

# Redes de Computadores

## Introdução

Material baseado nas apresentações (*slides*) disponibilizados junto com o livro referência a seguir.

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:

*Bibliografia:*

*Computer Networking:  
A Top Down Approach*

*8th Edition, Global Edition*

*Jim Kurose, Keith Ross*

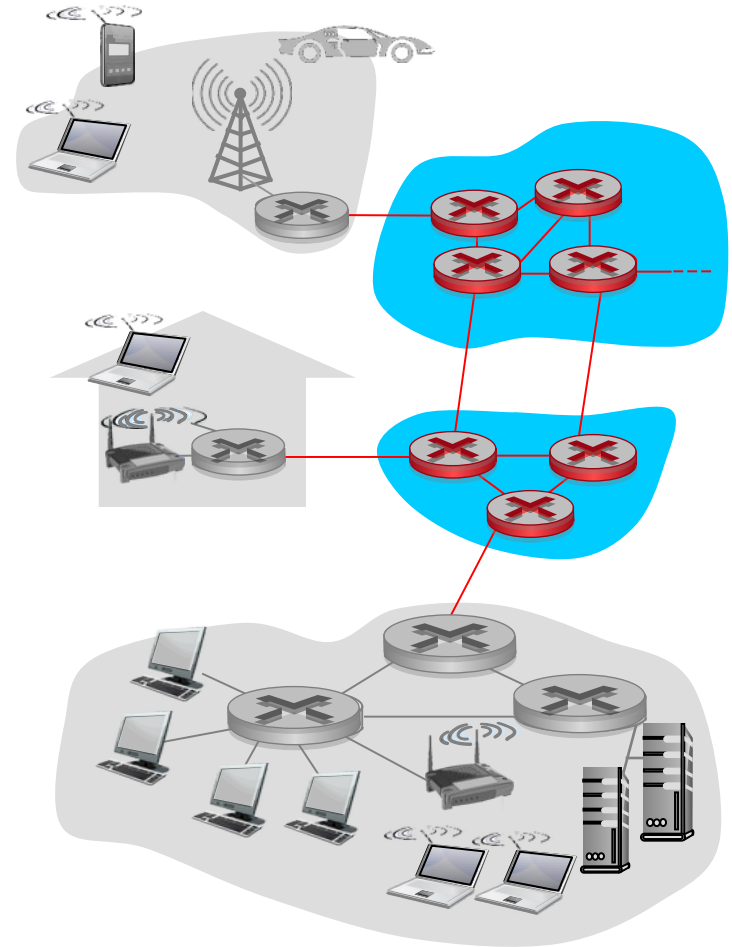
*Pearson 2020*

# Sumário

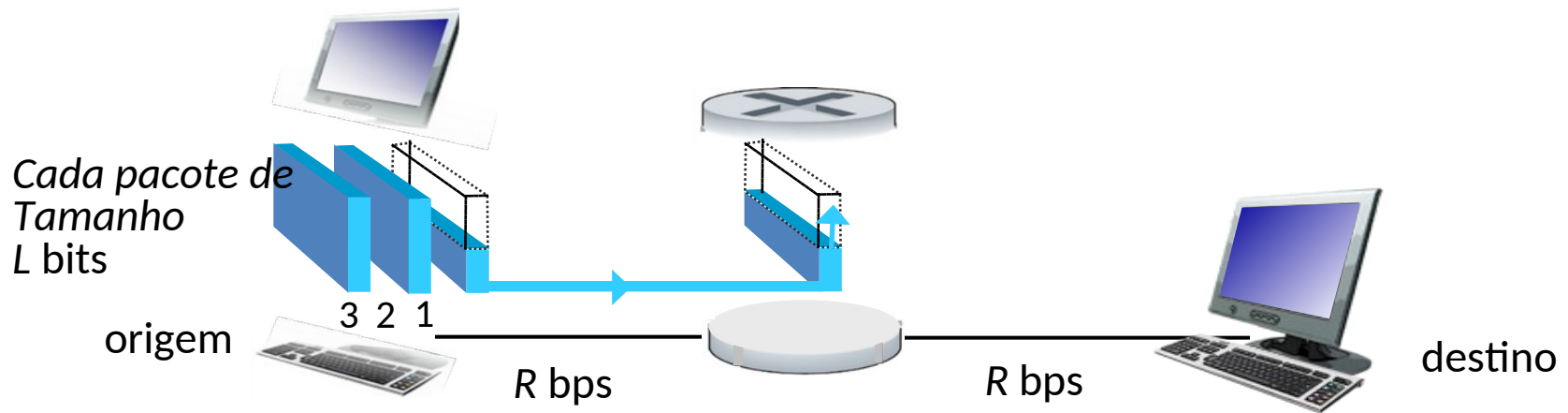
- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, acesso, meios físicos
- Núcleo da rede: comutação de circuitos e de pacotes; estrutura da Internet
- Questões de performance: perda, atraso, desempenho
- Segurança
- Camadas de protocolos, modelos de serviço
- História

# 0 core da Internet

- Malha (*mesh*) de roteadores interconectados
- Chaveamento de pacotes (*packet-switching*): hosts quebram as mensagens das aplicações em pacotes (*packets*)
  - Encaminhamento de pacotes de um roteador para o próximo, através dos enlaces, da origem para o destino
  - Cada pacotes é transmitido usando a capacidade máxima da mesma



