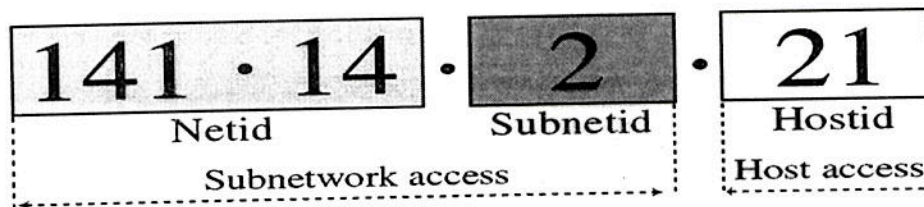
Rede com três níveis de hierarquia (com subredes)

Subnetting (cont)

- ❑ Cria nível intermediário de hierarquia
- ❑ Roteamento do datagrama então envolve três passos: entrega ao site, entrega na subrede, e entrega ao host



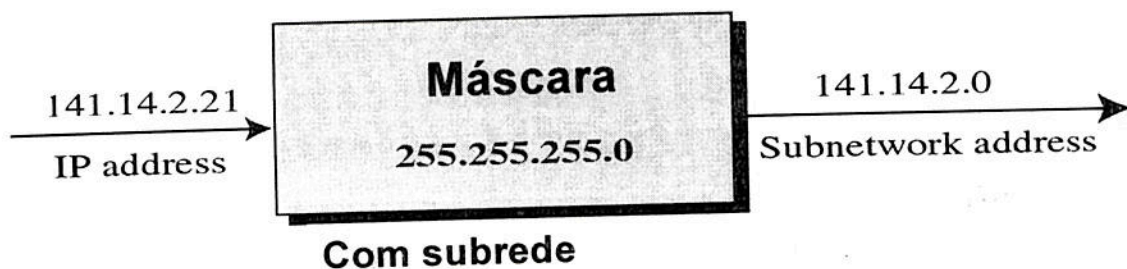
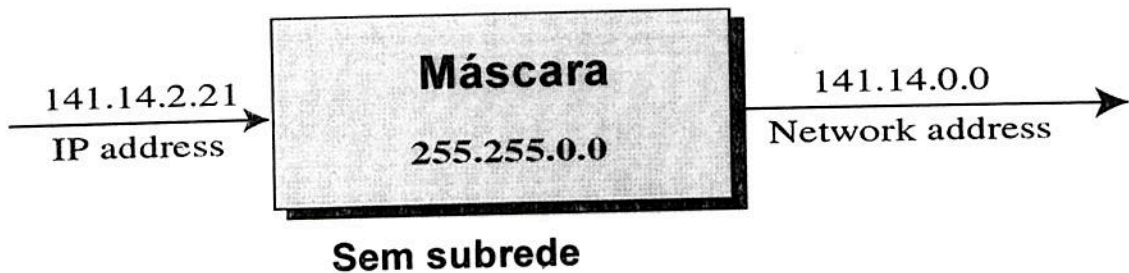
a. Without subnetting



b. With subnetting

Máscara

- ❑ Extrai o endereço físico da rede a partir do endereço IP
- ❑ Usada pelos roteadores dentro da organização



Máscara – Funcionamento

- ☐ Se números de máscara são 255 ou 0:
 - ☐ Bytes no endereço IP que correspondem a 255 na máscara são repetidos no endereço da subrede
 - ☐ Bytes no endereço que correspondem ao 0 na máscara mudam para 0 no endereço da subrede

| | | | | |
|-------------|-----|-----|----|---|
| Endereço IP | 45 | 23 | 21 | 8 |
| Máscara | 255 | 255 | 0 | 0 |
| Subrede | 45 | 23 | 0 | 0 |

Máscaras Padrão

| Classe | Em Binário | Em Notação Decimal | Usando Barra |
|--------|-------------------------------------|--------------------|--------------|
| A | 11111111 00000000 00000000 00000000 | 255.0.0.0 | /8 |
| B | 11111111 11111111 00000000 00000000 | 255.255.0.0 | /16 |
| C | 11111111 11111111 11111111 00000000 | 255.255.255.0 | /24 |

Máscaras – Sem uso dos limites padrão

- ❑ Se máscaras não estão no limite padrão (número de máscara não são apenas 255 ou 0)
 - ❑ Bytes no endereço IP correspondentes a 255 na máscara são repetidos no endereço de subrede
 - ❑ Bytes no endereço IP correspondentes a 0 na máscara mudam para 0 no endereço de subrede
 - ❑ Para outros bytes, usar a operação AND binária

