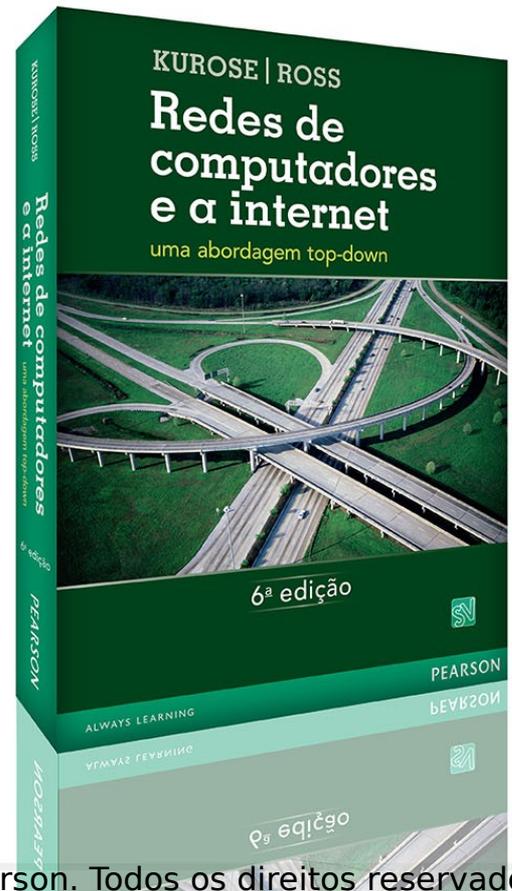


Capítulo 5

Camada de enlace: enlaces, redes de acesso e redes locais



Os serviços fornecidos pela camada de enlace

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Entre os serviços que podem ser oferecidos por um protocolo da camada de enlace, estão:

- Enquadramento de dados.
- Acesso ao enlace.
- Entrega confiável.
- Detecção e correção de erros.

Onde a camada de enlace é implementada?

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

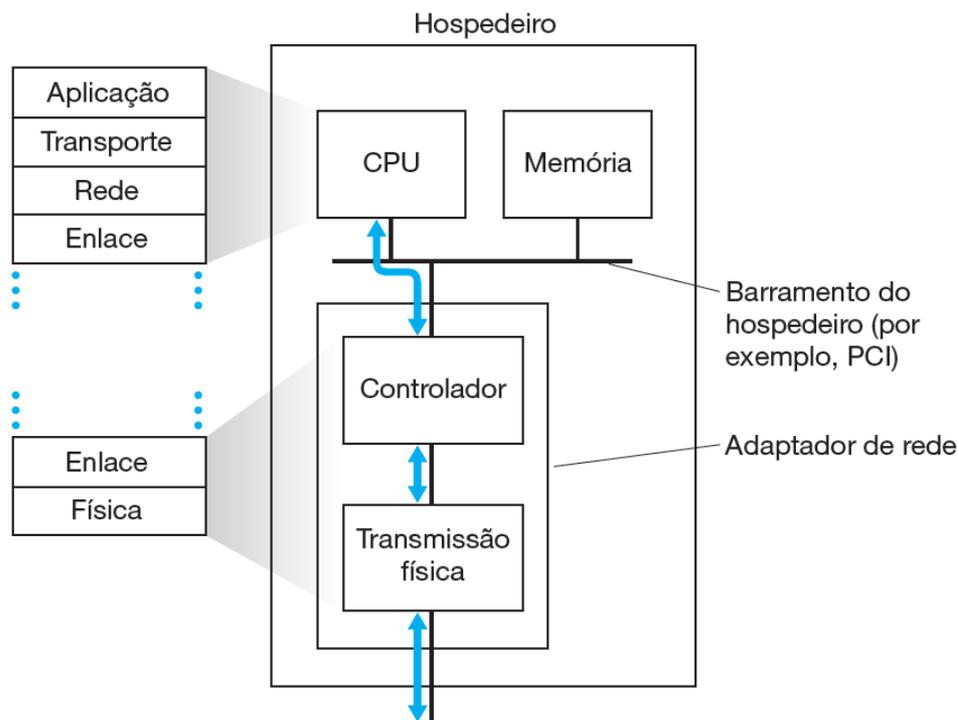
uma abordagem top-down

6ª edição

- A figura a seguir mostra a arquitetura típica de um hospedeiro.
- Na maior parte, a camada de enlace é implementada em um **adaptador de rede**, às vezes também conhecido como **placa de interface de rede (NIC)**.
- No núcleo do adaptador de rede está o controlador da camada de enlace que executa vários serviços da camada de enlace.
- Dessa forma, muito da funcionalidade do controlador da camada de enlace é realizado em hardware.

Onde a camada de enlace é implementada?

- Adaptador de rede: seu relacionamento com o resto dos componentes do hospedeiro e a funcionalidade da pilha de protocolos



Adaptador de rede

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

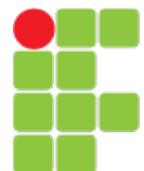
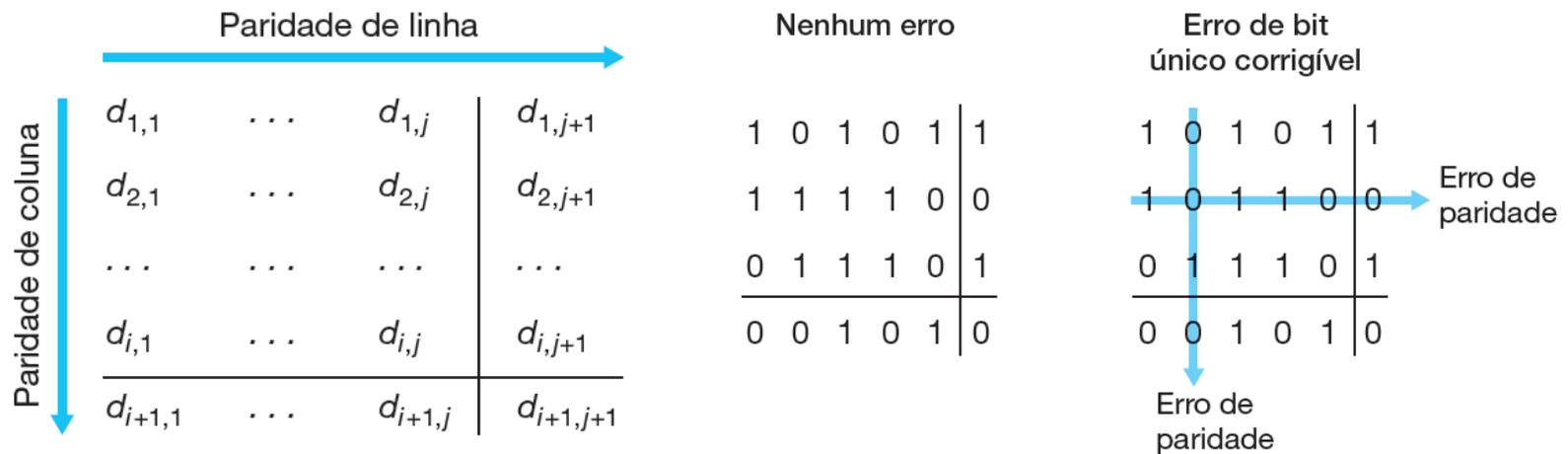
uma abordagem top-down

6ª edição



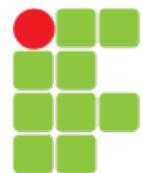
Verificações de paridade

- Talvez a maneira mais simples de detectar erros seja utilizar um único bit de paridade.
- A figura abaixo mostra uma generalização bidimensional do esquema de paridade de bit único.



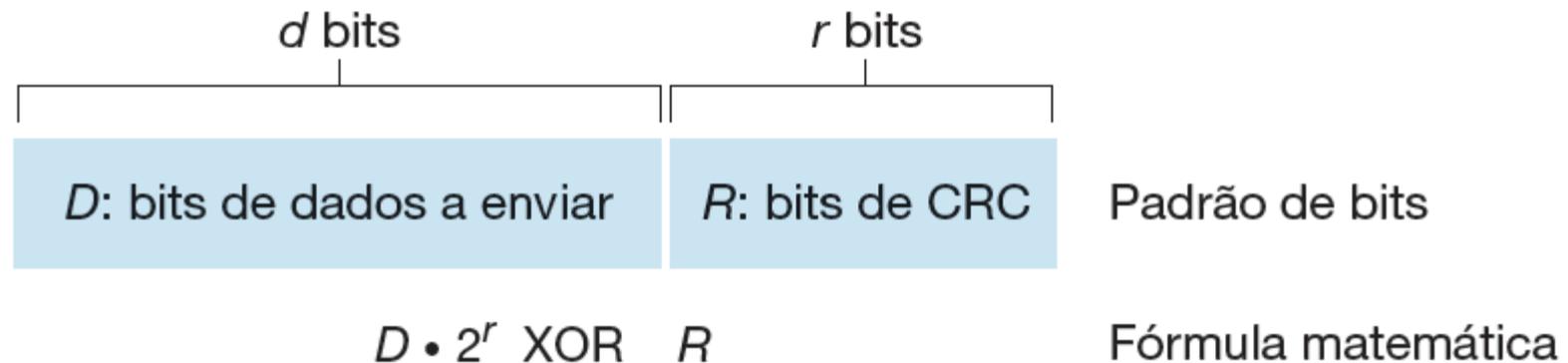
Métodos de soma de verificação

- Um método simples de soma de verificação é somar os inteiros de k bits e usar o total resultante como bits de detecção de erros.
- O complemento de 1 dessa soma forma, então, a soma de verificação da Internet, que é carregada no cabeçalho do segmento.
- No IP, a soma de verificação é calculada sobre o cabeçalho IP.
- Métodos de soma de verificação exigem relativamente pouca sobrecarga no pacote.



