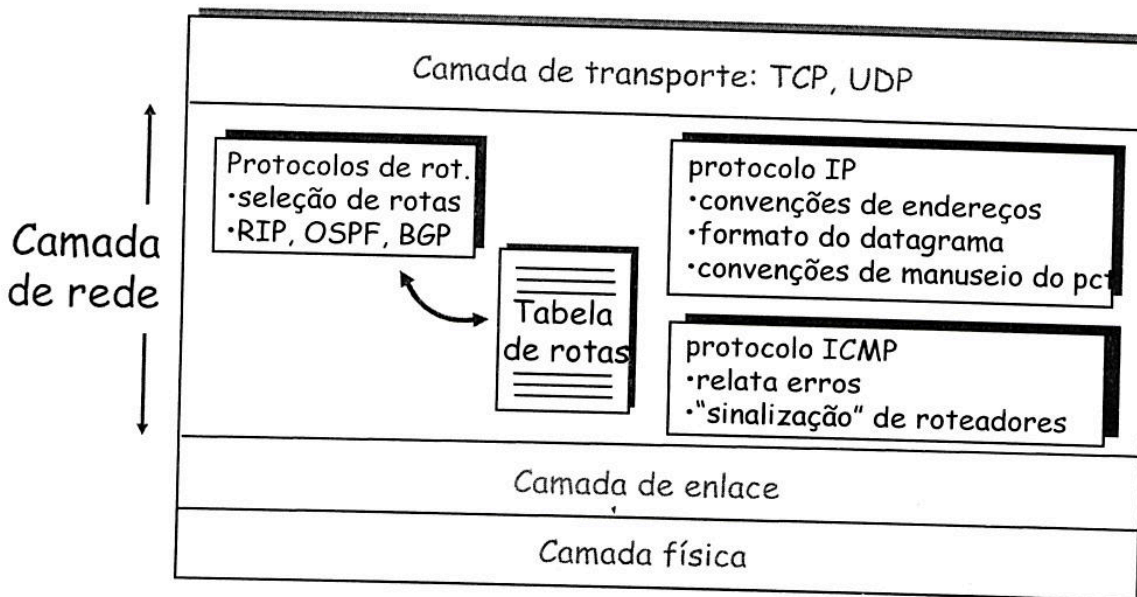


A Camada de Rede na Internet

Funções da camada de rede em estações, roteadores:



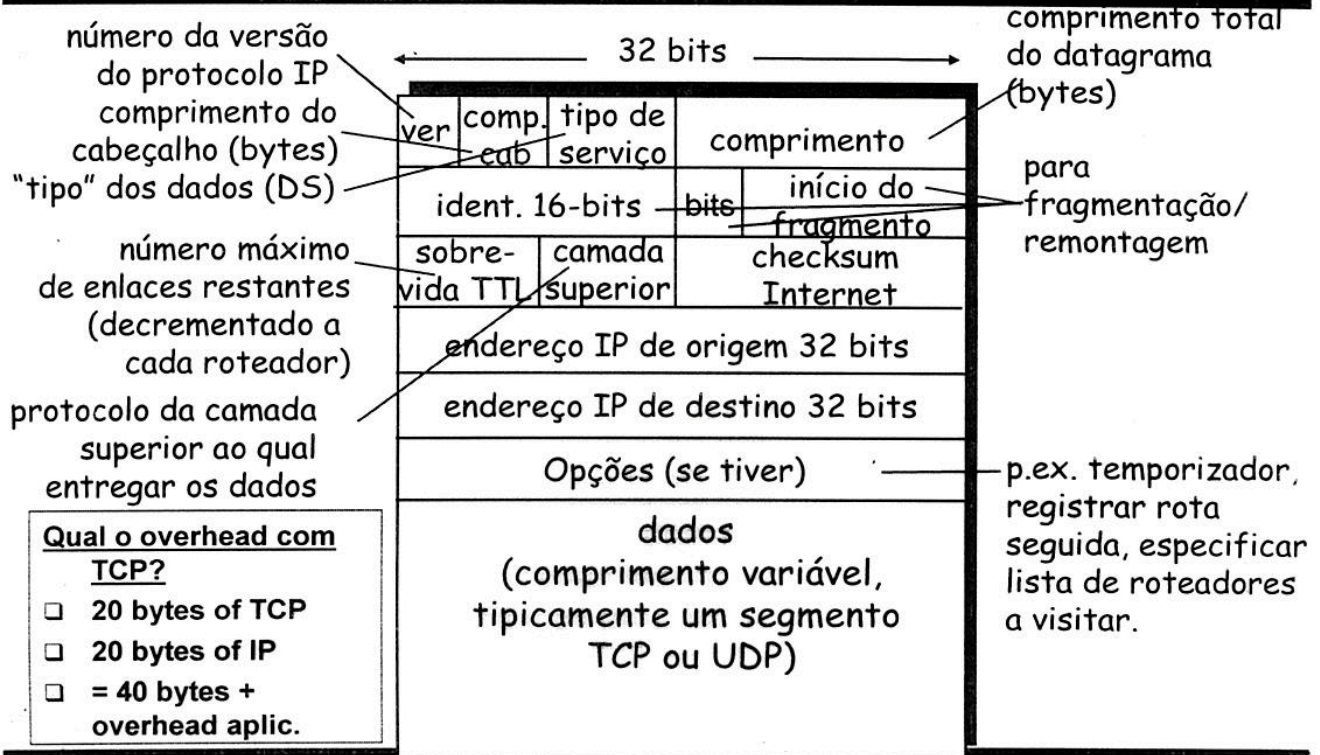
3

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

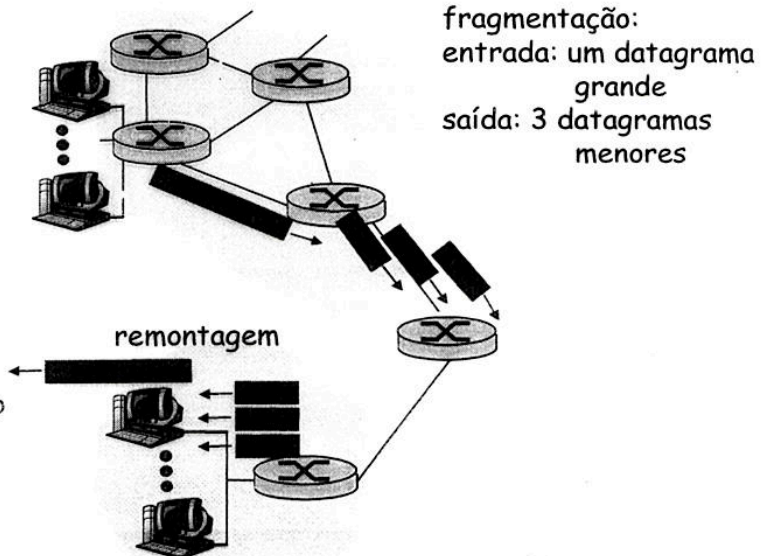
Formato do datagrama IP



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



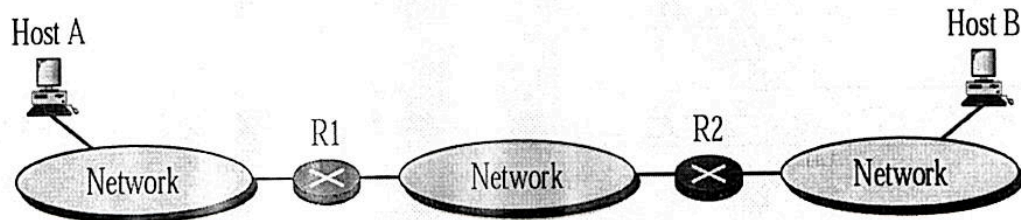
12

	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	<div> <div>0.0.0.0</div> <div>Netid Hostid</div> </div>	<div> <div>127.255.255.255</div> <div>Netid Hostid</div> </div>
Class B	<div> <div>128.0.0.0</div> <div>Netid Hostid</div> </div>	<div> <div>191.255.255.255</div> <div>Netid Hostid</div> </div>