# Packet-switching: store-and-forward



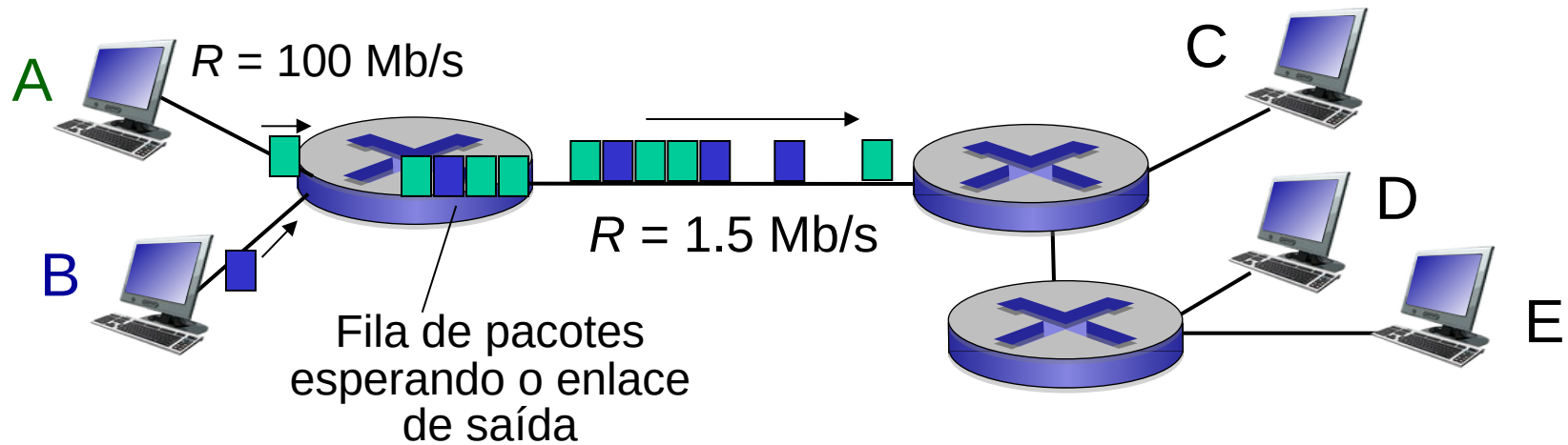
- Leva  $L/R$  s para transmitir um pacote de  $L$ -bit em um enlace de  $R$  bps
- **Armazena e encaminha:** o pacote inteiro precisa chegar no roteador antes de ser encaminhado para o próximo

## *Exemplo para um hop:*

- $L = 7.5$  Mbits
- $R = 1.5$  Mbps
- $Delay = 5$  s

$Delay$  (atraso) fim a fim =  $2L/R$   
(sem atrasos na propagação)

# Packet-switching: queueing delay, loss



## Enfileiramento e perda:

- Se a razão (em bit) de chegada no enlace excede a capacidade (razão) de transmissão por um período de tempo:
  - Pacotes serão enfileirados, esperando para transmissão
  - Pacotes podem ser descartados (perda) se a memória (*buffer*) estiver cheia

# Duas funções básicas do core

## *Roteamento:*

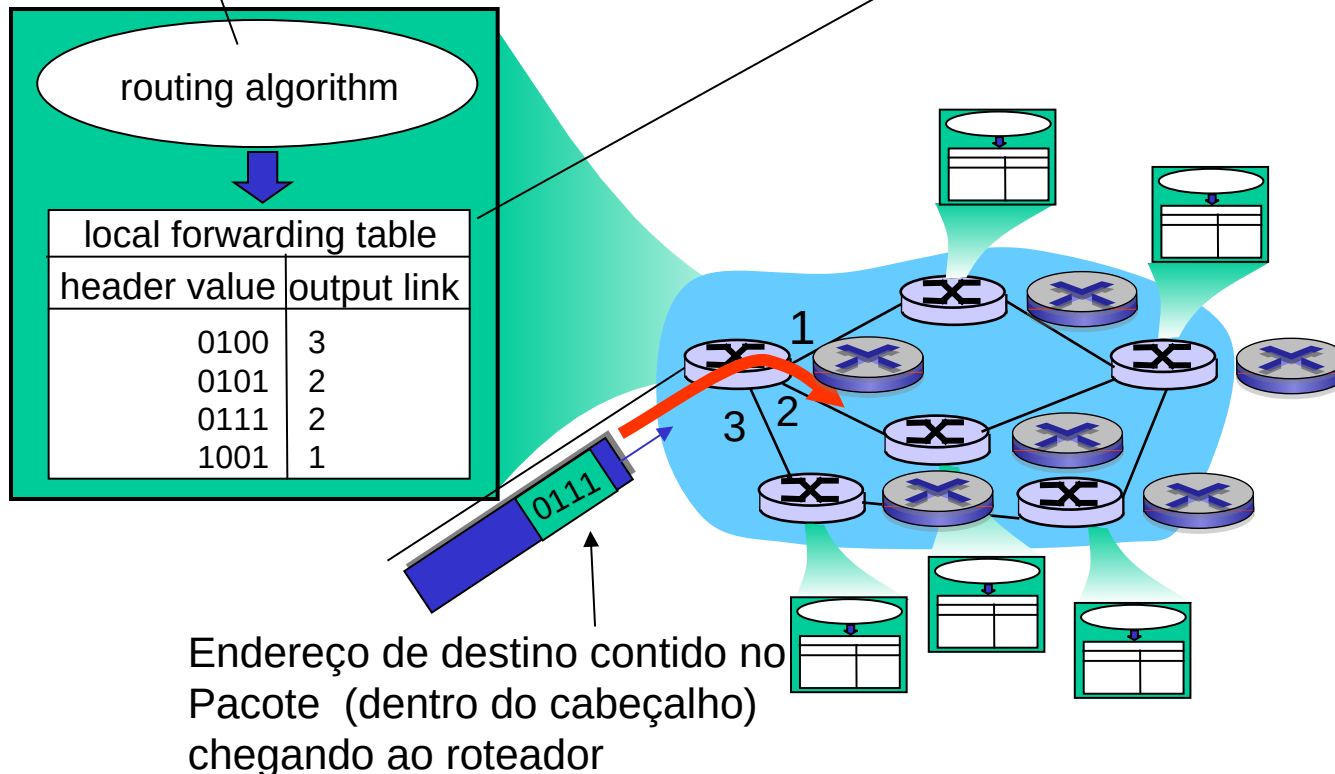
determina a rota da origem para o destino para os pacotes

