

30-765

Redes de Computadores II

MSc. Fernando Schubert

ROTEAMENTO

- Nas aulas anteriores exploramos o endereçamento IPv4 e IPV6 bem como as classes de endereçamento e *subnetting*.
- Esses conceitos são importantes para o nosso próximo assunto: o roteamento de pacotes IP pela internet.

ROTEAMENTO

- O termo roteamento pode possuir múltiplos significados dependendo o contexto. Geralmente se refere a encontrar o caminho para algo.
- No contexto de redes, o roteamento é um conjunto de regras e protocolos que definem como um pacote IP transita da sua origem para um destino remoto.
 - É importante frisar que não é função do roteador encaminhar pacotes que estão no mesmo segmento de rede. Esta função é dos dispositivos de camada 2 (*hubs, switches*)
 - Se o endereço de destino não está na rede local, o pacote deve ser encaminhado ao *gateway*
 - **Gateways** implementam o protocolo IP para encaminhar datagramas entre redes. Gateways também implementam o Protocolo Gateway to Gateway (GGP) para coordenar o roteamento e outras informações de controle da Internet.

ROTEAMENTO

- O IP se baseia em duas estruturas para efetuar o roteamento de datagramas:
 - Máscara de Sub-Rede
 - Tabela de Rotas
- Como já visto, a máscara de sub-rede é um número de 32 bits usado para distinguir um prefixo de rede estendido (Netid + SubnetID) em um endereço IP.
- A máscara de sub-rede também é usada para determinar se um endereço IP está localizado na rede local ou em uma rede remota.

ROTEAMENTO

- Protocolo roteável
 - São os protocolos que terão a necessidade de utilização de algum protocolo de roteamento. Ex: IPv4 e IPv6
- Protocolo de roteamento: são propriamente os protocolos que contém um conjunto de padrões e regras que serão responsáveis pelo encaminhamento dos pacotes. Ex.: OSPF, IS-IS, EIGRP, RIP, BGP
- Para que aconteça o roteamento são necessários alguns componentes básicos:
 - Protocolo roteável (IPv4 ou IPv6)
 - Endereço de rede (Network Address)
 - Máscara de Rede (Network Mask)
 - Próximo Salto (Next Hop)
 - Métrica (Metric)

ROTEAMENTO

- Como descobrir se dois endereços IP estão na mesma rede?
 - Exemplo: 200.212.54.52/28 e 200.212.54.12/29
 - Converta para binário os endereços e as máscaras de sub rede
 - Faça um AND lógico entre os valores binários
 - O resultado será o endereço de rede de cada IP
 - Verifique se o endereço de rede é o mesmo, se não, indica que os endereços estão em redes diferentes.

TABELA DE ROTEAMENTO

- Provê um meio de se dizer como encaminhar pacotes para máquinas que não estão conectadas à rede local.
- Cada máquina na rede local (hosts e roteadores) possui a sua própria tabela de rotas.
- Na sua forma mais simples, a tabela de rotas é uma estrutura que contém um conjunto de pares (N,G) , onde:
 - N é o endereço IP da rede destino
 - G é o endereço IP do próximo roteador no caminho da rede N

TABELA DE ROTEAMENTO

- A quantidade de informação que um roteador necessita guardar na sua tabela de rotas é diretamente proporcional ao número de redes e não ao número de hosts.
- A tabela de rotas pode ser mantida tão simples porque o IP não necessita de uma rota completa até o destino.
- É guardado apenas o endereço do próximo roteador.
- Os roteadores não conhecem o caminho completo até a máquina destino mas, sim, o próximo passo (hop) em direção àquela rede.
- As tabelas de rotas sempre apontam para roteadores que estão na mesma rede física.

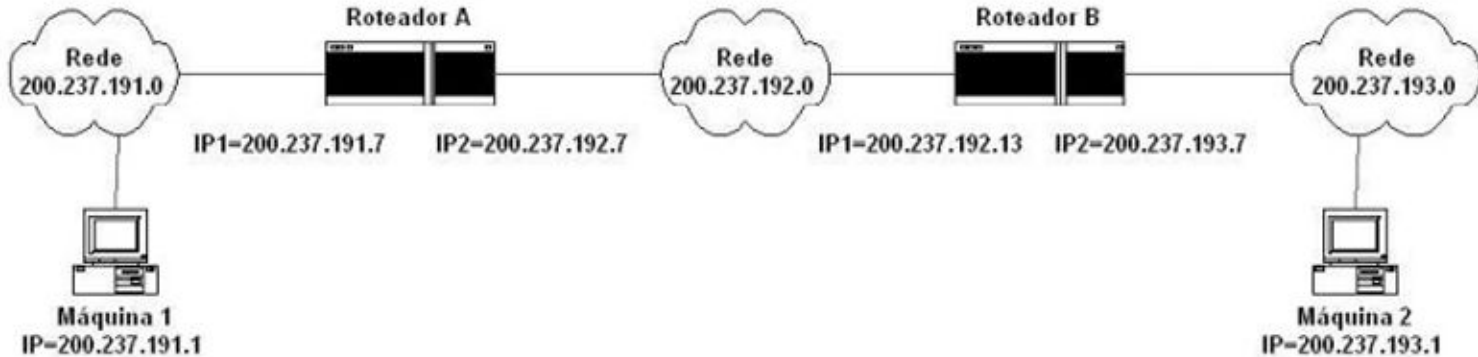
TABELA DE ROTEAMENTO



Tabela de roteamento

<u>Destino</u>	<u>Ação</u>
Rede 1	Entrega direta
Rede 2	Entrega direta
Rede 3	Entrega indireta, Enviar para roteador B
Outros	Erro !