Class C	<div> <div>192.0.0.0</div> <div>Netid Hostid</div> </div>	<div> <div>223.255.255.255</div> <div>Netid Hostid</div> </div>
Class D	<div> <div>224.0.0.0</div> <div>Group address</div> </div>	<div> <div>239.255.255.255</div> <div>Group address</div> </div>
Class E	<div> <div>240.0.0.0</div> <div>Undefined</div> </div>	<div> <div>255.255.255.255</div> <div>Undefined</div> </div>

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



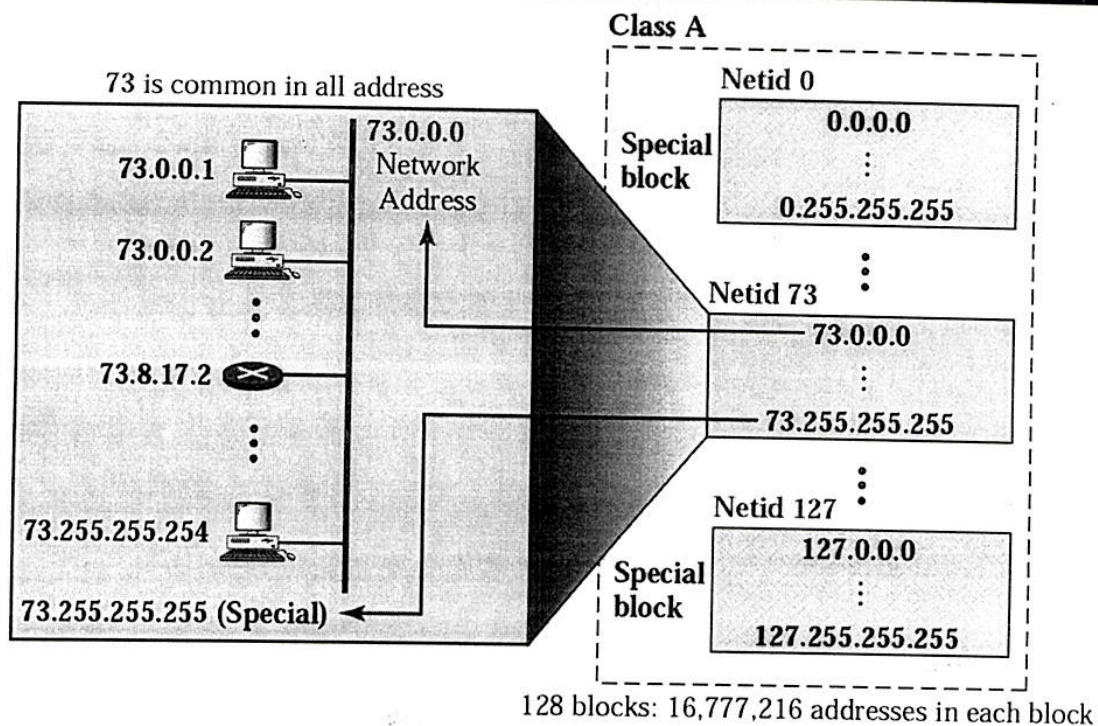
Routing table for host A		Routing table for R1		Routing table for R2	
Destination	Next Hop	Destination	Next Hop	Destination	Next Hop
Host B	R1	Host B	R2	Host B	—