Verificação de redundância cíclica (CRC)

- Uma técnica de detecção de erros muito usada nas redes de computadores de hoje é baseada em **códigos de verificação de redundância cíclica (CRC)**.
- Códigos de CRC também são conhecidos como **códigos polinomiais**.



Enlaces e protocolos de acesso múltiplo

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Um **enlace ponto a ponto** consiste em um único remetente em uma extremidade do enlace e um único receptor na outra.
- O **enlace de difusão**, pode ter vários nós remetentes e receptores, todos conectados ao mesmo canal de transmissão único e compartilhado.
- **Protocolos de acesso múltiplo** — através dos quais os nós regulam sua transmissão pelos canais de difusão compartilhados.

Enlaces e protocolos de acesso múltiplo

KUROSE | ROSS

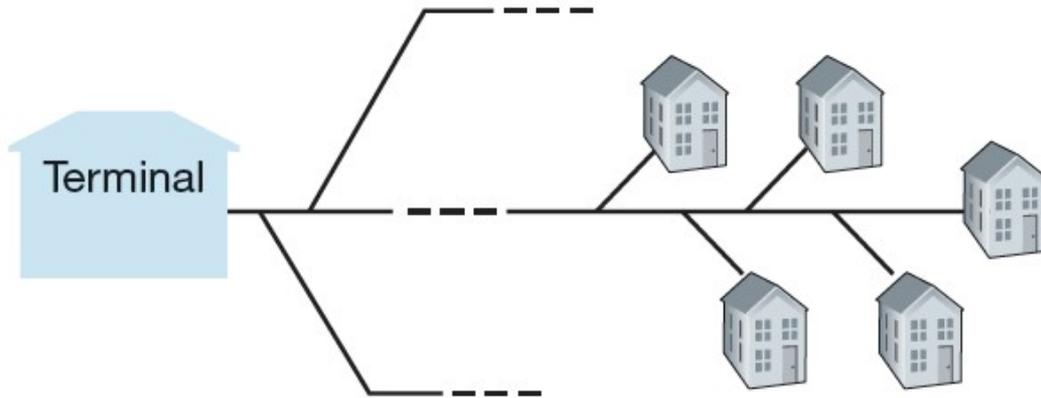
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Vários canais de acesso múltiplo

Compartilhado com fio
(por exemplo, rede de acesso a cabo)



Compartilhado sem fio
(por exemplo, Wi-Fi)



Enlaces e protocolos de acesso múltiplo

KUROSE | ROSS

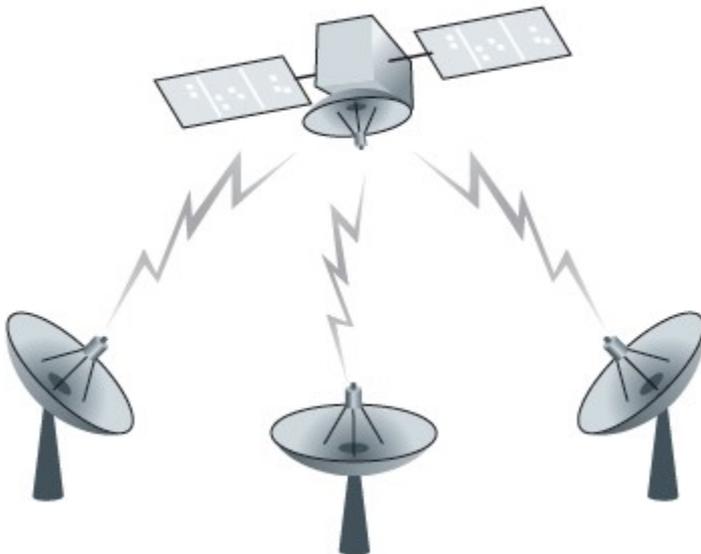
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

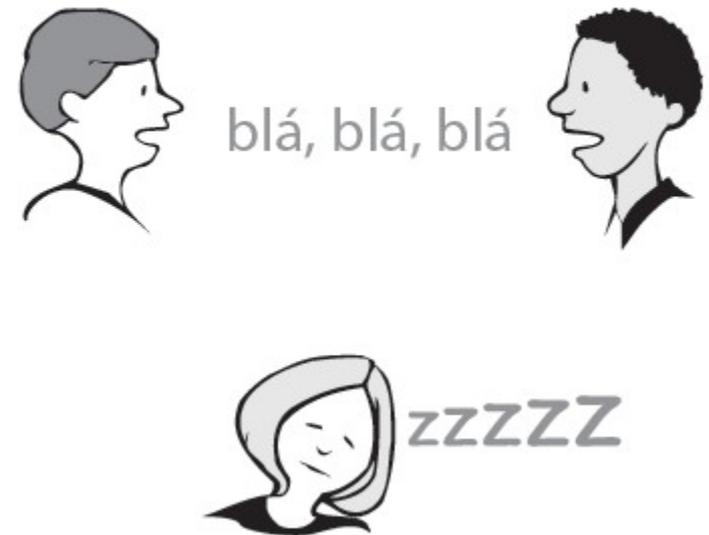
6ª edição

- Vários canais de acesso múltiplo

Satélite



Coquetel



Protocolos de acesso aleatório

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

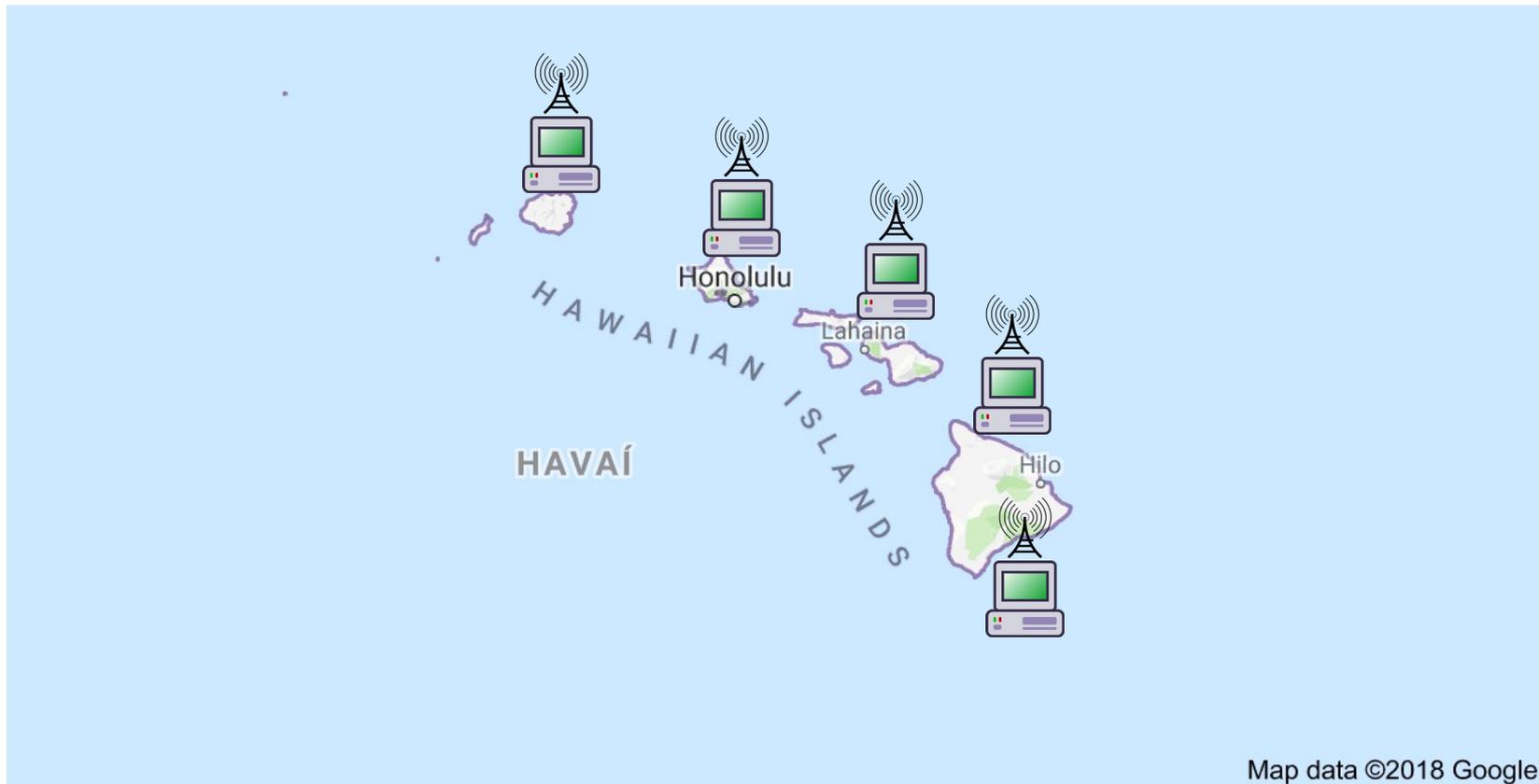
uma abordagem top-down

6ª edição

- Com um protocolo de acesso aleatório, um nó transmissor sempre transmite à taxa total do canal, isto é, R bits/s.
- O *slotted ALOHA* é altamente descentralizado.
- Funciona bem quando há apenas um nó ativo no momento.

