

# Redes de Computadores

## Introdução

**Nota:** a maioria dos slides dessa apresentação são traduzidos ou adaptados dos slides disponibilizados gratuitamente pelos autores do livro [KUROSE, James F. e ROSS, Keith W. \*Computer Networking: A Top-Down Approach.\* 8<sup>th</sup> Edition. Pearson, 2020.](#) Todo o material pertencente aos seus respectivos autores está protegido por direito autoral.

# Chapter 1

# Introduction

## A note on the use of these PowerPoint slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part.

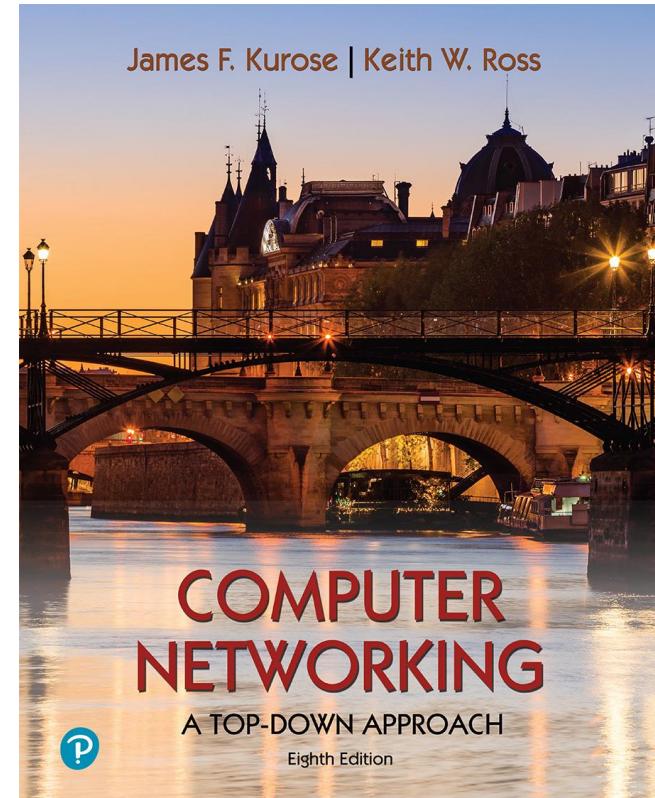
In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

For a revision history, see the slide note for this page.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2020  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



*Computer Networking: A  
Top-Down Approach*  
8<sup>th</sup> edition  
Jim Kurose, Keith Ross  
Pearson, 2020

# Capítulo 1: introdução

## *Objetivo do capítulo:*

- Obter “sensação”, “visão geral”, introdução à terminologia
  - mais profundidade, detalhes *mais tarde* no curso



## *Visão geral / roteiro :*

- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- **Borda da rede:** hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- **Núcleo da rede:** comutação de pacotes/circuitos, estrutura da internet
- **Desempenho:** perda, atraso, vazão
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- Segurança
- História

# A Internet: uma visão básica



Bilhões de *dispositivos* de computação conectados:

- *hospedeiros* = sistemas finais
- executando *aplicações* de rede na “borda” da Internet

*Comutadores de pacotes*: encaminham pacotes (pedaços de dados)

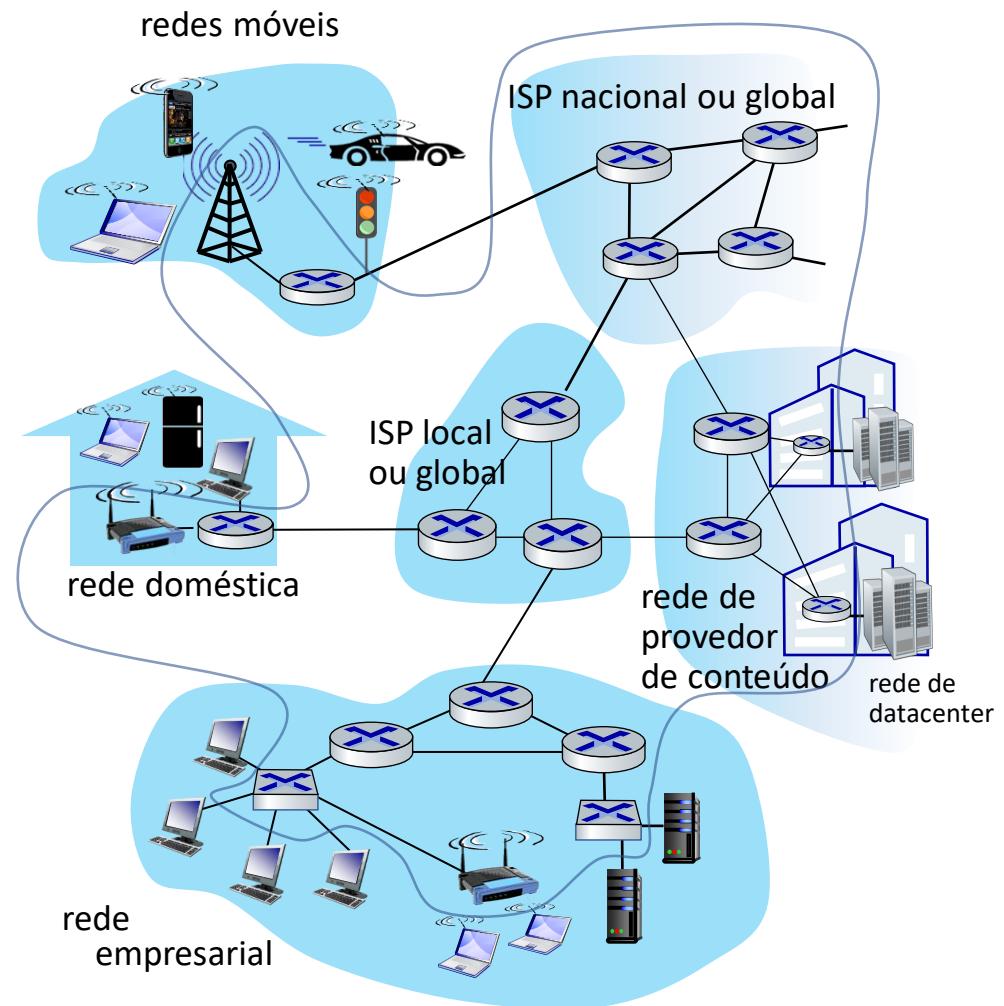
- roteadores, switches

*Enlaces de comunicación*

- fibra, cobre, rádio, satélite
- taxa de transmissão: *largura de banda*

*Redes*

- coleção de dispositivos, roteadores, enlaces: gerenciados por uma organização



# Dispositivos “legais” conectados à Internet



Amazon Echo



Geladeira com Internet



Câmeras de Segurança



Internet phones



Porta Retratos IP



Slingbox: remote control cable TV



Dispositivos de jogos



Marcapasso e monitor



Torradeira habilitada para web + previsão do tempo



colchões com sensores



Tweet-a-watt:  
monitors uso de energia

bicicletas



carros



scooters



Dispositivos de Realidade Aumentada

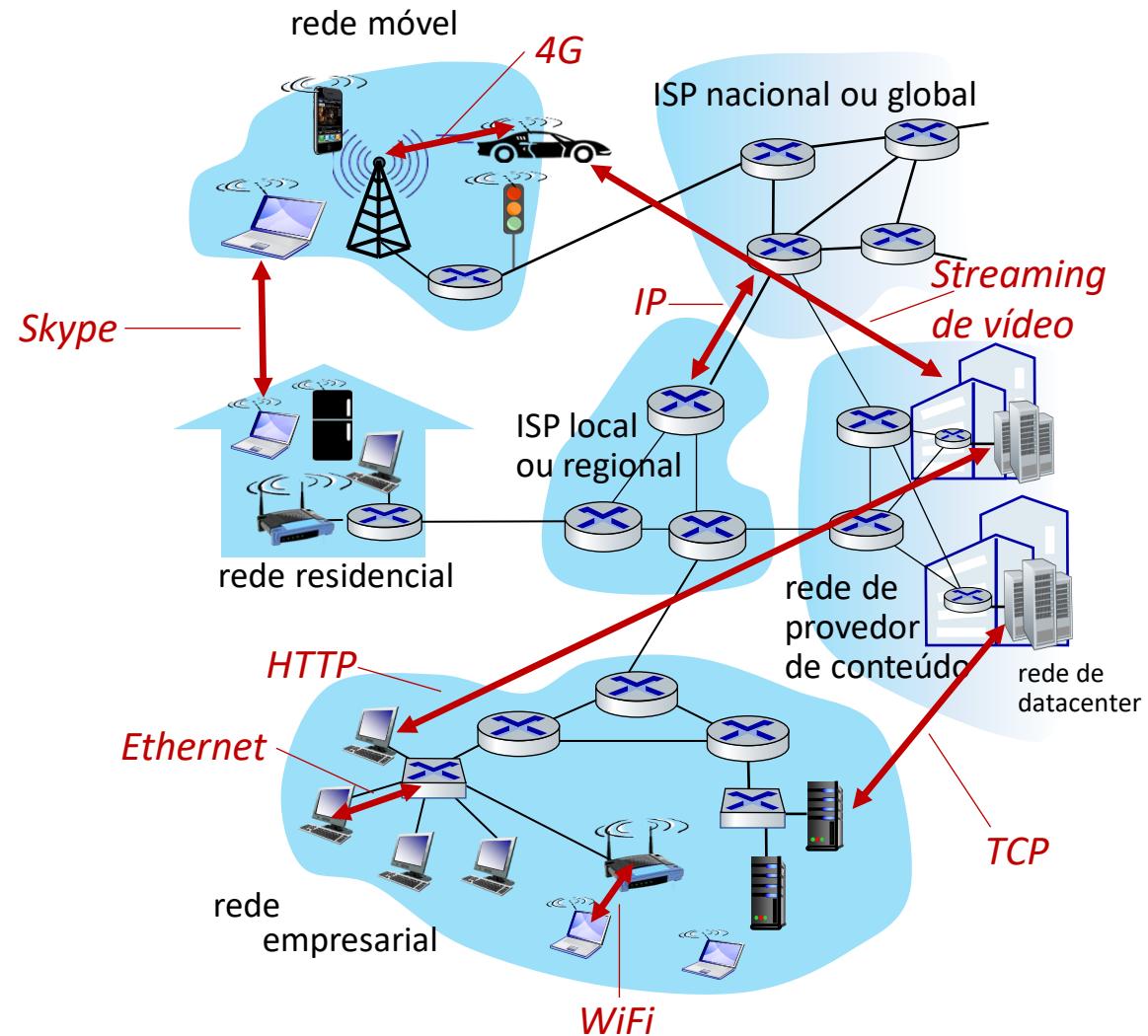


Fitbit

Outros?

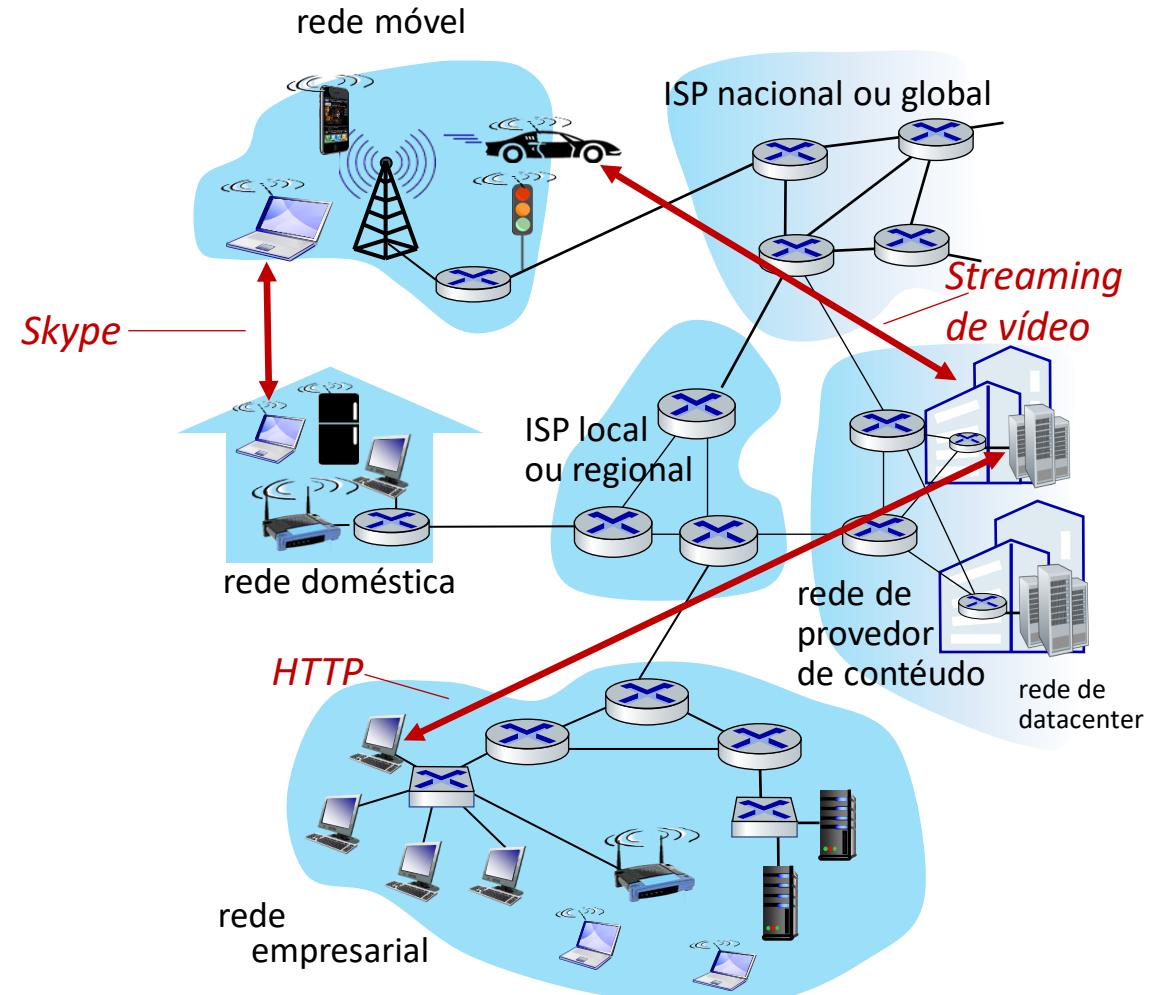
# A Internet: uma visão básica

- *Internet: “rede de redes”*
  - ISPs interconectados
- *protocolos* estão *em todo lugar*
  - controle de envio e recebimento de mensagens
  - ex.: HTTP (Web), streaming de vídeo, Skype, TCP, IP, WiFi, 4G, Ethernet
- *Padrões de Internet*
  - RFC: Request for Comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



# A Internet: uma visão de “serviços”

- *Infraestrutura* que fornece serviço para aplicativos:
  - Web, streaming de vídeo, teleconferência multímidia, email, jogos, comércio eletrônico, mídia social, aparelhos interconectados, ...
- fornece uma *interface de programação* para aplicações distribuídas:
  - “ganchos” que permitem que aplicativos que enviam/recebem dados se “conectem” para usar o serviço de transporte da Internet
  - oferece opções de serviço, análogas ao serviço postal



# O que é um protocolo?

## *Protocolos humanos:*

- “que horas são?”
- “tenho uma pergunta”
- apresentações de pessoas

Regras para:

- ... mensagens específicas envia
- ... ações específicas tomadas quando uma mensagem ou outros eventos são recebidos

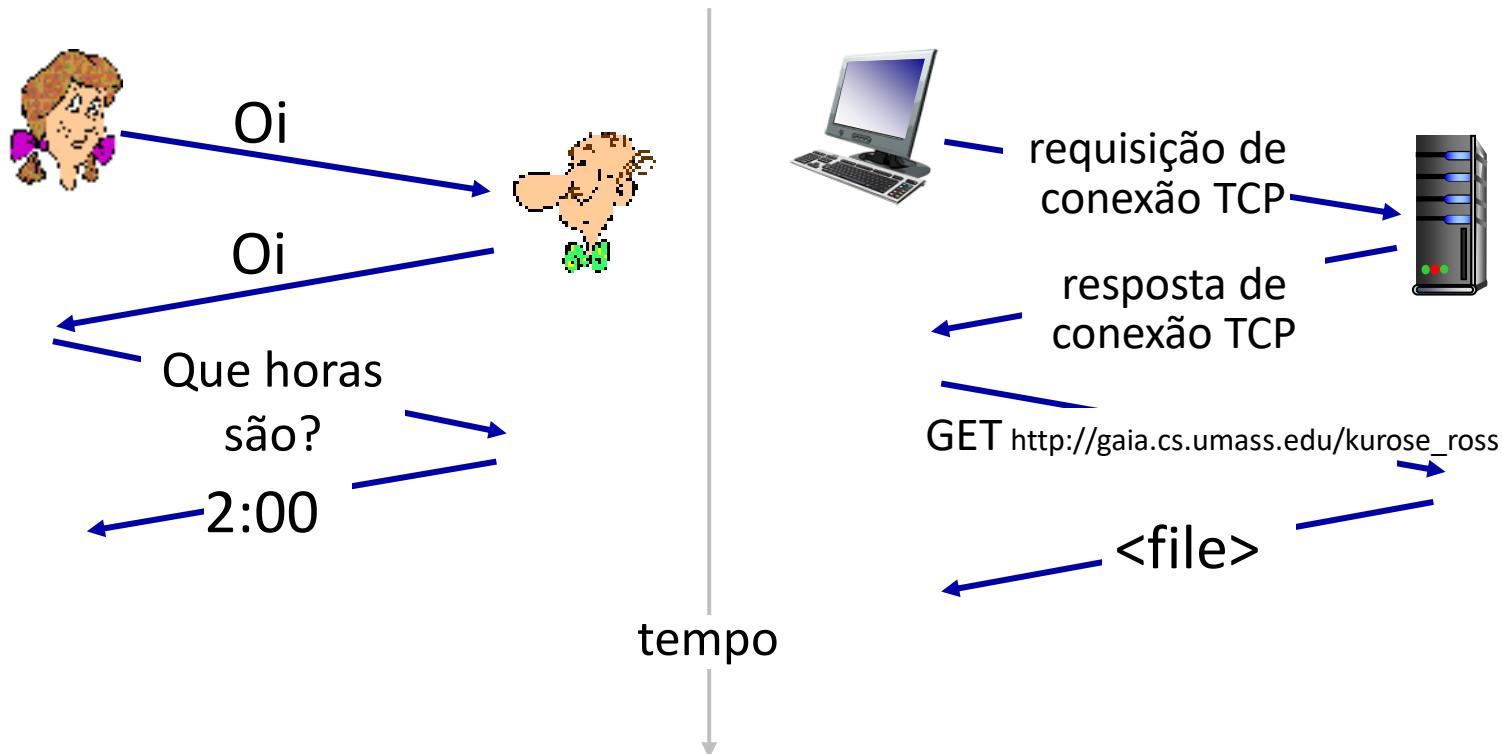
## *Protocolos de rede:*

- computadores (dispositivos) em vez de humanos
- todas as atividades de comunicação na Internet regidas por protocolos

*Protocolos definem o formato e ordem de mensagens enviadas e recebidas entre entidades de rede, e ações tomadas na transmissão e recepção de mensagens*

# O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de redes de computadores:



*Q:* outros protocolos humanos?

# Capítulo 1: roteiro

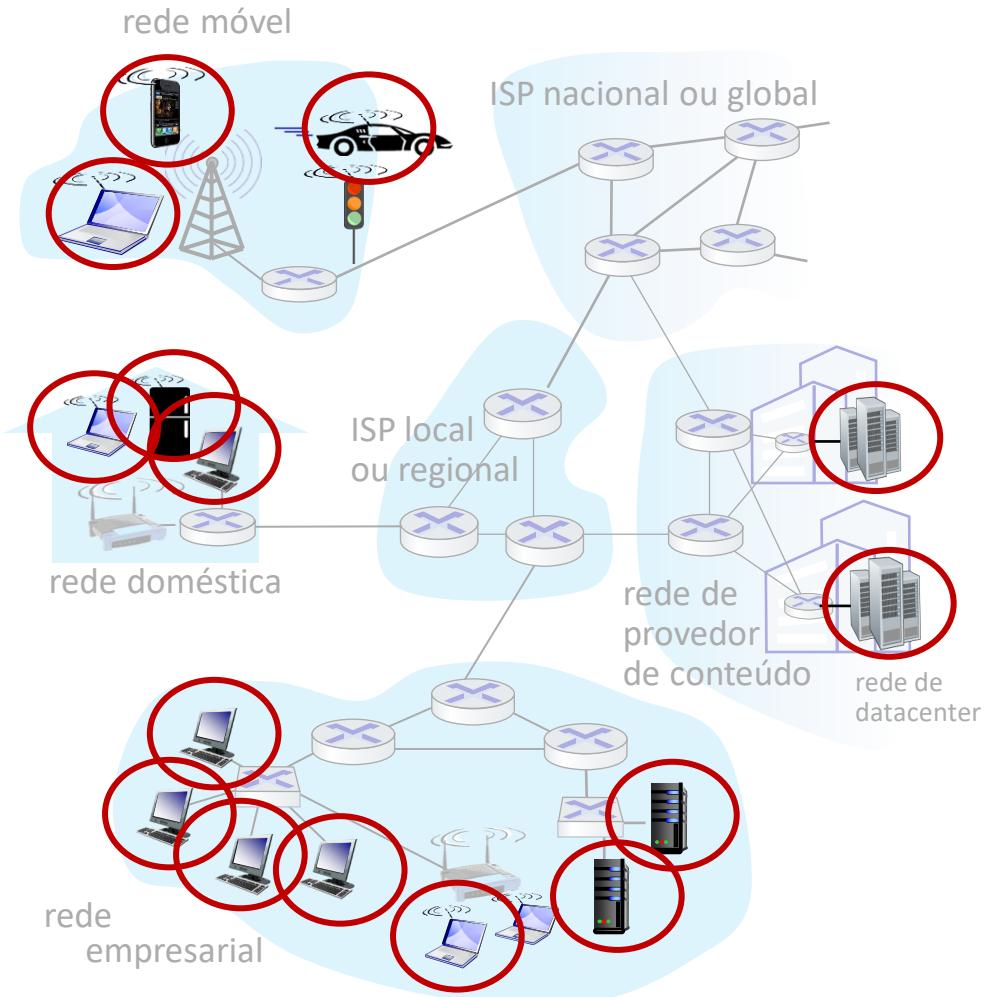
- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- **Borda da rede:** hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- História



# Um olhar mais atento sobre a estrutura da Internet

## Borda da rede :

- hospedeiros: clientes e servidores
- servidores frequentemente em *data center*



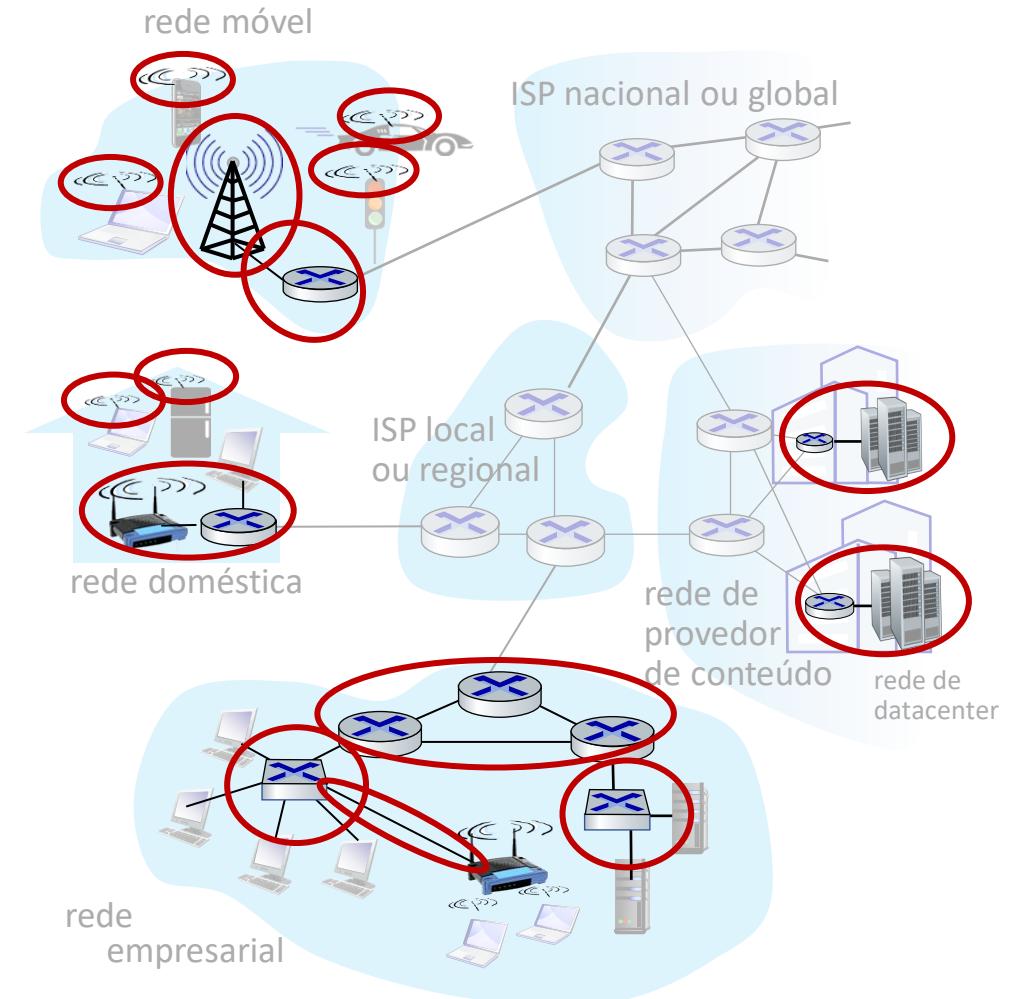
# Um olhar mais atento sobre a estrutura da Internet

## Borda da rede :

- hospedeiros: clientes e servidores
- servidores frequentemente em *data center*