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

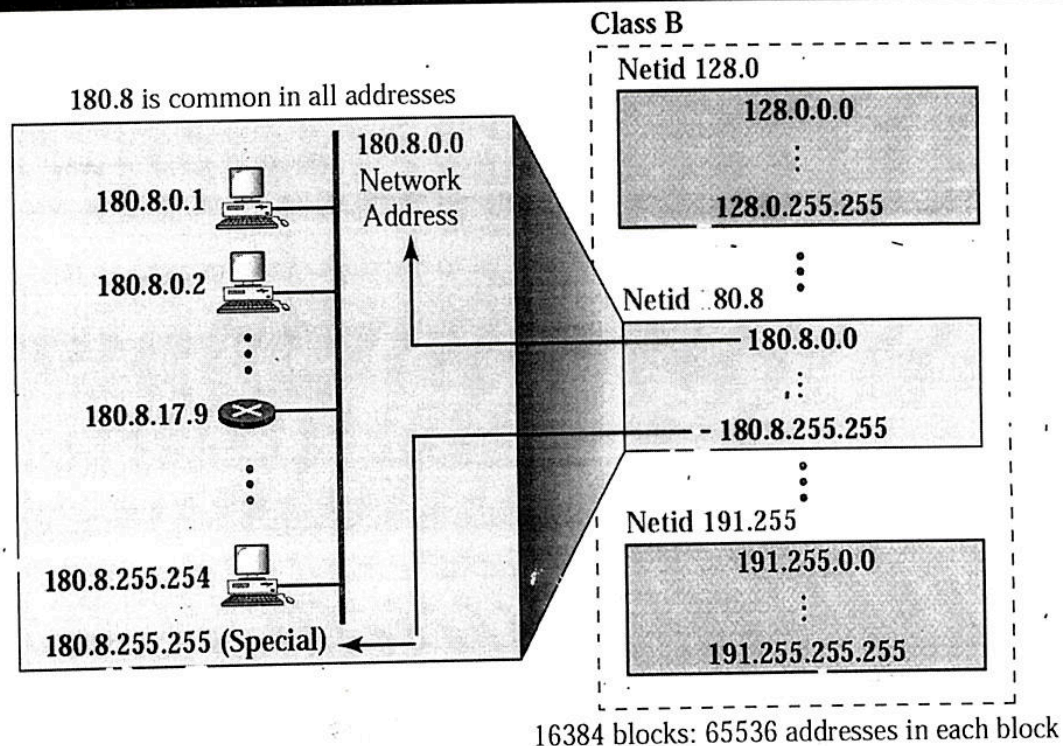
Blocos na classe A



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

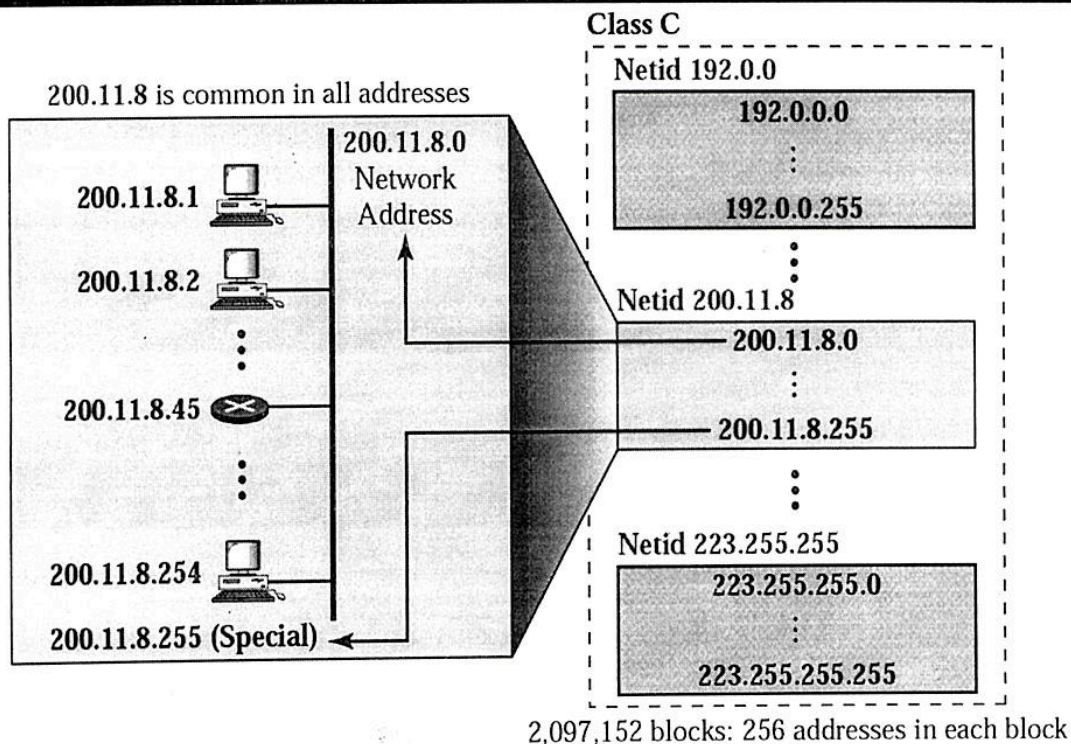
Blocos na classe B



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

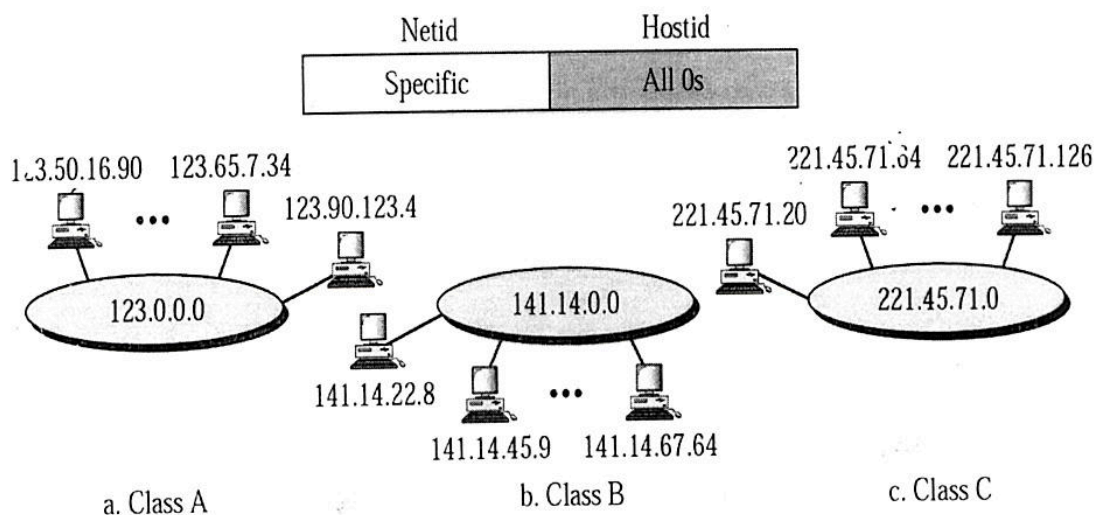