TABELA DE ROTEAMENTO



Máquina 1		
Rede	Máscara	Roteador
200.237.191.0	255.255.255.0	200.237.191.1
0.0.0.0	0.0.0.0	200.237.191.7

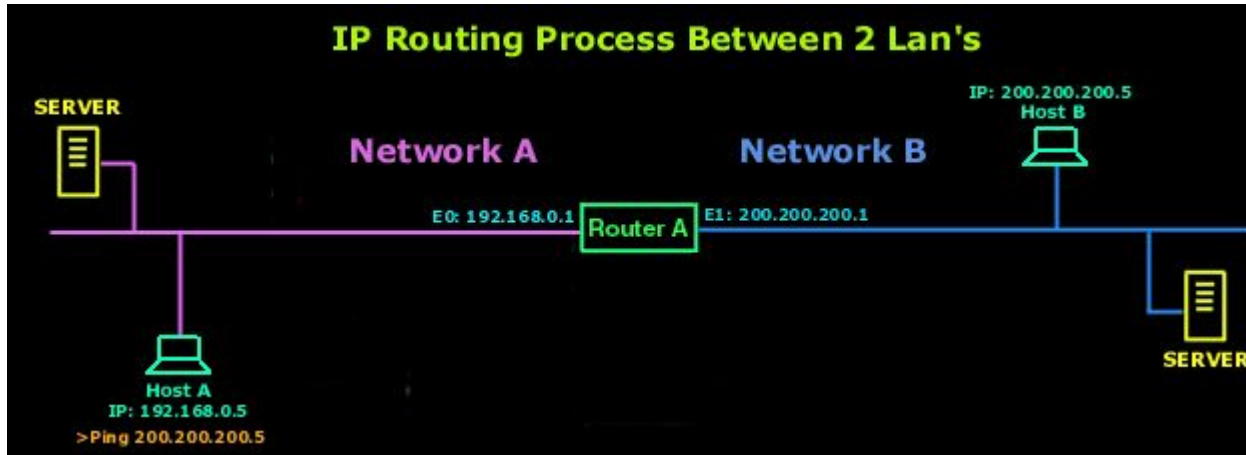
Máquina 2		
Rede	Máscara	Roteador
200.237.193.0	255.255.255.0	200.237.193.1
0.0.0.0	0.0.0.0	200.237.193.7

Roteador A		
Rede	Máscara	Roteador
200.237.191.0	255.255.255.0	200.237.191.7
200.237.192.0	255.255.255.0	200.237.192.7
200.237.193.0	255.255.255.0	200.237.192.13

Roteador B		
Rede	Máscara	Roteador
200.237.191.0	255.255.255.0	200.237.192.7
200.237.192.0	255.255.255.0	200.237.192.13
200.237.193.0	255.255.255.0	200.237.193.7

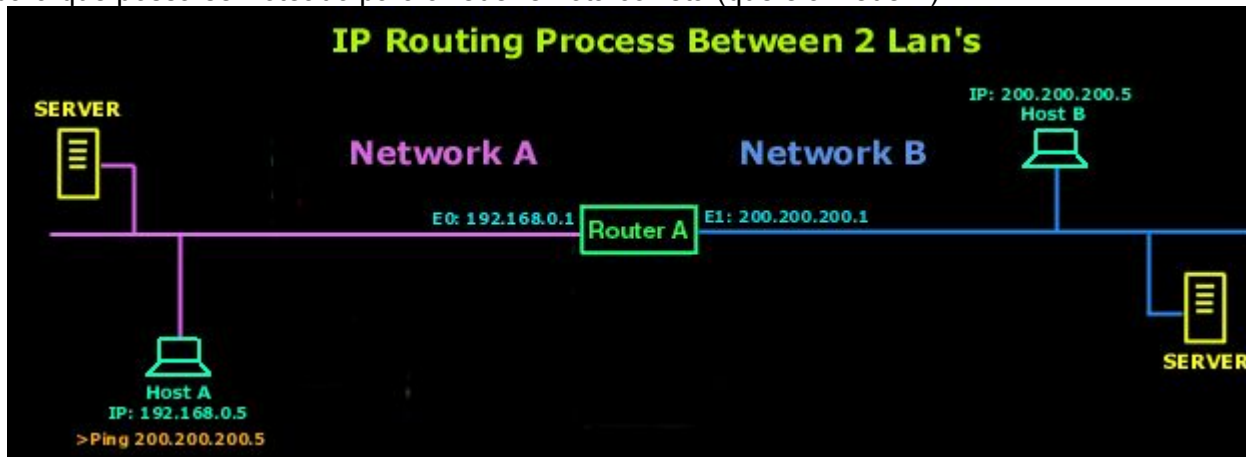
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

- Em nosso exemplo, temos 2 redes, Rede A e Rede B. Ambas as redes estão conectadas através de um roteador (Roteador A), que possui 2 interfaces: E0 e E1. Essas interfaces são como a interface da sua placa de rede (RJ-45), mas integradas ao roteador.