## Redes de acesso, mídia física:

- enlaces de comunicação com e sem fio



# Um olhar mais atento sobre a estrutura da Internet

## Borda da rede :

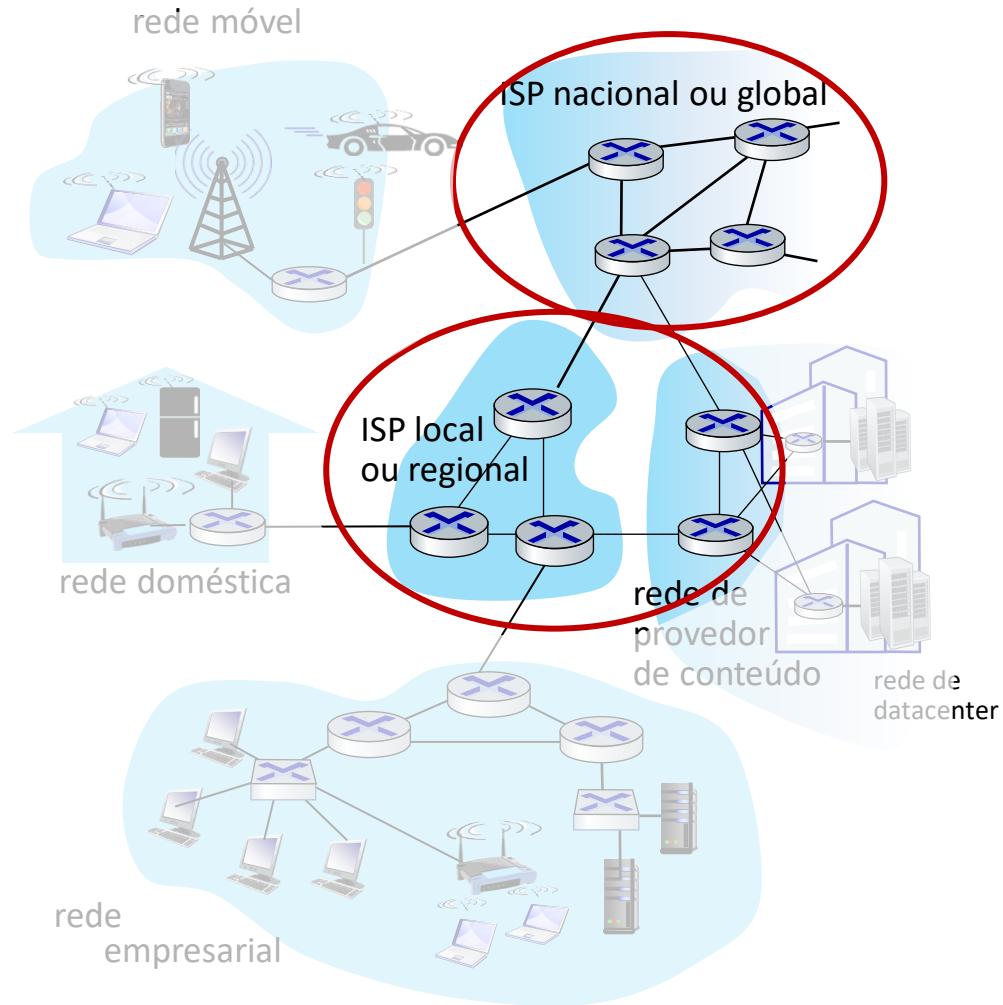
- hospedeiros: clientes e servidores
- servidores frequentemente em *data center*

## Redes de acesso, mídia física:

- enlaces de comunicação com e sem fio

## Núcleo da rede:

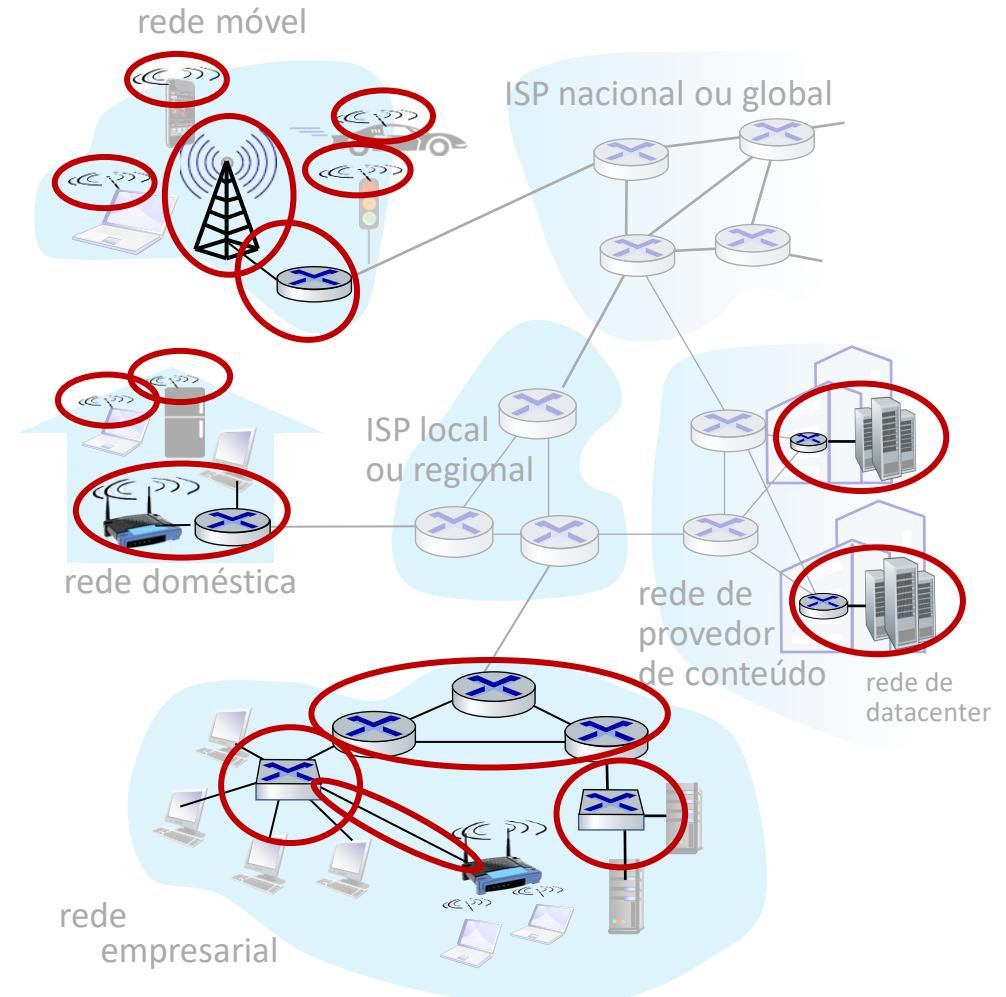
- roteadores interconectados
- rede de redes



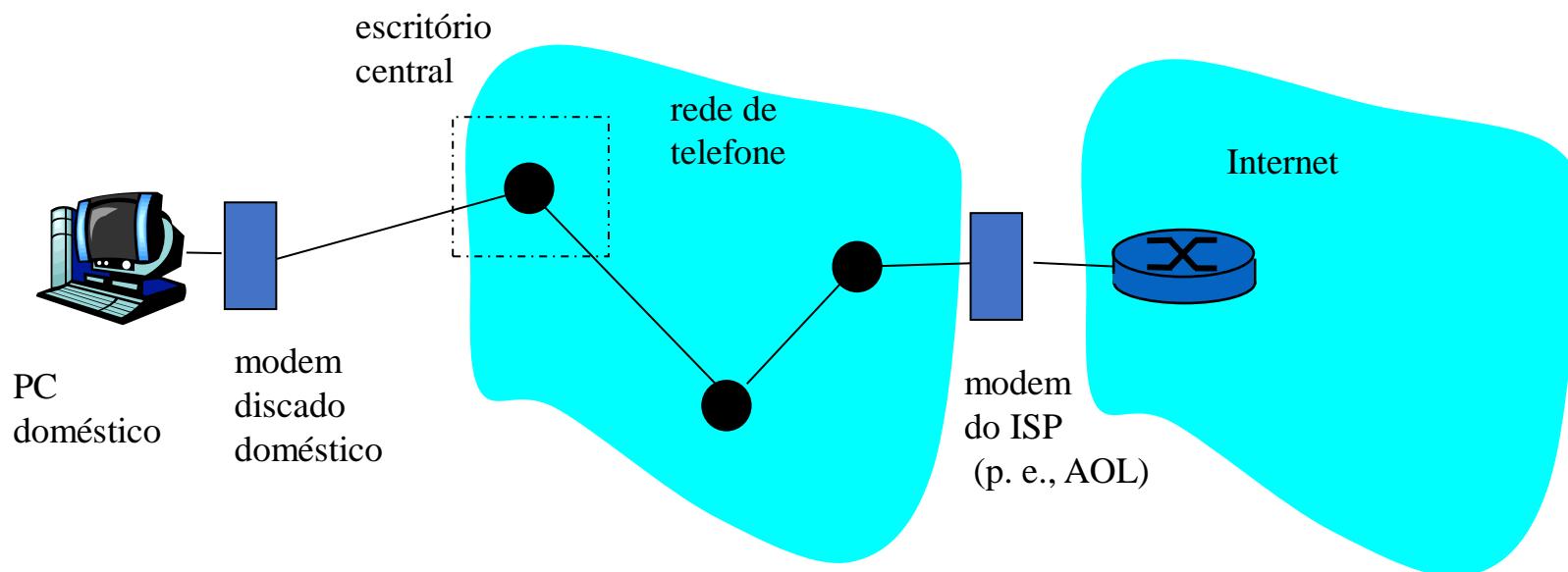
# Redes de acesso e mídia física

*Q: Como conectar sistemas finais ao roteador de borda?*

- redes de acesso residencial
- redes de acesso institucional (escola, empresa)
- redes de acesso móvel (WiFi, 4G/5G)



# Acesso a rede: Modem discado



- ❖ usa infraestrutura de telefonia existente
  - ❖ casa conectada ao **escritório central**
- ❖ até 56 kbps de acesso direto ao roteador (geralmente menos)
- ❖ não pode navegar e telefonar ao mesmo tempo:  
não está “**sempre ligado**”



Placa de Fax Modem U.S. Robotics  
ISA - 33,6 Kbps

Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-862105012-placa-fax-modem-us-robotic-is-336-kbps-usado-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-862105012-placa-fax-modem-us-robotic-is-336-kbps-usado-_JM)



Fax Modem Externo U.S. Robotics  
33,6 Kbps – Conexão Serial

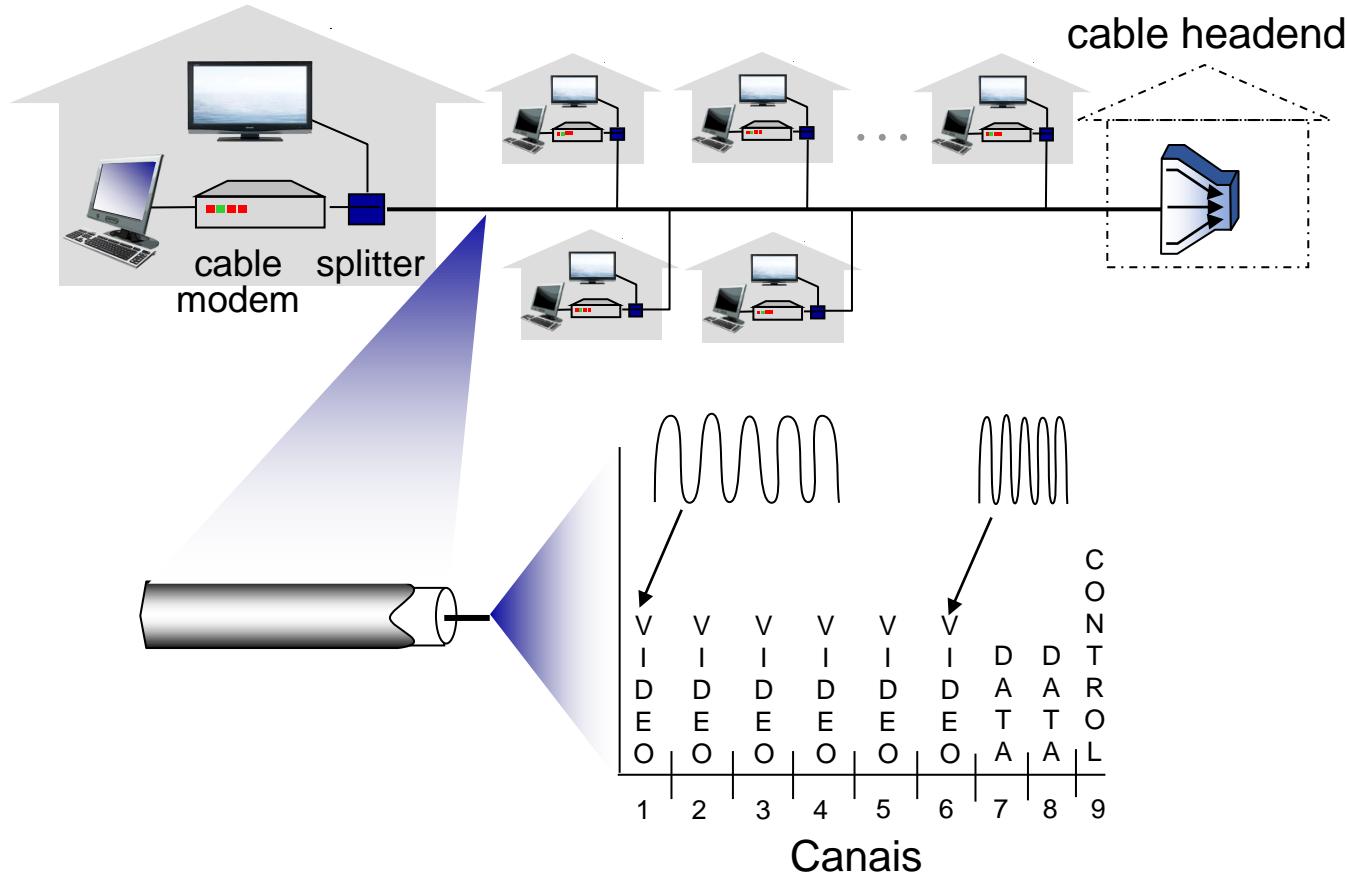
Fonte: <https://www.amazon.com/Robotics-Sportster-33-6K-External-000839-09/dp/B00004Z7Y4>



Fax Modem Externo 3Com OfficeConnect  
56K Business Modem  
Conexão USB

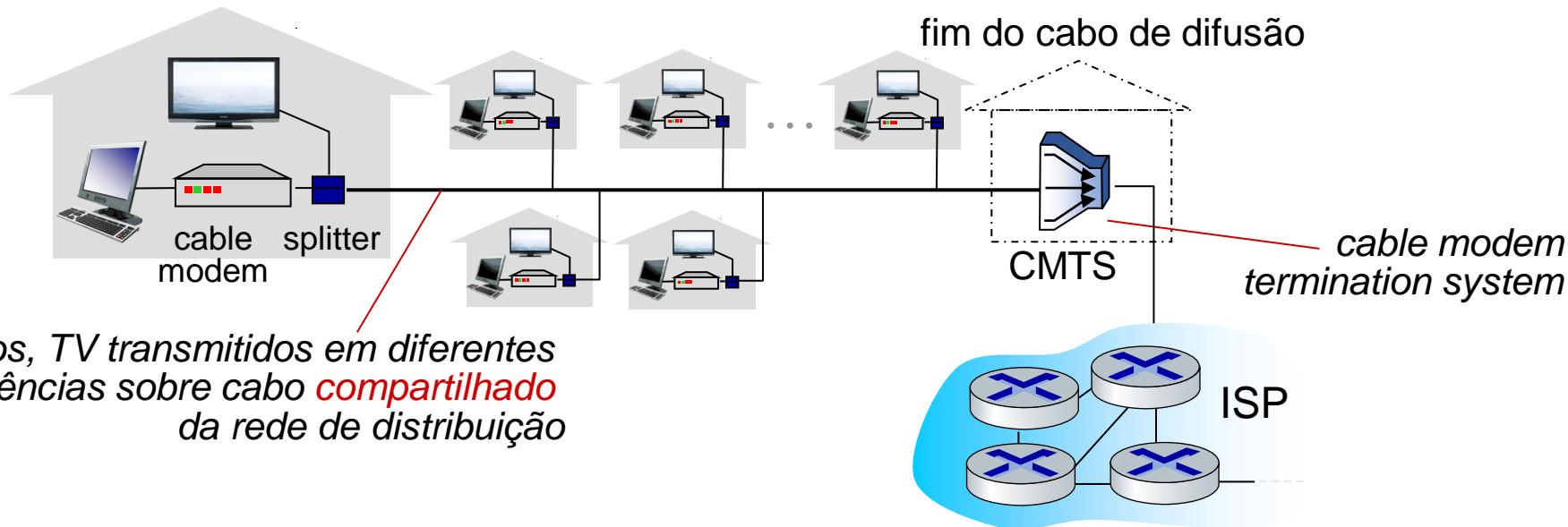
Fonte: arquivo pessoal

# Redes de acesso: acesso baseado em cabo

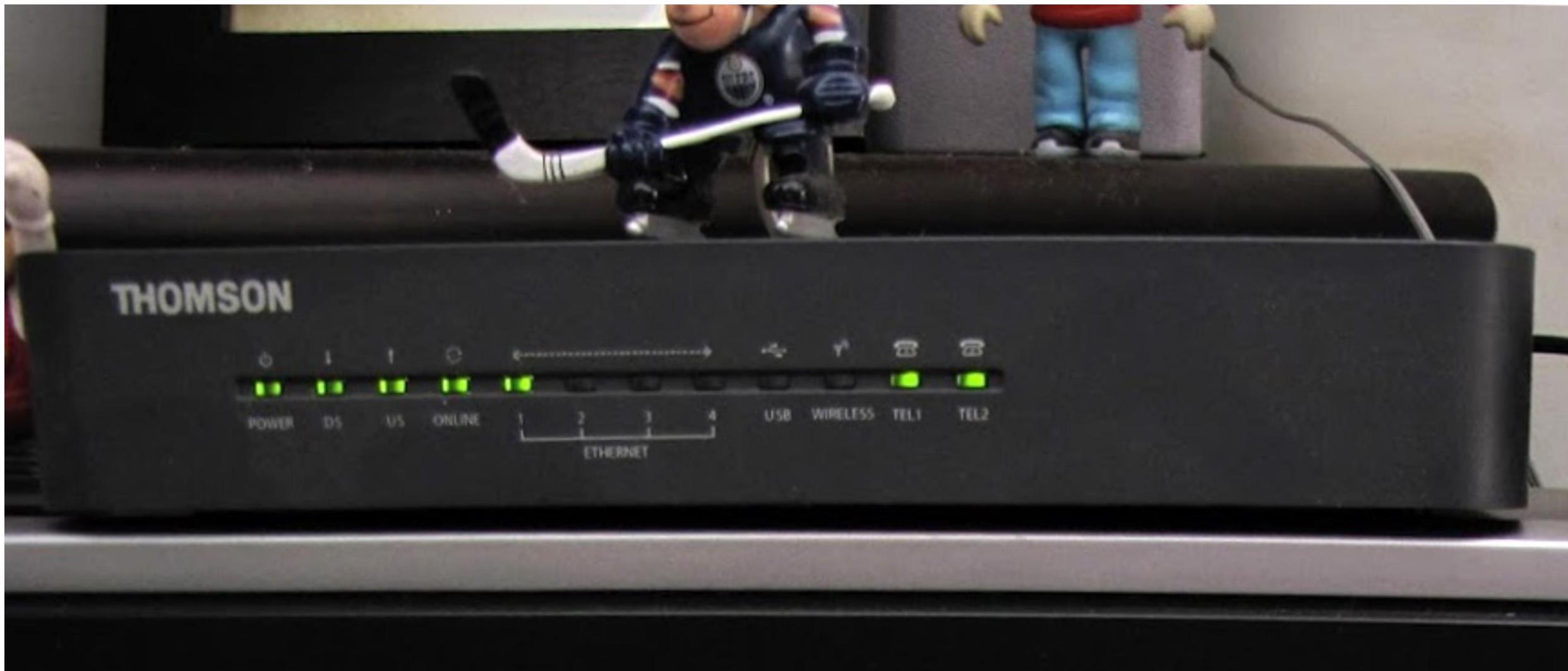


*multiplexação por divisão de frequência (frequency division multiplexing - FDM):* diferentes canais transmitidos em diferentes bandas de frequência

# Redes de acesso: acesso baseado em cabo



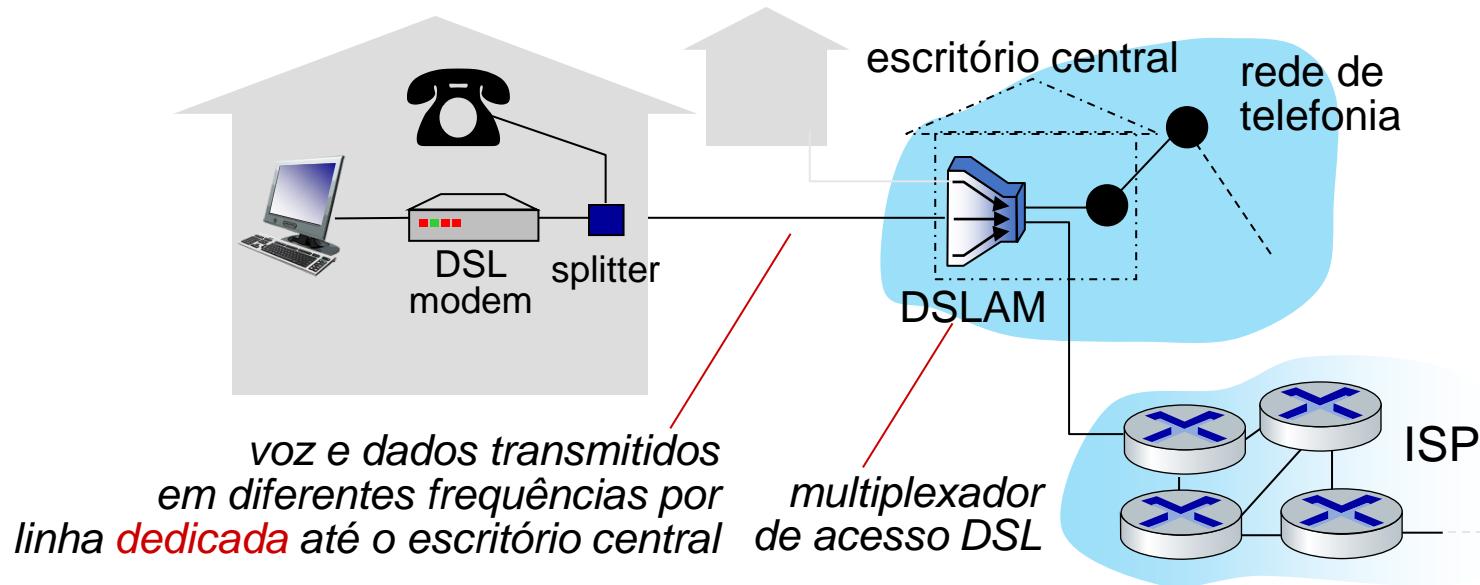
- HFC: hybrid fiber coax
  - assimétrico: até 40 Mbps – 1.2 Gbps de taxa de transmissão *downstream*, 30-100 Mbps de taxa de transmissão *upstream*
- rede de cabos e fibras anexam casas ao roteador do ISP
  - casas **compartilham a rede de acesso** até o fim do cabo de difusão



Cable Modem Thomson  
(inclui *gateway* de VoIP)

Fonte: arquivo pessoal

# Redes de acesso: digital subscriber line (DSL)



- usa a linha telefônica **existente** até o DSLAM do escritório central
  - dados sobre a linha telefônica DSL vão para a Internet
  - voz sobre a linha telefônica DSL vai para rede telefônica
- taxa de transmissão downstream dedicada de 24-52 Mbps
- taxa de upstream dedicada de 3.5-16 Mbps



**Splitter ADSL**

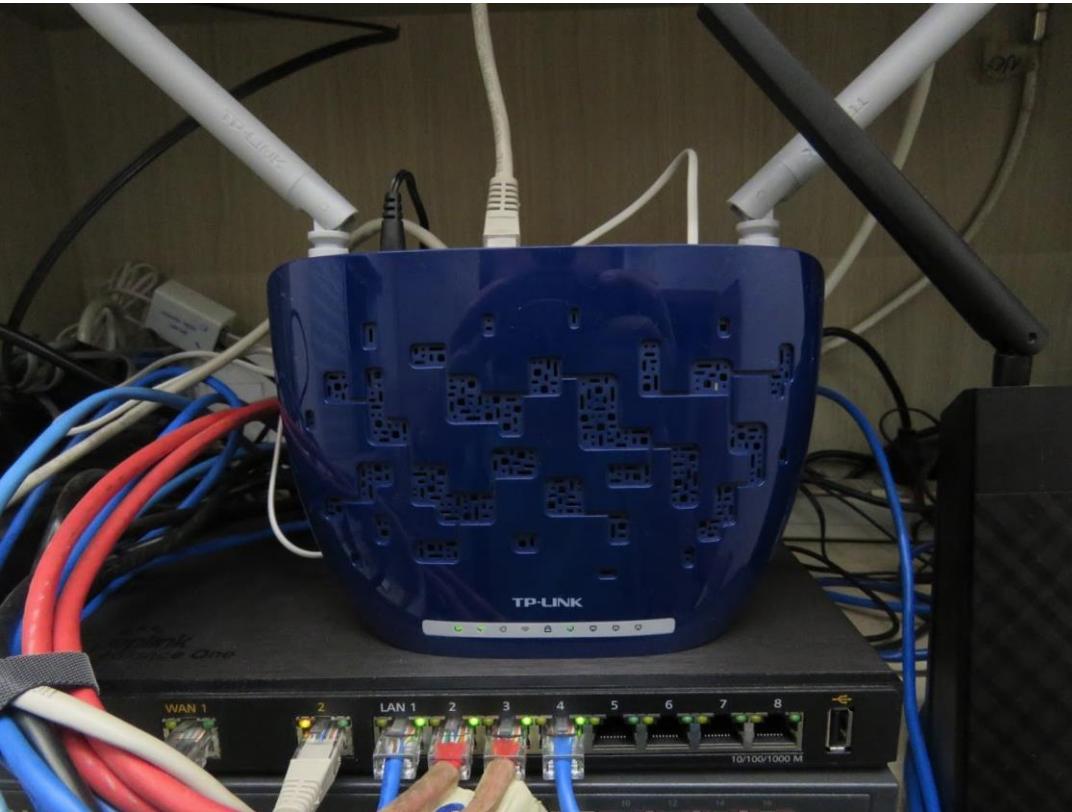
Fonte: arquivo pessoal



**Modem ADSL2+ Datacom DM2270**

(inclui funções de roteador e WiFi)

Fonte: arquivo pessoal



**Modem ADSL2+ TP-Link TD-W8960N**

(inclui funções de roteador e WiFi)

Fonte: arquivo pessoal

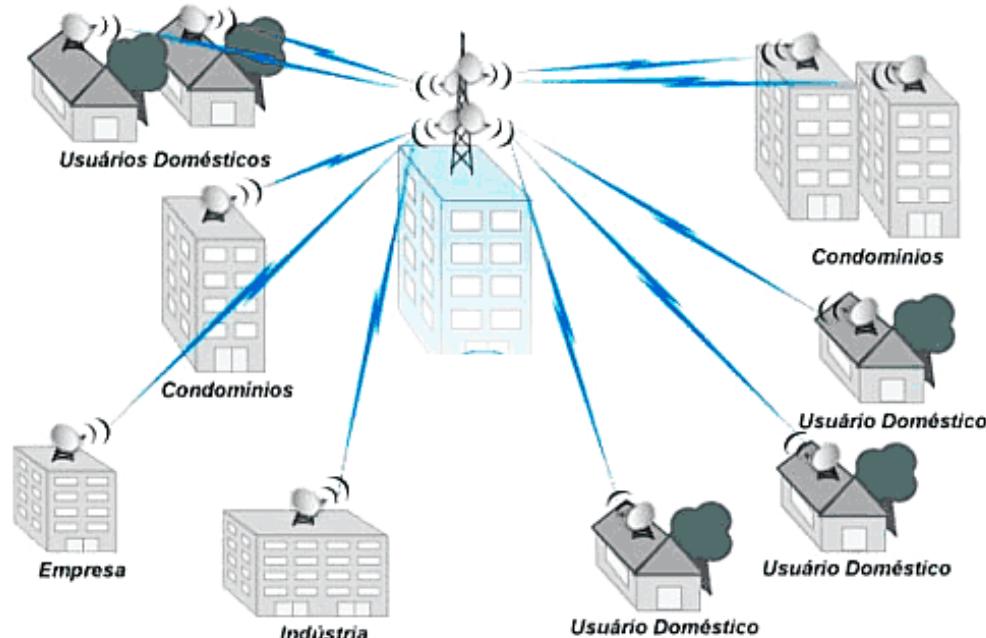


**Modem ADSL D-Link DSL-500G**

Fonte: arquivo pessoal

# Acesso à rede via Rádio

- Utiliza os protocolos da família IEEE 802.11 (WiFi), porém com antenas externas
  - Frequências de 2,4 GHz e 5 GHz
  - Clientes com antenas direcionais
  - Só funciona com linha de visada direta (sem obstáculos)
- Uso se tornou bastante comum em cidades do interior do Brasil, pelo baixo custo de implantação
  - *Downstream* e *upstream*: tipicamente < 5 Mbps
  - Vem sendo substituído por FTTH e FTTx