Endereços para Redes Privadas

- ❑ 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

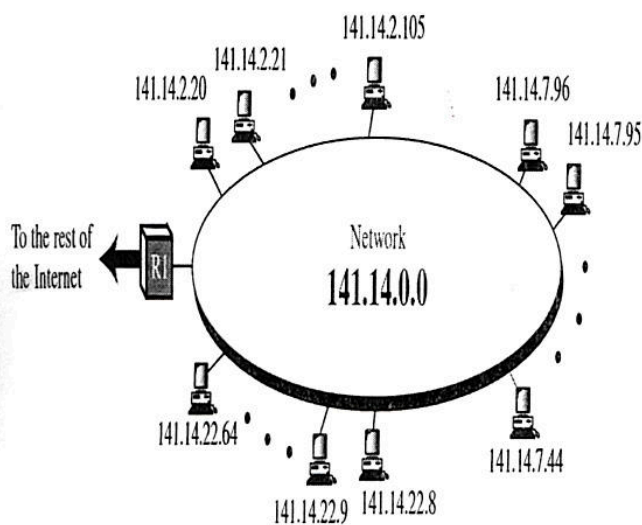
- ❑ Primeiro endereço do bloco; atribuído a qualquer empresa
- ❑ Define a rede; não pode ser atribuído a host
- ❑ Tem ambas partes de rede e host, com 0s para id de host
- ❑ Define a rede para o resto da Internet