- *Algoritmos de roteamento*

## *Encaminhamento*

*(forwarding)*: move pacotes da entrada do roteador para uma determinada saída

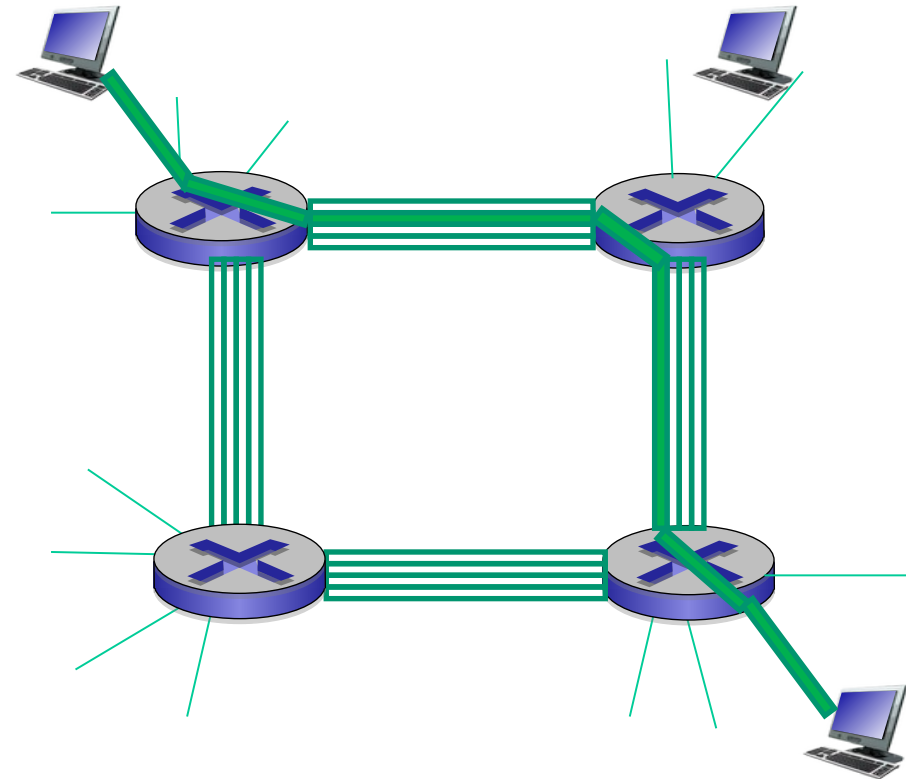
Obs.: função também executada nos hosts.



# Core alternativo: comutação de circuitos (*circuit switching*)

Recursos fim a fim alocados e reservados durante o estabelecimento do enlace de comunicação entre origem-destino:

- Recursos dedicados: **sem compartilhamento**
  - Circuito: garantia de performance
- Segmento de um circuito permanece ociosos se não usado
- Comumente usado nas redes de telefonia tradicionais

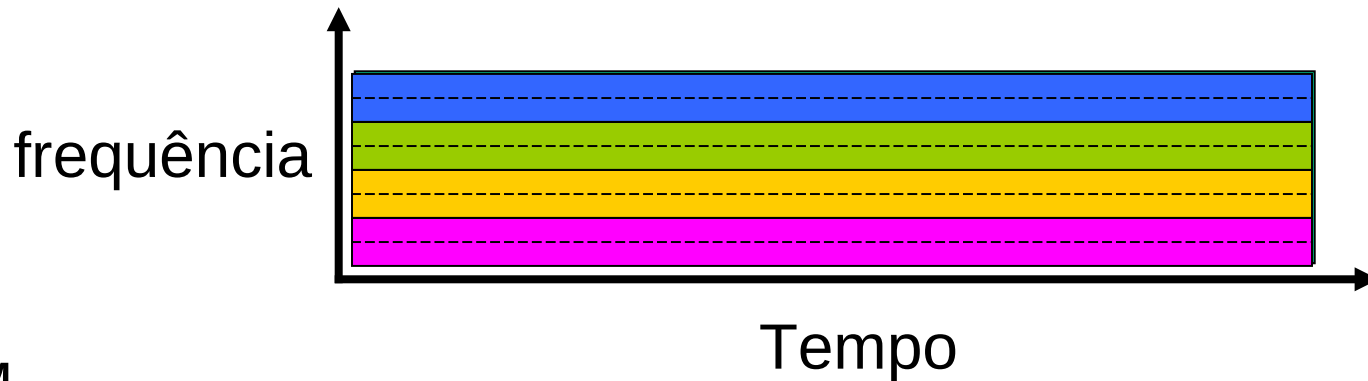


# Comutação de circuitos: FDM versus TDM

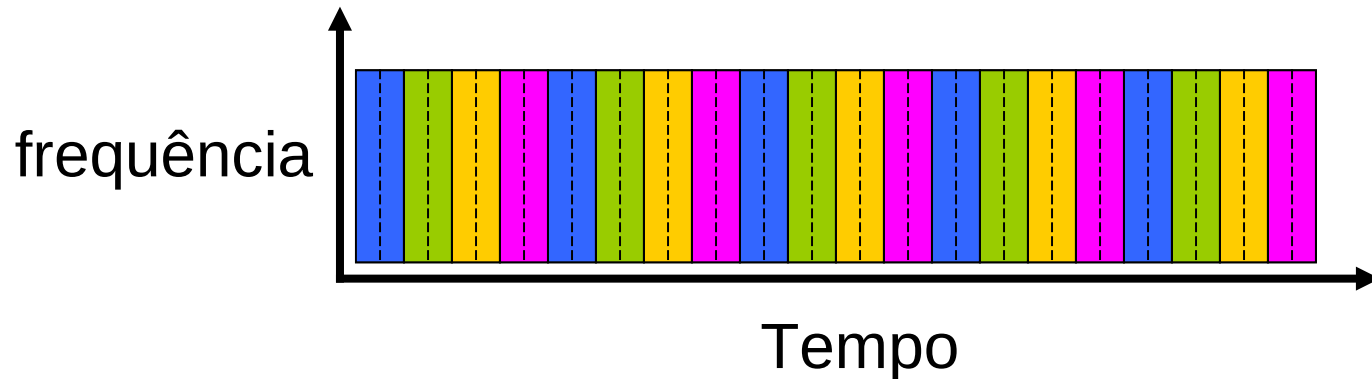
FDM

Exemplo:

Quatro usuários    



TDM



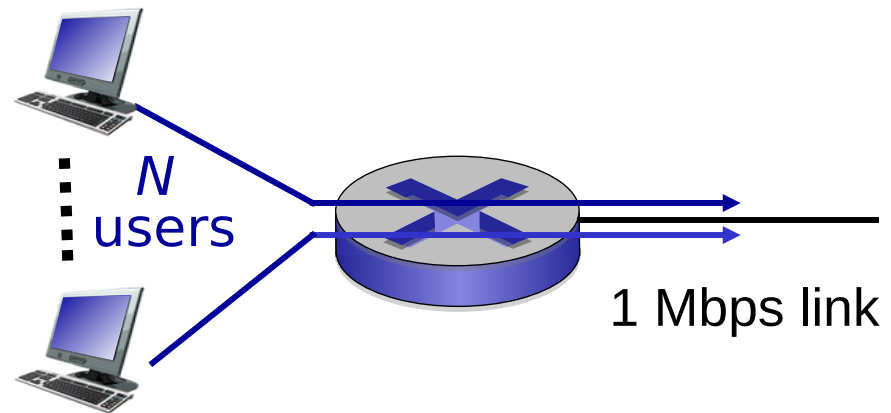


# Comutação de circuitos versus comutação de pacotes

*A rede na comutação de pacotes suporta maior quantidade de usuários*

## Exemplo:

- Enlace: 1 Mb/s
- Cada usuário:
  - 100 kb/s quando “ativo”
  - Ativo 10% do tempo



- *circuit-switching:*
  - 10 usuários
- *packet switching:*
  - Com 35 usuários, probabilidade de que mais de 10 ativos ao mesmo tempo: menor que 0,0004

# Comutação de circuitos versus comutação de pacotes

## Será a comutação de pacotes a melhor?

- Boa para dados em “rajadas”
  - Compartilhamento de recursos
  - Simples, não precisa da fase de estabelecimento do canal (*call setup*)
- Possibilidade de congestionamento excessivo: atraso e perda
  - Protocolos necessitam de transferência de dados com confiança e controle de congestionamento
- Q: Como prover comportamento *circuit-like*?
  - Garantia de largura de banda necessária para aplicações de áudio/vídeo
  - Ainda um problema não solucionado

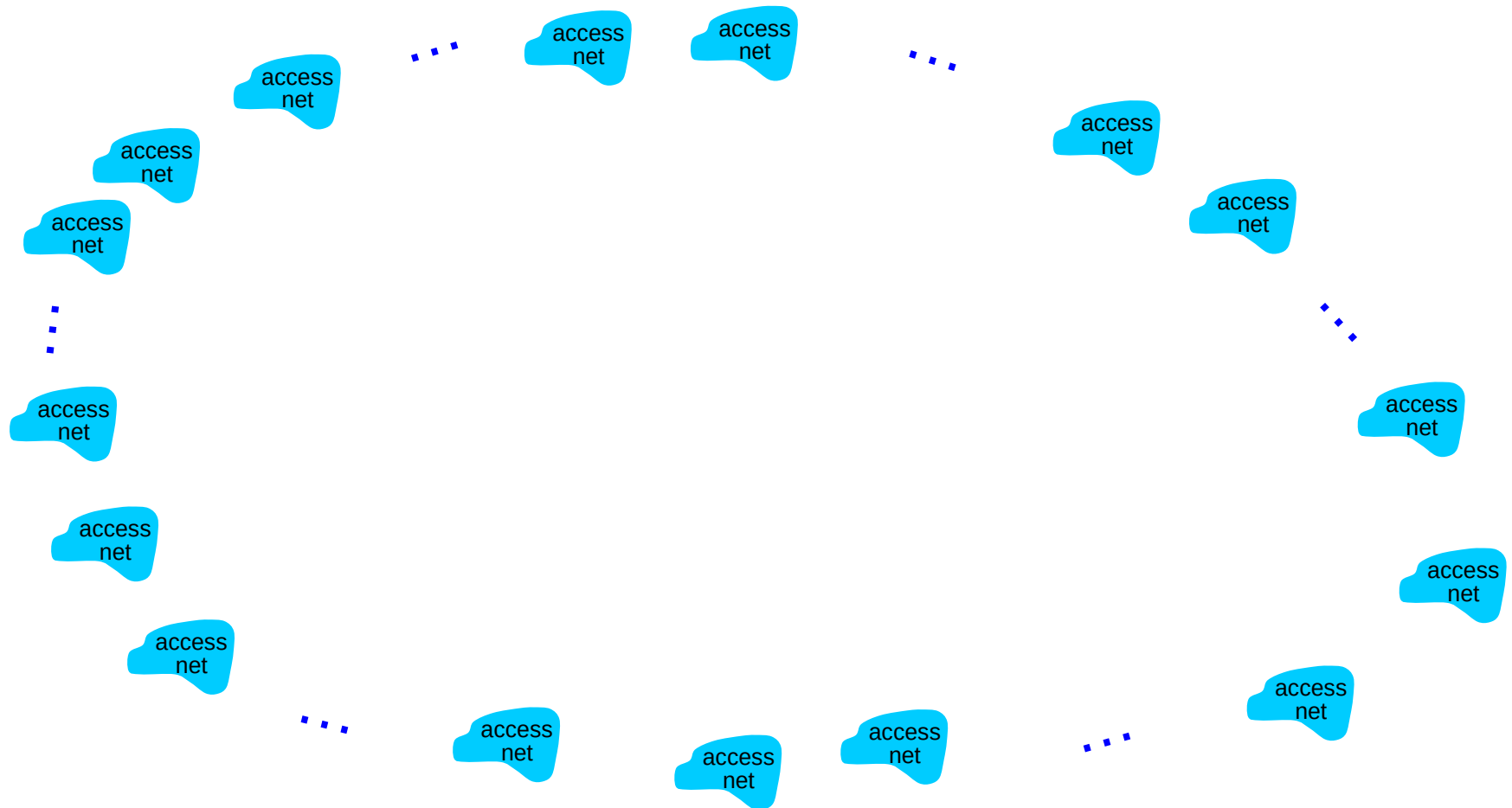
Q: Reserva de recursos (*circuit switching*) versus alocação sob-demanda (*packet-switching*)?