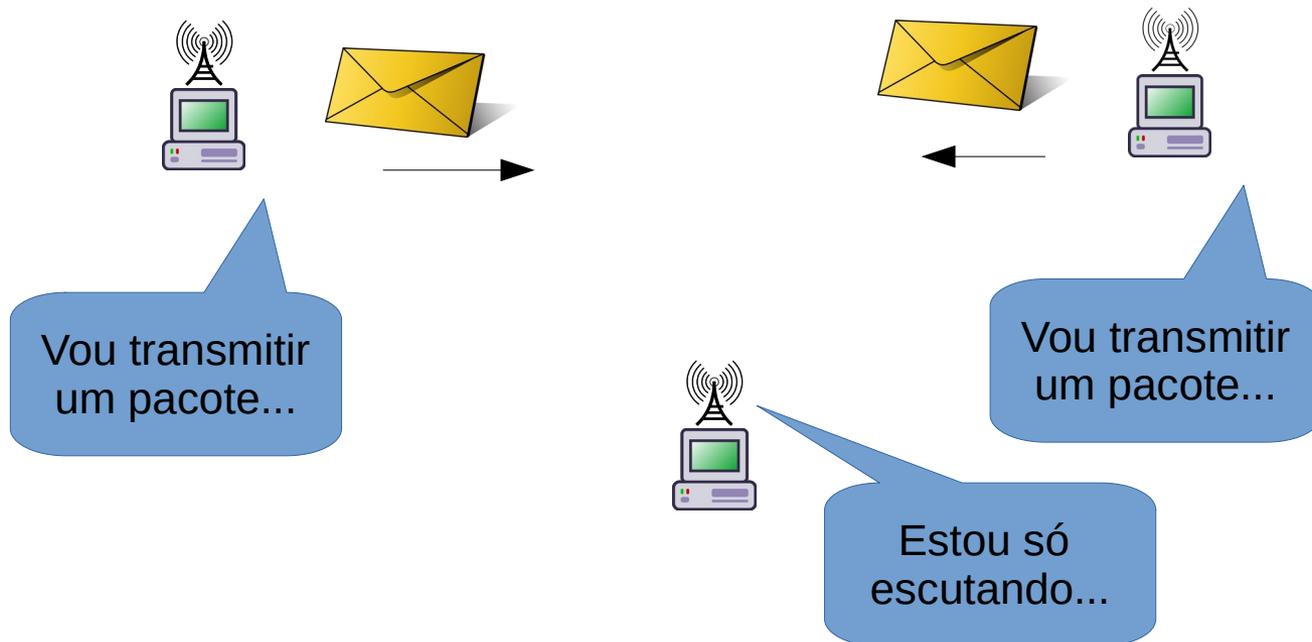
Aloha Puro

Uma das primeiras propostas para comunicação SEM FIO entre computadores no HAVAÍ SEM CONTROLE CENTRAL (controle Distribuído)



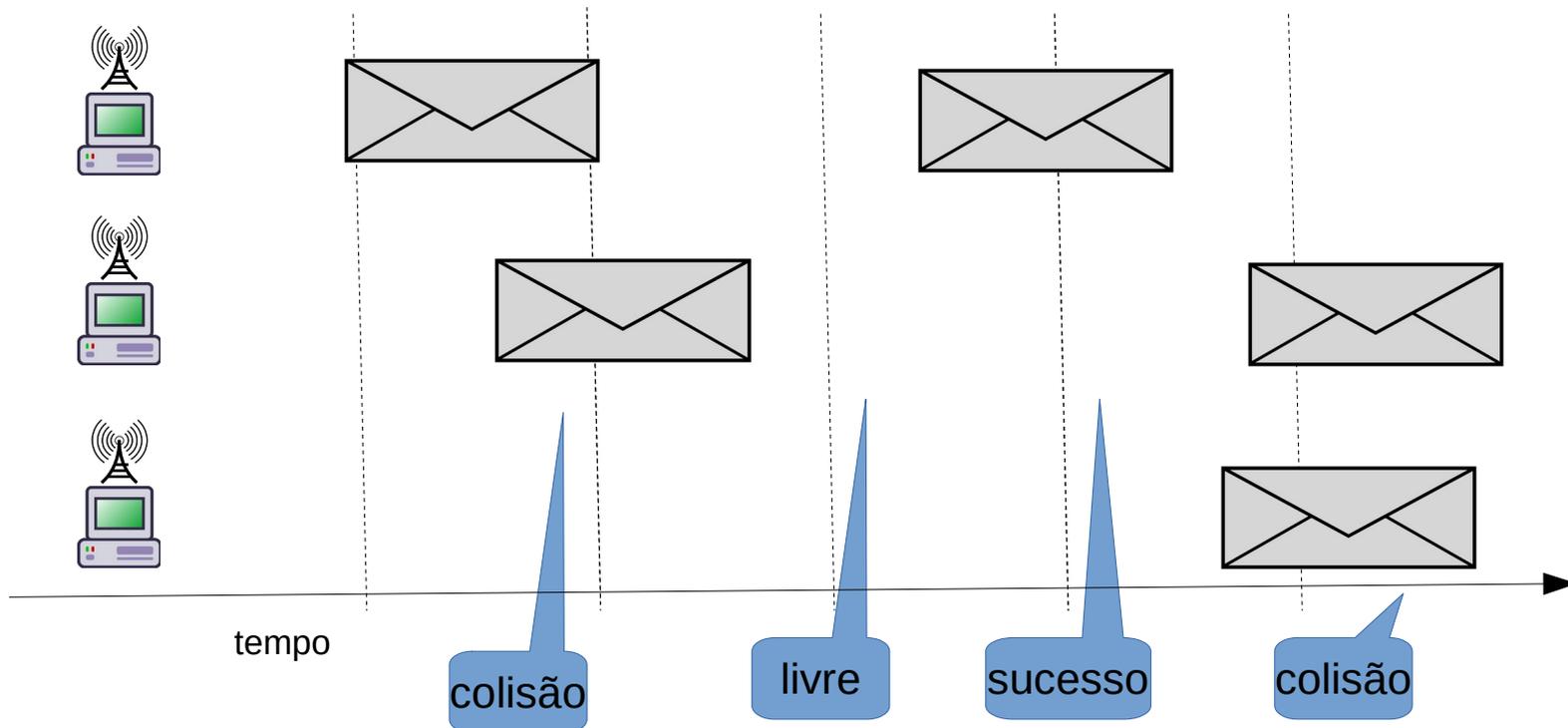
Pressupostos

- Uma estação transmite um pacote “quando quer” e sem “nenhum controle” central. Não verifica se o meio está livre!
- Colisões portanto podem ocorrer e NÃO são DETECTADAS durante a transmissão!



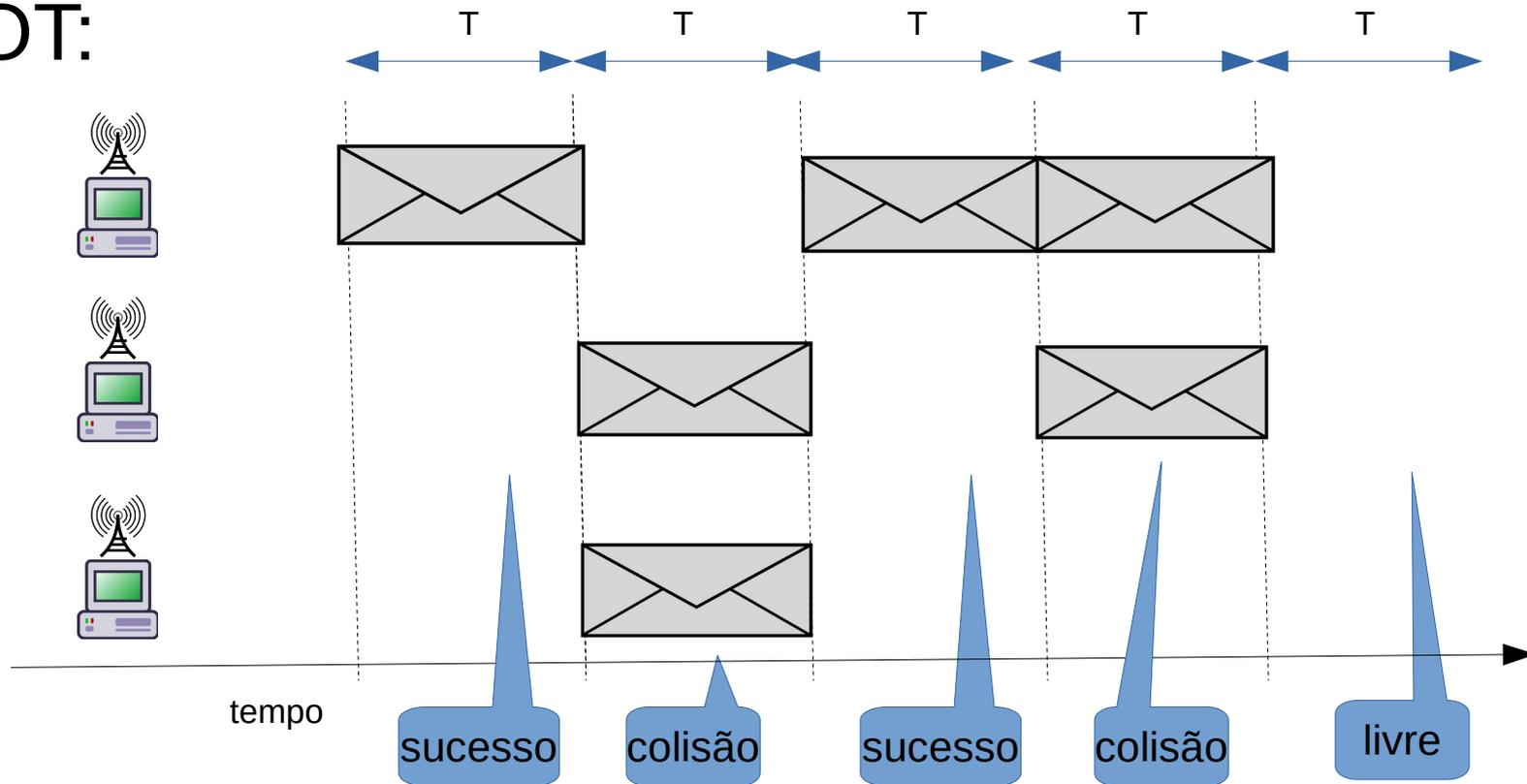
Aloha Puro - Colisões

- A colisão somente pode ser detectada após a transmissão do pacote, seja por reconhecimento seja por outra abordagem...
- Situações de colisão:



Slotted Aloha - Colisões

- Estações transmitem somente no início de um SLOT de tempo. Estações são sincronizadas de forma a saber o início do SLOT:



Slotted Aloha x Aloha Puro

- Em ambos, se somente uma estação transmite, para um pacote de L bytes, consegue-se transmitir a FULL RATE R:

$$R = L / T \text{ bytes por segundo}$$

- Na prática tem-se 37% de eficiência no SLOTTED ALOHA contra 18,3% no ALOHA PURO devido as colisões.
- Ou seja, se a transmissão for de 100Mbps ENTÃO serão usados 37Mbps para transmissão de dados úteis no SLOTTED ALOHA contra 18.3Mbps no ALOHA PURO.