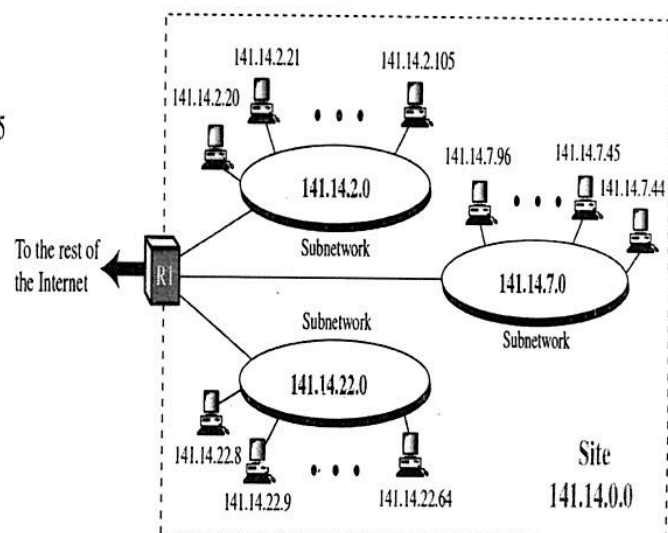
Subnetting

- ❑ 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)



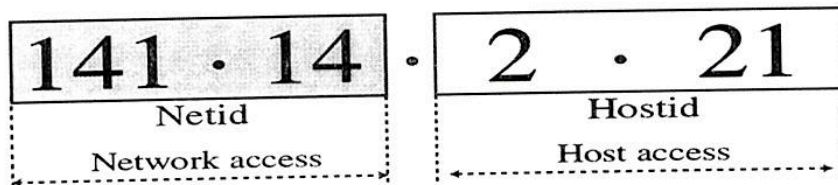
Rede com dois níveis de hierarquia (sem subredes)



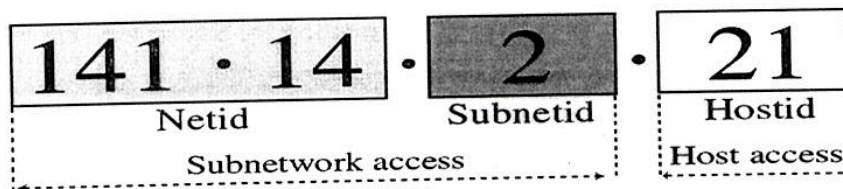
Rede com três níveis de hierarquia (com subredes)

Subnetting (cont)

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



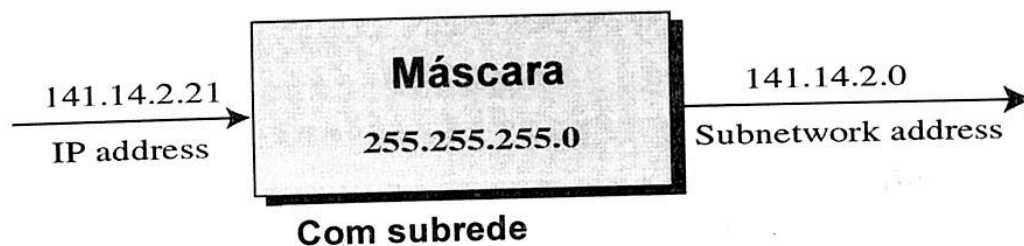
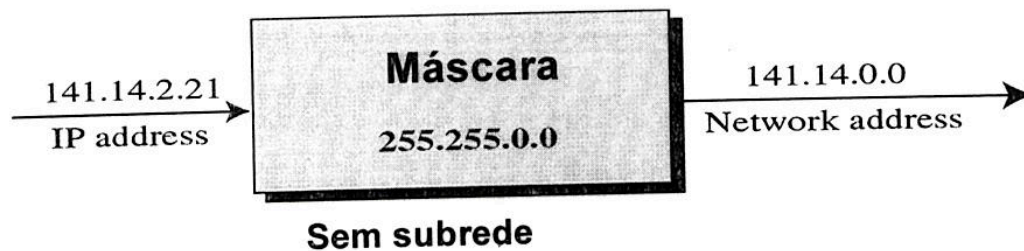
a. Without subnetting