# Infraestrutura Internet: rede das redes

- Sistemas finais conectados à Internet via **acesso providos por ISPs** (*Internet Service Providers*)
  - residencial, empresas e companhias
- Os ISPs precisam estar interconectados
- A rede das redes resultante é bastante complexa
  - Evolução foi ditada pela **economia** e por **políticas nacionais**

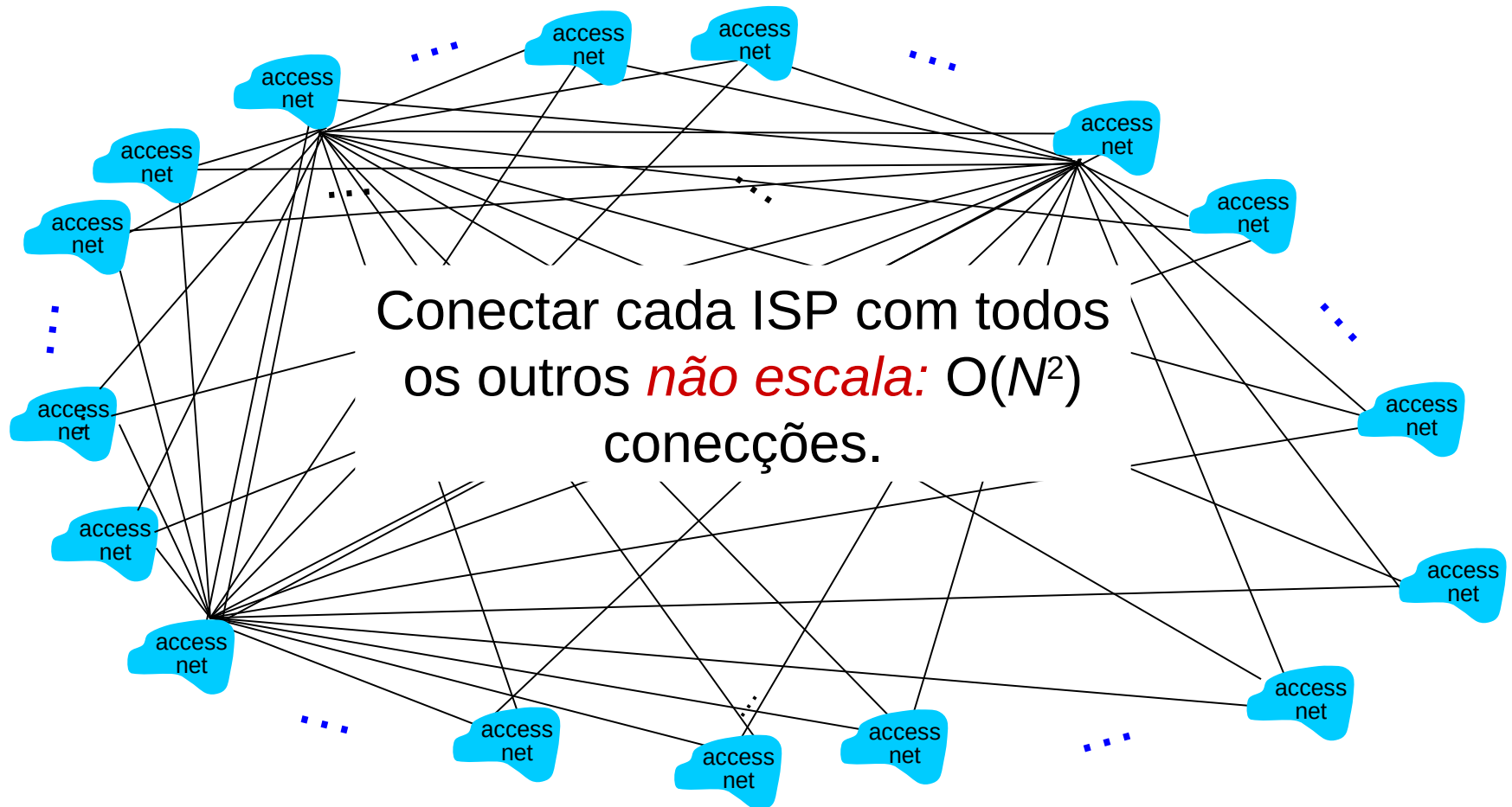
# Infraestrutura Internet: rede das redes

*Questão: dado que existem muitos provedores ISP de acesso à rede, como conectar todos?*