Rádio WiFi Externo USB, com *pigtail* para conexão de antena externa

Fonte: arquivo pessoal



Rádio WiFi acoplado diretamente na Antena Externa e Cabo Ethernet PoE (*Power over Ethernet*)

Fonte: arquivo pessoal

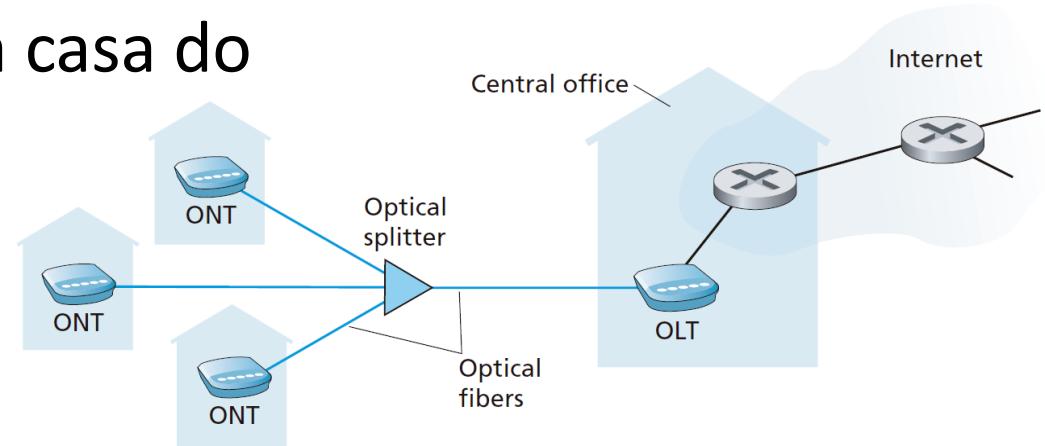
# FTTH (Fiber To The Home)

- Tecnologia que leva a fibra óptica até a casa do cliente

- Arquiteturas competindo:
    - AON (*Active Optical Networks*)
    - PON (*Passive Optical Networks*)

- PON

- Cada casa tem um ONT (*Optical Network Terminator*), conectado por uma fibra dedicada em um *splitter* na vizinhança.
  - *Splitter* combina o sinal de várias casas (<100) em uma única fibra que vai até o OLT (*Optical Line Terminator*) no provedor



# FTTH (Fiber To The Home)

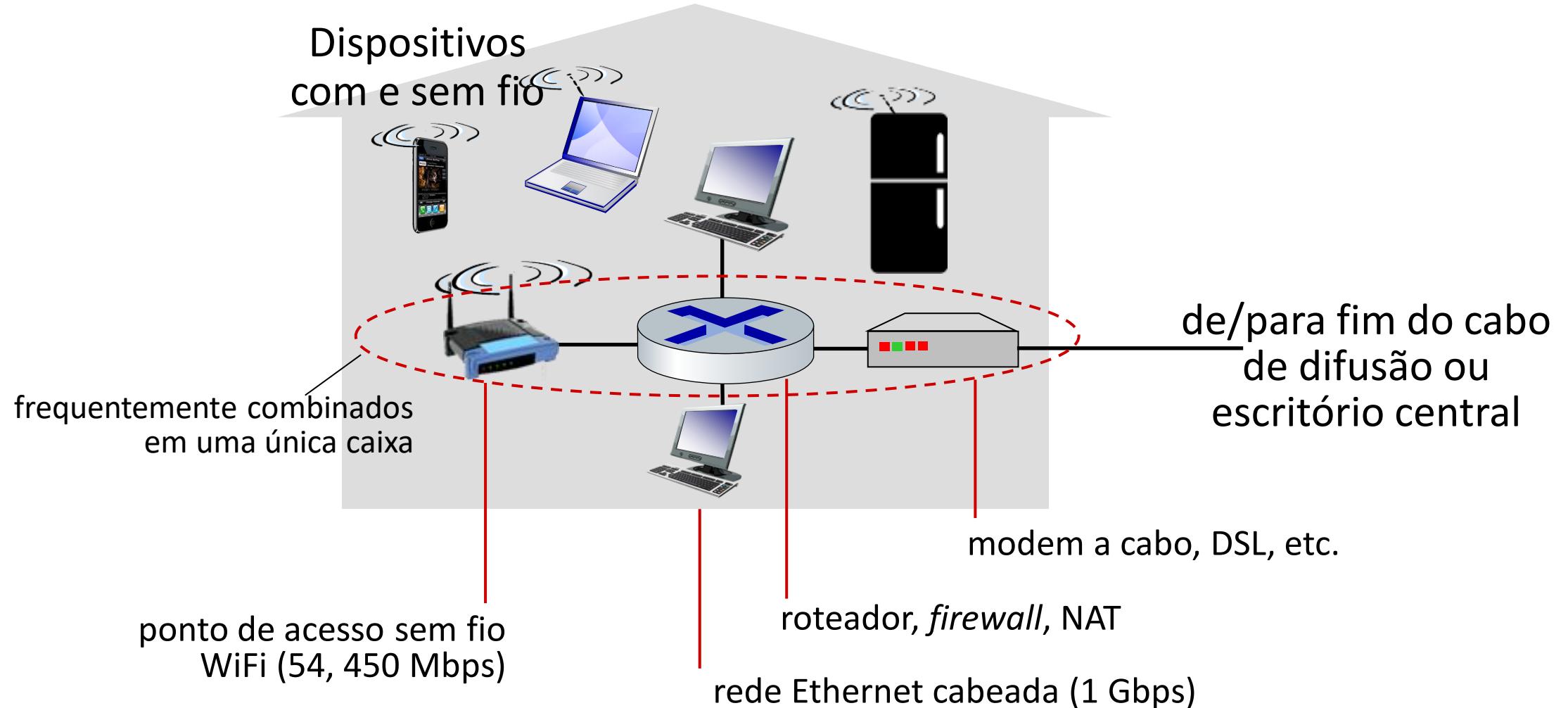
- Vem sendo adotado por grandes e pequenos provedores
  - Substituindo rádio e ADSL, suprindo a demanda por mais largura de banda que tais tecnologias não conseguem atender
  - *Downstream* e *upstream* tipicamente < 1 Gbps
    - GPON (Gigabit PON) permite até 2,5Gbps
  - Pode integrar TV (IPTV) e telefone (VoIP)
  - Alternativamente leva-se a fibra até próximo da casa do usuário (até um armário próximo, até o prédio, etc.), usando cobre na parte final
    - Chamados genericamente de FTTx



**ONT GPON Askey RTF3505VW-N1**  
(inclui funcionalidades de roteador, ponto de acesso WiFi e VoIP)

Fonte: arquivo pessoal

# Redes de acesso: redes domésticas





com Gigabit Ethernet e Wireless-AC2900 Dual Band

Fonte: arquivo pessoal

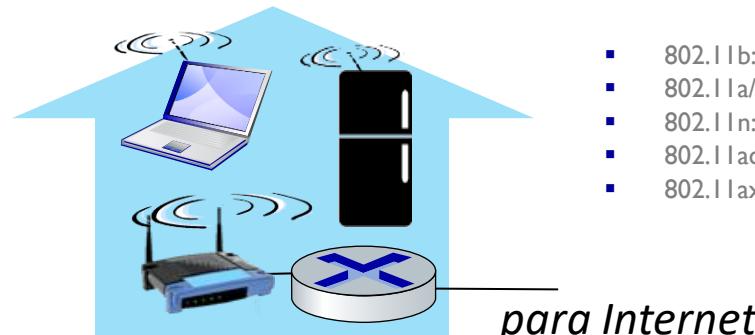
# Rede de acesso sem fio

Rede de acesso *sem fio* compartilhada conecta o sistema final ao roteador

- via estação base, também chamada de “ponto de acesso” (*access point*)

## Redes locais sem fio - *Wireless local area networks* (WLANS)

- normalmente dentro ou ao redor do prédio (cerca de 30 metros)
- 802.11b/g/n (WiFi): Taxa de transmissão de 11, 54, 450 Mbps



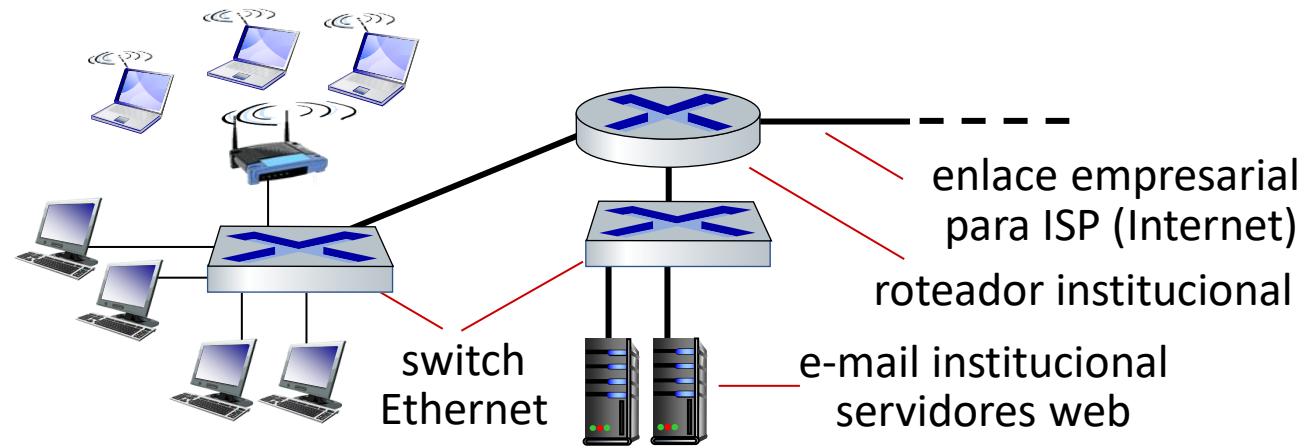
- 802.11b: 11 Mbps
- 802.11a/g: 54 Mbps
- 802.11n: até 600 Mbps
- 802.11ac: até 6,8 Gbps
- 802.11ax: até 9,6 Gbps

## Redes de acesso celular de área ampla - *Wide-area cellular access networks*

- fornecido por operadora de rede de telefonia móvel celular (10's km)
- 10's Mbps
- redes celulares 4G (5G chegando)



# Redes de acesso: redes empresariais



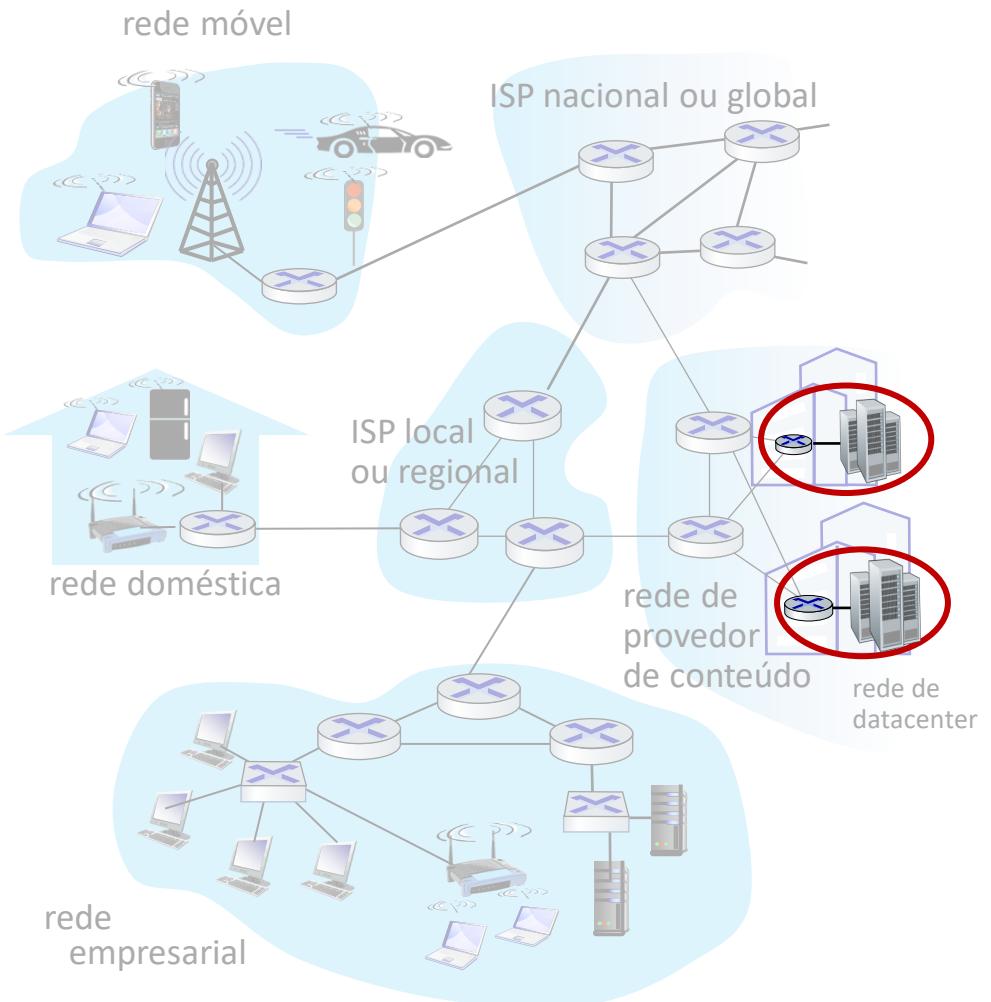
- empresas, universidades, etc.
- mistura de tecnologias de enlace com fio e sem fio, conectando uma mistura de switches e roteadores (vamos cobrir as diferenças em breve)
  - Ethernet: acesso com fio a 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
  - WiFi: pontos de acesso sem fio a 11, 54, 450 Mbps

# Redes de acesso: redes de *data centers*

- enlaces de alta largura de banda (10s a 100s Gbps) conectam centenas a milhares de servidores juntos e à Internet



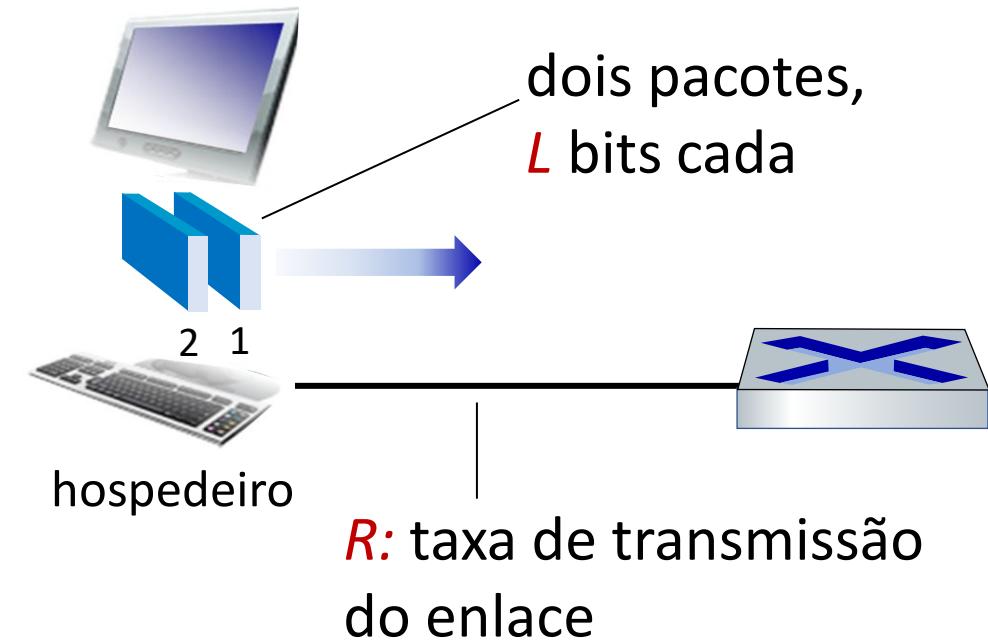
Cortesia: Massachusetts Green High Performance Computing Center ([mghpcc.org](http://mghpcc.org))



# Hospedeiro: envia pacotes de dados

função de envio do hospedeiro:

- pega a mensagem da aplicação
- quebra em pedaços menores, conhecidos como *pacotes*, de tamanho  $L$  bits
- transmite pacote para a rede de acesso com *taxa de transmissão*  $R$ 
  - taxa de transmissão do enlace, também chamada *capacidade do enlace ou largura de banda do enlace*



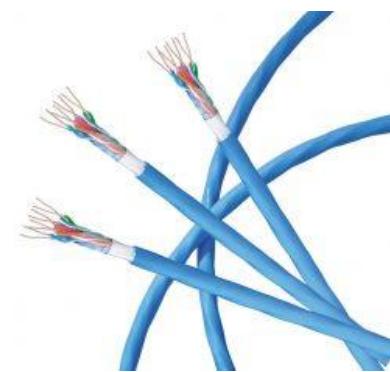
$$\text{atraso na transmissão do pacote} = \frac{\text{tempo necessário para transmitir o pacote de } L\text{-bits no enlace}}{R \text{ (bits/s)}}$$

# Enlaces: mídia física

- **bit:** se propaga entre pares transmissor/receptor
- **enlace físico:** o que existe entre transmissor e receptor
- **mídia guiada:**
  - sinais se propagam em mídia sólida: cobre, fibra, coaxial
- **mídia não guiada:**
  - sinais se propagam livremente, por exemplo, rádio

## Par Trançado (Twisted pair - TP)

- dois fios de cobre isolados
  - Categoria 5: Ethernet 100 Mbps, 1 Gbps
  - Categoria 6: Ethernet 10Gbps



# Par Trançado

- Existem basicamente dois tipos: sem blindagem (UTP – *Unshielded Twisted Pair*) e com blindagem (STP – *Shielded Twisted Pair*)
- Esse tipo de cabo utiliza o conector chamado RJ-45
- Técnica de cancelamento: cada par transmite o mesmo sinal nos dois fios, porém com polaridade invertida.

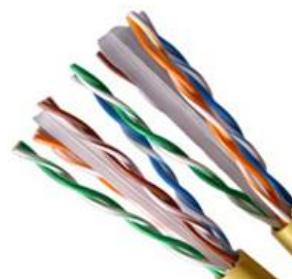
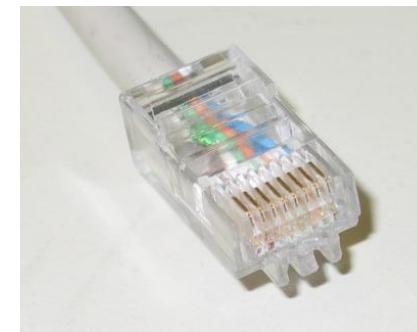
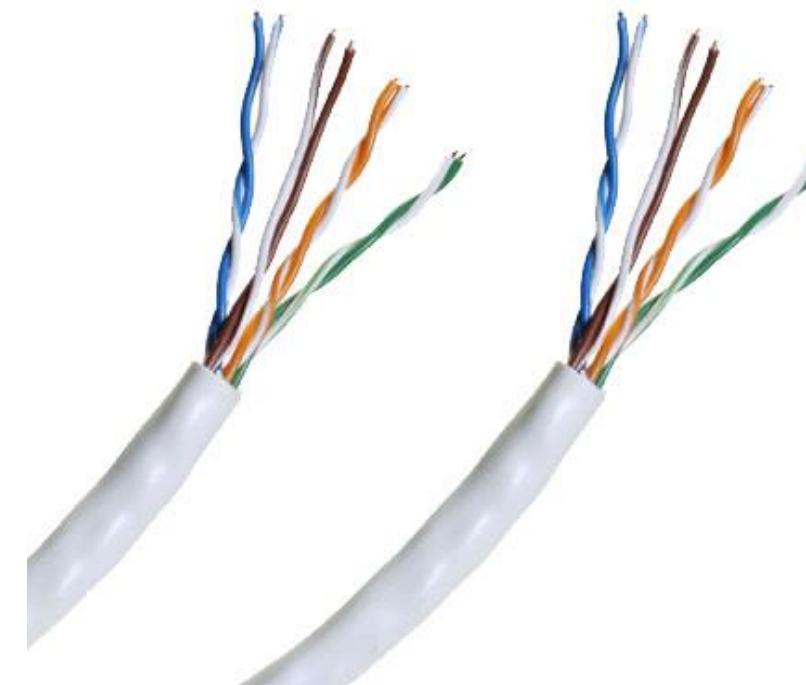


Foto CAT5e vs. CAT6 extraída de : <https://www.blackbox.com.br/pt-br/page/43870/Recursos/Suporte-Tecnico/black-box-explica/Copper-Cable/Categorias-5e-e-6>

CAT5e

CAT6

# Enlaces: mídia física

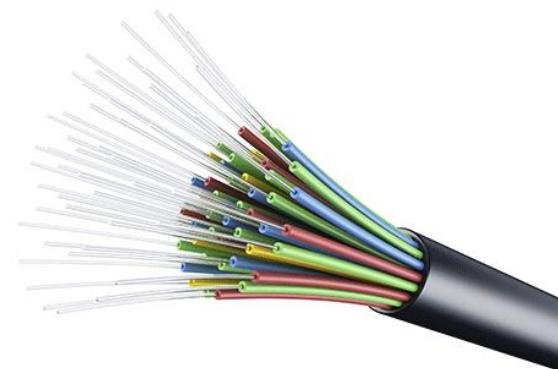
## Cabo coaxial:

- dois condutores de cobre concêntricos
- bidirecional
- Banda larga:
  - vários canais de frequência no cabo
  - 100's Mbps por canal



## Cabo de fibra óptica:

- fibra de vidro carregando pulsos de luz, cada pulso é um bit
- operação de alta velocidade:
  - transmissão ponto a ponto de alta velocidade (10's-100's Gbps)
- baixa taxa de erro:
  - repetidores bem espaçados
  - imune a ruído eletromagnético



# Enlaces: mídia física

## Rádio sem fio

- sinal transportado em várias “bandas” no espectro eletromagnético
- nenhum “fio” físico
- difusão, “half-duplex” (emissor para receptor)
- efeitos do ambiente na propagação:
  - reflexão
  - obstrução por objetos
  - interferência/ruído

## Tipos de enlaces de rádio:

- **Wireless LAN (WiFi)**
  - 10-100's Mbps; 10's de metros
- **área ampla** (ex.: celular 4G)
  - 10's Mbps por ~10 Km
- **Bluetooth**: substituto de cabos
  - curtas distâncias, taxas limitadas
- **microondas terrestre**
  - ponto-a-ponto; canais de 45 Mbps
- **satélite**
  - até 45 Mbps por canal
  - 270 ms de atraso fim a fim

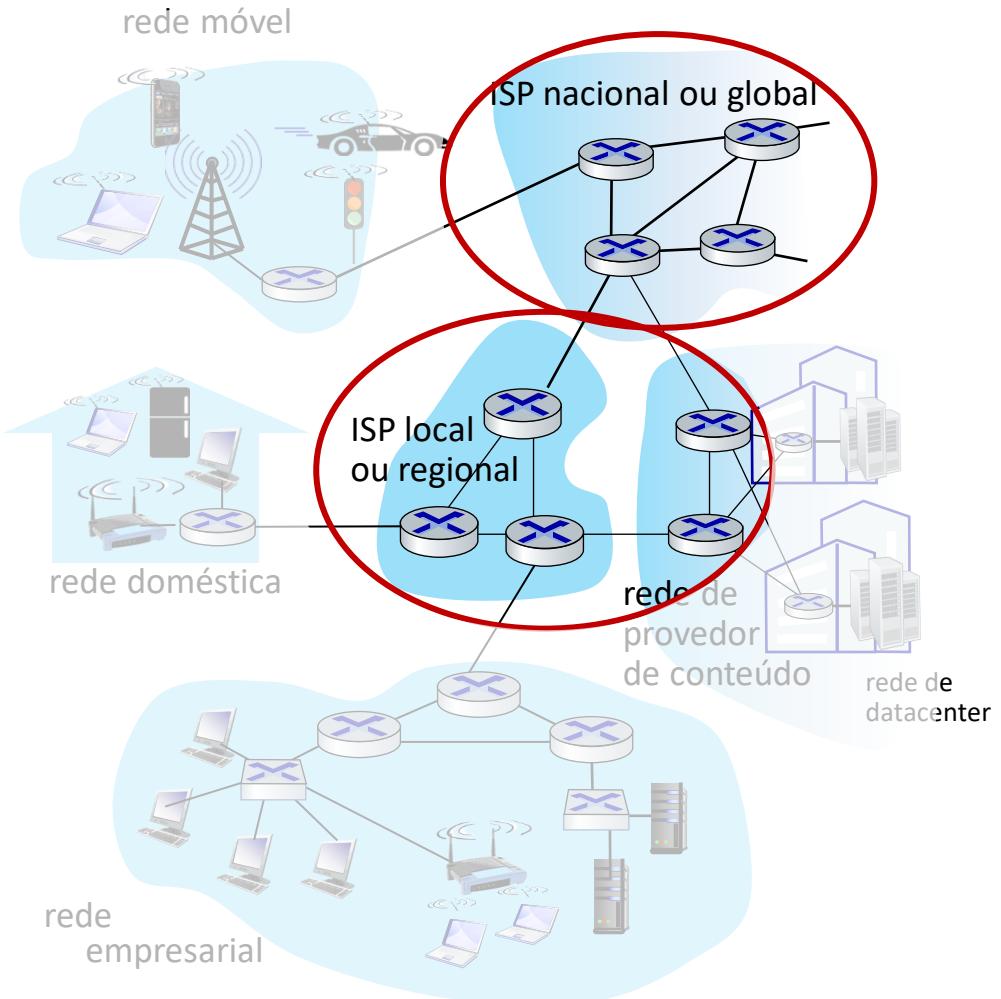
# Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- **Núcleo da rede:** comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- História