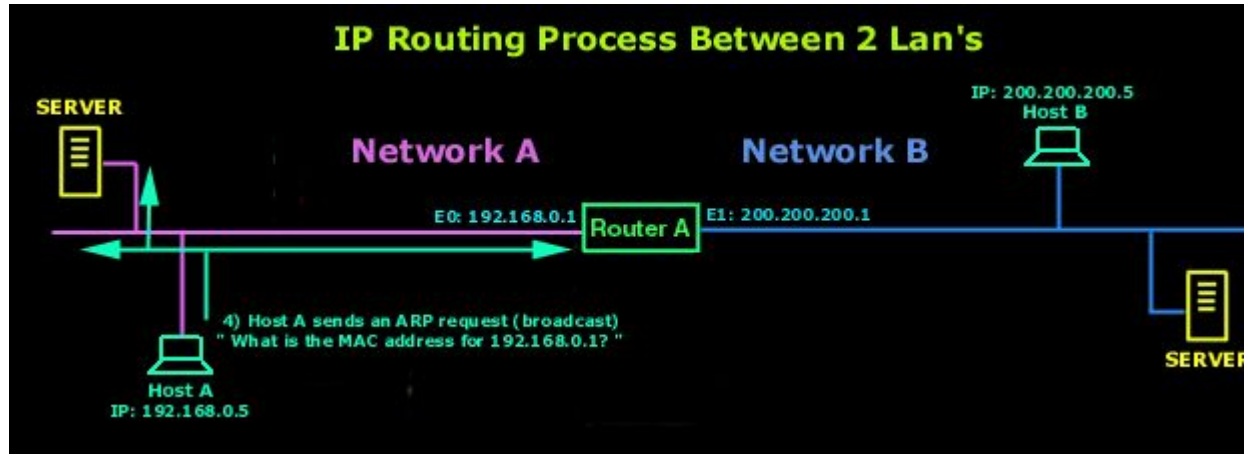
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

- **Comando Ping:** O Host A inicia o processo digitando o comando **ping** seguido do endereço IP **200.200.200.5**.
- **IP e ARP:** O protocolo IP trabalha em conjunto com o Protocolo de Resolução de Endereços (ARP) para determinar para qual rede o pacote deve ser enviado, analisando o endereço IP e a máscara de sub-rede do Host A. Como esta é uma solicitação para um host remoto, ou seja, não é destinada a um host na rede local, o pacote deve ser enviado ao roteador (o gateway da Rede A) para que possa ser roteado para a rede remota correta (que é a Rede B).



EXEMPLO DE ROTEAMENTO

- **Endereço de Hardware:** Agora, para que o Host A envie o pacote ao roteador, ele precisa conhecer o endereço de hardware da interface do roteador que está conectada à sua rede (Rede A). Caso você não tenha percebido, estamos falando do endereço MAC (Controle de Acesso ao Meio) da interface E0. Para obter o endereço de hardware, o Host A verifica em seu cache ARP - uma área de memória onde esses endereços MAC são armazenados por alguns segundos.

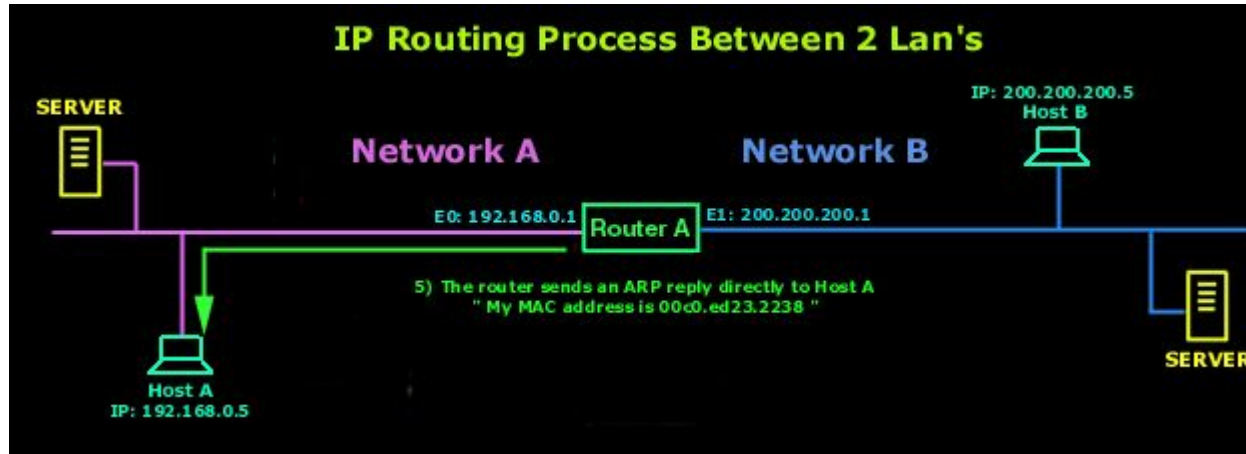


EXEMPLO DE ROTEAMENTO

- **ARP Broadcast:** Se o Host A não encontrar o endereço de hardware no cache ARP, isso significa que ou muito tempo se passou desde a última vez que ele contatou o roteador, ou ele simplesmente não resolveu o endereço IP do roteador (192.168.0.1) para um endereço de hardware (MAC). Então, ele envia um broadcast ARP. Esse broadcast contém a seguinte pergunta: "Qual é o endereço de hardware (MAC) para o IP 192.168.0.1?". O roteador identifica esse endereço IP como sendo o seu e deve responder, então ele envia de volta ao Host A uma resposta, fornecendo o endereço MAC de sua interface E0. Essa é também uma das razões pelas quais, às vezes, o primeiro "ping" resulta em um timeout. Como leva algum tempo para que o ARP seja enviado e a máquina solicitada responda com seu endereço MAC, quando tudo isso acontece, o TTL (Time To Live) do primeiro pacote de ping já expirou, resultando em um timeout!