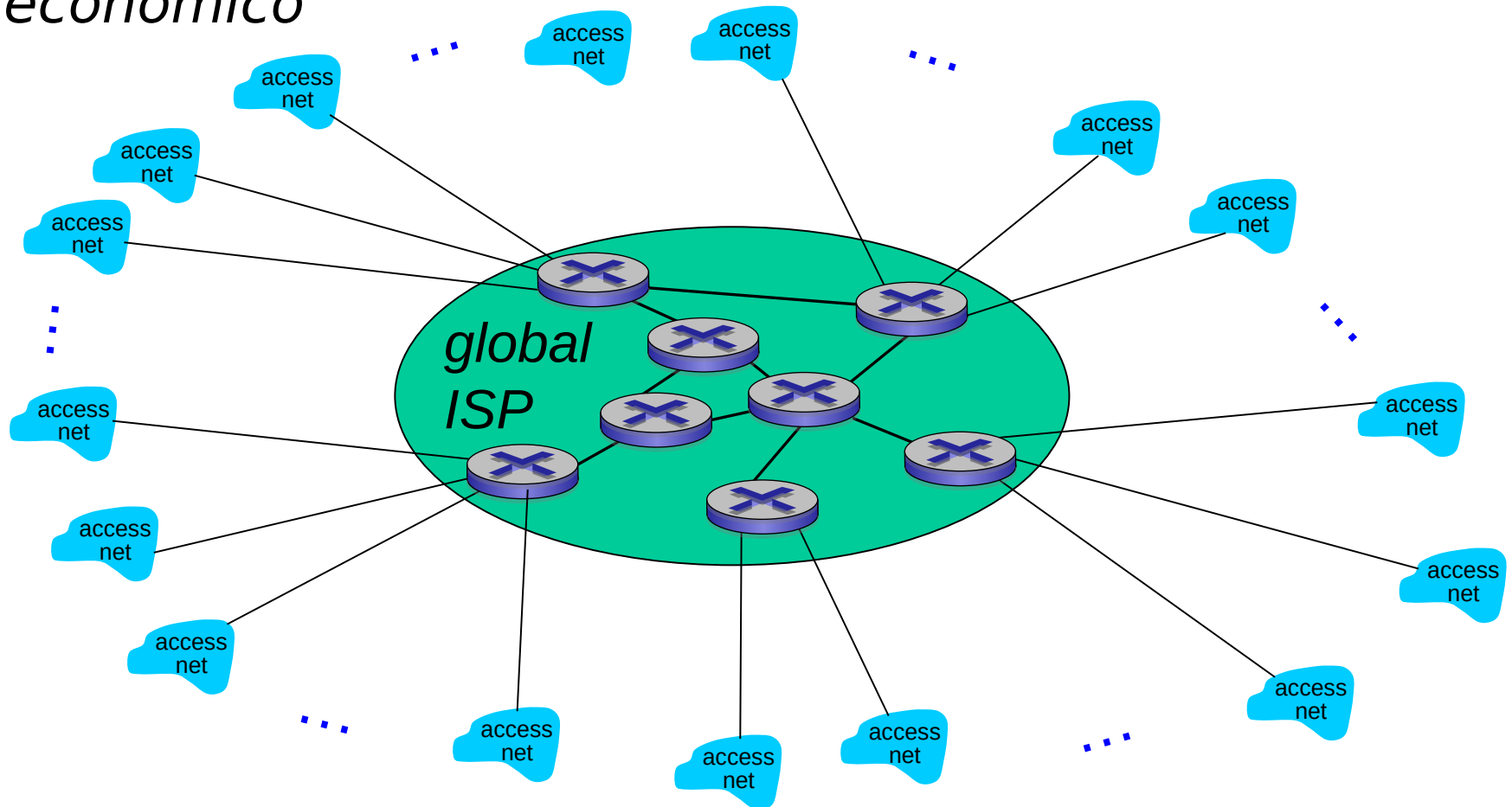
# Infraestrutura Internet: rede das redes

*Opção: conectar todos os ISP entre eles?*



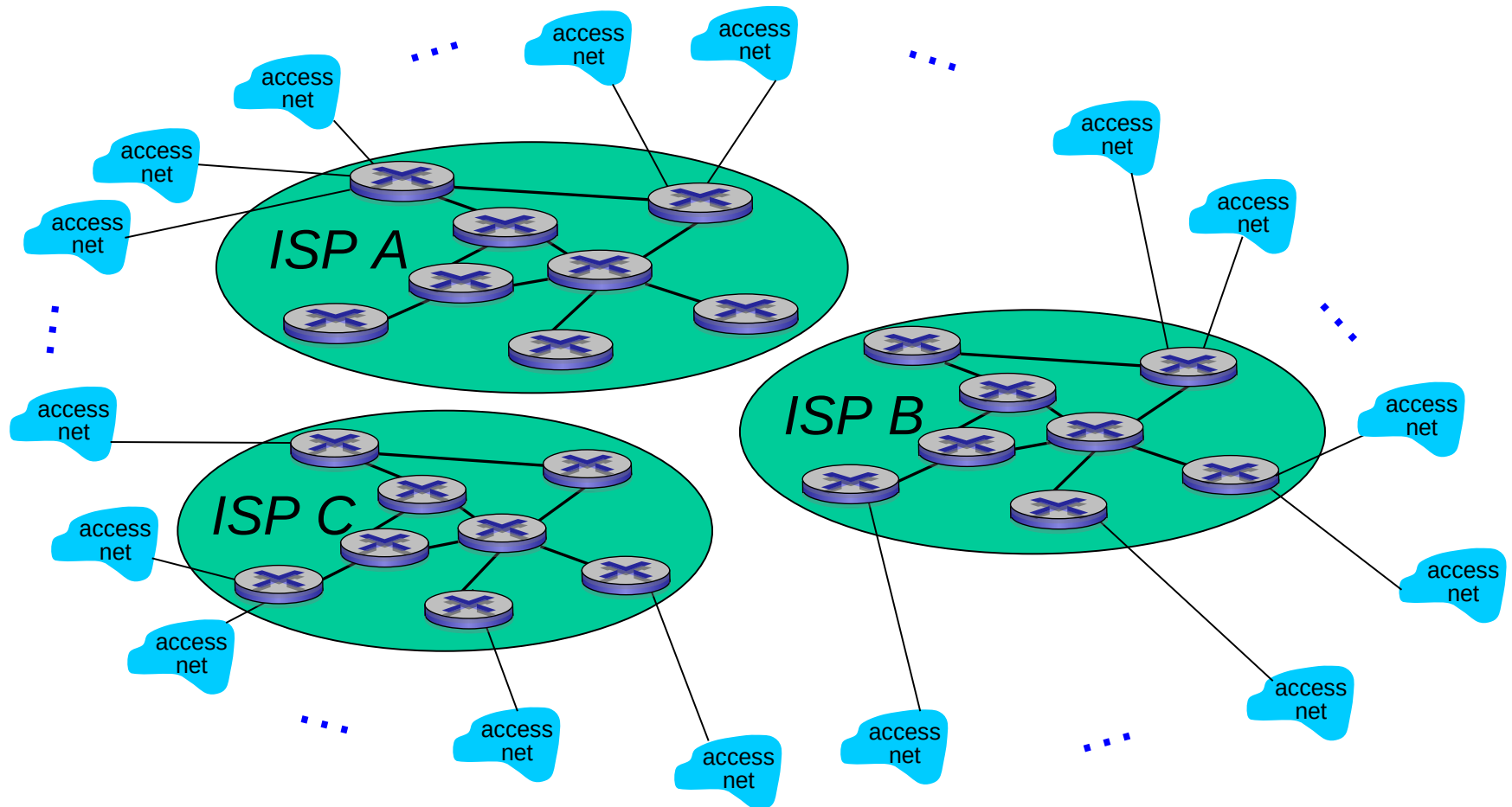
# Infraestrutura Internet: rede das redes