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:

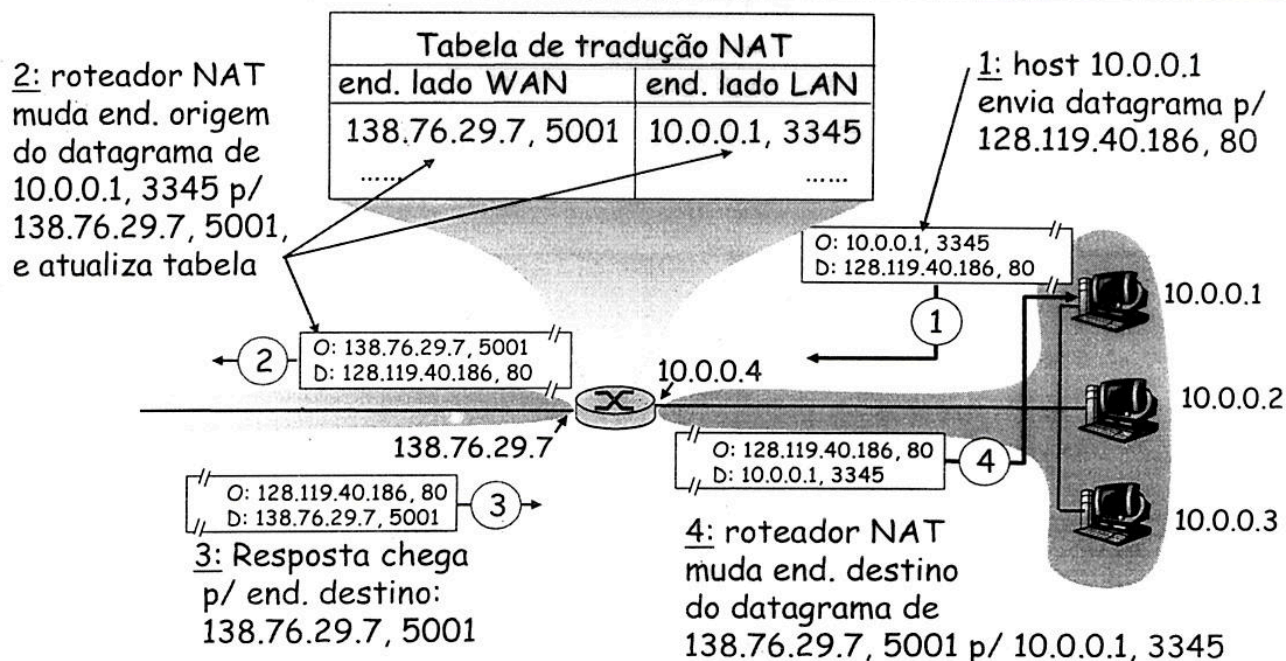
- msgs ICMP transportadas em datagramas IP

- 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)