# O núcleo da rede

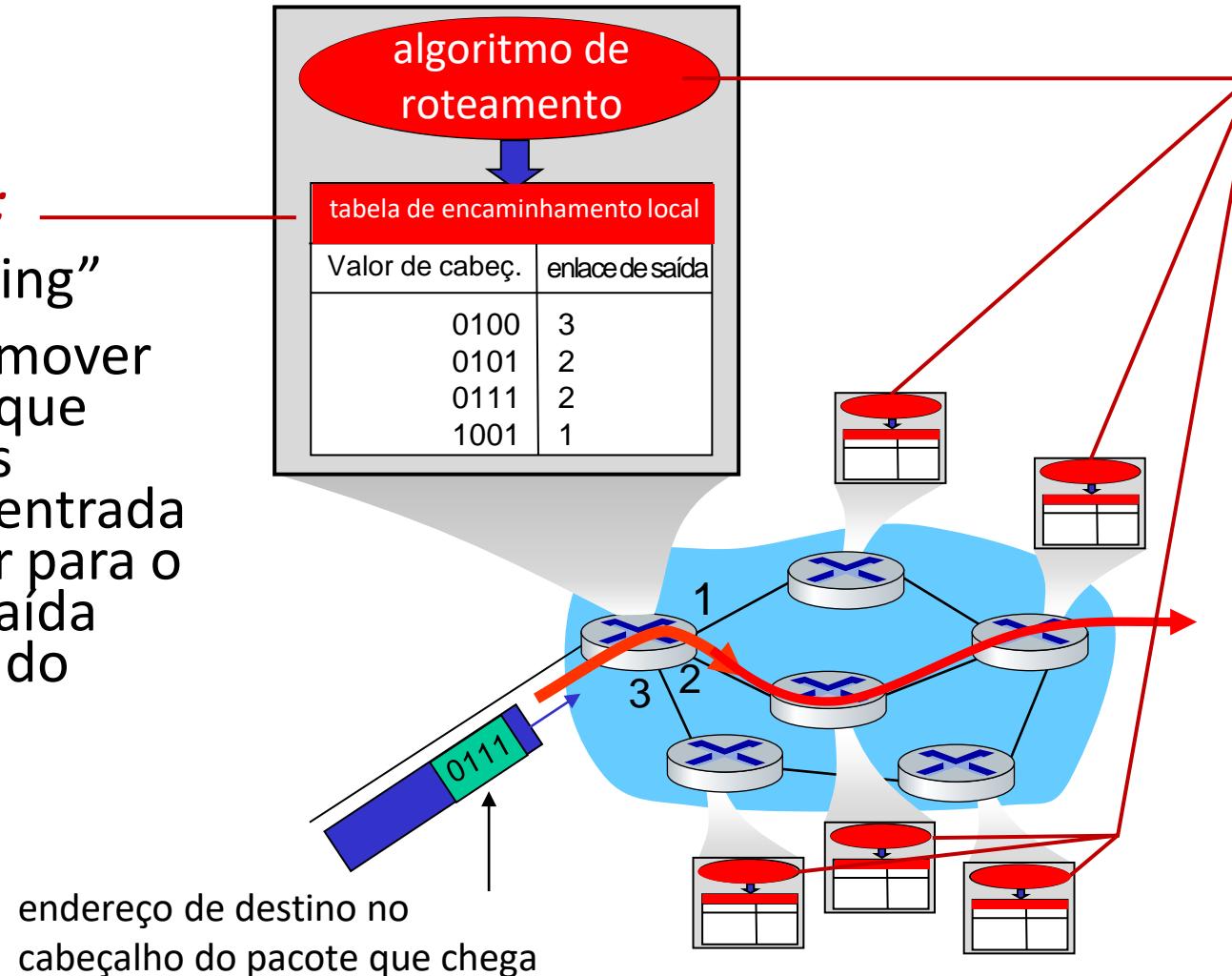
- malha de roteadores interconectados
- **comutação de pacotes:** hospedeiro quebra mensagens da camada de aplicação em *pacotes*
  - rede encaminha pacotes de um roteador para o próximo, através dos enlaces do caminho da origem ao destino



# Duas funções principais do núcleo da rede

*Encaminhar:* \_\_\_\_\_

- aka “switching”
- ação *local*: mover os pacotes que chegam nos enlaces de entrada do roteador para o enlace de saída apropriado do roteador



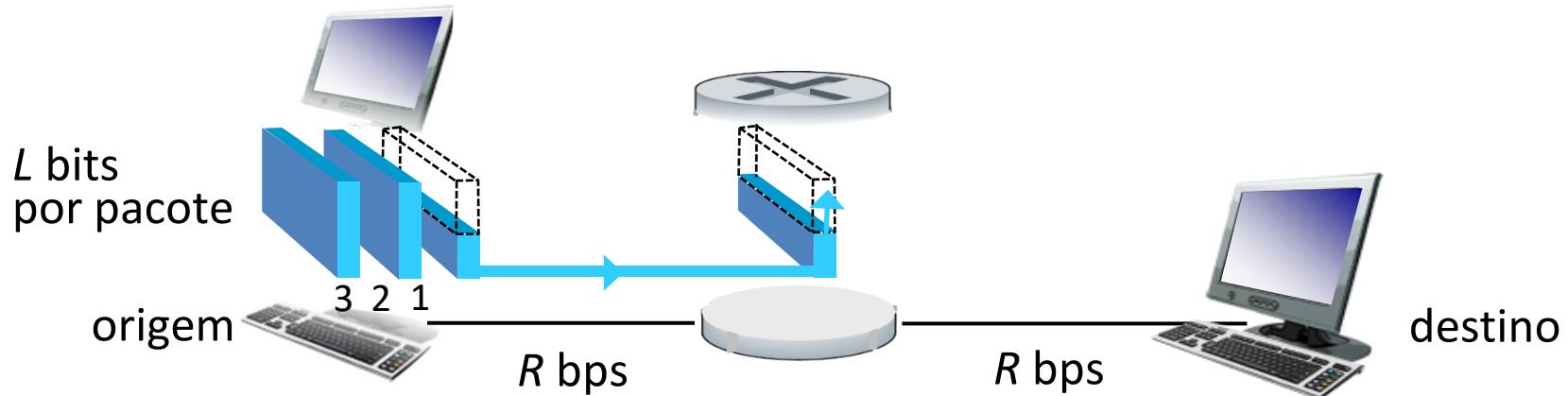
*Roteamento:*

- ação *global*: determinar os caminhos de origem a destino a serem percorridos pelos pacotes
- algoritmos de roteamento





# Comutação de pacotes: armazenar e encaminhar

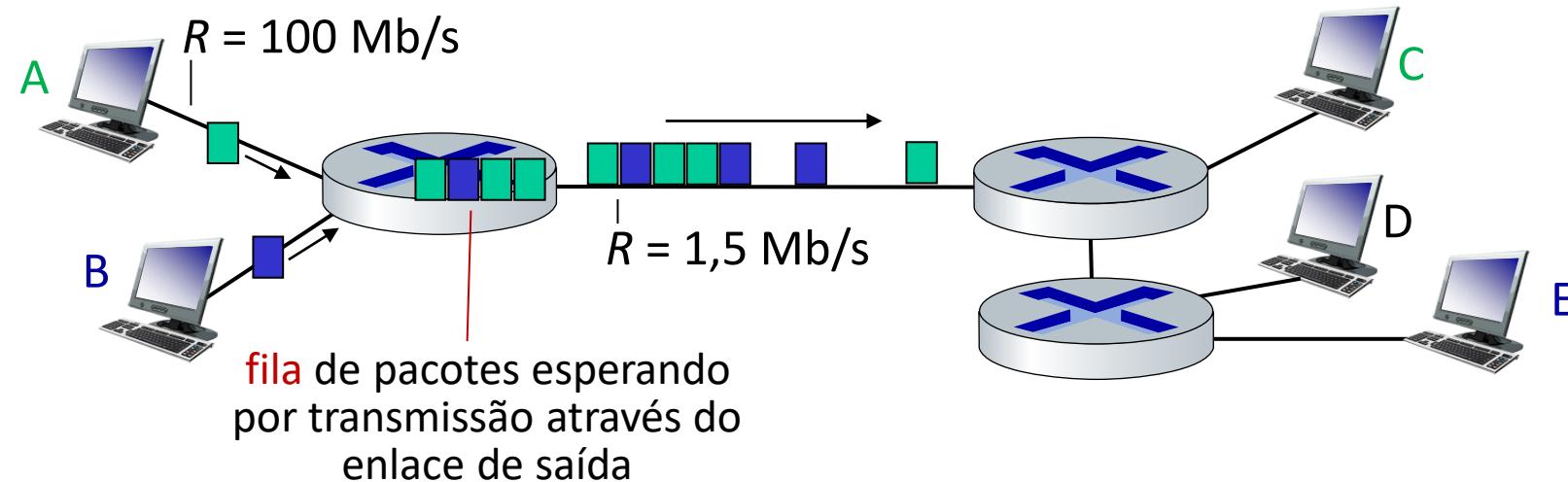


- **atraso na transmissão do pacote :** leva  $L/R$  segundos para transmitir (empurrar para fora) o pacote de  $L$  bits para o enlace de  $R$  bps
- **armazenar e encaminhar:** o pacote *inteiro* precisa chegar no roteador antes de ser transmitido no próximo enlace

*Exemplo numérico de um salto:*

- $L = 10$  Kbits
- $R = 100$  Mbps
- atraso de transmissão de um salto = 0,1 ms

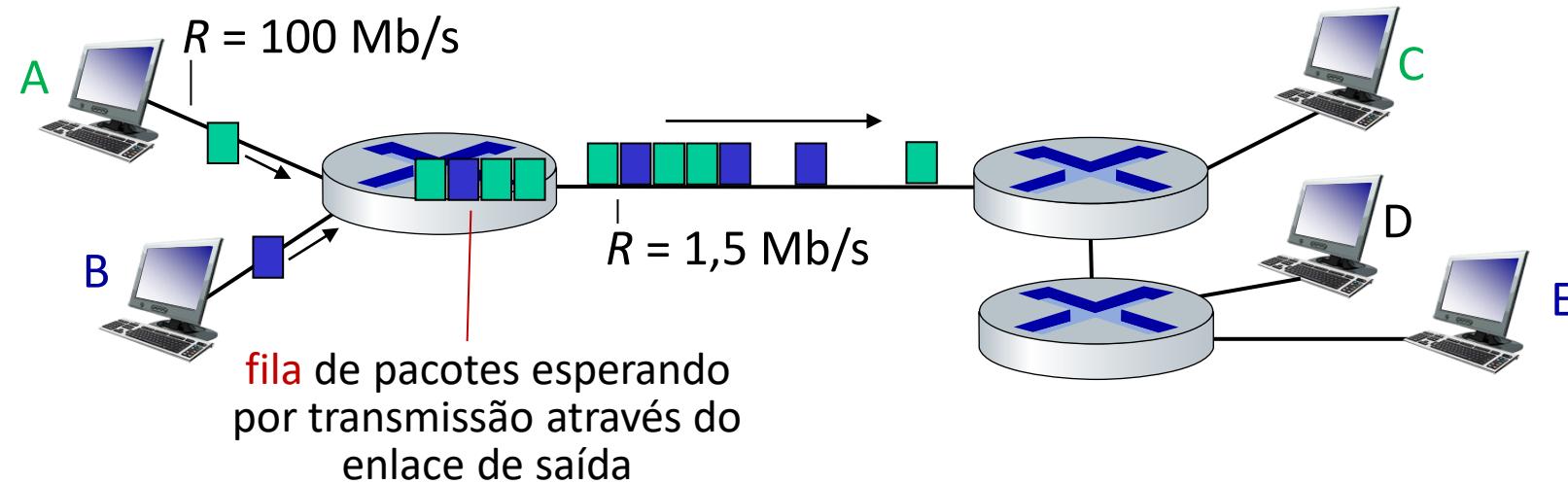
# Comutação de pacotes: enfileiramento



**Enfileiramento** ocorre quando o trabalho chega mais rápido do que pode ser atendido :



# Comutação de pacotes: enfileiramento



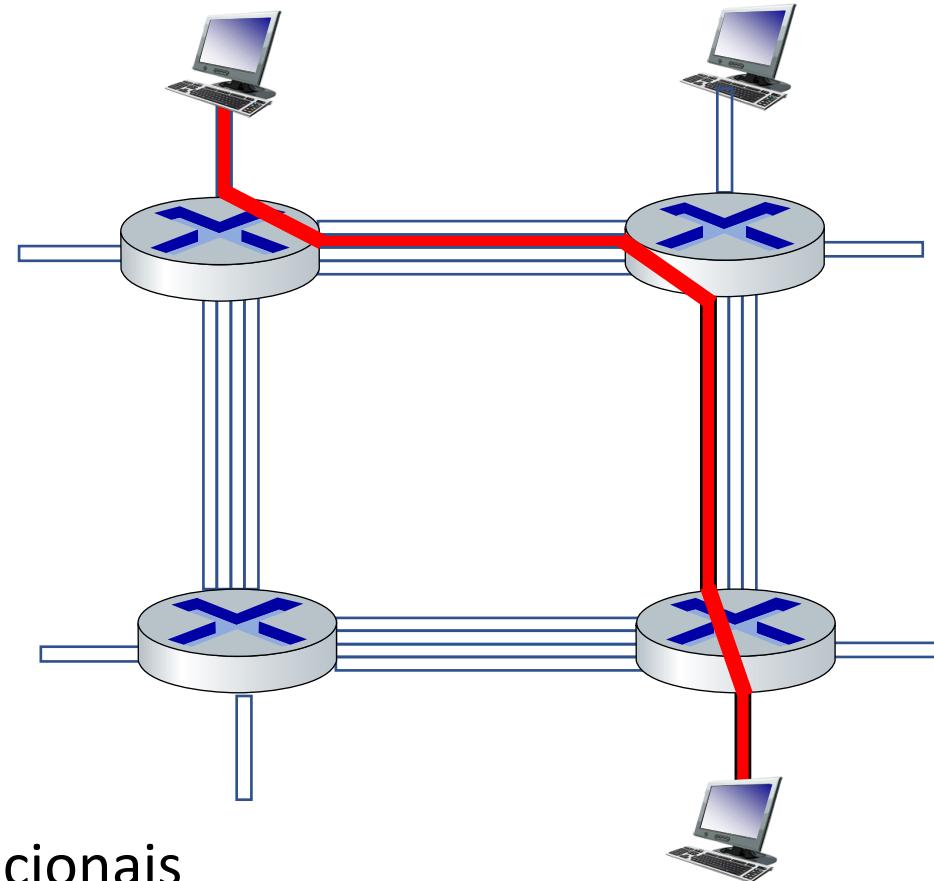
**Enfileiramento e perda de pacotes:** se a taxa de chegada (em bps) para o enlace exceder a taxa de transmissão (bps) do enlace por algum período de tempo:

- os pacotes ficarão na fila, esperando para serem transmitidos no enlace de saída
- pacotes podem ser descartados (perdidos) se a memória (buffer) no roteador ficar cheia

# Alternativa para comutação de pacotes: comutação de circuitos

recursos fim-fim alocados (reservados) para “chamada” entre a origem e o destino

- no diagrama, cada enlace tem quatro circuitos.
  - a chamada obtém o 2º circuito no enlace superior e o 1º circuito no enlace direito.
- recursos dedicados: sem compartilhamento
  - desempenho tipo circuito (garantido)
- segmento de circuito inativo se não for usado por chamada (**sem compartilhamento**)
- comumente usado em redes telefônicas tradicionais



\* Confira os exercícios interativos online para mais exemplos: [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive)

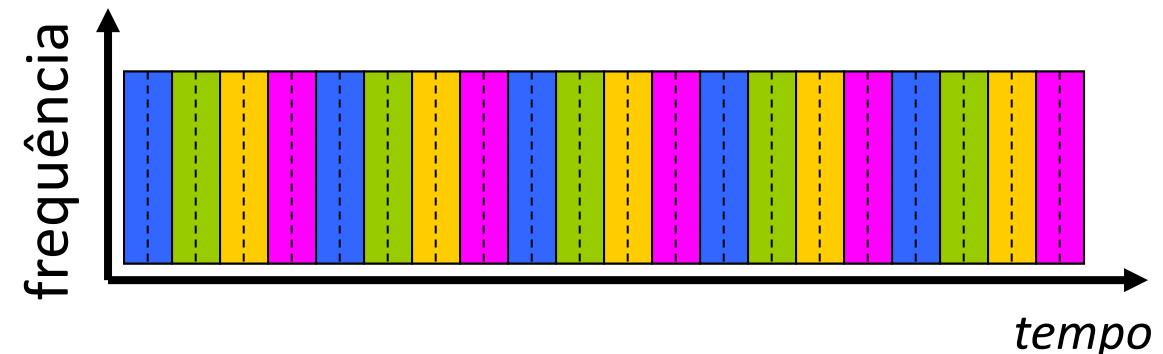
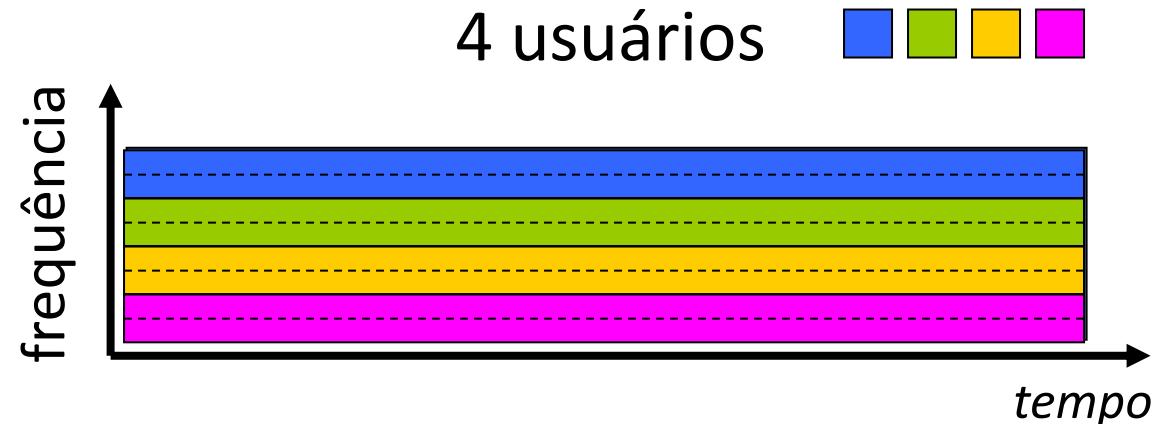
# Comutação de circuitos: FDM e TDM

**Frequency Division Multiplexing (FDM) – Multiplexação por Divisão de Frequência**

- frequências ópticas eletromagnéticas divididas em bandas de frequência (estreitas)
- cada chamada alocada em sua própria banda, pode transmitir na taxa máxima dessa banda estreita

**Time Division Multiplexing (TDM) – Multiplexação por divisão de tempo**

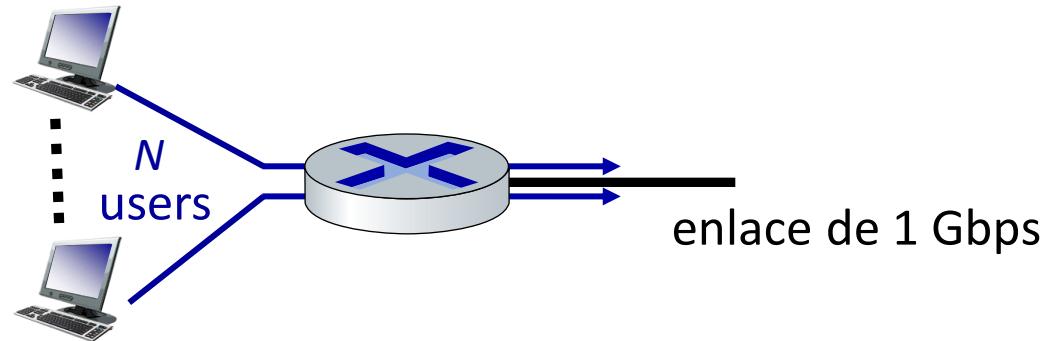
- tempo dividido em slots
- Para cada chamada são alocados slots periódicos, pode transmitir na taxa máxima da banda de frequência (mais ampla) (apenas) durante seu(s) intervalo(s) de tempo



# Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

exemplo:

- enlace de 1 Gb/s
- cada usuário:
  - 100 Mb/s quando “ativo”
  - ativo 10% do tempo



**Q:** quantos usuários podem usar esta rede em comutação de circuitos e comutação de pacotes?

- *comutação de circuitos:* 10 usuários
- *comutação de pacotes:* com 35 usuários, probabilidade de  $> 10$  ativos ao mesmo tempo é menor que 0,0004 \*

\* Confira os exercícios interativos online para mais exemplos: [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive)

# Comutação de pacotes versus comutação de circuitos

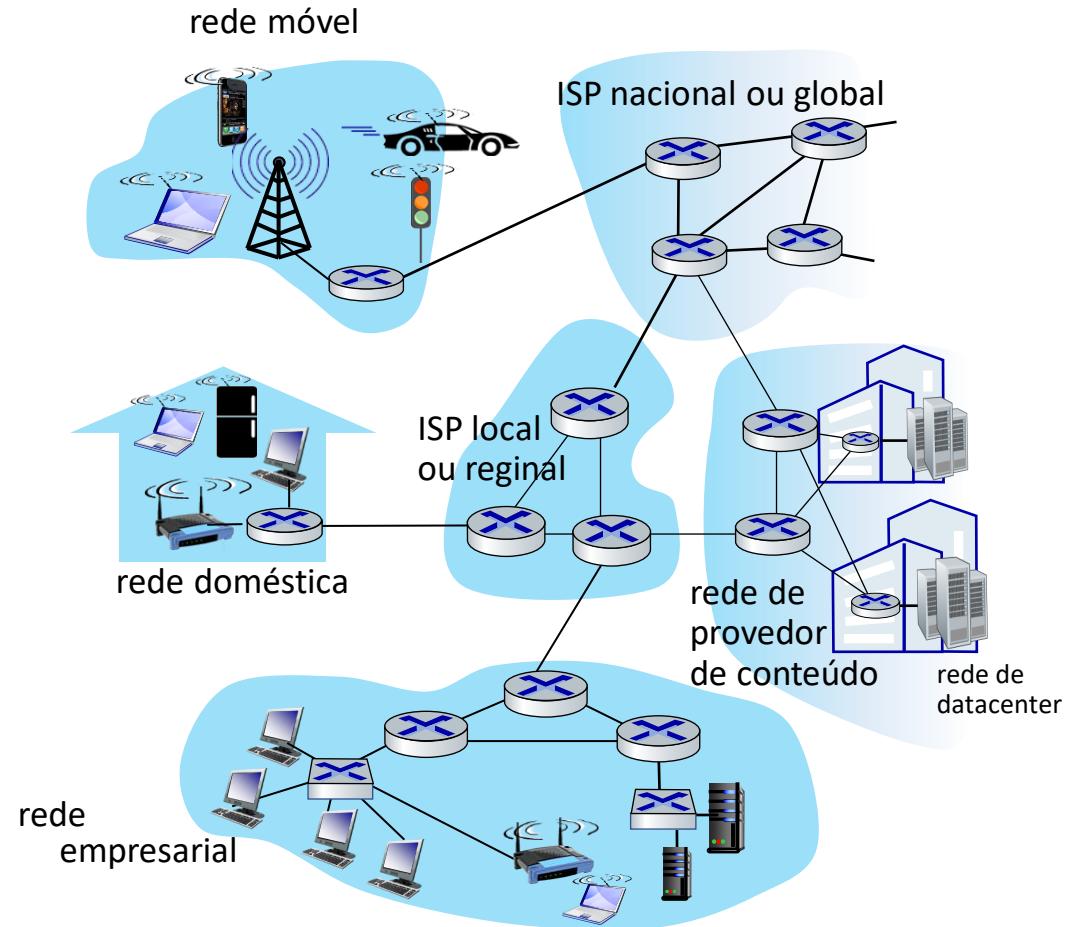
A comutação de pacote é a grande vencedora?

- ótima para dados “intermitentes” - às vezes há dados para enviar, mas outras vezes não há
  - compartilhamento de recursos
  - mais simples, sem configuração de chamada
- **congestionamento excessivo possível:** atraso e perda de pacote devido a estouro de buffer
  - protocolos necessários para transferência confiável de dados e controle de congestionamento
- **Q: Como fornecer comportamento semelhante ao de um circuito com comutação de pacotes?**
  - “É complicado.” Vamos estudar várias técnicas que tentam tornar a comutação de pacotes o mais “semelhante a um circuito” possível.

**Q:** analogias humanas de recursos reservados (comutação de circuitos) versus alocação sob demanda (comutação de pacotes)?

# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

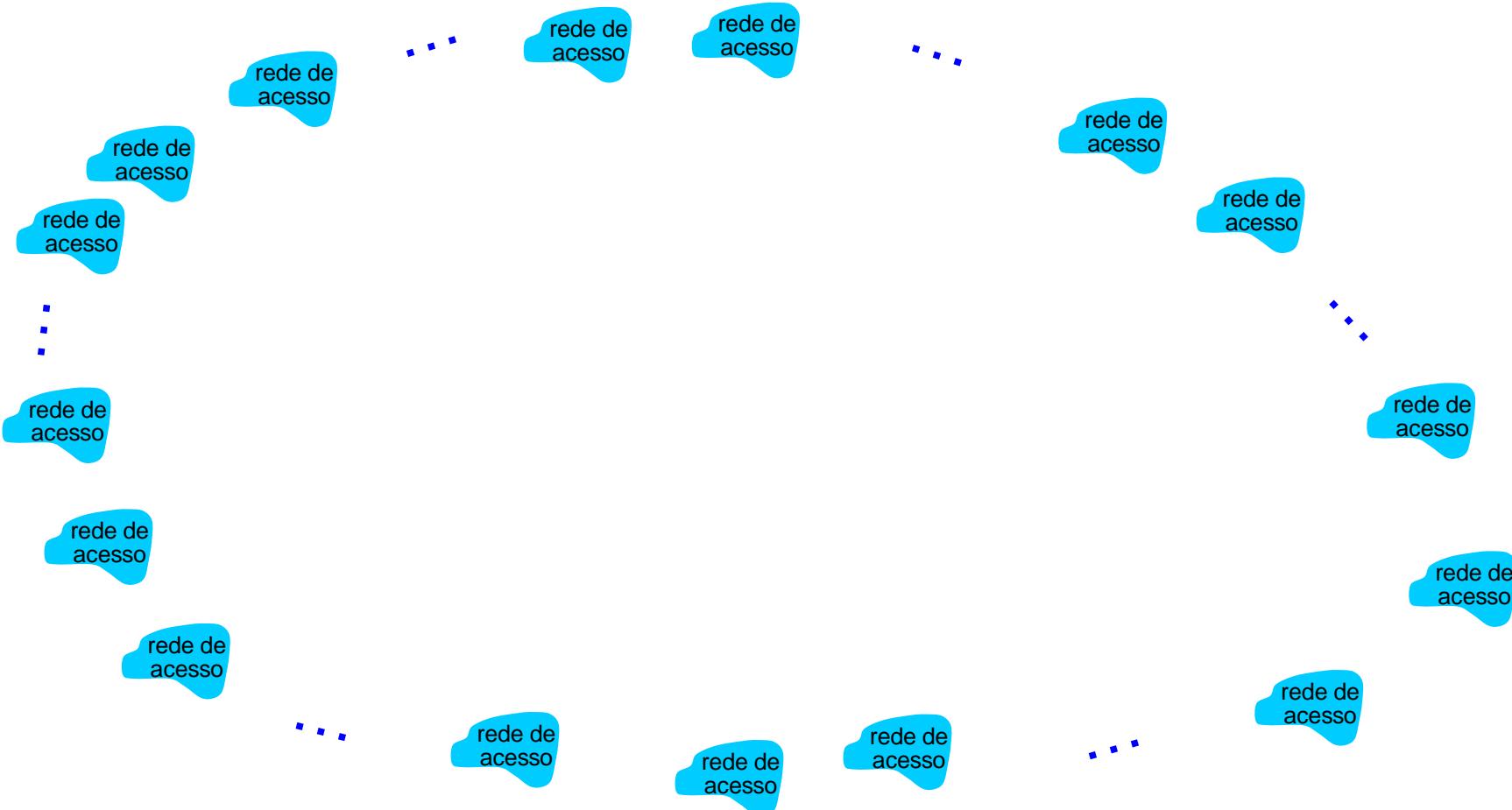
- hospedeiros se conectam à Internet via Provedores de **acesso** (**access** Internet Service Providers - ISPs)
- ISPs de acesso, por sua vez, devem estar interconectados
  - de modo que *quaisquer* dois hospedeiros (*em qualquer lugar!*) possam enviar pacotes um para o outro
- a rede de redes resultante é muito complexa
  - evolução dirigida por **economia** e **políticas nacionais**



*Vamos fazer uma abordagem passo a passo para descrever a estrutura atual da Internet*

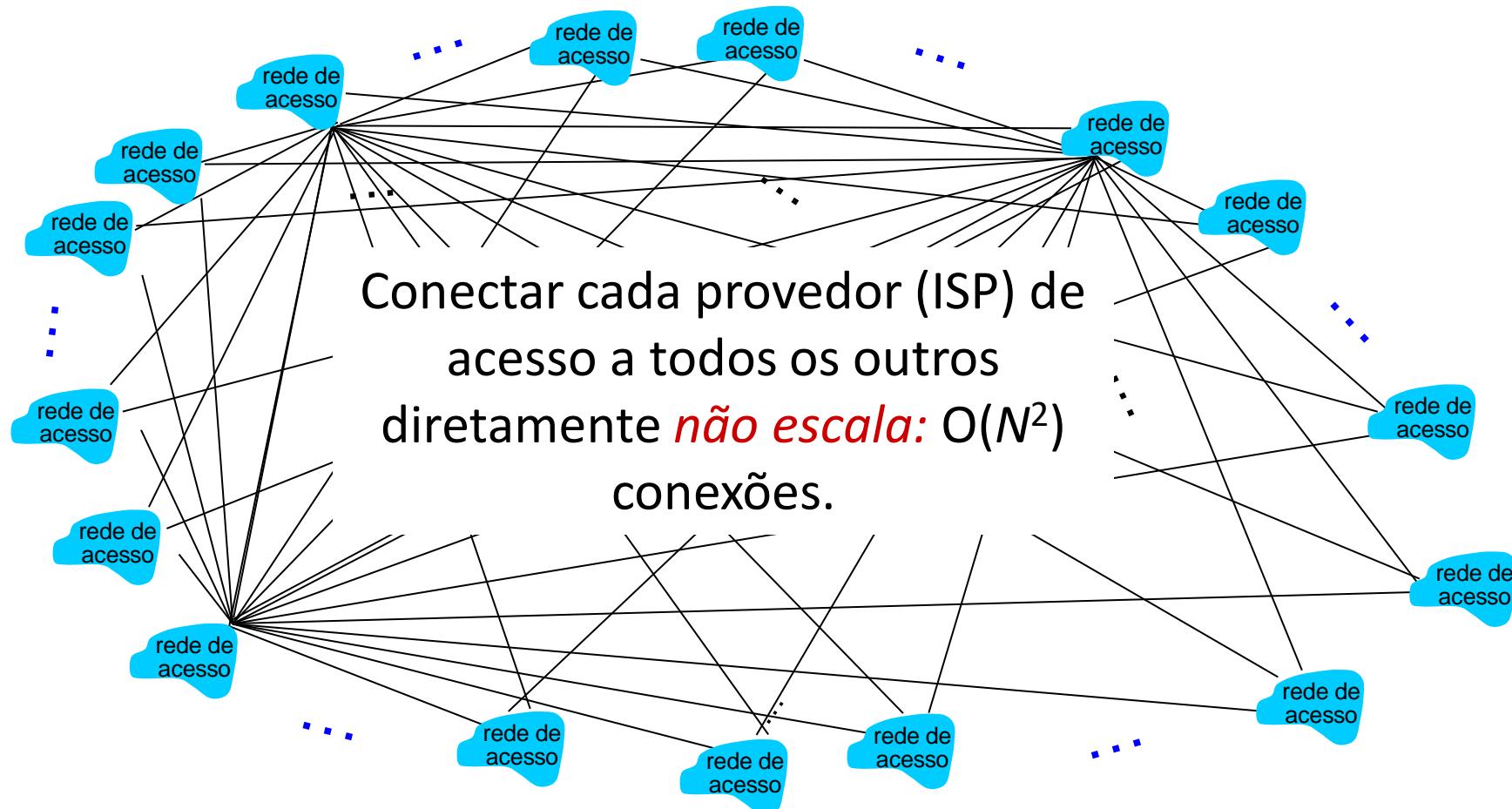
# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

**Questão:** dados *milhões* de provedores (ISPs) de acesso, como conecta-los?



# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

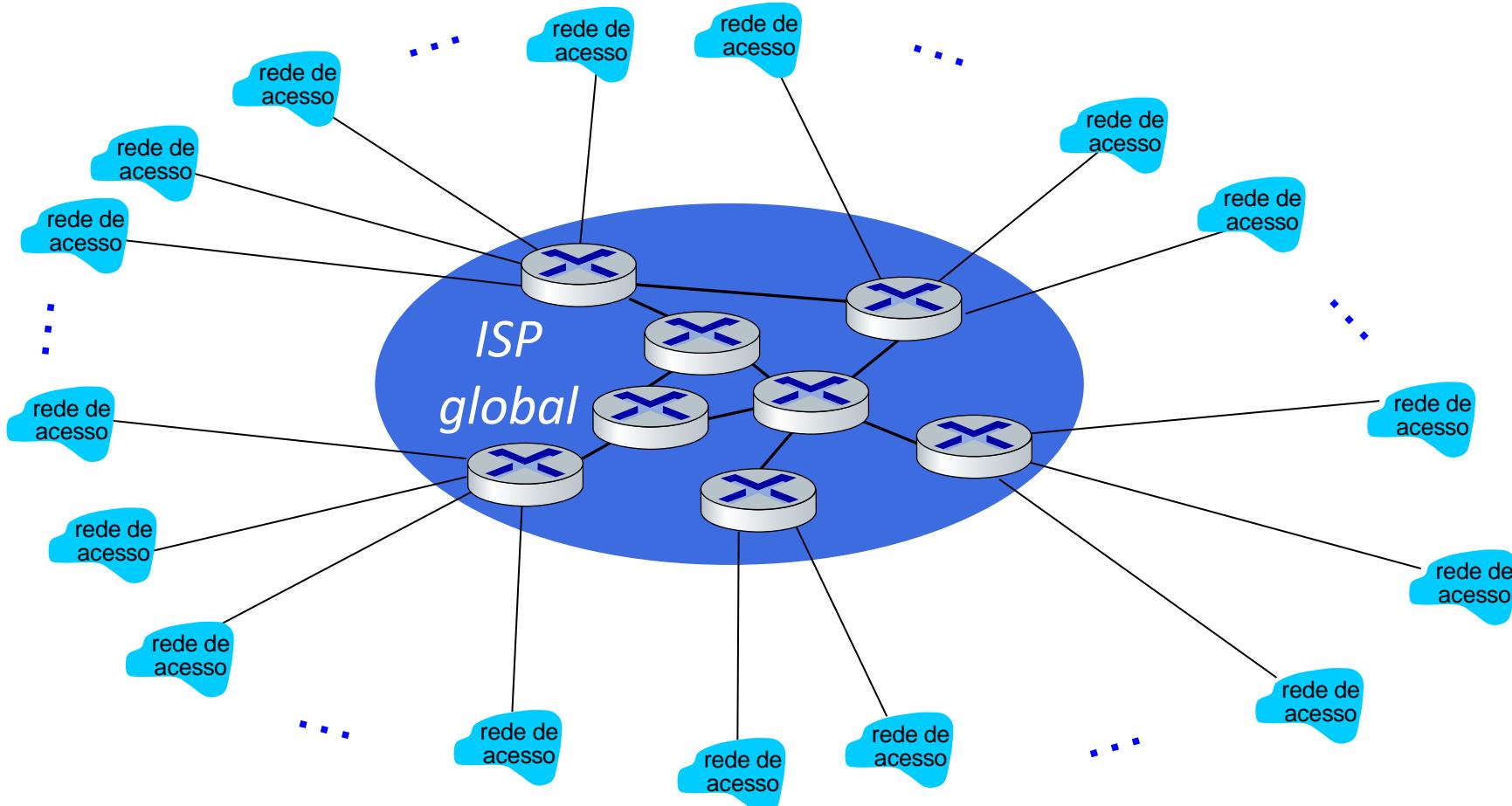
**Questão:** dados *milhões* de provedores (ISPs) de acesso, como conecta-los?



# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

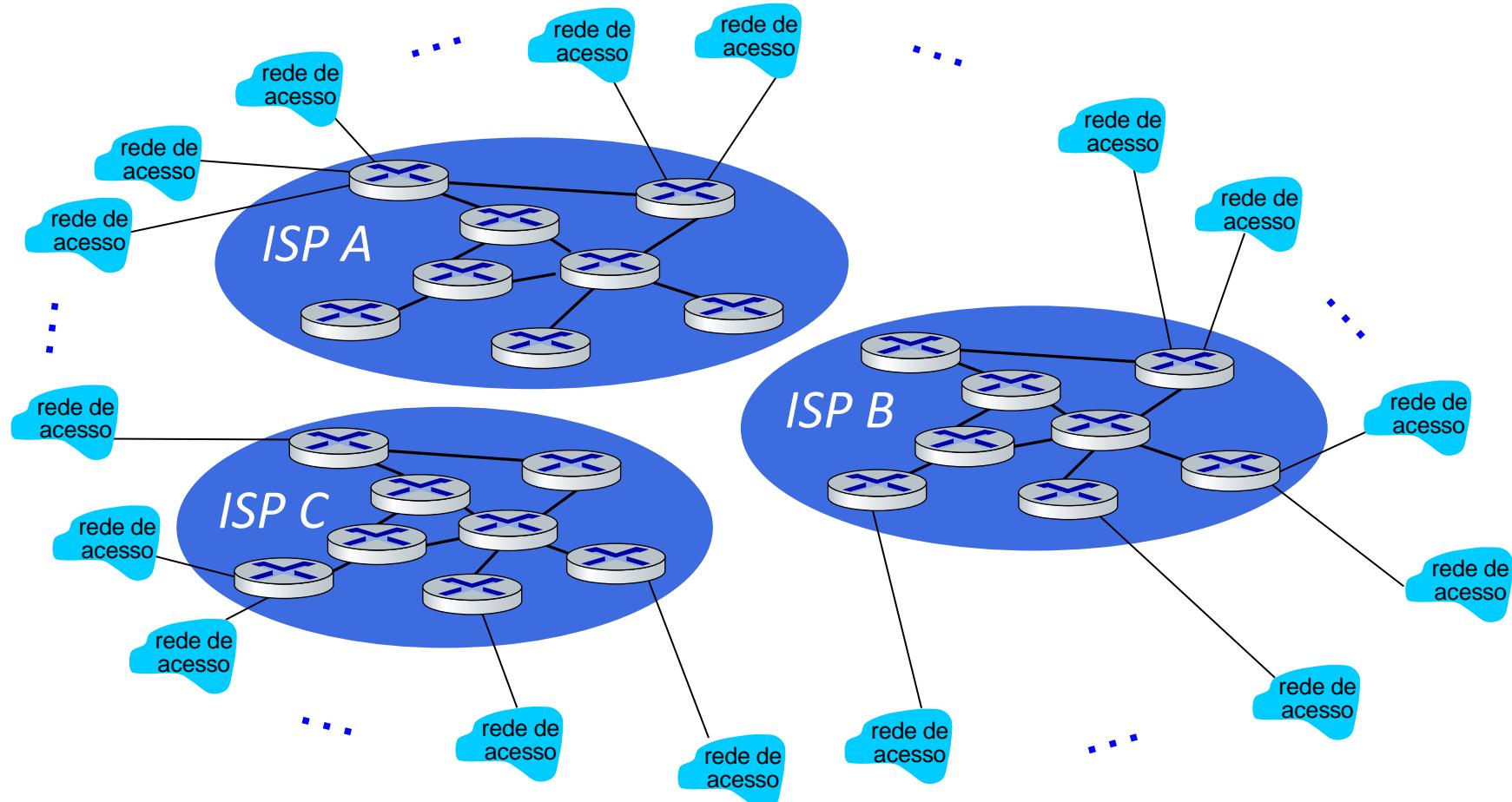
*Opção: conectar cada provedor (ISP) de acesso a um ISP de trânsito global.*

*Provedores (ISPs) clientes e fornecedores tem um acordo econômico.*



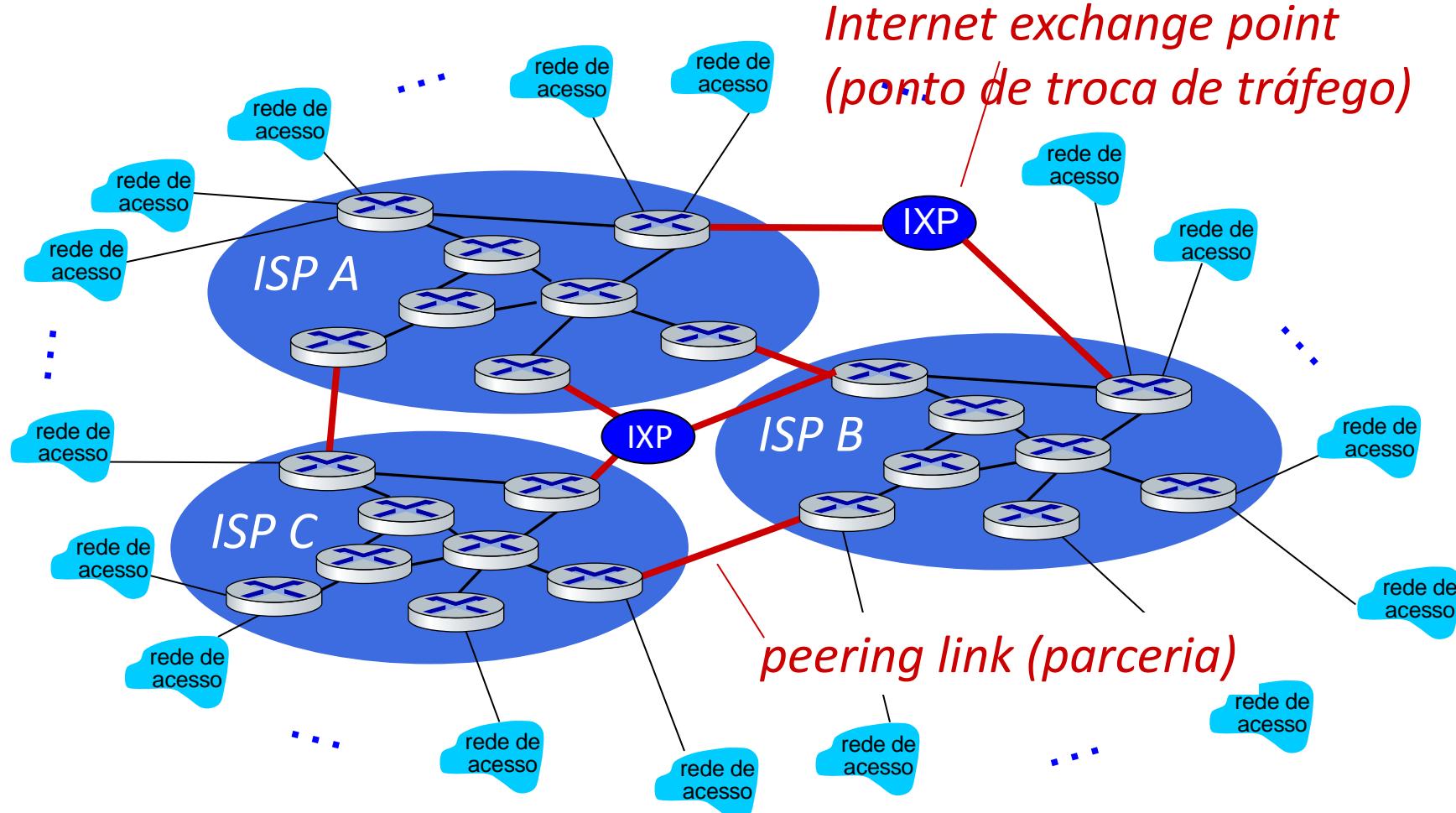
# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

Mas se um ISP global for um negócio viável, haverá concorrentes ....



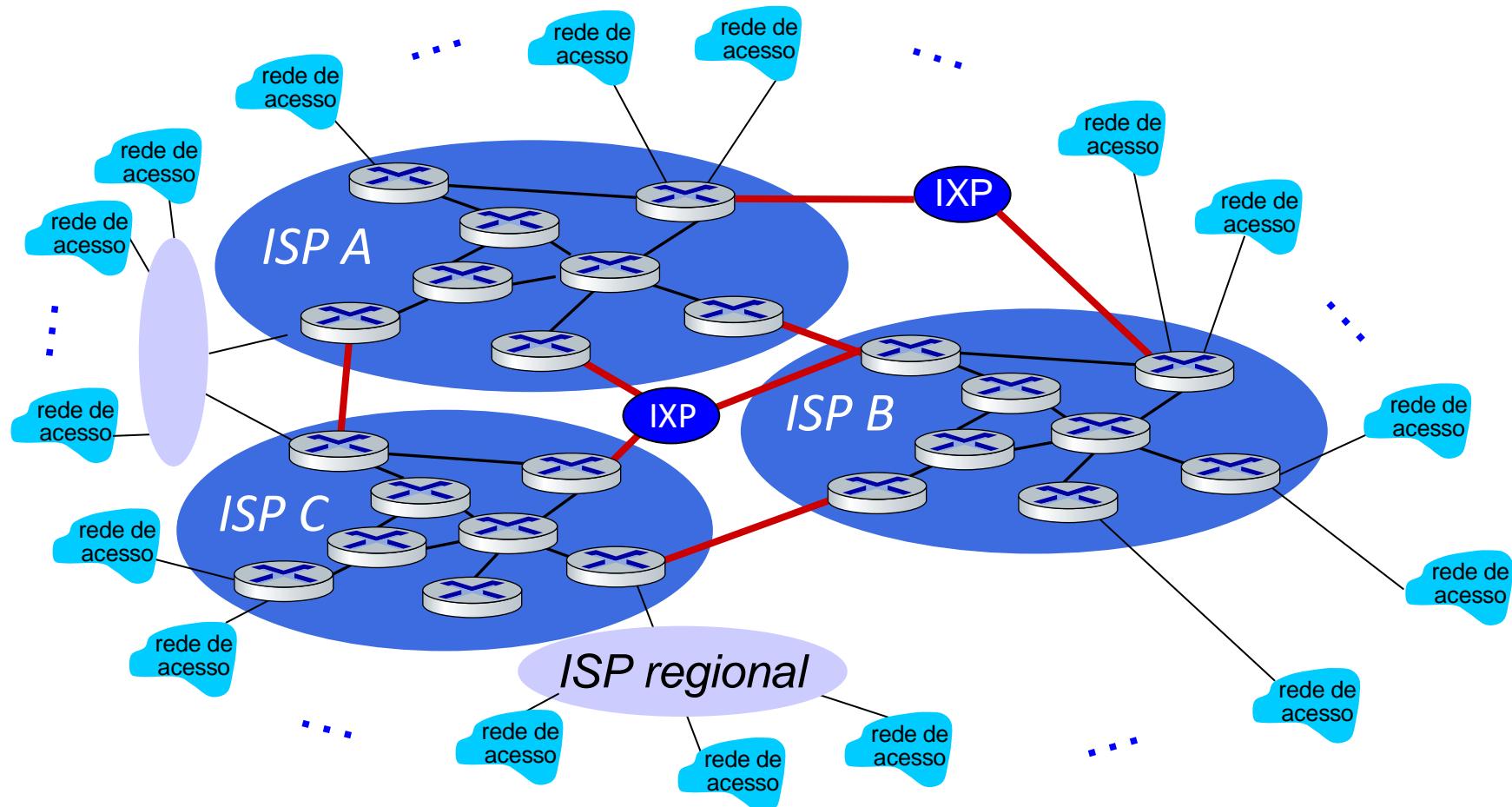
# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

Mas se um ISP global for um negócio viável, haverá concorrentes .... que vão querer estar conectados



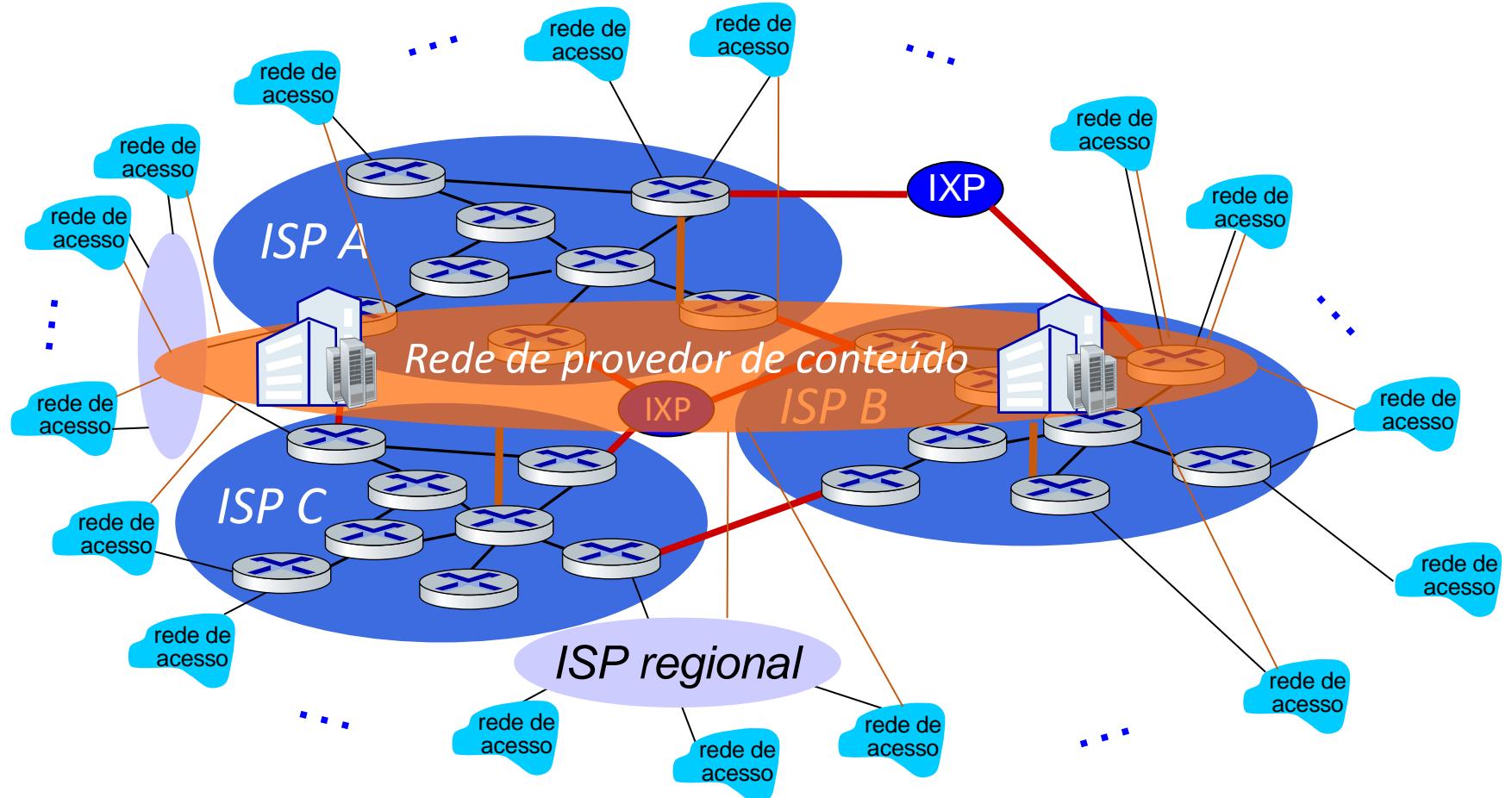
# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

... e redes regionais podem surgir para conectar redes de acesso a ISPs

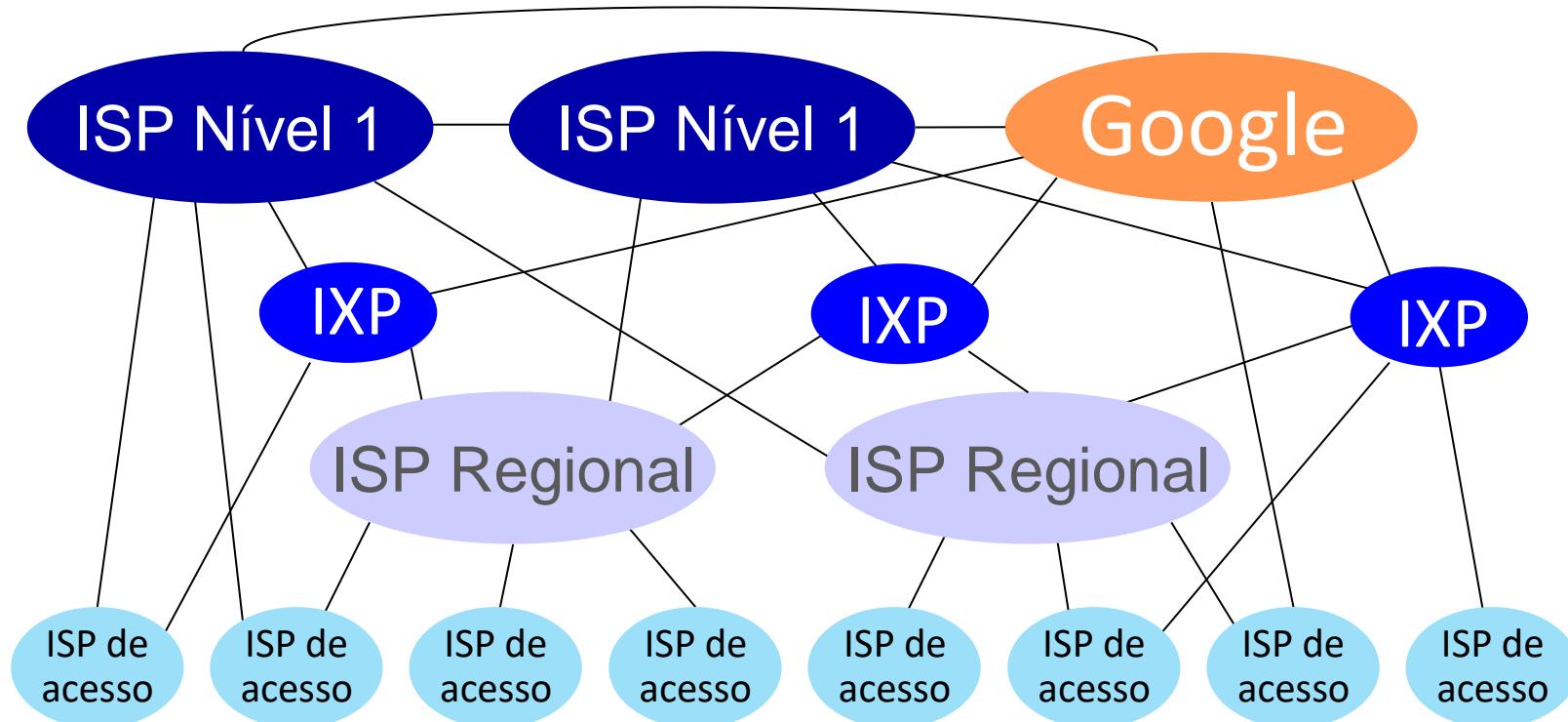


# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”