Exemplo

| | | | | |
|-------------|-----|-----|----|---|
| Endereço IP | 45 | 123 | 21 | 8 |
| Máscara | 255 | 192 | 0 | 0 |
| Subrede | 45 | 64 | 0 | 0 |

| | |
|-----|-----------------|
| 123 | 0 1 1 1 1 0 1 1 |
| 192 | 1 1 0 0 0 0 0 0 |
| 64 | 0 1 0 0 0 0 0 0 |

Exercício

- ☐ Uma máscara de sub-rede de classe A tem quatorze 1s. Quantas sub-redes esta máscara define?
- ☐ Numa sub-rede classe C sabe-se que o endereço IP de um host é 192.44.82.16 e a máscara tem o endereço 255.255.255.192. Qual é o endereço dessa sub-rede?
- ☐ Qual é o número máximo de sub-redes classe C que podem ser criadas a partir da seguinte máscara: 255.255.255.240?

Endereçamento IP: CIDR

- ☐ Endereçamento baseado em classes:
 - ☐ uso ineficiente e esgotamento do espaço de endereços
 - ☐ Exemplo: rede da classe B aloca endereços para 65K estações, mesmo se houver apenas 2K estações nessa rede
- ☐ CIDR: Classless InterDomain Routing
 - ☐ parte de rede do endereço de comprimento arbitrário
 - ☐ formato de endereço: a.b.c.d/x, onde x é número de bits na parte de rede do endereço

← parte de rede → ← parte de estação →
11001000 00010111 00010000 00000000
200.23.16.0/23

Endereços IP: como conseguir um?

Rede (parte de rede):

- ☐ conseguir alocação a partir do espaço de endereços do seu provedor IP

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

Exercício

- ☐ Dado o endereço IP 201.14.78.65 e a máscara de sub-rede 255.255.255.224 (/27), qual é o endereço da sub-rede a qual pertence esse endereço IP?
- ☐ Uma empresa recebeu o bloco de endereços 132.45.0.0/16. Você é o administrador da rede e precisa definir oito subredes.
 - ☐ Quantos dígitos binários são necessários para definir oito subredes?
 - ☐ Especifique o *Extended Network Prefix* (ENP) – notação completa do endereço com / (barra) - que permite a criação de oito subredes: _____