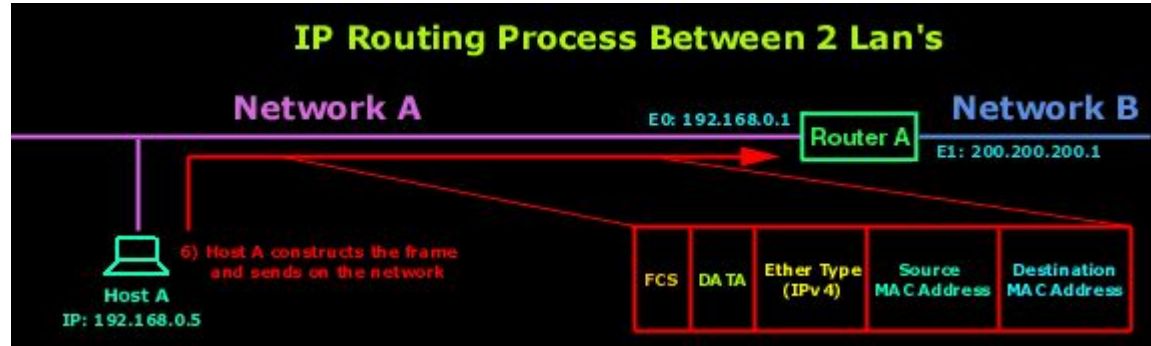
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

5. Resposta do Roteador: O roteador responde com o endereço de hardware de sua interface E0, ao qual o IP 192.168.0.1 está vinculado. O Host A agora tem tudo o que precisa para transmitir um pacote na rede local para o roteador. Agora, a Camada de Rede passa para a Camada de Enlace de Dados o pacote que gerou com o ping (solicitação de eco ICMP), junto com o endereço de hardware do roteador. Esse pacote inclui o endereço IP de origem e destino, bem como a solicitação de eco ICMP que foi especificada na Camada de Rede.



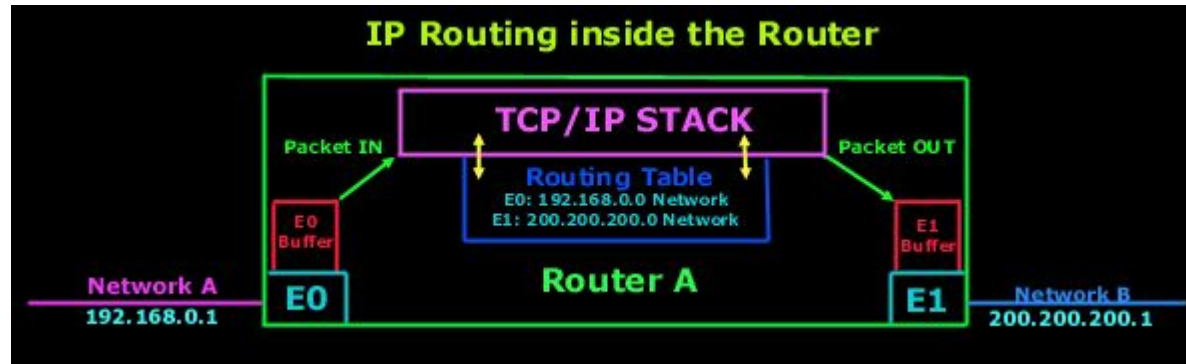
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

6. Criação do Frame: A Camada de Enlace de Dados do Host A cria um frame, que encapsula o pacote com as informações necessárias para transmitir na rede local. Isso inclui o endereço de hardware de origem e destino (MAC) e o campo de tipo que especifica o protocolo da Camada de Rede, por exemplo, IPv4 (que é a versão do IP que usamos), ARP. No final do frame, na parte de FCS (Frame Check Sequence) do frame, a Camada de Enlace de Dados adiciona um Código de Verificação de Redundância Cíclica (CRC) para garantir que a máquina receptora (o roteador) possa identificar se o frame recebido foi corrompido.



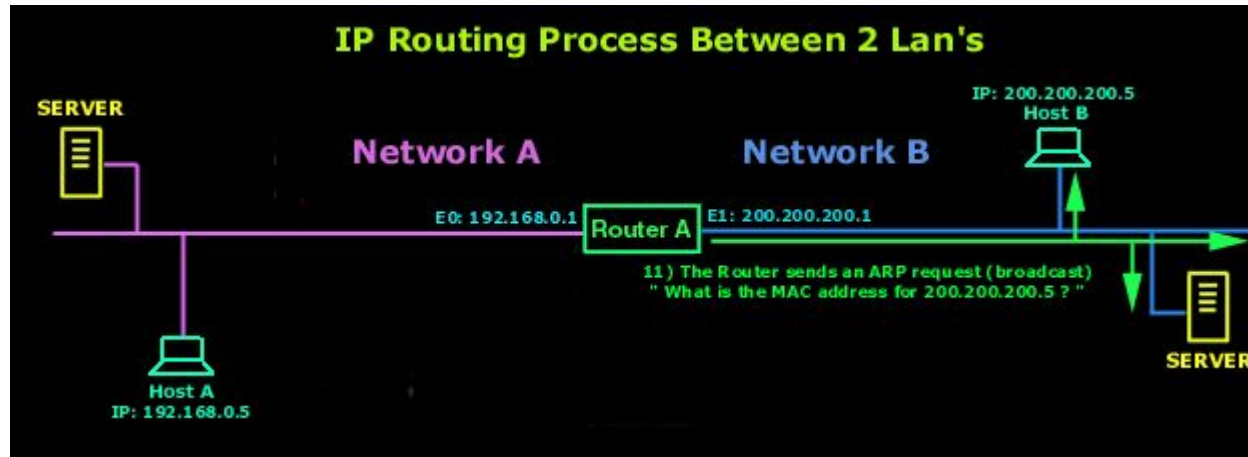
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