*Opção: conectar cada ISP em um único ISP global?*  
*Consumidor e provedor ISP devem ter um acordo econômico*



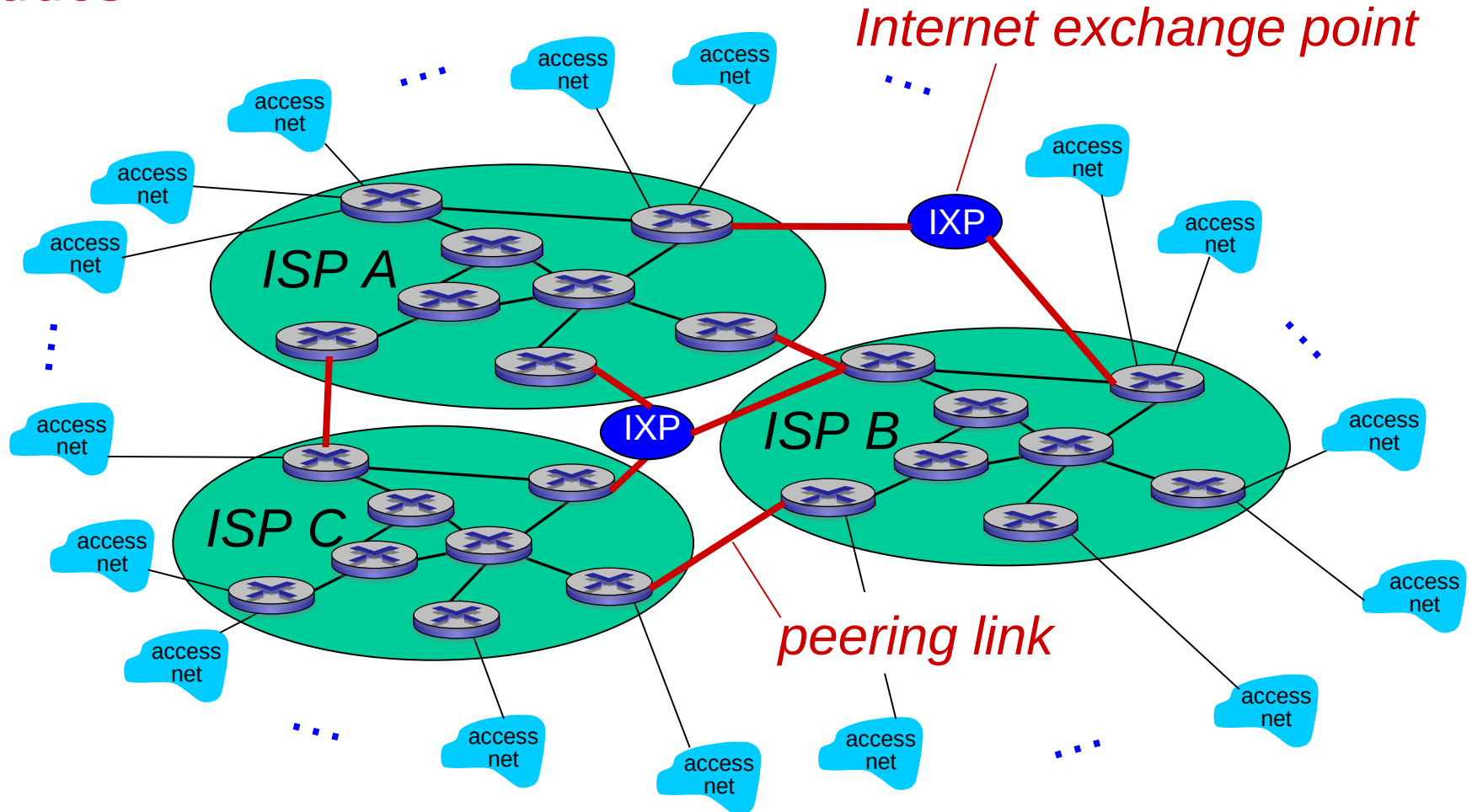
# Infraestrutura Internet: rede das redes