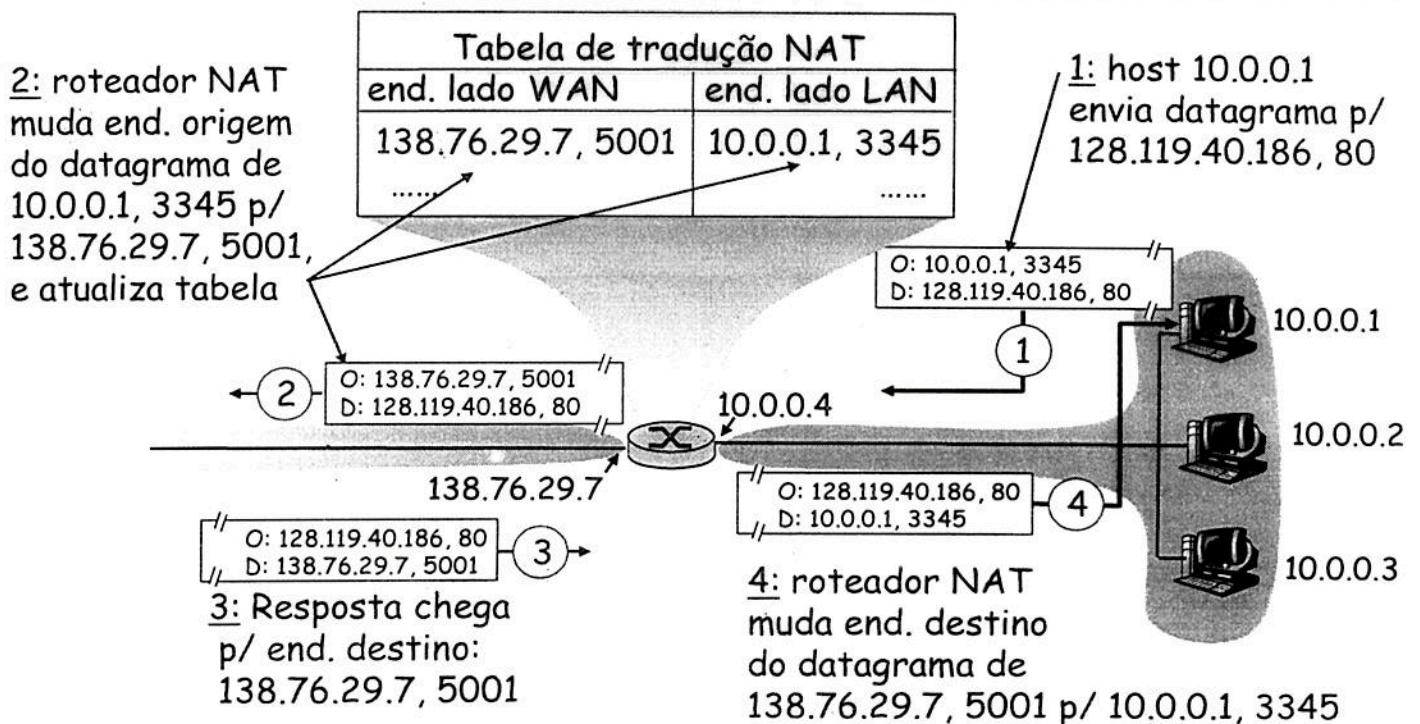
ICMP: Internet Control Message Protocol

- ❑ 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

| Tipo | Código | descrição |
|------|--------|--|
| 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 |

14

NAT (Network Address Translation)



17

Endereços físicos e ARP

Endereços IP de 32-bit:

- endereços da *camada de rede*
- usados para levar o datagrama até a rede de destino (lembre da definição de rede IP)

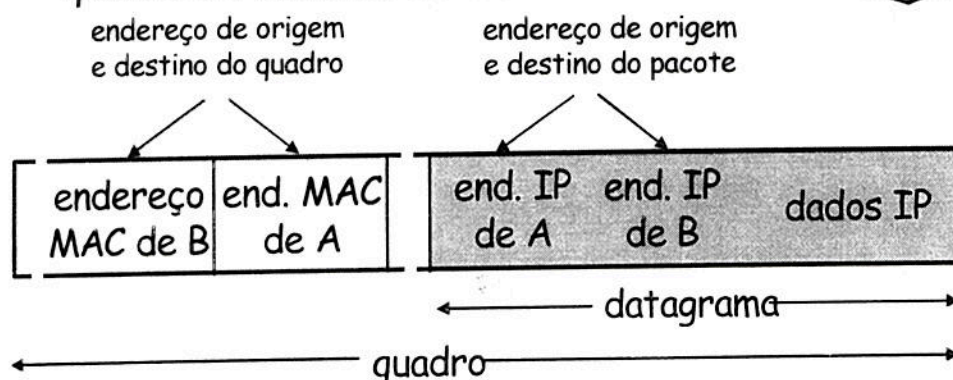
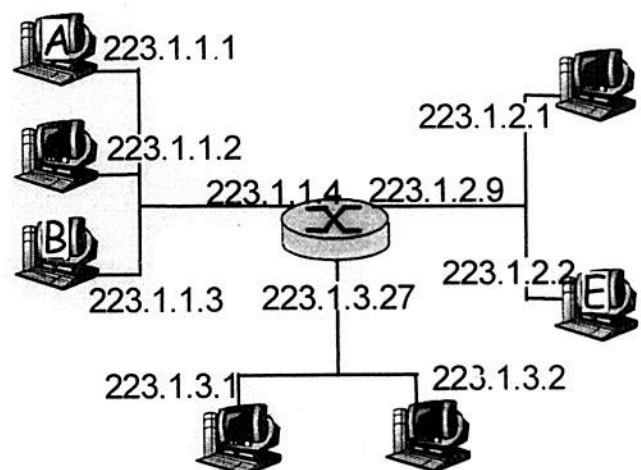
Endereço de LAN (ou MAC ou físico):

- usado para levar o datagrama de uma interface física a outra fisicamente conectada com a primeira (isto é, na mesma rede)
- Endereços MAC com 48 bits (na maioria das LANs) gravado na memória fixa (ROM) do adaptador de rede

Sobre Roteamento...