... e redes de provedores de conteúdo (por exemplo, Google, Microsoft, Akamai) podem executar sua própria rede, para trazer serviços e conteúdo perto dos usuários finais



# Estrutura da Internet: uma “rede de redes”



No “centro”: número pequeno de grandes redes bem conectadas

- **provedores comerciais “nível 1”** (ex: Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional
- **redes de provedores de conteúdo** (ex.: Google, Facebook): rede privada que conecta seus data centers à Internet, muitas vezes ignorando provedores de nível 1 e regionais

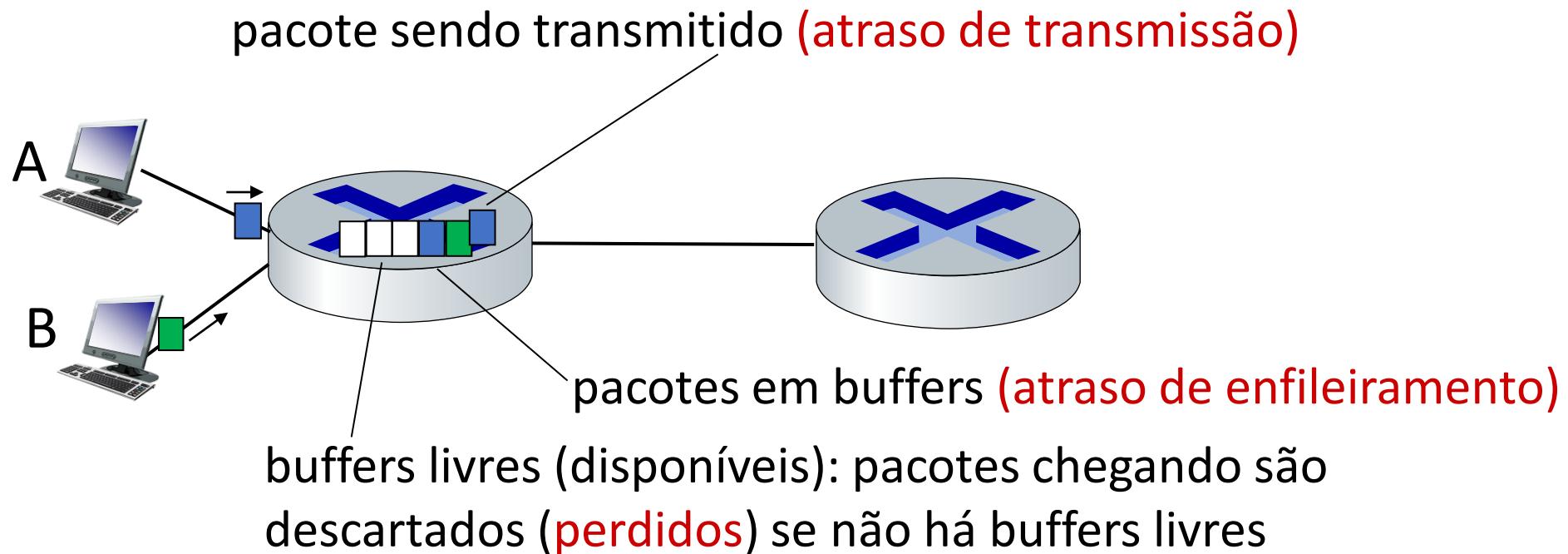
# Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- História

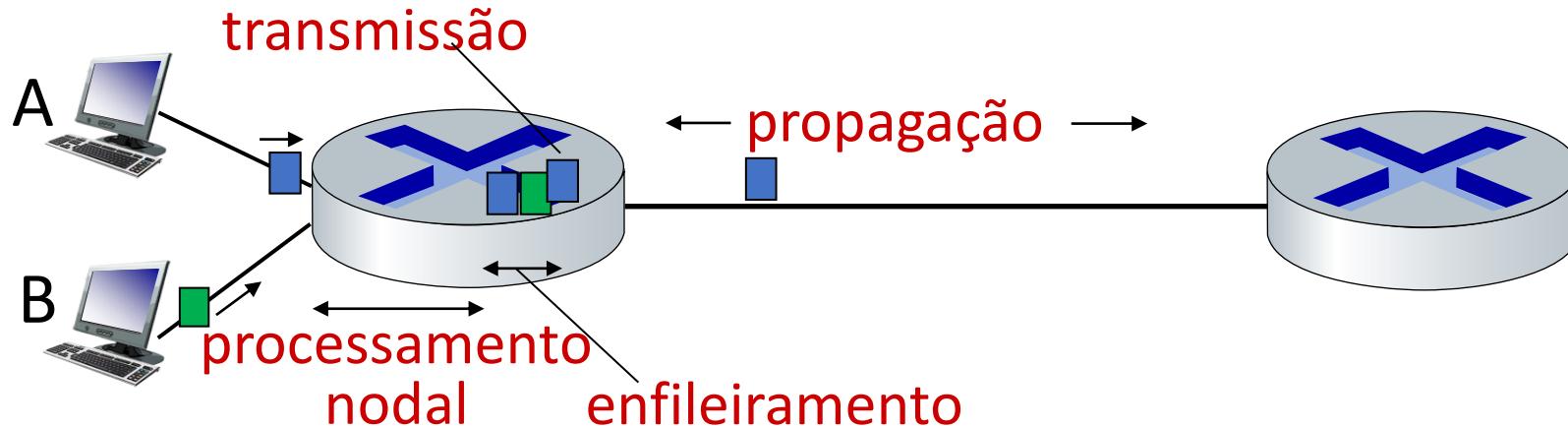


# Como ocorre o atraso e a perda de pacotes?

- pacotes *enfileiram* nos buffers do roteador, aguardando a vez para a transmissão
  - o comprimento da fila aumenta quando a taxa de chegada ao enlace (temporariamente) excede a capacidade do enlace de saída
- *perda* de pacote ocorre quando a memória que armazena os pacotes enfileirados se enche



# Atraso de pacotes: quatro fontes



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

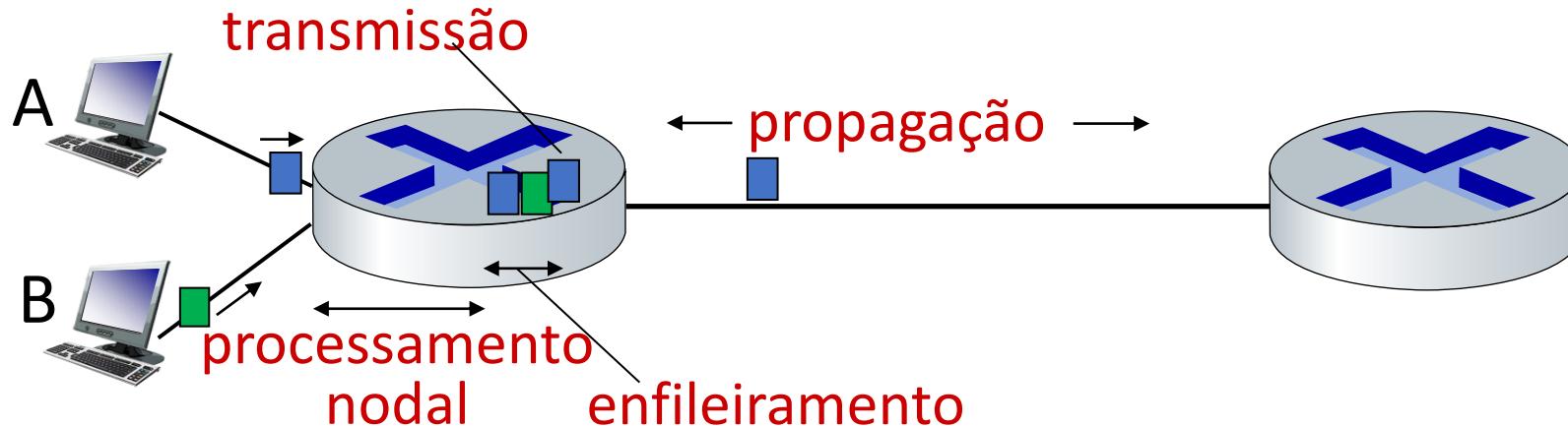
$d_{\text{proc}}$ : processamento nodal

- checa erros de bits
- determina enlace de saída
- tipicamente < microsegundos

$d_{\text{queue}}$ : atraso de enfileiramento

- tempo esperando no enlace de saída para transmissão
- depende do nível de congestionamento do roteador

# Atraso de pacotes: quatro fontes



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

$d_{\text{trans}}$ : atraso de transmissão:

- $L$ : tamanho do pacote (bits)
- $R$ : taxa de transmissão do enlace (bps)

$$\blacksquare \quad d_{\text{trans}} = L/R$$

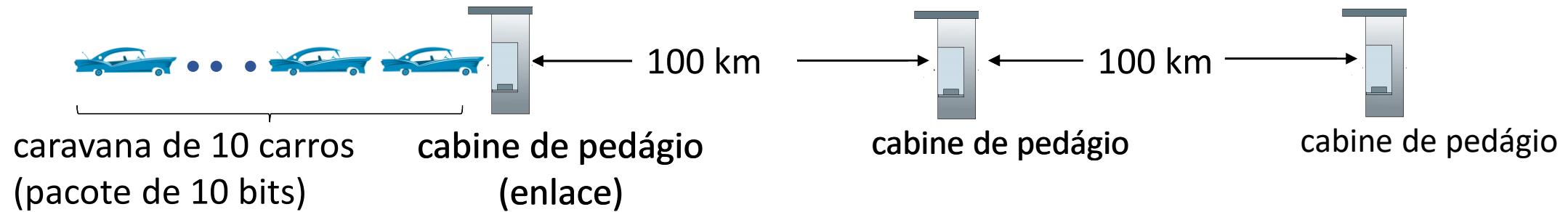
$d_{\text{prop}}$ : atraso de propagação:

- $d$ : tamanho do enlace físico
- $s$ : velocidade de propagação ( $\sim 2 \times 10^8$  metros/segundo)

$$\blacksquare \quad d_{\text{prop}} = d/s$$

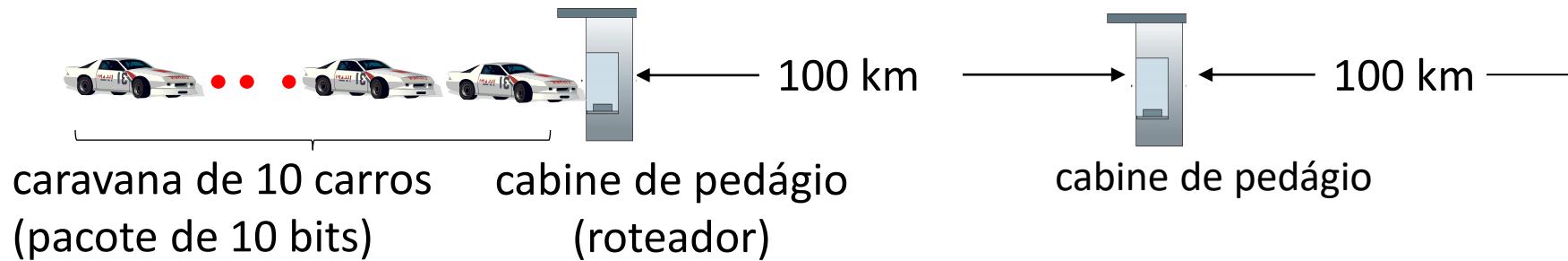
$d_{\text{trans}}$  e  $d_{\text{prop}}$   
muito diferentes

# Analogia da caravana



- carro ~ bit; caravana ~ pacote; serviço de pedágio ~ enlace de transmissão
- cabine de pedágio leva 12 segundos para atender um carro (tempo de transmissão de bits)
- carros “propagam” a 100 km/h
- **Q: Quanto tempo até a caravana estar alinhada antes da segunda cabine de pedágio?**
- tempo de “empurrar” a caravana inteira através da cabine de pedágio para a rodovia =  $12 \times 10 = 120$  seg
- tempo para o último carro se propagar da 1<sup>a</sup> para a 2<sup>a</sup> cabine de pedágio:  $100\text{km} / (100\text{km} / \text{h}) = 1$  hora
- **R: 62 minutos**

# Analogia da caravana

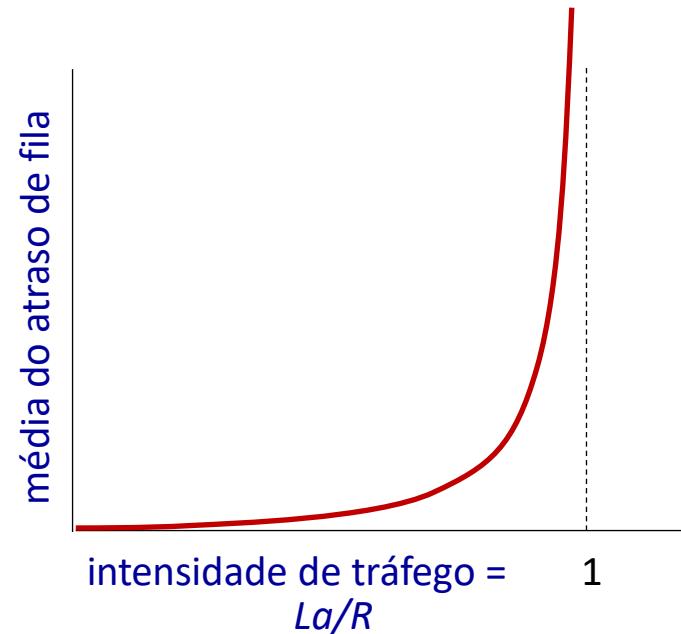


- suponha que os carros agora “propaguem-se” a 1000 km/h
  - e suponha que a cabine de pedágio agora leve um minuto para atender um carro
  - **Q: Carros chegarão à segunda cabine antes que todos os carros tenham sido atendidos na primeira cabine?**
- R: Sim!** após 7 min, o primeiro carro chega à segunda cabine; três carros ainda estão na primeira cabine.

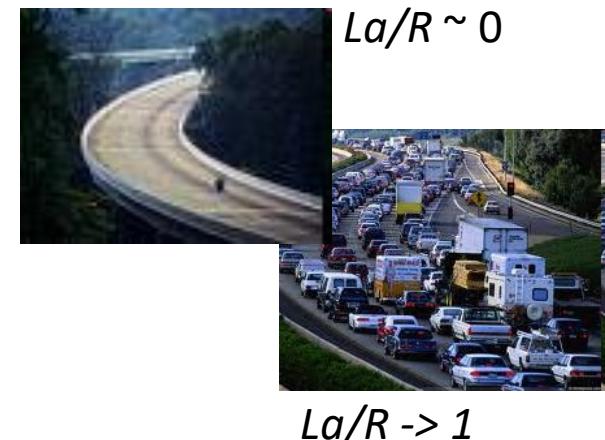
# Atraso de enfileiramento de pacotes (revisitado)

- $a$ : taxa média de chegada de pacotes
- $L$ : comprimento do pacote (bits)
- $R$ : largura de banda do enlace (taxa de transmissão de bits)

$$\frac{L \cdot a}{R} : \frac{\text{taxa de chegada de bits}}{\text{taxa de atendimento de bits}} \quad \text{"intensidade do tráfego"}$$

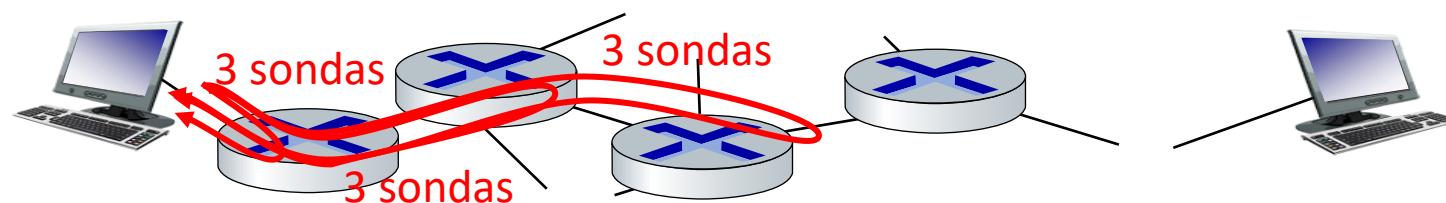


- $La/R \sim 0$ : média do atraso de fila pequeno
- $La/R \rightarrow 1$ : média do atraso de fila grande
- $La/R > 1$ : “trabalho” chegando é maior do que o que pode ser atendido – atraso médio infinito!



# Atrasos e rotas “reais” da Internet

- como são os atrasos e perdas “reais” na Internet?
- programa **traceroute**: fornece medição de atraso da origem até todos os roteadores ao longo do caminho fim a fim da Internet em direção ao destino. Para todo  $i$ :
  - envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho para o destino (com um valor do campo time-to-live de  $i$ )
  - roteador  $i$  irá retornar pacotes para o remetente
  - remetente mede o intervalo de tempo entre a transmissão e a resposta



# Atrasos e rotas reais da Internet

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 medições de atraso de gaia.cs.umass.edu para cs-gw.cs.umass.edu						
1	cs-gw (128.119.240.254)	1 ms	1 ms	2 ms		
2	border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)	1 ms	1 ms	2 ms	3 medidas de atraso para border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu	
3	cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)	6 ms	5 ms	5 ms		
4	jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)	16 ms	11 ms	13 ms		
5	jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)	21 ms	18 ms	18 ms		
6	abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)	22 ms	18 ms	22 ms		
7	nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)	22 ms	22 ms	22 ms	enlace trans-oceânico	
8	62.40.103.253 (62.40.103.253)	104 ms	109 ms	106 ms		
9	de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)	109 ms	102 ms	104 ms		
10	de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)	113 ms	121 ms	114 ms		
11	renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)	112 ms	114 ms	112 ms	parece que os atrasos diminuiram! Por quê?	
12	nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)	111 ms	114 ms	116 ms		
13	nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)	123 ms	125 ms	124 ms		
14	r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)	126 ms	126 ms	124 ms		
15	eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)	135 ms	128 ms	133 ms		
16	194.214.211.25 (194.214.211.25)	126 ms	128 ms	126 ms		
17	***					
18	***	* significa sem resposta (sonda perdida, roteador não respondendo)				
19	fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)	132 ms	128 ms	136 ms		

\* Faça alguns traceroutes a partir de países exóticos em [www.traceroute.org](http://www.traceroute.org)

## Windows PowerShell



Windows PowerShell

Copyright (C) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

Experimente a nova plataforma cruzada PowerShell <https://aka.ms/pscore6>

PS C:\Users\fbrev> tracert www.unesp.br

Rastreando a rota para www.unesp.br [200.145.6.98]  
com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	RT-AC86U-4D48 [192.168.50.1]
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	5 ms	7 ms	5 ms	187-100-40-45.dsl.telesp.net.br [187.100.40.45]
4	7 ms	7 ms	9 ms	152-255-167-76.user.vivozap.com.br [152.255.167.76]
5	7 ms	9 ms	8 ms	187-100-192-40.dsl.telesp.net.br [187.100.192.40]
6	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
7	8 ms	13 ms	10 ms	rt-asr.net.unesp.br [200.145.0.253]
8	8 ms	14 ms	7 ms	groob.reitoria.unesp.br [200.145.6.98]

Rastreamento concluído.

PS C:\Users\fbrev>

```
PS C:\Users\fbrev> tracert www.ualberta.ca
```

Rastreando a rota para prod.cds.ualberta.cloud [65.8.212.7]  
com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	RT-AC86U-4D48 [192.168.50.1]
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	3 ms	5 ms	8 ms	187-100-189-86.dsl.telesp.net.br [187.100.189.86]
4	*	6 ms	5 ms	152-255-167-76.user.vivozap.com.br [152.255.167.76]
5	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
6	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
7	9 ms	10 ms	9 ms	52.93.146.151
8	10 ms	9 ms	9 ms	150.222.70.159
9	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
10	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
11	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
12	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
13	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
14	9 ms	13 ms	8 ms	65.8.212.7

Rastreamento concluído.

```
PS C:\Users\fbrev>
```

## Windows PowerShell

```
PS C:\Users\fbrev> tracert www.google.com
```

Rastreando a rota para www.google.com [2800:3f0:4001:81b::2004]  
com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	2804:431:c7d3:5451::1
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	5 ms	5 ms	5 ms	2001:12e0:100:2008:a005:2008:a061:6
4	6 ms	5 ms	14 ms	2001:12e0:100:2008:a002:2008:a005:0
5	7 ms	7 ms	7 ms	2001:12e0:100:1017:a001:2008:a002:4
6	9 ms	9 ms	9 ms	2001:4860:1:1::d84
7	10 ms	9 ms	7 ms	2800:3f0:8039::1
8	9 ms	9 ms	9 ms	2001:4860:0:1::2446
9	11 ms	*	*	2001:4860:0:1::799
10	8 ms	9 ms	11 ms	2800:3f0:4001:81b::2004

Rastreamento concluído.

```
PS C:\Users\fbrev>
```

```
PS C:\Users\fbrev> tracert www.facebook.com
```

Rastreando a rota para star-mini.c10r.facebook.com [2a03:2880:f148:82:face:b00c:0:25de]  
com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	2804:431:c7d3:5451::1
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	5 ms	7 ms	5 ms	2001:12e0:100:2008:a006:2008:a061:6
4	6 ms	5 ms	5 ms	2001:12e0:100:2008:a006:2008:a002:3
5	7 ms	7 ms	7 ms	2001:12e0:100:1016:a001:2008:a002:4
6	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
7	9 ms	9 ms	9 ms	po141.asw02.gru1.tfbnw.net [2620:0:1cff:dead:beef::28]
8	9 ms	8 ms	18 ms	po224.psw03.gru1.tfbnw.net [2620:0:1cff:dead:beef::125f]
9	9 ms	9 ms	7 ms	po3.msw1ag.01.gru1.tfbnw.net [2a03:2880:f048:ffff::75]
10	9 ms	9 ms	9 ms	edge-star-mini6-shv-01-gru1.facebook.com [2a03:2880:f148:82:face:b00c:0:25de]

Rastreamento concluído.

```
PS C:\Users\fbrev>
```

PS C:\Users\fbrev&gt; tracert www.surrey.ac.uk

Rastreando a rota para www9.surrey.ac.uk [131.227.132.127]

com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	RT-AC86U-4D48 [192.168.50.1]
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	5 ms	5 ms	8 ms	187-100-40-61.dsl.telesp.net.br [187.100.40.61]
4	5 ms	5 ms	9 ms	152-255-167-78.user.vivozap.com.br [152.255.167.78]
5	6 ms	8 ms	7 ms	152-255-173-123.user.vivozap.com.br [152.255.173.123]
6	8 ms	11 ms	15 ms	152-255-159-245.user.vivozap.com.br [152.255.159.245]
7	12 ms	7 ms	15 ms	152-255-140-45.user.vivozap.com.br [152.255.140.45]
8	12 ms	15 ms	17 ms	et-0-0-17-0-4-grtsanem1.priv.net.telefonicaglobalsolutions.com [216.184.112.114]
9	143 ms	146 ms	148 ms	94.142.98.83
10	128 ms	128 ms	127 ms	94.142.107.159
11	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
12	226 ms	227 ms	225 ms	JANET.ear3.London2.Level3.net [212.187.216.238]
13	211 ms	211 ms	207 ms	ae24.londtt-sbr1.ja.net [146.97.35.193]
14	211 ms	210 ms	210 ms	ae28.londtw-sbr2.ja.net [146.97.33.62]
15	227 ms	230 ms	*	ae30.londpg-sbr2.ja.net [146.97.33.5]
16	238 ms	227 ms	226 ms	ae19.readdy-rbr1.ja.net [146.97.37.194]
17	239 ms	236 ms	232 ms	ae3.readss-rbr1.ja.net [193.63.108.90]
18	241 ms	234 ms	235 ms	surrey-university.ja.net [193.63.109.182]
19	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
20	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
21	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
22	225 ms	227 ms	229 ms	ai.surrey.ac.uk [131.227.132.127]

Rastreamento concluído.