7. **Camada Física:** A Camada de Enlace de Dados do Host A passa o frame para a Camada Física, que codifica os 1s e 0s em um sinal digital e o transmite na rede física local.
8. **Recepção do Frame:** O sinal é captado pela interface E0 do roteador, que lê o frame. Primeiro, o roteador faz uma verificação de CRC e compara com o valor de CRC que o Host A adicionou ao frame, para garantir que o frame não está corrompido.
9. **Verificação do Endereço MAC:** Em seguida, o endereço de hardware de destino (MAC) do frame recebido é verificado. Como haverá uma correspondência, o campo de tipo no frame será checado para determinar o que o roteador deve fazer com o pacote de dados. O IP está no campo de tipo, e o roteador passa o pacote para o protocolo IP que está rodando no roteador. O frame é removido e o pacote original gerado pelo Host A está agora no buffer do roteador.



EXEMPLO DE ROTEAMENTO

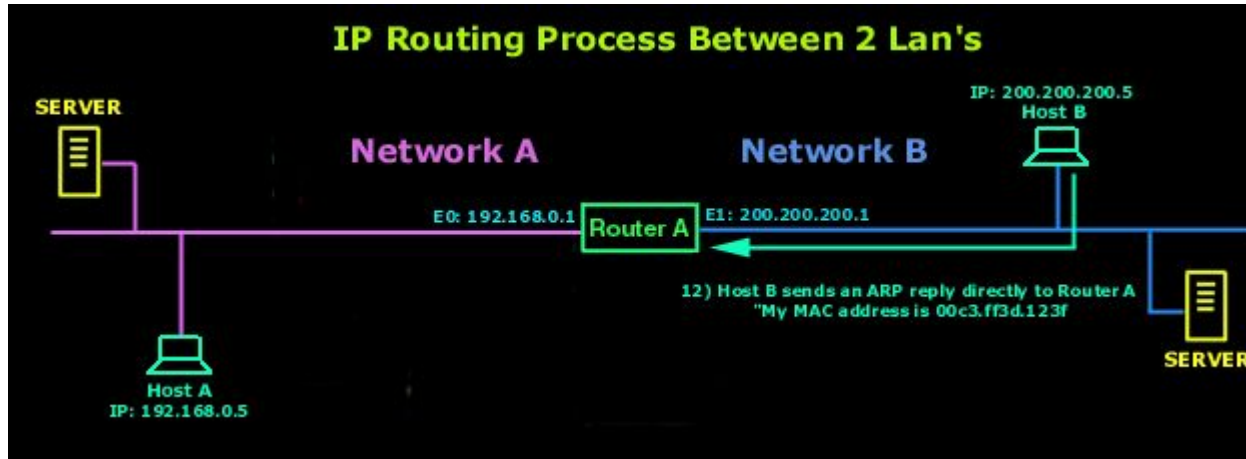
10.Verificação do IP de Destino: O IP verifica o endereço IP de destino do pacote para determinar se o pacote é destinado ao roteador. Como o endereço IP de destino é 200.200.200.5, o roteador determina, a partir da tabela de roteamento, que 200.200.200.0 é uma rede diretamente conectada na interface E1.



EXEMPLO DE ROTEAMENTO

11. Encapsulamento do Pacote: O roteador coloca o pacote no buffer da interface E1. O roteador precisa criar um frame para enviar o pacote ao host de destino. Primeiro, o roteador verifica no cache ARP para determinar se o endereço de hardware já foi resolvido a partir de uma comunicação anterior. Se não estiver no cache ARP, o roteador envia um broadcast ARP pela interface E1 para encontrar o endereço de hardware de 200.200.200.5.

12. Resposta do Host B: O Host B responde com o endereço de hardware de sua placa de interface de rede por meio de uma resposta ARP. A interface E1 do roteador agora tem tudo o que precisa para enviar o pacote ao destino final.