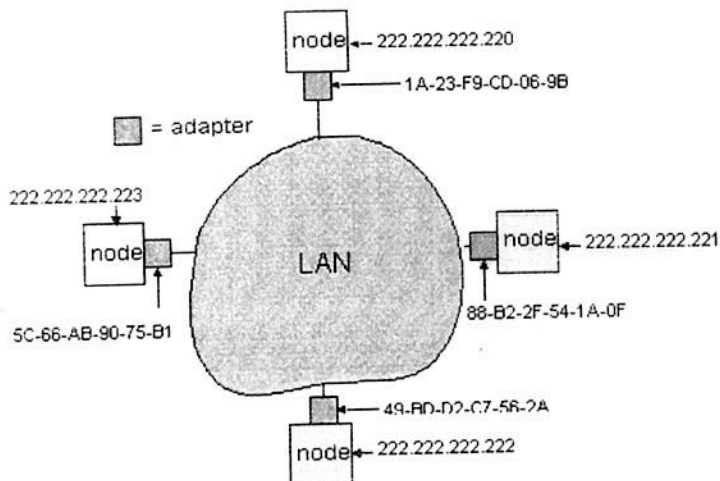
Começando em A, dado que o datagrama está endereçado para B (endereço IP):

- procure rede.endereço de B, encontre B em alguma rede, no caso igual à rede de A
- camada de enlace envia datagrama para B dentro de um quadro da camada de enlace



ARP: Address Resolution Protocol

Questão: como determinar o endereço MAC de B dado o endereço IP de B?

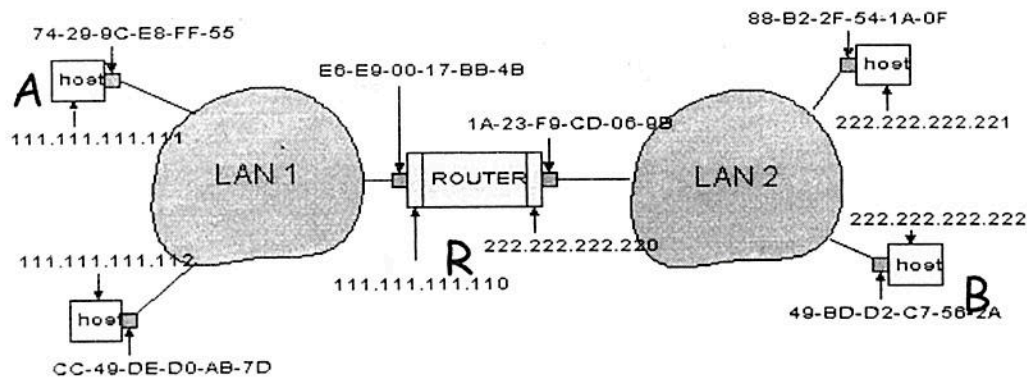


- Cada nó IP (Host, Roteador) numa LAN tem um módulo e uma tabela ARP
- Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN
< endereço IP; endereço MAC; TTL >

TTL (Time To Live): tempo depois do qual o mapeamento de endereços será esquecido (tipicamente 20 min)

Protocolo ARP

- A deseja enviar um datagrama para B, e conhece o seu endereço IP;
- Suponha que o endereço MAC de B não esteja na tabela ARP de A;
- A envia em broadcast um pacote ARP de consulta com o endereço IP de B
 - ✓ todas as máquinas na LAN recebem a consulta
- B recebe o pacote ARP, responde a A com o seu endereço de camada física
 - ✓ Quadro enviado para o endereço MAC de A;
- A armazena os pares de endereço IP-físico até que a informação se torne obsoleta (esgota a temporização)
 - ✓ soft state: informação que desaparece com o tempo se não for re-atualizada
- ARP é "plug-and-play":
 - ✓ Nós criam suas tabelas ARP sem a intervenção do administrador da rede;



- A cria o pacote IP com origem A, destino B
- A usa ARP para obter o endereço de camada física de R correspondente ao endereço IP 111.111.111.110
- A cria um quadro Ethernet com o endereço físico de R como destino, o quadro Ethernet contém o datagrama IP de A para B
- A camada de enlace de A envia o quadro Ethernet
- A camada de enlace de R recebe o quadro Ethernet
- R remove o datagrama IP do quadro Ethernet, verifica se destina-se a B
- R usa ARP para obter o endereço físico de B
- R cria quadro contendo um datagrama de A para B e envia para B

Exemplo de Uso do ARP

- `arp 150.162.63.1`
- `150.162.63.1 (150.162.63.1) at 8:0:20:73:bc:52 permanent published`

Mostrar o endereço físico e o endereço da Internet de uma máquina na rede

- `arp -a`

Interface: 200.17.110.197

| Internet | Address | Physical | Address Type |
|--------------|-------------------|----------|--------------|
| 200.17.110.2 | 02-60-8c-2d-21-e4 | | Dynamic |