CSMA (acesso múltiplo com detecção de portadora)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Especificamente, há duas regras importantes que regem a conversação educada entre seres humanos:
- *Ouçã antes de falar.* Se uma pessoa estiver falando, espere até que ela tenha terminado. No mundo das redes, isso é denominado **detecção de portadora** — um nó ouve o canal antes de transmitir.
- *Se alguém começar a falar ao mesmo tempo que você, pare de falar.* No mundo das redes, isso é denominado **detecção de colisão** — um nó que está transmitindo ouve o canal enquanto transmite.

CSMA (acesso múltiplo com detecção de portadora)

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Essas duas regras estão incorporadas na família de protocolos de **acesso múltiplo com detecção de portadora (CSMA)** e **CSMA com detecção de colisão (CSMA/CD)**.
- Se todos os nós realizam detecção de portadora, por que ocorrem colisões no primeiro lugar?

Colisões CSMA

colisões ainda *podem* ocorrer:

atraso de propagação significa que dois nós podem não ouvir a transmissão um do outro

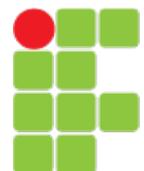
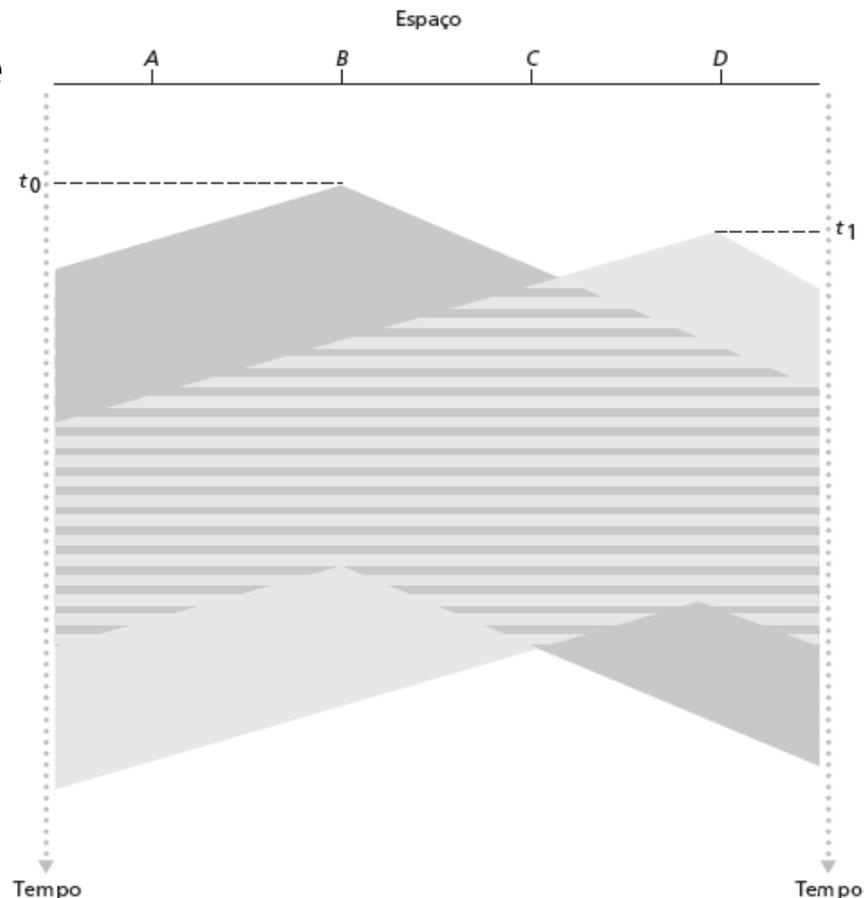
colisão:

tempo de transmissão de pacote inteiro desperdiçado

nota:

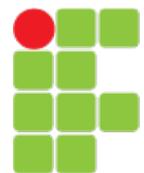
papel da distância & atraso de propagação determinando probabilidade de colisão (comprimento máximo de cabo)

layout espacial dos nós

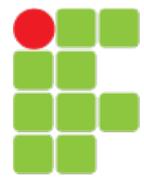
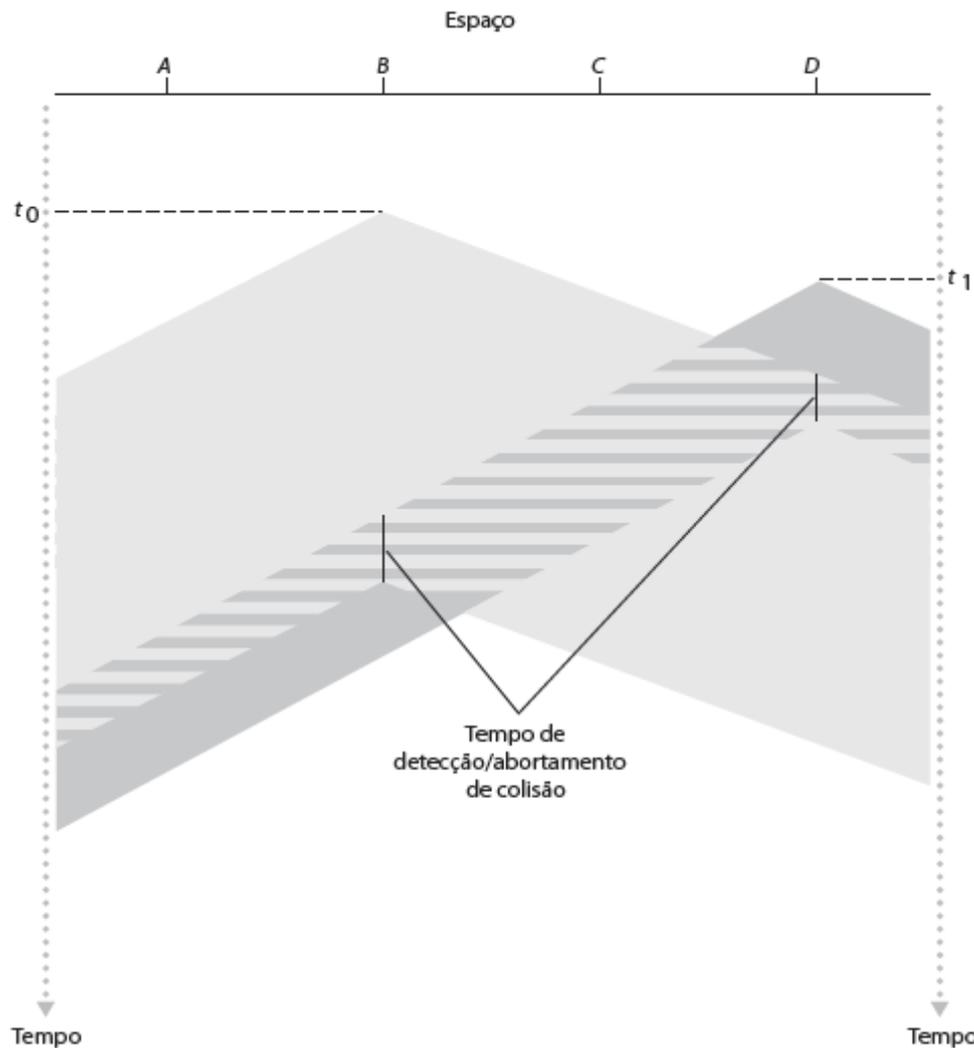


CSMA/CD (*Collision Detection*)

- CSMA/CD:** detecção de portadora, adiada como no CSMA
- colisões *detectadas* dentro de pouco tempo
 - transmissões colidindo abortadas, reduzindo desperdício do canal
 - detecção de colisão:
 - fácil em LANs com fio: mede intensidades de sinal, compara sinais transmitidos, recebidos
 - difícil nas LANs sem fio: intensidade do sinal recebido abafada pela intensidade da transmissão local
 - analogia humana: o interlocutor educado

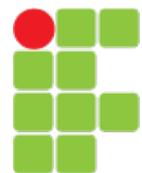


Detecção de colisão CSMA/CD



Protocolos de revezamento

- O protocolo de *polling* elimina as colisões e os intervalos vazios que atormentam os protocolos de acesso aleatório, e isso permite que ele tenha uma eficiência muito maior, mas tem o nó mestre: único ponto de falha.
- No protocolo de passagem de permissão não há nó mestre.
- Um pequeno quadro de finalidade especial conhecido como uma **permissão** (*token*) é passado entre os nós obedecendo a uma determinada ordem fixa.