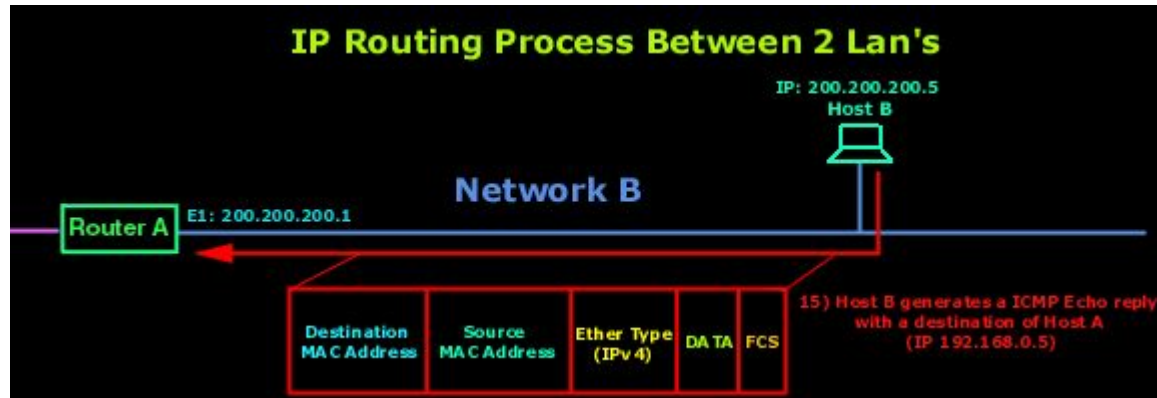
EXEMPLO DE ROTEAMENTO

13. Mudança de Endereços no Frame: O frame gerado pela interface E1 do roteador tem o endereço de hardware de origem da interface E1 e o endereço de hardware de destino da placa de interface de rede do Host B. No entanto, o mais importante aqui é que, embora o endereço de hardware de origem e destino do frame tenha mudado em cada interface do roteador, o endereço IP de origem e destino nunca mudou. O pacote nunca foi modificado; apenas o frame foi alterado.

14. Recepção pelo Host B: O Host B recebe o frame e realiza uma verificação de CRC. Se a verificação estiver correta, ele descarta o frame e entrega o pacote ao IP. O IP então verifica o endereço IP de destino. Como o endereço IP de destino corresponde à configuração IP do Host B, ele examina o campo de protocolo do pacote para determinar o propósito do pacote.

EXEMPLO DE ROTEAMENTO

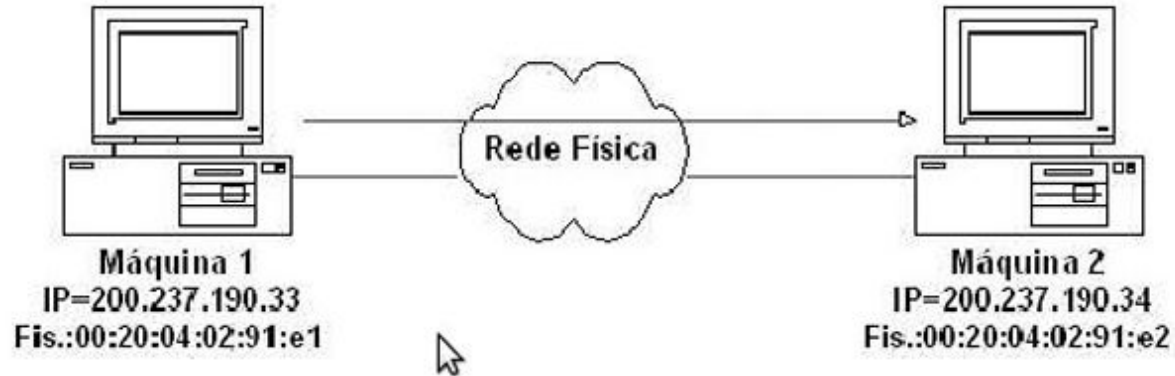
15. Resposta do Host B: Como o pacote é uma solicitação de eco ICMP, o Host B gera um novo pacote de resposta de eco ICMP com o endereço IP de origem do Host B e o endereço IP de destino do Host A. O processo recomeça, exceto que agora é na direção oposta. No entanto, o endereço de hardware de cada dispositivo ao longo do caminho já é conhecido, então cada dispositivo só precisa verificar seu cache ARP para determinar o endereço de hardware (MAC) de cada interface.



ROTEAMENTO DIRETO

- Ocorre quando as máquinas participando de uma conversa estão na mesma rede física.
- O transmissor encapsula o pacote IP no quadro do nível de enlace, mapeia o endereço IP destino no endereço físico de destino (via ARP) e envia o quadro diretamente ao destinatário.
- O transmissor sabe que o destinatário está na mesma rede física examinando a porção NetId do endereço IP destino, que deve ser igual ao próprio NetId (usando, para isso, a máscara de sub-rede).

ROTEAMENTO DIRETO



datagrama IP

IP origem	IP destino	Dados
200.237.190.33	200.237.190.34	

quadro

End. Físico origem	End. Físico destino	datagrama IP
00:20:04:02:91:e1	00:20:04:02:91:e2	

ROTEAMENTO DIRETO

- Ocorre quando as máquinas participando de uma conversa estão na mesma rede física.
- O transmissor encapsula o pacote IP no quadro do nível de enlace, mapeia o endereço IP destino no endereço físico de destino (via ARP) e envia o quadro diretamente ao destinatário.
- O transmissor sabe que o destinatário está na mesma rede física examinando a porção NetId do endereço IP destino, que deve ser igual ao próprio NetId (usando, para isso, a máscara de sub-rede).