PS C:\Users\fbrev&gt;

## Windows PowerShell

```
PS C:\Users\fbrev> tracert www.zoom.co.jp
```

Rastreando a rota para www.zoom.co.jp [139.162.106.88]

com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	RT-AC86U-4D48 [192.168.50.1]
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.
3	6 ms	7 ms	5 ms	187-100-189-86.dsl.telesp.net.br [187.100.189.86]
4	7 ms	5 ms	6 ms	152-255-156-185.user.vivozap.com.br [152.255.156.185]
5	17 ms	8 ms	9 ms	152-255-163-236.user.vivozap.com.br [152.255.163.236]
6	10 ms	7 ms	9 ms	84.16.7.228
7	121 ms	124 ms	125 ms	5.53.3.247
8	145 ms	145 ms	145 ms	94.142.117.52
9	131 ms	137 ms	130 ms	ae-52.r05.asbnva02.us.bb.gin.ntt.net [129.250.8.117]
10	*	140 ms	*	ae-7.r25.asbnva02.us.bb.gin.ntt.net [129.250.2.21]
11	198 ms	198 ms	196 ms	ae-2.r25.lsanca07.us.bb.gin.ntt.net [129.250.3.189]
12	302 ms	300 ms	302 ms	ae-12.r31.tokyjp05.jp.bb.gin.ntt.net [129.250.3.192]
13	310 ms	308 ms	305 ms	ae-3.r01.tokyjp08.jp.bb.gin.ntt.net [129.250.6.133]
14	300 ms	301 ms	300 ms	192.80.17.178
15	303 ms	304 ms	304 ms	139.162.64.31
16	303 ms	304 ms	304 ms	li1590-88.members.linode.com [139.162.106.88]

Rastreamento concluído.

```
PS C:\Users\fbrev>
```

Windows PowerShell

PS C:\Users\fbrev> tracert www.tsinghua.edu.cn

Rastreando a rota para www.tsinghua.edu.cn [2402:f000:1:404:166:111:4:100]  
com no máximo 30 saltos:

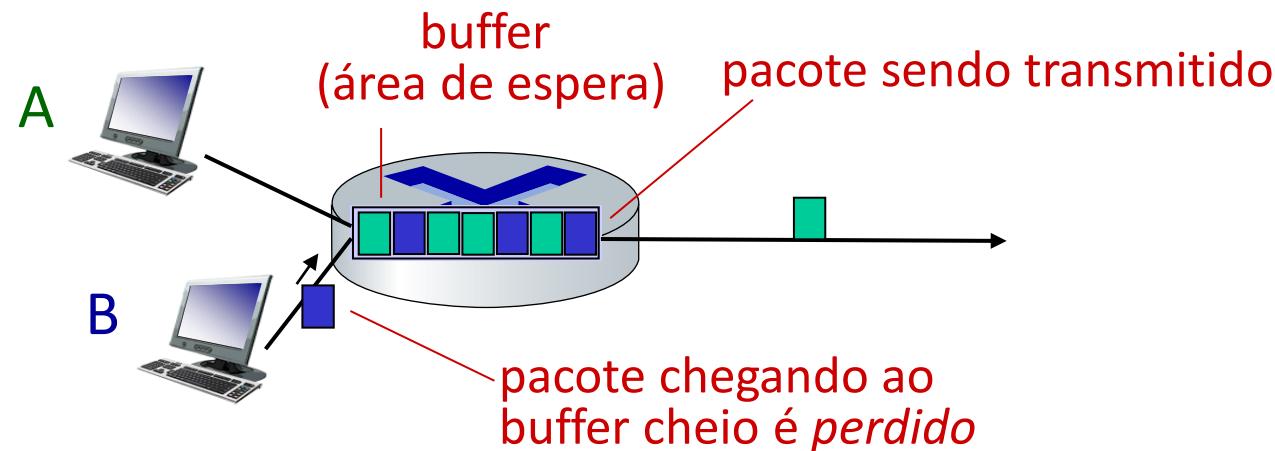
Saltos	T1	T2	T3	T4	Destino
1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	2804:431:c7d3:5451::1	
2	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.	
3	6 ms	7 ms	5 ms	2001:12e0:100:2008:a005:2008:a061:2	
4	6 ms	5 ms	5 ms	2001:12e0:100:2008:a005:2008:a002:3	
5	9 ms	9 ms	14 ms	2001:12e0:100:2008:a002:1030:a002:c	
6	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.	
7	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.	
8	12 ms	14 ms	11 ms	2001:1498:1:957:8000::131	
9	*	*	123 ms	2001:1498:1::100:255	
10	128 ms	122 ms	126 ms	10gigabitethernet9-9.core1.mia1.he.net [2001:470:0:531::1]	
11	*	*	137 ms	100ge11-1.core1.at11.he.net [2001:470:0:18d::1]	
12	157 ms	157 ms	158 ms	100ge16-1.core1.chi1.he.net [2001:470:0:2b5::1]	
13	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.	
14	184 ms	189 ms	185 ms	100ge14-2.core1.msp1.he.net [2001:470:0:18e::2]	
15	218 ms	218 ms	217 ms	100ge11-2.core1.sea1.he.net [2001:470:0:22a::1]	
16	298 ms	302 ms	299 ms	100ge11-2.core1.tyo1.he.net [2001:470:0:268::2]	
17	349 ms	347 ms	358 ms	100ge10-2.core1.hkg1.he.net [2001:470:0:3c0::1]	
18	383 ms	379 ms	379 ms	cernet1-lacp-10g.hkix.net [2001:7fa:0:1::ca28:albe]	
19	382 ms	382 ms	381 ms	cernet2.net [2001:252:0:106::1]	
20	*	*	*	Esgotado o tempo limite do pedido.	
21	398 ms	407 ms	404 ms	cernet2.net [2001:252:0:1::1]	
22	385 ms	390 ms	382 ms	2001:da8:2:101::2	
23	398 ms	399 ms	405 ms	cernet2.net [2001:da8:a0:1001::2]	
24	393 ms	389 ms	395 ms	2402:f000:0:404::6	
25	*	*	383 ms	2402:f000:0:242::66	
26	391 ms	387 ms	392 ms	2402:f000:0:804::6	
27	393 ms	395 ms	401 ms	2402:f000:1:404:166:111:4:100	

Rastreamento concluído.

PS C:\Users\fbrev>

# Perda de pacote

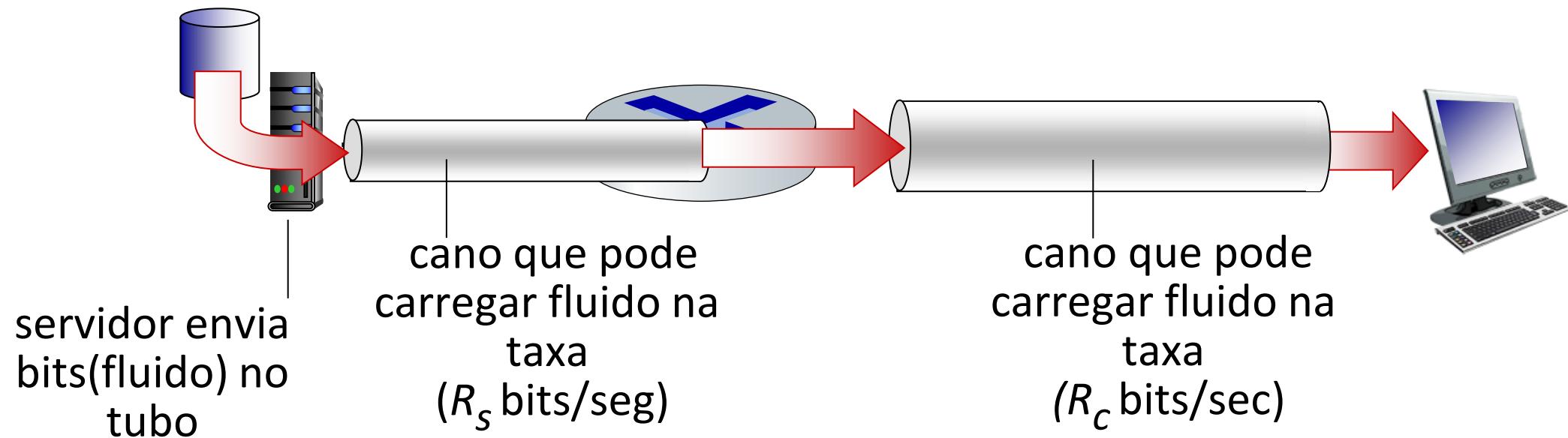
- fila (buffer) que precede o enlace tem capacidade finita
- pacote que chega à fila cheia é descartado (perdido)
- o pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema final de origem ou não ser retransmitido



\* Confira o applet Java para uma animação interativa (no site da editora) de enfileiramento e perda

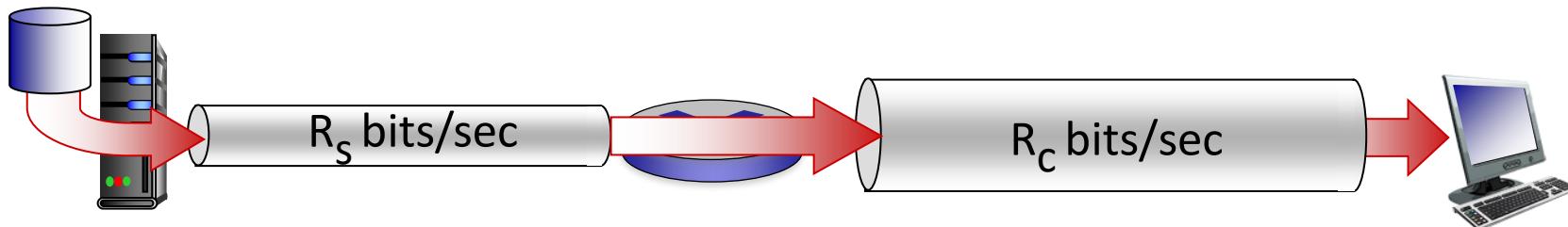
# Vazão

- **vazão:** taxa (bits / unidade de tempo) na qual os bits estão sendo enviados do emissor para o receptor
  - *instantânea:* taxa em determinado momento
  - *average:* taxa por um período mais longo de tempo

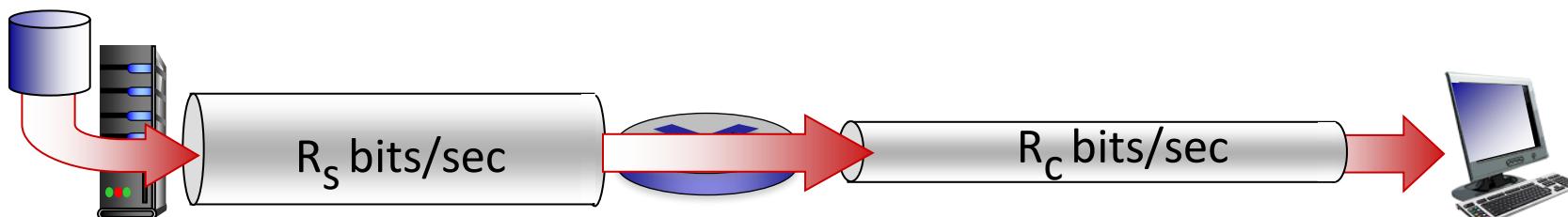


# Vazão

$R_s < R_c$  Qual é a taxa de transferência fim a fim média?



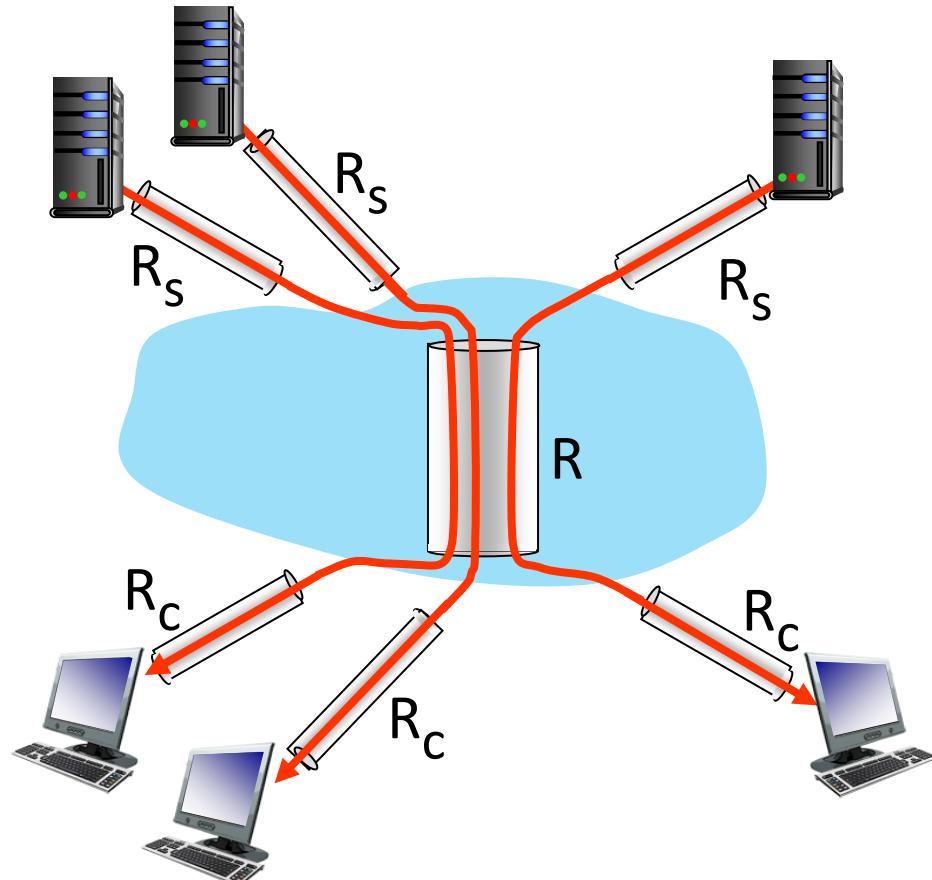
$R_s > R_c$  Qual é a taxa de transferência fim a fim média?



*enlace de gargalo*

enlace no caminho fim a fim que restringe a vazão fim a fim

# Taxa de transferência: cenário de rede



10 conexões (razoavelmente)  
compartilham enlace de gargalo de  
*backbone* de  $R$  bits/seg

- vazão fim a fim por conexão:  
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- na prática:  $R_c$  ou  $R_s$  é frequentemente o gargalo

\* Confira os exercícios interativos online para mais exemplos: [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/)

# Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- **Segurança**
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- História



# Segurança de rede

- A Internet não foi originalmente projetada com (muita) segurança em mente
  - *visão original:* “um grupo de usuários que se confiam mutuamente, conectados a uma rede transparente” ☺
  - projetistas de protocolo de Internet brincam de “pega pega”
  - considerações de segurança em todas as camadas!
- Agora precisamos pensar sobre:
  - como os bandidos podem atacar redes de computadores
  - como podemos defender as redes contra ataques
  - como projetar arquiteturas que são imunes a ataques

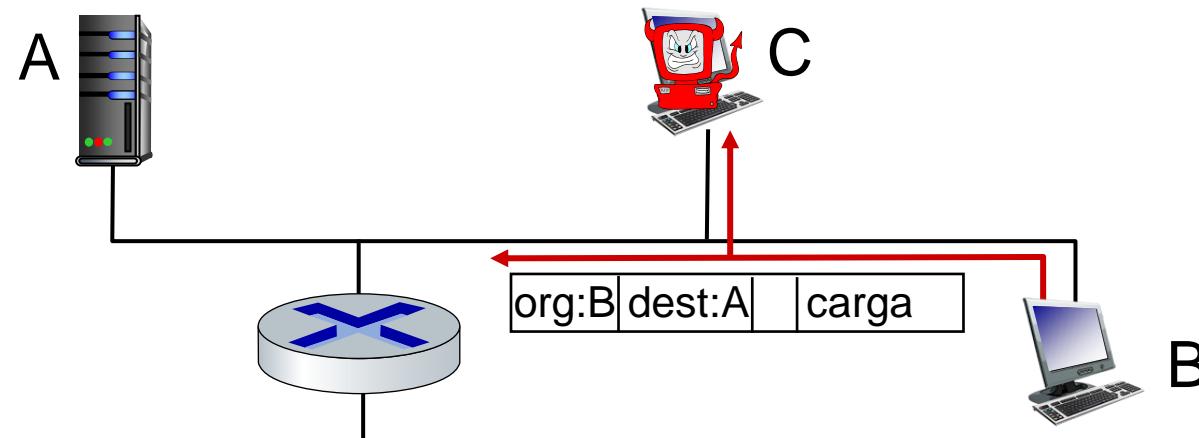
# Bandidos: colocam *malware* em hospedeiros via Internet

- *malware* pode chegar ao hospedeiro por:
  - *vírus*: infecção auto-replicante por receber/executar um objeto (ex.: anexo de e-mail)
  - *worm*: infecção auto-replicante por passivamente receber um objeto que se executa por si próprio
- *spyware*: *malware* que pode gravar teclas pressionadas, *web sites* visitados e enviar informações para um site de coleta
- hospedeiro infectado pode ser colocado em uma *botnet*, usada para *spam* e ataques DDoS (a seguir)

# Bandidos: interceptação de pacotes

*“farejamento” (“sniffing”) de pacotes:*

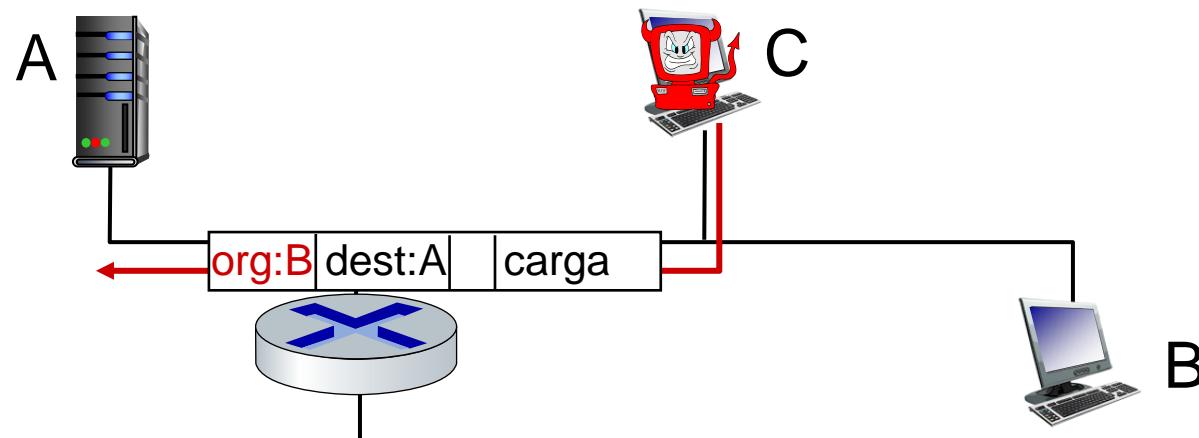
- mídia de difusão (Ethernet compartilhada, redes sem fio)
- interface de rede promíscua lê/registra todos os pacotes (incluindo senhas!) que passam por ela



O software Wireshark usado em nossos laboratórios de fim de capítulo é um farejador de pacotes (gratuito)

# Bandidos: identidade falsa

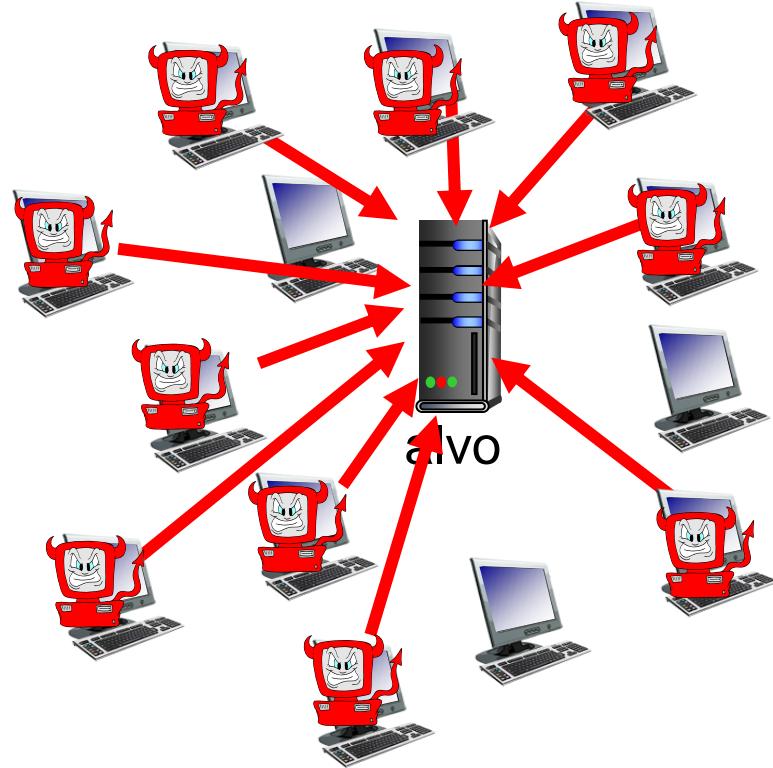
*Spoofing de IP:* injeção de pacote com endereço de origem falso



# Bandidos: negação de serviço

*Denial of Service (DoS) – negação de serviço:* os atacantes tornam os recursos (servidor, largura de banda) indisponíveis para o tráfego legítimo, sobrecarregando os recursos com tráfego falso

1. selecionar alvo
2. invadir hospedeiros em torno da rede (ver *botnet*)
3. enviar pacotes para o alvo a partir de hospedeiros comprometidos



# Linhas de defesa:

- **autenticação**: provando que você é quem você diz que é
  - as redes celulares fornecem identidade de hardware por meio do cartão SIM; nenhum hardware desse tipo ajuda na Internet tradicional
- **confidencialidade**: via criptografia
- **checagem de integridade**: assinaturas digitais evitam/detectam adulteração
- **restrições de acesso**: VPNs protegidas por senha
- ***firewalls***: “middleboxes” especializados em redes de acesso e núcleo:
  - desativado por padrão: filtre os pacotes de entrada para restringir remetentes, destinatários e aplicativos
  - detectar/reagir a ataques DoS

*... muito mais sobre segurança (em todo o Capítulo 8)*

# Capítulo 1: roteiro

- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- Segurança
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- História



# “Camadas” de protocolo e modelos de referência

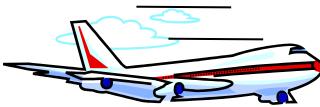
Redes são complexas, com muitas “peças”:

- hospedeiros
- roteadores
- enlaces de várias mídias
- aplicações
- protocolos
- hardware, software

*Questão:* existe alguma esperança de *organizar* a estrutura das redes?

- e/ou nossa discussão de redes?

# Exemplo: organização de viagens aéreas



— Transferência ponta a ponta de pessoa mais bagagem →

ticket (comprar)

bagagem (despachar)

portões (embarcar)

pista (decolar)

aeronave em rota

ticket (reclamar)

bagagem (retirar)

portões (desembarcar)

pista (pousar)

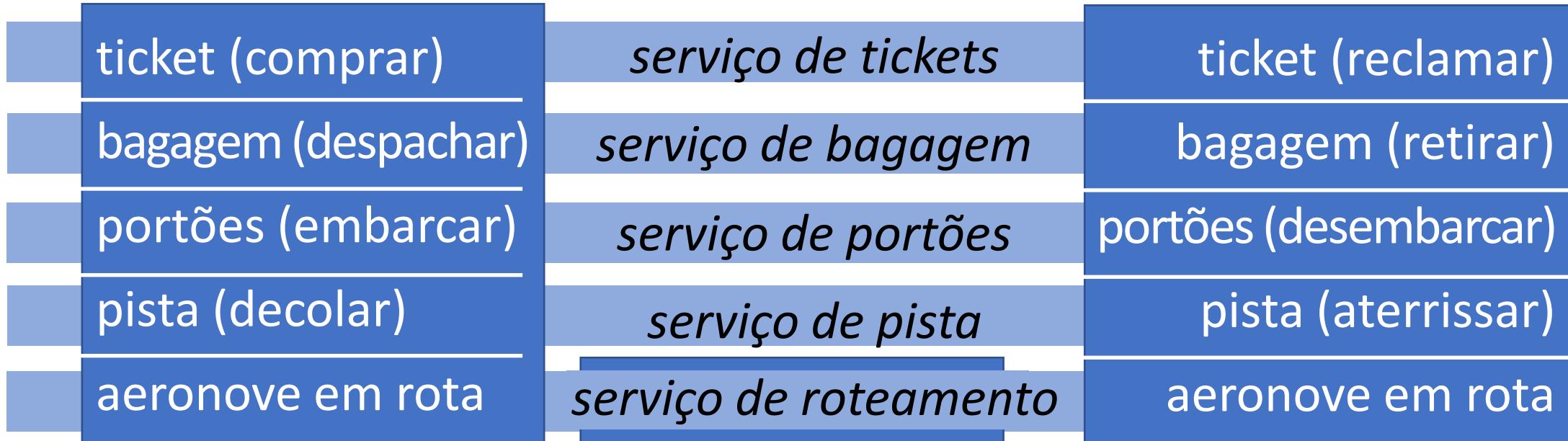
aeronave em rota

aeronave em rota

Como você definiria/discutiria o sistema de viagens aéreas?