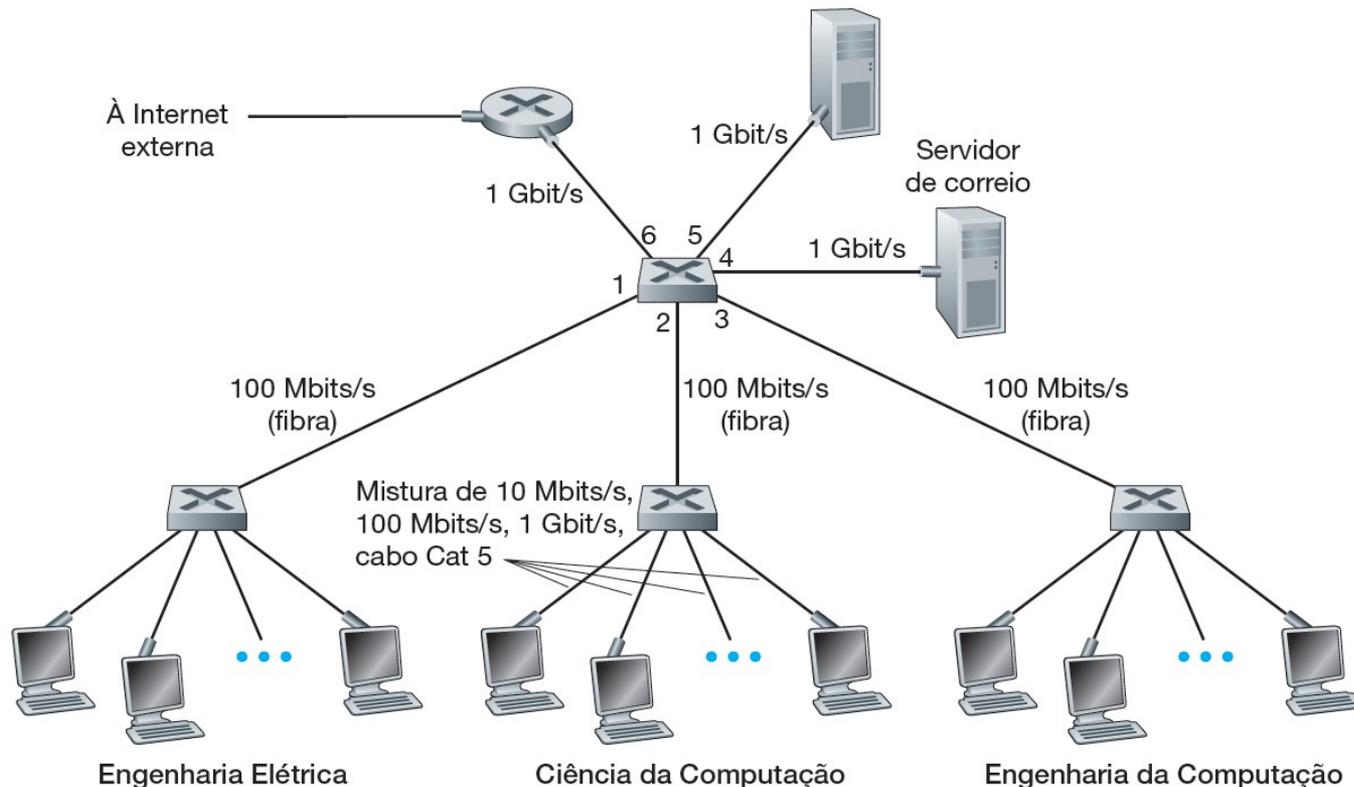


Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Uma rede institucional conectada por quatro comutadores



Ethernet

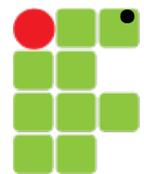
- A Ethernet praticamente tomou conta do mercado de LANs com fio.
- Há muitas razões para o sucesso da Ethernet:
 1. Ela foi a primeira LAN de alta velocidade amplamente disseminada.
 2. Token ring, FDDI e ATM são tecnologias mais complexas e mais caras do que a Ethernet, o que desencorajou ainda mais os administradores na questão da mudança.

Ethernet

3. A Ethernet sempre produziu versões que funcionavam a velocidades iguais, ou mais altas.
 4. O hardware para Ethernet passou a ser mercadoria comum, de custo muito baixo.
- Estrutura do quadro Ethernet



- Preâmbulo: $7 \times 10101010 + 10101011$: despertam e sincronizam os receptores (10 Mb/s, 100 Mb/s e 1Gb/s).
- Tipo: indica o protocolo da camada de rede: IP, ARP, IPX...
- Dados: min 46 bytes e máximo 1500 bytes.
- CRC: erro \implies nenhum aviso a ninguém!



Interligação de *hosts* na camada de enlace

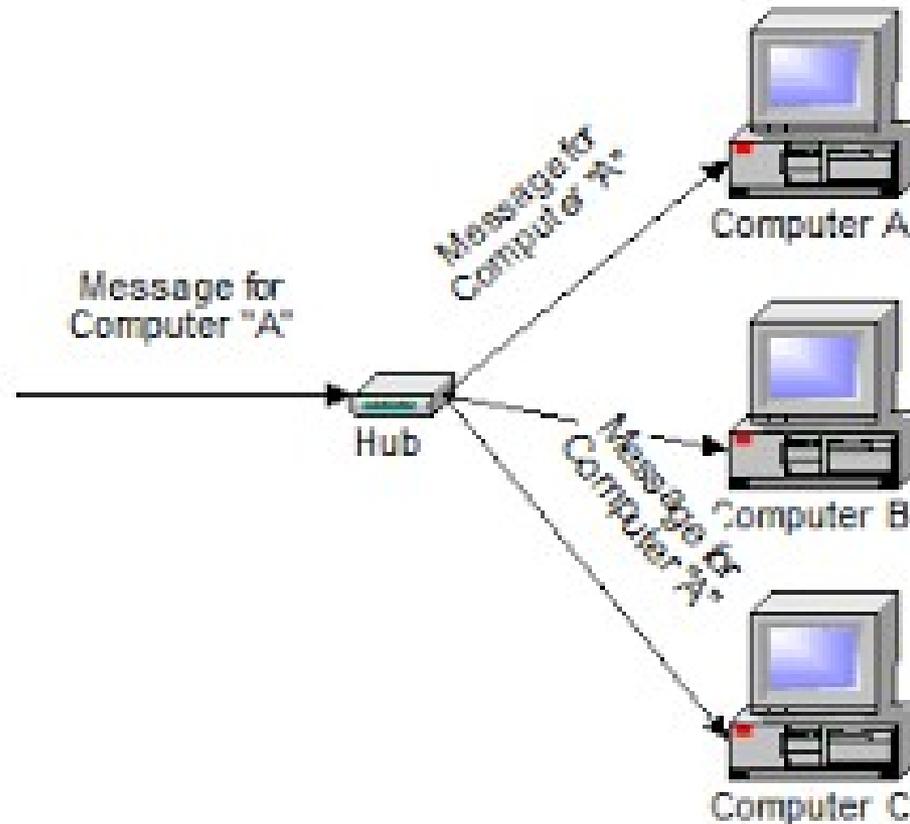
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- HUB



Interligação de *hosts* na camada de enlace

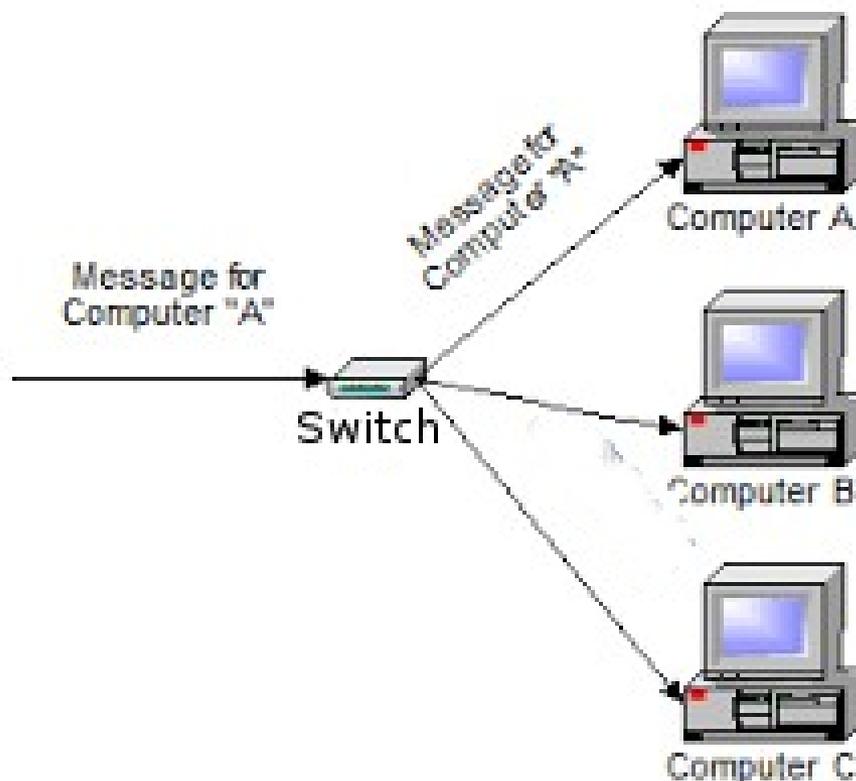
KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Switch



Comutadores da camada de enlace

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- A função de um comutador é receber quadros da camada de enlace e repassá-los para enlaces de saída.
- O comutador em si é **transparente** aos hospedeiros e roteadores na sub-rede.
- **Filtragem** é a capacidade de um comutador que determina se um quadro deve ser repassado ou se deve apenas ser descartado.
- **Repasse** é a capacidade de um comutador que determina as interfaces para as quais um quadro deve ser dirigido e então dirigir o quadro a essas interfaces.