ROTEAMENTO DIRETO

```
C:\Users\fsck>ARP -A
```

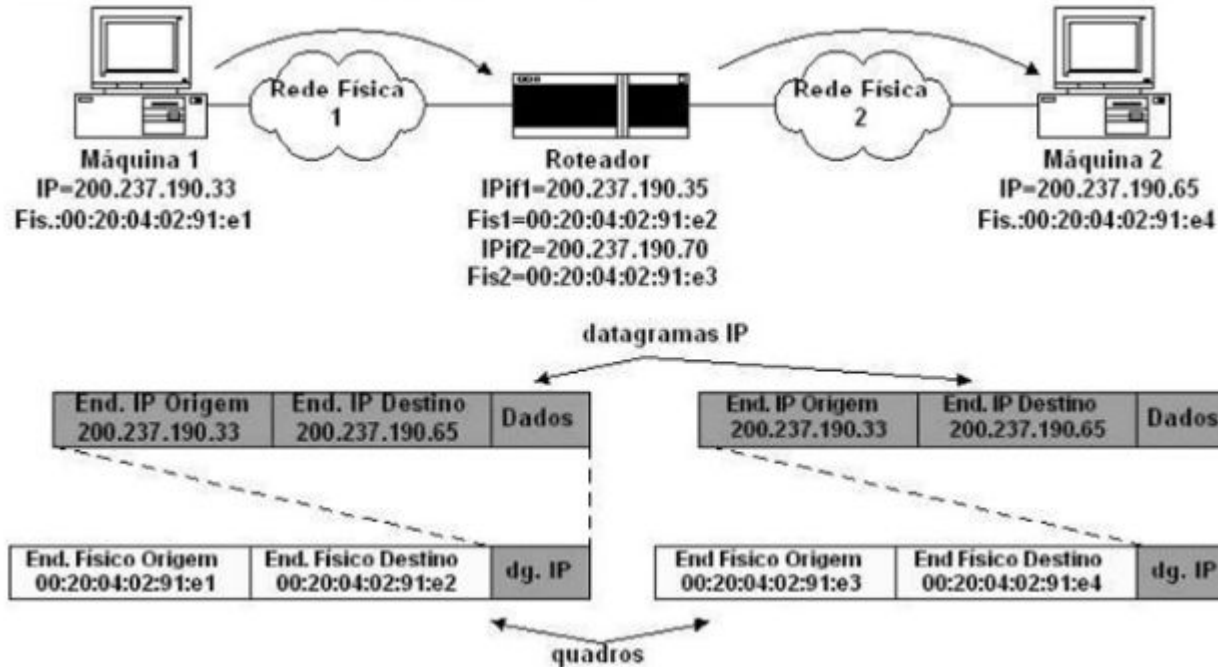
```
Interface: 192.168.100.149 --- 0xb
```

Internet Address	Physical Address	Type
192.168.100.1	18-3c-b7-10-19-dd	dynamic
192.168.100.103	90-9c-4a-cb-f8-80	dynamic
192.168.100.154	80-a9-97-21-46-ab	dynamic
192.168.100.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	static
224.0.0.22	01-00-5e-00-00-16	static
224.0.0.251	01-00-5e-00-00-fb	static
224.0.0.252	01-00-5e-00-00-fc	static
239.255.255.250	01-00-5e-7f-ff-fa	static
255.255.255.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	static

ROTEAMENTO INDIRETO

- Ocorre quando duas máquinas participando de uma conversa não estão na mesma rede física.
- Neste caso, gateways intermediários terão que manusear o datagrama até que ele chegue ao seu destino.
- O transmissor deve identificar um gateway para onde enviar o datagrama.
- Este gateway precisa estar, necessariamente, na mesma rede física do transmissor.

ROTEAMENTO INDIRETO



ROTEAMENTO - HOSTS E ROTEADORES

- **Hosts:**

- O roteamento será direto ou não?
- Caso não seja direto, para qual roteador deverá ser enviado o pacote?