- uma série de etapas, envolvendo muitos serviços

# Exemplo: organização de viagens aéreas



*camadas:* cada camada implementa um serviço

- por meio de suas próprias ações de camada interna
- contando com os serviços fornecidos pela camada abaixo

# Por que camadas?

Abordagem para projetar/discutir sistemas complexos:

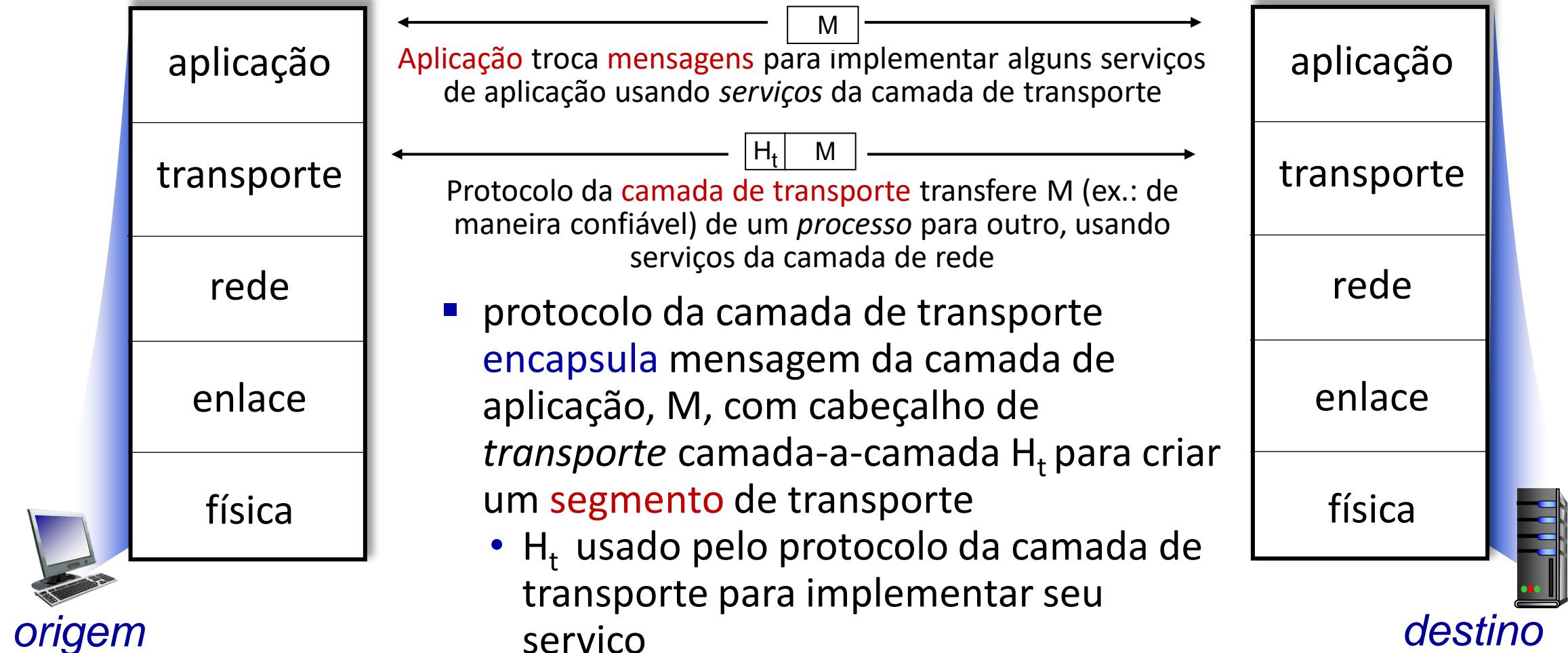
- estrutura explícita permite a identificação e a relação das peças do sistema
  - *modelo de referência* de camadas para discussão
- modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
  - mudança na implementação de serviço da camada: transparente para o resto do sistema
  - por exemplo, a mudança no procedimento de embarque não afeta o resto do sistema

# Pilha de camadas de protocolos de Internet

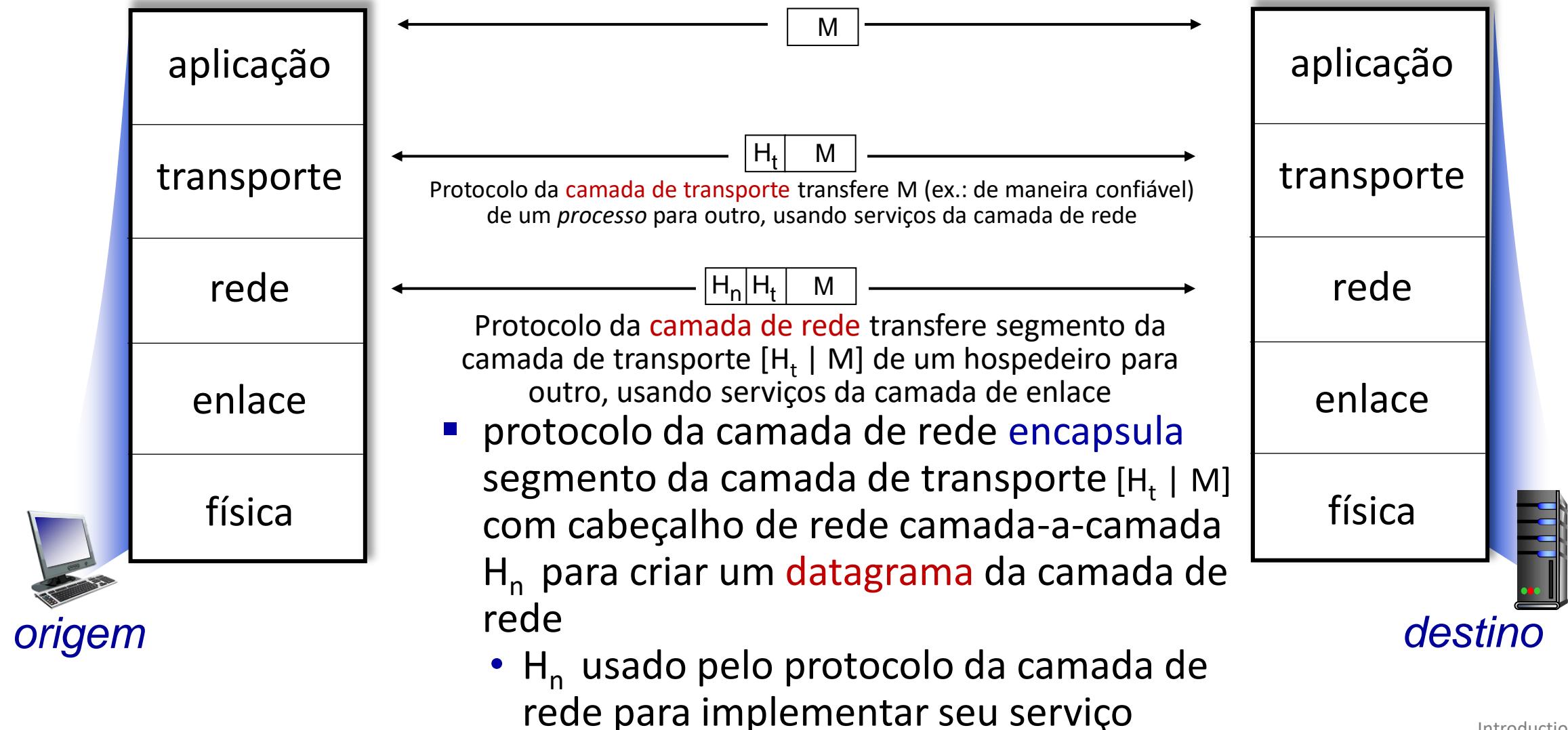
- *aplicação*: suporte a aplicações de rede
  - HTTP, IMAP, SMTP, DNS
- *transporte*: transferência de dados processo a processo
  - TCP, UDP
- *rede*: roteamento de datagramas da origem ao destino
  - IP, protocolos de roteamento
- *enlace*: transferência de dados entre elementos vizinhos
  - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- *física*: bits “no fio”



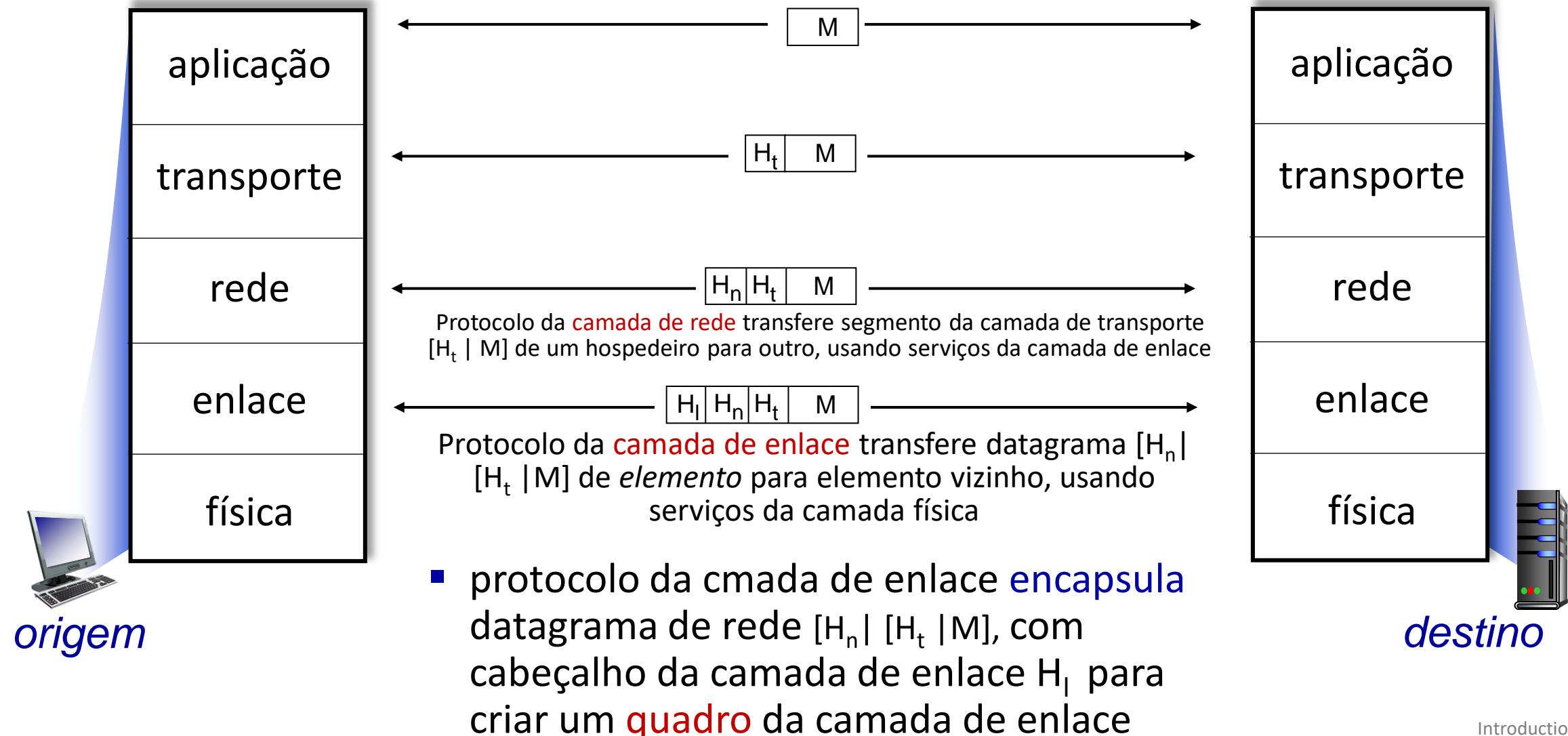
# Serviços, Camadas e Encapsulamento



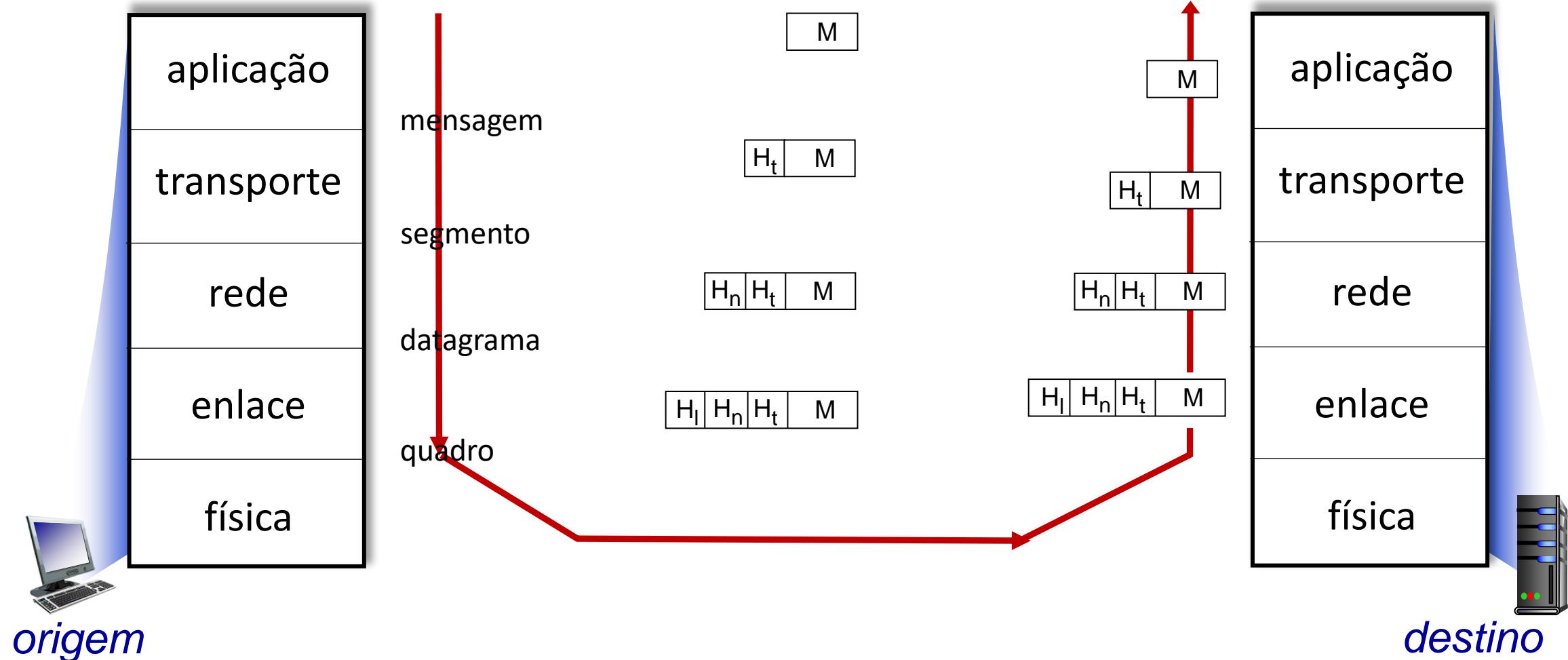
# Serviços, Camadas e Encapsulamento



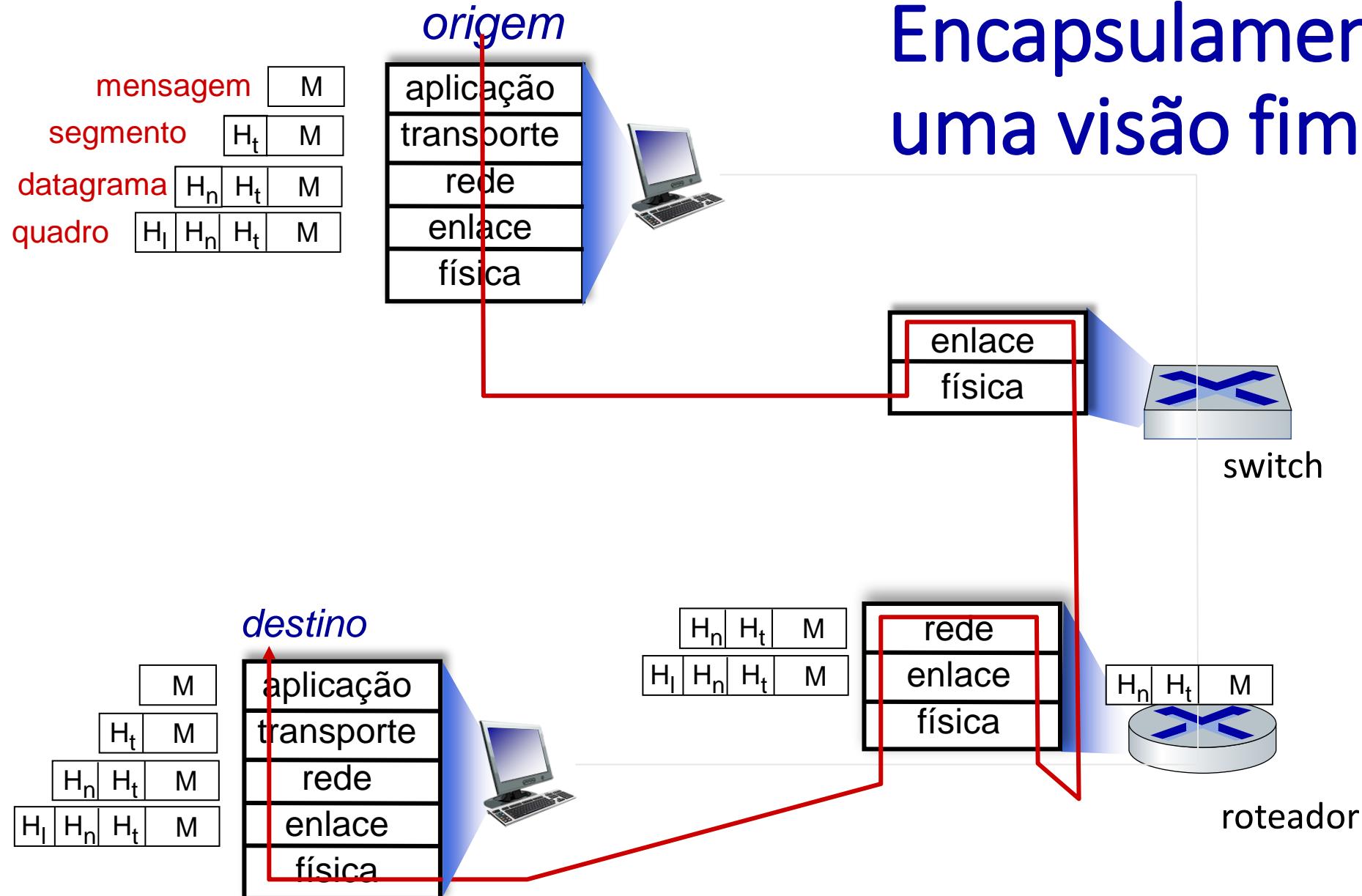
# Serviços, Camadas e Encapsulamento



# Serviços, Camadas e Encapsulamento



# Encapsulamento: uma visão fim-fim



# Capítulo 1: roteiro

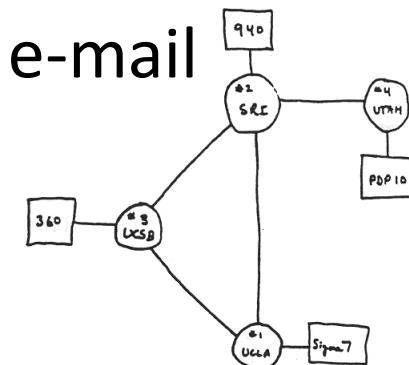
- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Borda da rede: hospedeiros, rede de acesso, mídia física
- Núcleo da rede: comutação de pacote/circuito, estrutura da Internet
- Desempenho: perda, atraso, vazão
- Segurança,
- Camadas de protocolo, modelos de serviço
- **História**



# História da Internet

*1961-1972: Princípios de comutação de pacotes iniciais*

- 1961: Kleinrock - a teoria das filas mostra a eficácia da comutação de pacotes
- 1964: Baran - comutação de pacotes em redes militares
- 1967: ARPAnet concebida pela Advanced Research Projects Agency
- 1969: primeiro nó ARPAnet operacional
- 1972:
  - Demonstração pública da ARPAnet
  - NCP (Network Control Protocol) primeiro protocolo hospedeiro-hospedeiro
  - primeiro programa de e-mail
  - ARPAnet tem 15 nós



# História da Internet

## *1972-1980: Comunicação entre redes, redes novas e proprietárias*

- 1970: Rede de satélites ALOHAnet no Havaí
- 1974: Cerf and Kahn - arquitetura para interconectar redes
- 1976: Ethernet no Xerox PARC
- late70's: arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- 1979: ARPAnet tem 200 nós

Princípios de interconexão de redes de Cerf e Kahn:

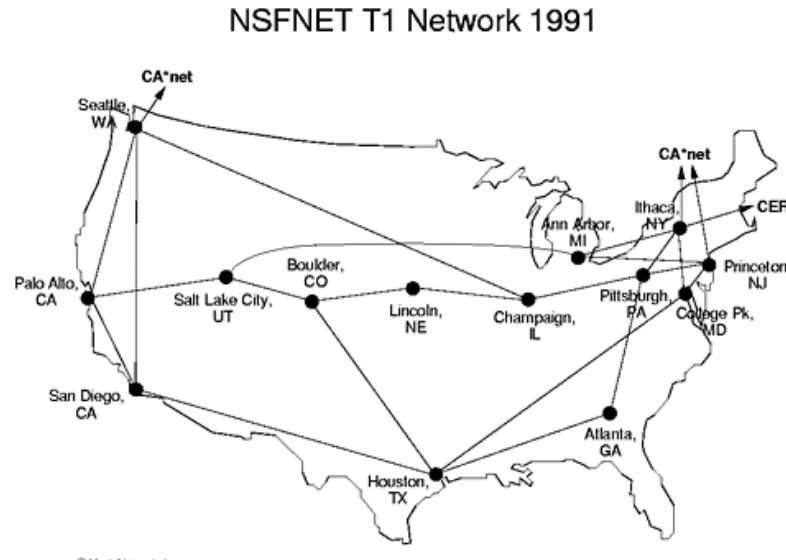
- minimalismo, autonomia - nenhuma mudança interna necessária para interconectar redes
- modelo de serviço de melhor esforço
- roteamento sem estado
- controle descentralizado

define a arquitetura da Internet de hoje

# História da Internet

*1980-1990: novos protocolos, uma proliferação de redes*

- 1983: implantação de TCP/IP
- 1982: protocolo de e-mail SMTP definido
- 1983: DNS definido para tradução de nome para endereço IP
- 1985: protocolo FTP definido
- 1988: Controle de congestionamento do TCP
- novas redes nacionais: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 hospedeiros conectados à confederação de redes



# História da Internet

## *1990, 2000s: comercialização, a Web, novos aplicativos*

- Início dos 1990s: ARPAnet retirada de serviço
- 1991: NSF remove restrições sobre o uso comercial da NSFnet (desativada em 1995)
- Início dos 1990s: Web
  - hypertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, depois Netscape
  - final dos 1990s: comercialização da Web
- final 1990s – 2000s:
  - mais aplicativos matadores: mensagens instantâneas, compartilhamento de arquivos P2P
  - segurança de rede em primeiro plano
  - estimativa de 50 milhões de hospedeiros, mais de 100 milhões de usuários
  - enlaces de *backbone* em execução a Gbps

# História da Internet

*2005-presente: escala, SDN, mobilidade, nuvem*

- implantação agressiva de acesso doméstico de banda larga (10-100 Mbps)
- 2008: rede definida por software (SDN)
- aumento da ubiquidade do acesso sem fio de alta velocidade: 4G/5G, WiFi
- provedores de serviços (Google, FB, Microsoft) criam suas próprias redes
  - contornando a Internet comercial para se conectar "perto" do usuário final, fornecendo acesso “instantâneo” às mídias sociais, pesquisa, conteúdo de vídeo, ...
- empresas executam seus serviços na “nuvem” (ex.: Amazon Web Services, Microsoft Azure)
- ascensão dos smartphones: mais dispositivos móveis do que fixos na Internet (2017)
- ~18 bilhões de dispositivos conectados à Internet (2017)

# Capítulo 1: resumo

*Cobrimos uma “tonelada” de material!*

- visão geral da Internet
- o que é um protocolo?
- borda da rede, rede de acesso, núcleo
  - comutação de pacotes versus comutação de circuitos
  - estrutura da Internet
- desempenho: perda, atraso e vazão
- camadas, modelos de serviço
- segurança
- história

*Agora você sabe:*

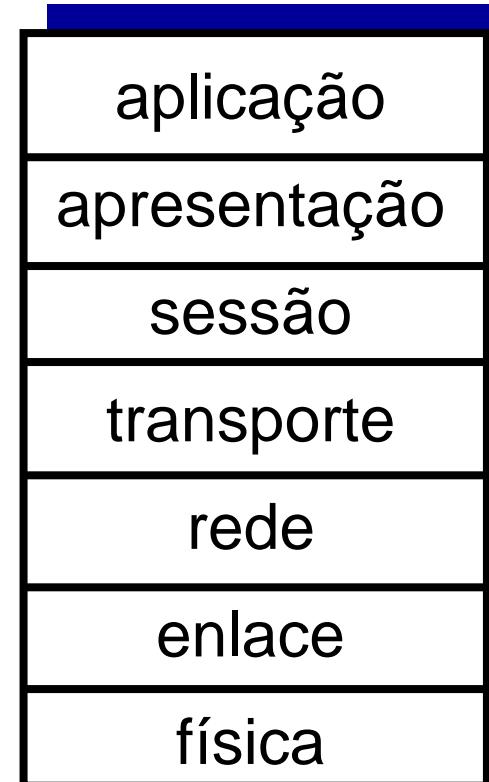
- contexto, visão geral, vocabulário, “sentimento” de rede
- mais profundidade, detalhes e diversão de seguir!

# Slides adicionais do capítulo 1

# Modelo de referência ISO/OSI

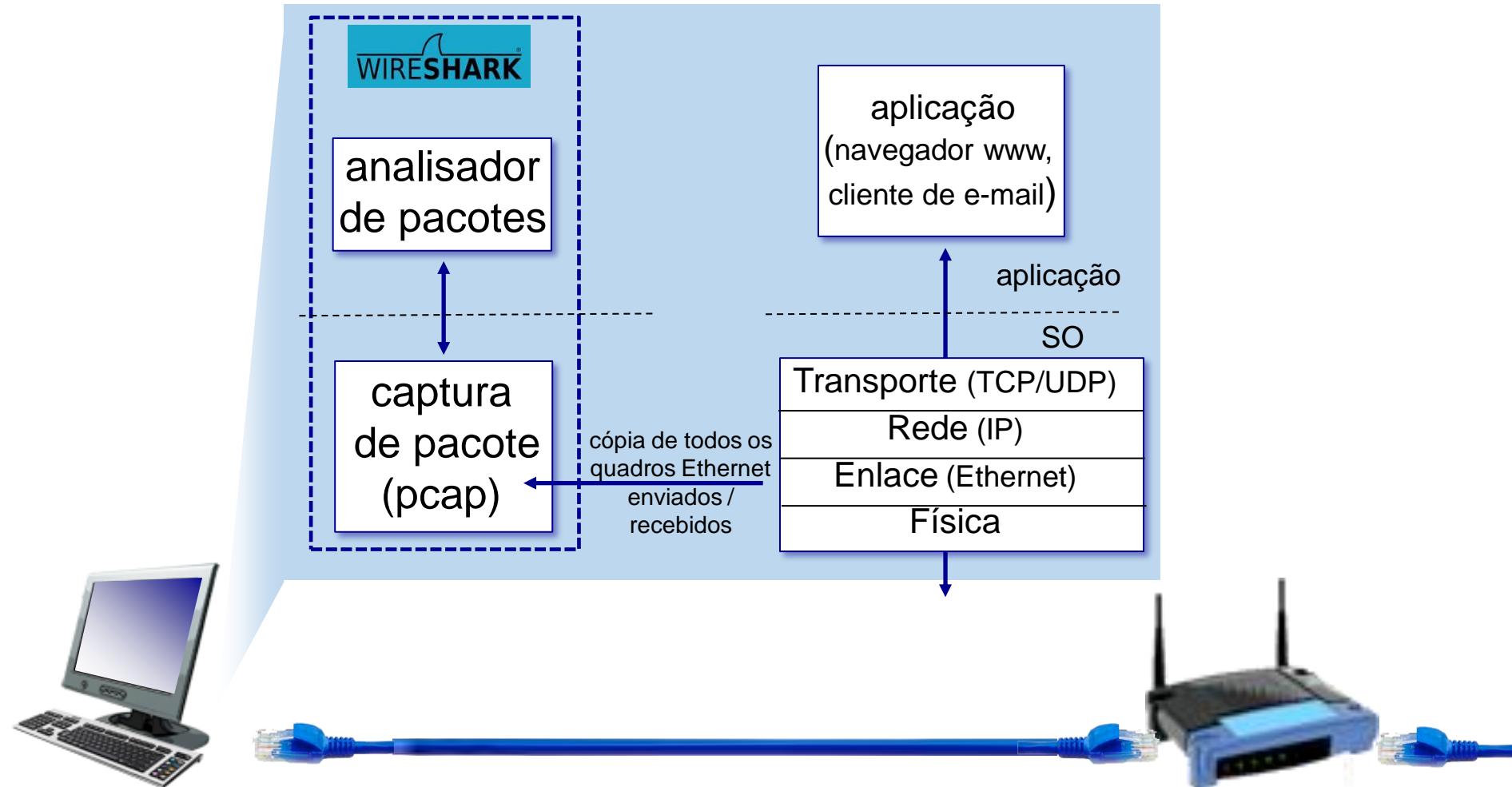
Duas camadas não encontradas na pilha de protocolo da Internet!

- *apresentação*: permite que os aplicativos interpretem o significado dos dados, por exemplo, criptografia, compressão, convenções específicas da máquina
- *sessão*: sincronização, ponto de verificação, recuperação de troca de dados
- Pilha da Internet “faltando” essas camadas!
  - esses serviços, *se necessários*, devem ser implementados na aplicação
  - necessários?



O modelo de referência  
ISO/OSI de sete camadas

# Wireshark



# Leitura Recomendada e Complementar

- Leitura Recomendada
  - [KUROSE, James F. e ROSS, Keith W. Computer Networking: A Top-Down Approach. 8ª Edição. Bookman, 2021.](#)
    - Capítulo 1 – Redes de Computadores e a Internet.
  - [TANENBAUM, Andrew S. e WETHERALL, David. Redes de Computadores. 5ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.](#)
    - Capítulo 1 – Introdução.
- Leitura Complementar
  - [FOUROUZAN, Behrouz A. e FIROUZ, Mosharraf. Redes de Computadores: uma abordagem top-down. Porto Alegre: AMGH, 2013.](#)
    - Capítulo 1 – Introdução.
  - [TORRES, Gabriel. Redes de Computadores: Curso Completo. Axcel Books, 2001.](#)
    - Capítulos 1 e 2.
  - [COMER, Douglas E. Interligação de Redes com TCP/IP. Volume 1: Princípios, protocolos e arquitetura. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.](#)
    - Capítulos 1 a 4.