Comutadores da camada de enlace

KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

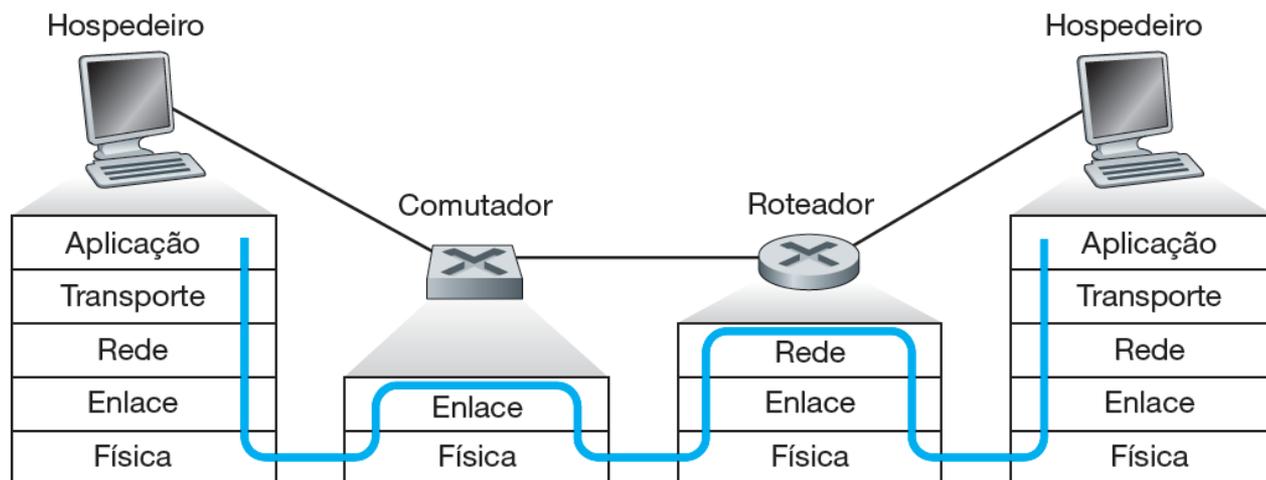
uma abordagem top-down

6ª edição

Podemos identificar diversas vantagens no uso de comutadores:

- Eliminação de colisões.
- Enlaces heterogêneos.
- Gerenciamento.

Processamento de pacotes em comutadores, roteadores e hospedeiros:



Endereçamento na camada de enlace e ARP

KUROSE | ROSS

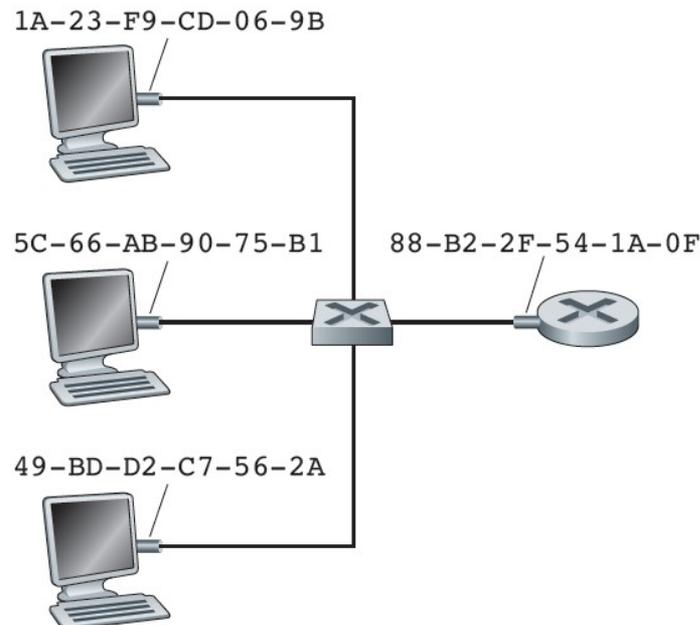
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

Endereços MAC

- Cada interface conectada à LAN tem um endereço MAC exclusivo



Endereçamento na camada de enlace e ARP

KUROSE | ROSS

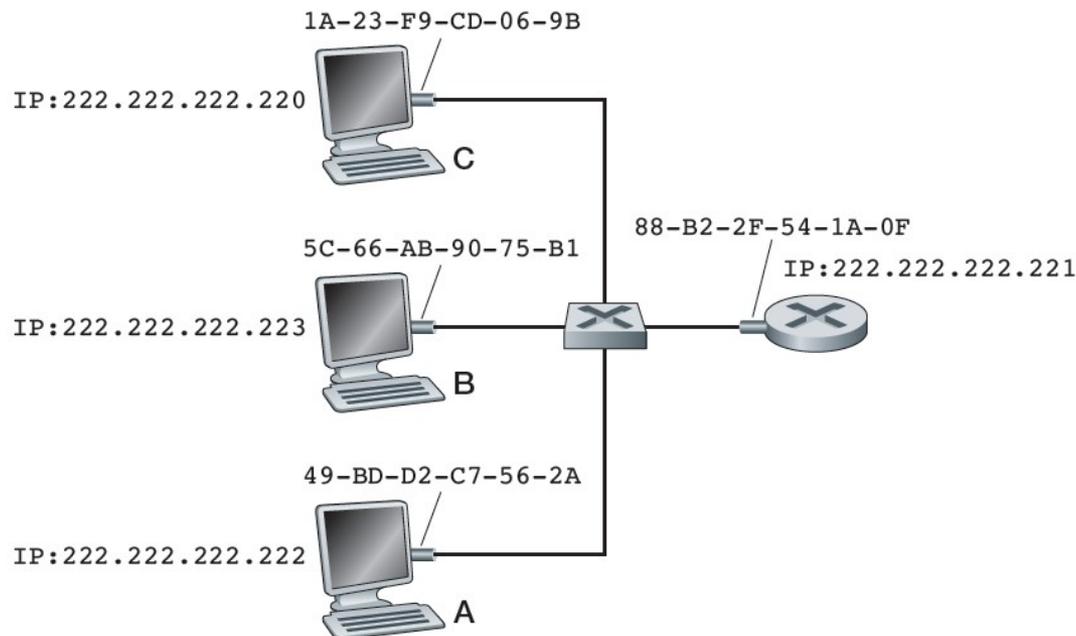
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

ARP no IPv4 e *Neighbor Discover* no IPv6

- Cada interface em uma LAN tem um endereço IP e um endereço MAC



Endereçamento na camada de enlace e ARP

KUROSE | ROSS

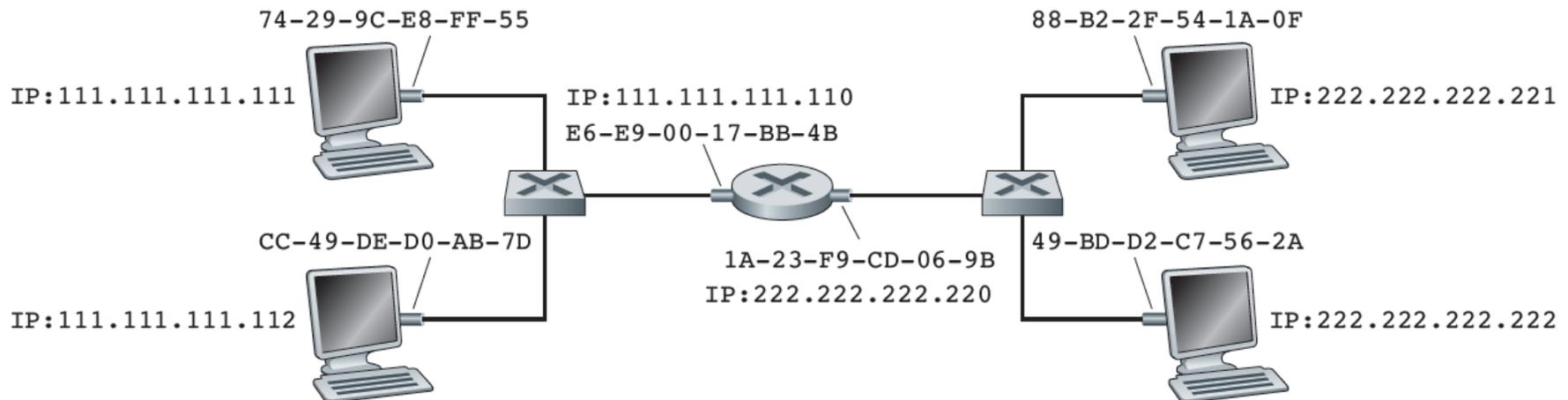
Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

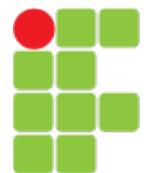
Envio de um datagrama para fora da sub-rede