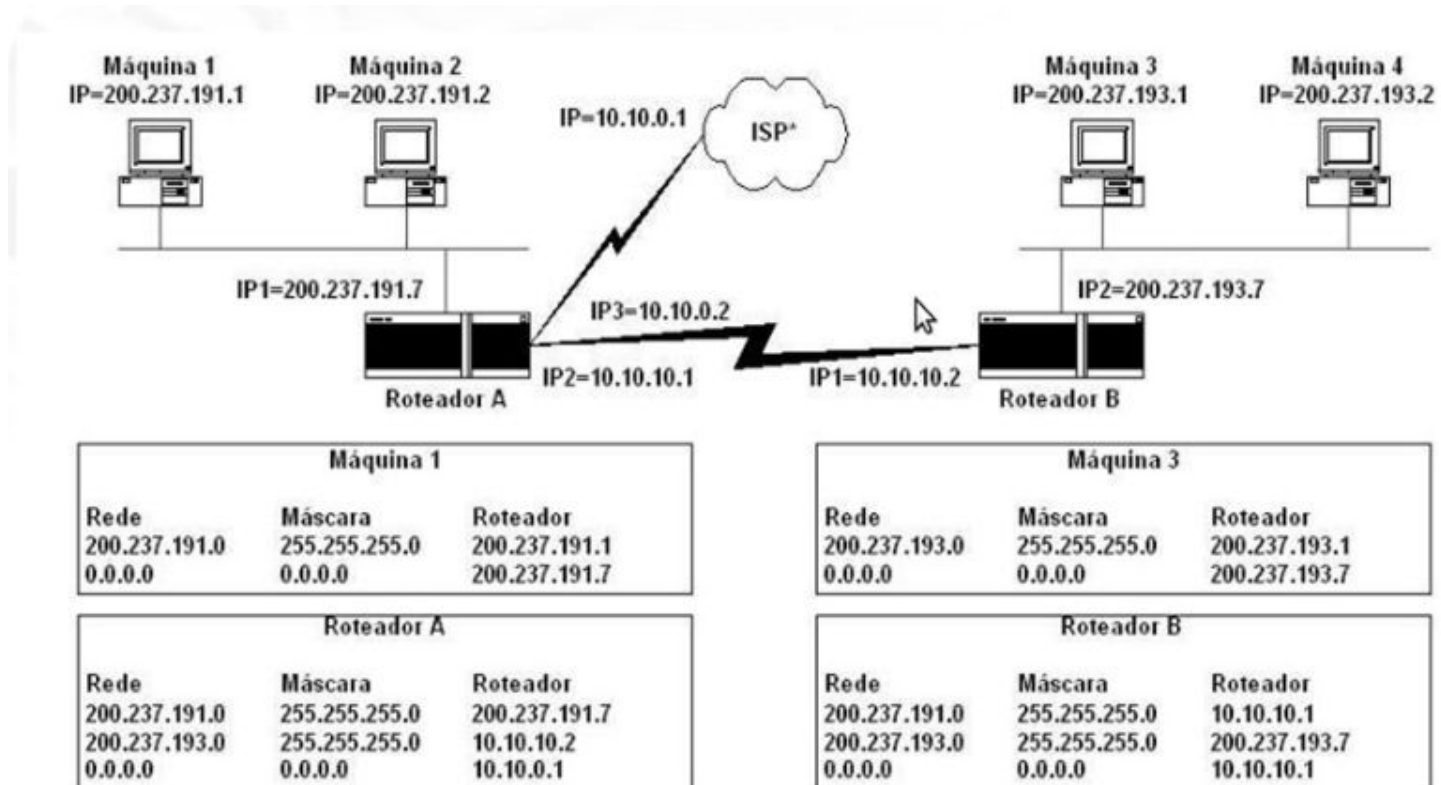
- **Roteadores:**

- A máquina destino está na mesma rede física e pode ser alcançada diretamente?
 - Se sim, ele é o roteador final.
 - Se não, para qual outro roteador entregar o pacote?

ROTEAMENTO - ROTA PADRÃO (*default gateway*)

- A especificação TCP/IP permite que seja definida uma rota padrão, que será usada sempre que não for encontrada nenhuma rota para a rede destino.
- Normalmente, o endereço classe A 0.0.0.0 é usado como sinônimo de default nas tabelas de roteamento.
- Essa entrada diz ao IP para “redirecionar qualquer datagrama não-local para o roteador default, cujo endereço é x.x.x.x.”

ROTEAMENTO - ROTA PADRÃO (*default gateway*)



ROTEAMENTO - COMANDO *route*

- O comando “route” serve para manipular a tabela de rotas. Quando utilizado sem argumentos, exibe a tabela.
- “Route” manipula a tabela de roteamento IP do kernel. Seu principal uso é configurar rotas estáticas para hosts ou redes especificadas através de uma interface, após a mesma ter sido configurada (no caso do Unix, com o programa ifconfig).
- O “route” aceita diversas opções, tais como add, delete e change, e possui vários parâmetros, tais como métrica e interface de saída.
- Podem ser usados nomes em vez de números para identificar redes e máquinas nas rotas.

ROTEAMENTO - COMANDO *route*

```
IPv4 Route Table
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway          Interface        Metric
0.0.0.0                    0.0.0.0          192.168.100.1    192.168.100.149    25
127.0.0.0                  255.0.0.0        On-link          127.0.0.1          331
127.0.0.1                  255.255.255.255  On-link          127.0.0.1          331
127.255.255.255            255.255.255.255  On-link          127.0.0.1          331
192.168.100.0              255.255.255.0    On-link          192.168.100.149    281
192.168.100.149            255.255.255.255  On-link          192.168.100.149    281
192.168.100.255            255.255.255.255  On-link          192.168.100.149    281
224.0.0.0                  240.0.0.0        On-link          127.0.0.1          331
224.0.0.0                  240.0.0.0        On-link          192.168.100.149    281
255.255.255.255            255.255.255.255  On-link          127.0.0.1          331
255.255.255.255            255.255.255.255  On-link          192.168.100.149    281
=====
Persistent Routes:
None

IPv6 Route Table
=====
Active Routes:
If Metric Network Destination      Gateway
11    41  ::/0          fe80::1a3c:b7ff:fe10:19dd
1     331  ::1/128       On-link
11    281  2804:d0c:8046:c300:183c:b710:19dd:8/128
                                           On-link
11    41  2804:d0c:8046:c337::/64  On-link
```


ROTEAMENTO - COMANDO *route*

- Examinando a Tabela de Rotas:
 - Destino: O destino é o host de destino, o endereço de sub-rede, o endereço da rede ou uma rota padrão.
 - Máscara de rede: A máscara de rede é utilizada em conjunto com o destino para determinar quando uma rota é utilizada. Por exemplo, uma rota de host tem uma máscara de 255.255.255.255, uma rota padrão tem uma máscara de 0.0.0.0 e uma rota de rede ou sub-rede tem uma máscara entre esses dois extremos.
 - Uma máscara de 255.255.255.255 significa que apenas uma correspondência exata do destino utiliza essa rota.
 - Uma máscara de 0.0.0.0 significa que qualquer destino pode utilizar essa rota.
 - Gateway: O gateway é o endereço IP do próximo roteador para o qual é necessário enviar um pacote. Em uma conexão de rede local (como Ethernet ou Token Ring), o gateway deve ser alcançável diretamente por esse roteador utilizando a interface indicada na coluna Interface.
 - Interface: Indica a interface de rede que deve ser utilizada para alcançar o próximo roteador.
 - Métrica: A métrica indica o custo relativo da utilização da rota para alcançar o destino. Uma métrica típica são os saltos, ou o número de roteadores a serem atravessados para se alcançar o destino. Se existirem diversos roteadores com o mesmo destino, o roteador com a métrica mais baixa é o melhor roteador.
 - Protocolo: O protocolo indica como a rota foi descoberta.