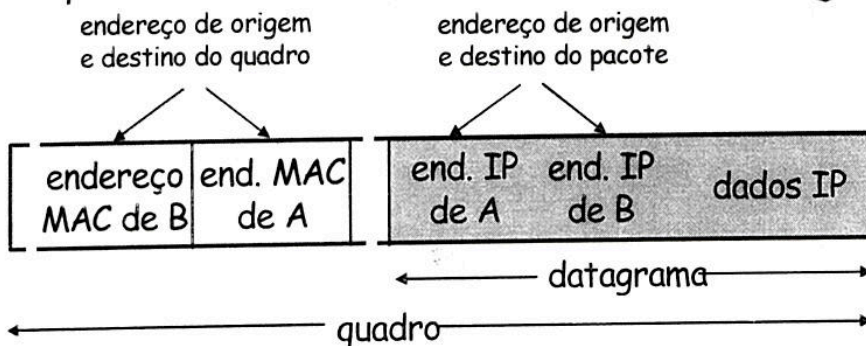
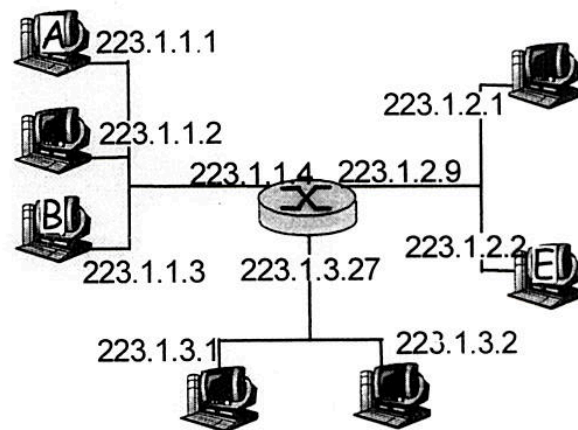
Endereço de LAN (ou MAC ou físico):

- 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...

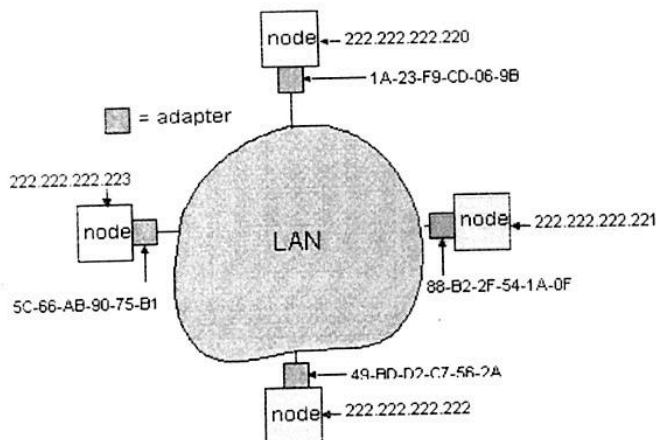
Começando em A, dado que o datagrama está endereçado para B (endereço IP):

- 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

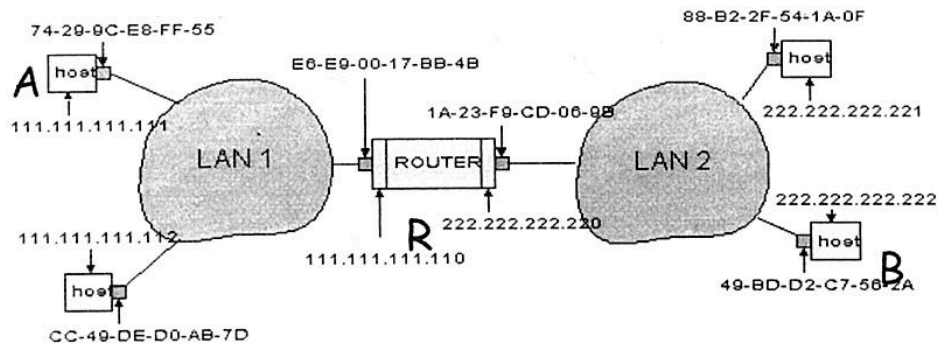
- Tabela ARP: mapeamento de endereços IP/MAC para alguns nós da LAN

< 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