- Duas sub-redes interconectadas por um roteador

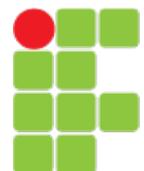
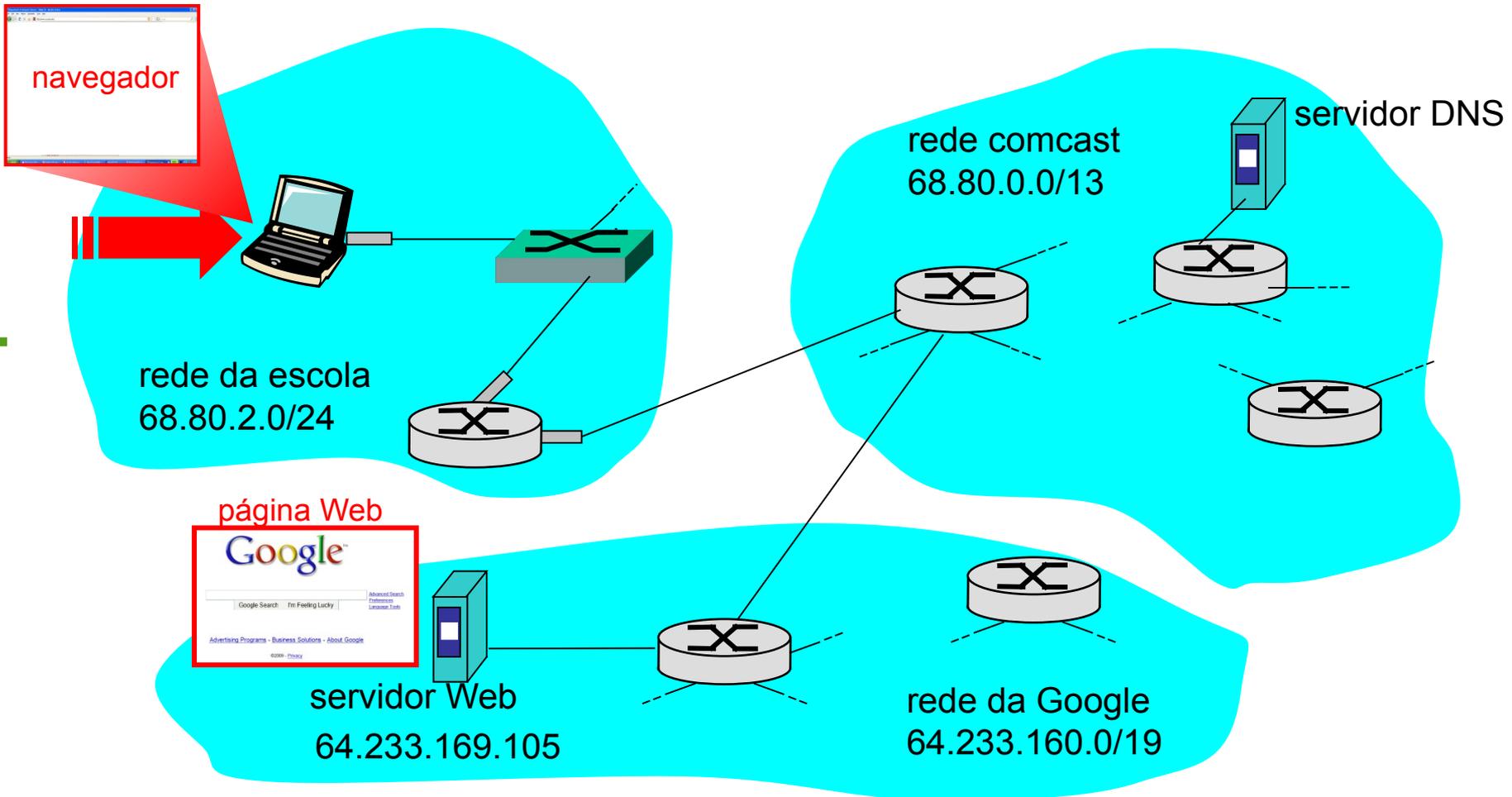


Síntese: um dia na vida de uma solicitação Web

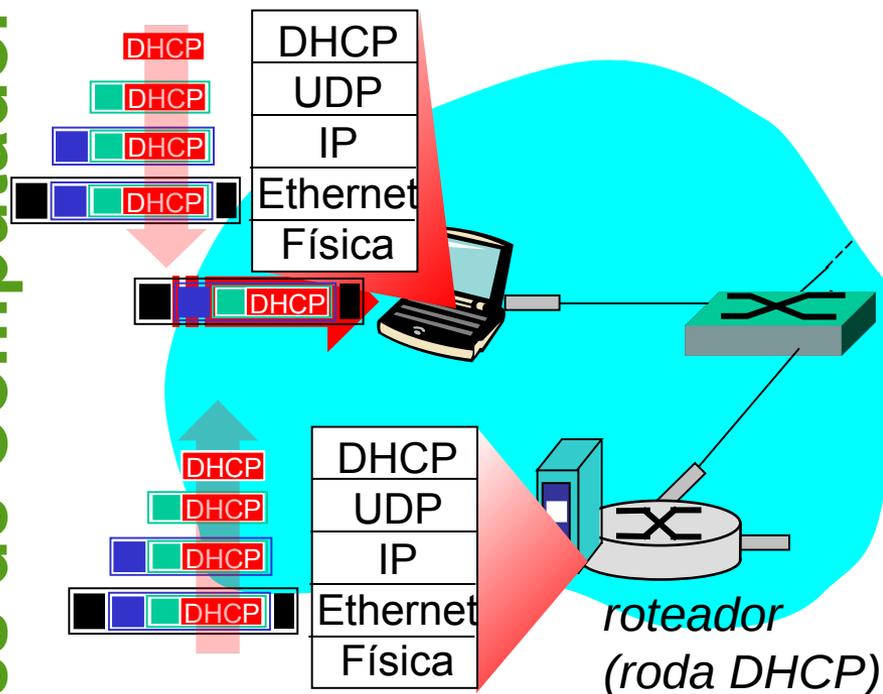
- viagem pela pilha de protocolos completa!
 - aplicação, transporte, rede, enlace
- juntando tudo: síntese!
 - *objetivo*: identificar, analisar, entender os protocolos (em todas as camadas) envolvidos no cenário aparentemente simples: solicitar página WWW
 - *cenário*: aluno conecta laptop à rede do campus, solicita/recebe `www.google.com`



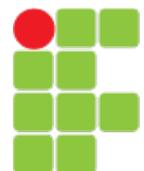
Um dia na vida: cenário

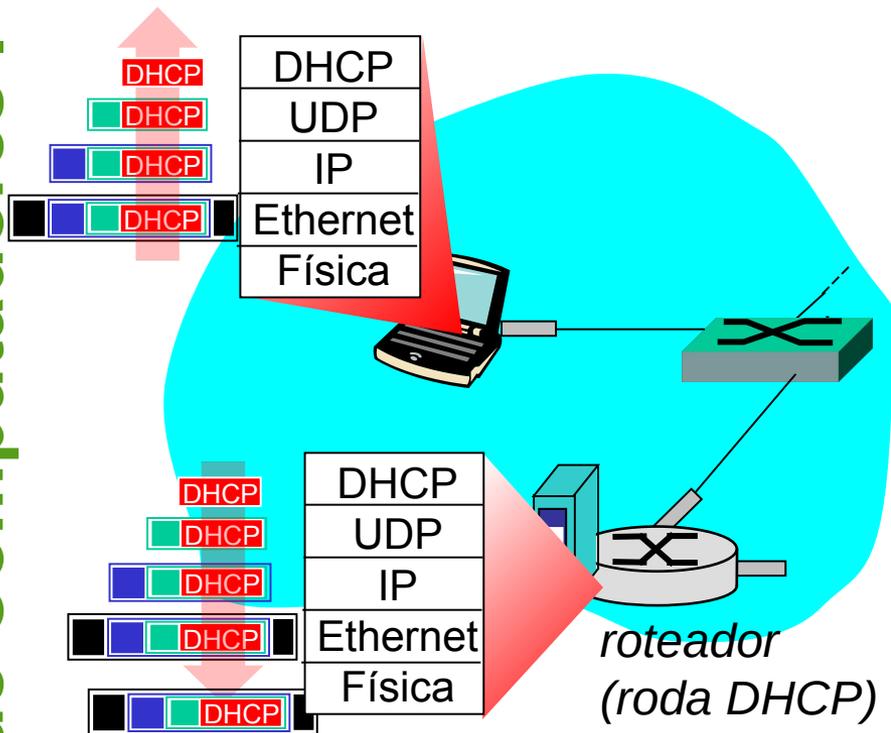


Um dia na vida... conectando à Internet



- o laptop conectando precisa obter seu próprio endereço IP, end. do roteador do 1º salto e do servidor DNS: use **DHCP**
- Solicitação DHCP **encapsulada** no **UDP**, encapsulada no **IP**, encapsulada na Ethernet **802.1**
- Quadro Ethernet enviado por **broadcast** (dest.: FFFFFFFFFFFFFFFF) na LAN, recebido no roteador rodando servidor **DHCP**
- Ethernet **demultiplexado** para IP demultiplexado, UDP demultiplexado para DHCP

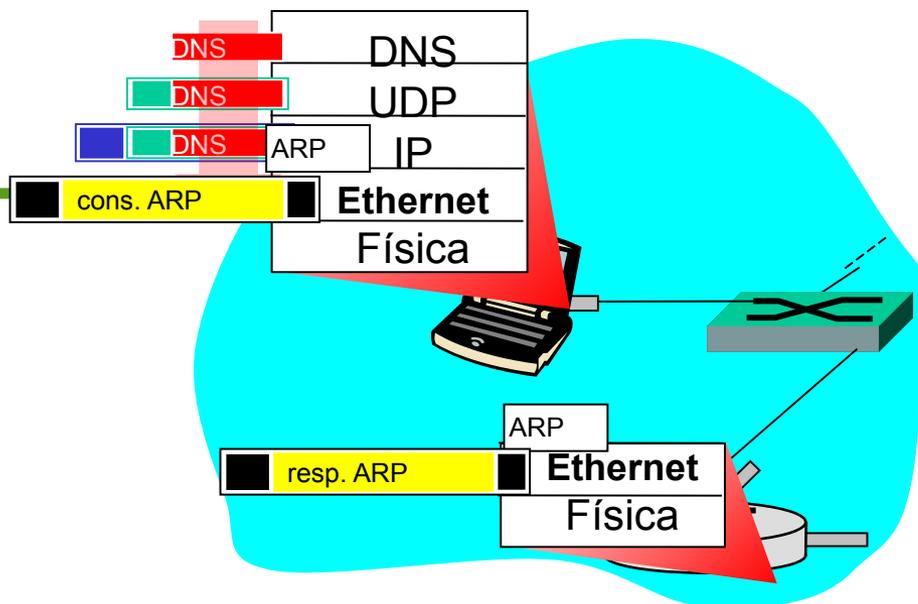




- Servidor DHCP formula **ACK DHCP** contendo endereço IP do cliente, IP do roteador no 1º salto para cliente, nome & endereço IP do servidor DNS
- Encapsulamento no servidor DHCP, quadro repassado (*aprendizagem do comutador*) através da LAN, demultiplexando no cliente
- Cliente DHCP recebe resposta ACK do DHCP

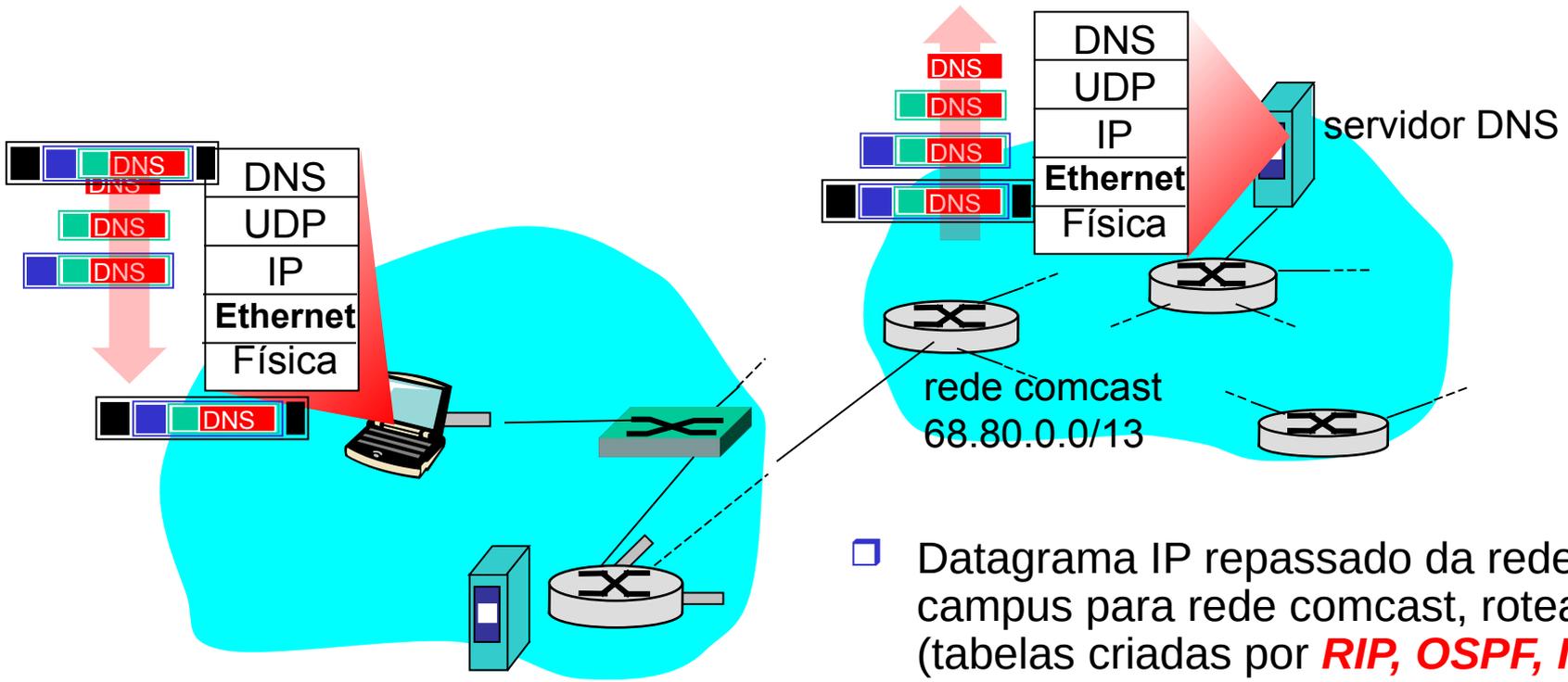
Cliente agora tem endereço IP, sabe nome e endereço do servidor DNS, endereço IP do seu roteador no primeiro salto

Um dia na vida... ARP (antes do DNS, antes do HTTP)



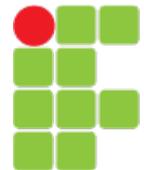
- Antes de enviar solicitação **HTTP**, precisa de endereço IP de **www.google.com**: **DNS**
- Consulta DNS criada, encaps. no UDP, no IP, na Ethernet. Para enviar quadro ao roteador, precisa de endereço MAC da interface do roteador: **ARP**
- Broadcast da **consulta ARP**, recebido pelo roteador, que responde com **resposta ARP** dando endereço MAC da interface do roteador
- cliente agora sabe endereço MAC do roteador no 1º salto, e agora pode enviar quadro contendo consulta DNS

Um dia na vida... usando DNS

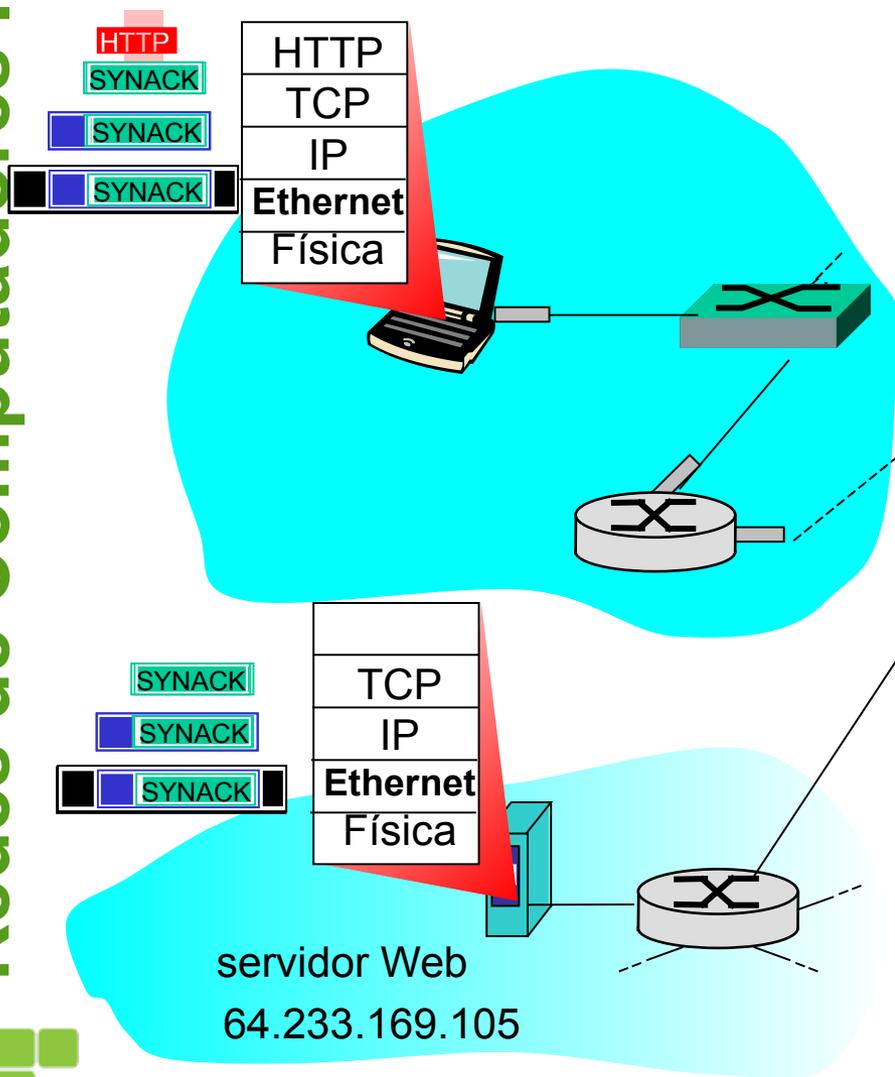


- Datagrama IP contendo consulta DNS repassada via comutador da LAN do cliente ao roteador do 1º salto

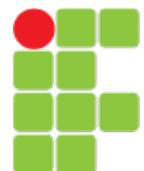
- Datagrama IP repassado da rede do campus para rede comcast, roteado (tabelas criadas por **RIP, OSPF, IS-IS** e/ou protocolos de roteamento **BGP**) ao servidor DNS
- demultiplexado ao servidor DNS
- Servidor DNS responde ao cliente com endereço IP de www.google.com



Um dia na vida... conexão TCP transportando HTTP



- para enviar solicitação HTTP, cliente primeiro abre **socket TCP** com servidor Web
- **segmento SYN** TCP (etapa 1 na apresentação de 3 vias) **roteado interdomínio** com servidor Web
- servidor Web responde com **SYNACK TCP** (etapa 2 na apresentação de 3 vias)
- **Conexão TCP estabelecida.**



Um dia na via... solicitação/ resposta HTTP