Mas se um único ISP global é viável economicamente, pode haver competidores



# Infraestrutura Internet: rede das redes

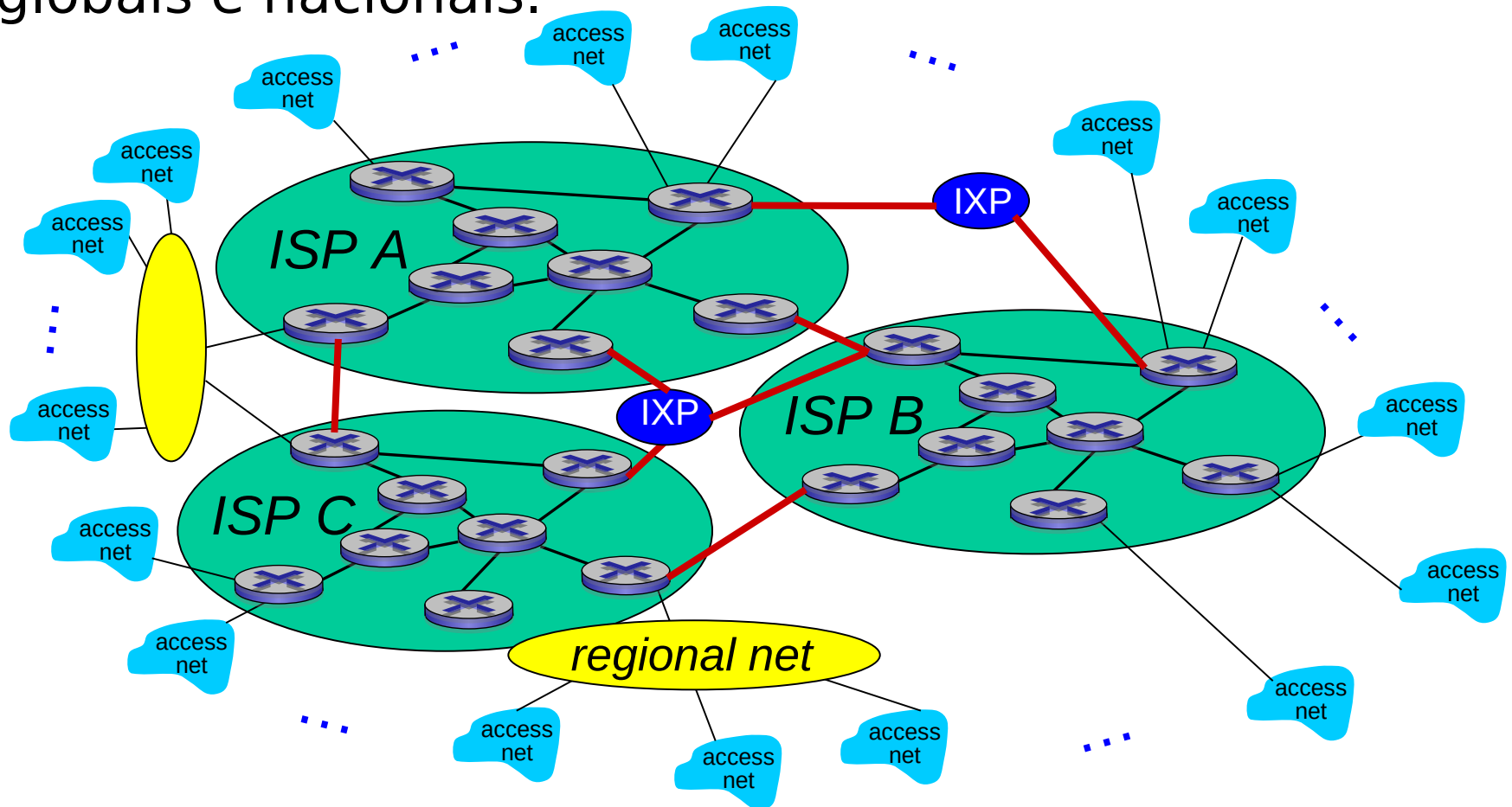
Mas se um único ISP global é viável economicamente, pode haver competidores, que **precisam ser interconectados**.





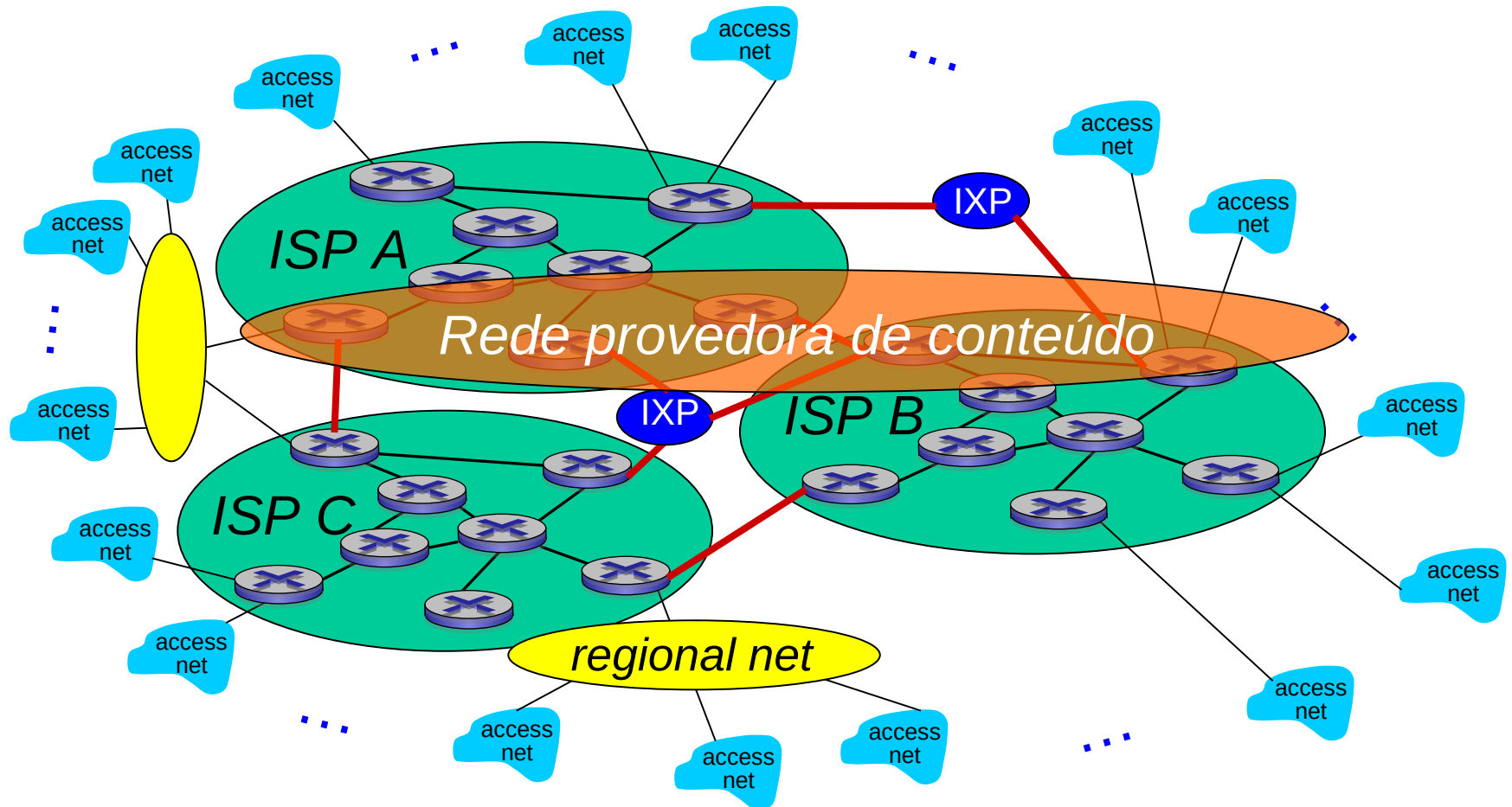
# Infraestrutura Internet: rede das redes

E redes regionais (ISP regionais) se estabelecem para conectar usuários finais às redes dos ISP globais e nacionais.

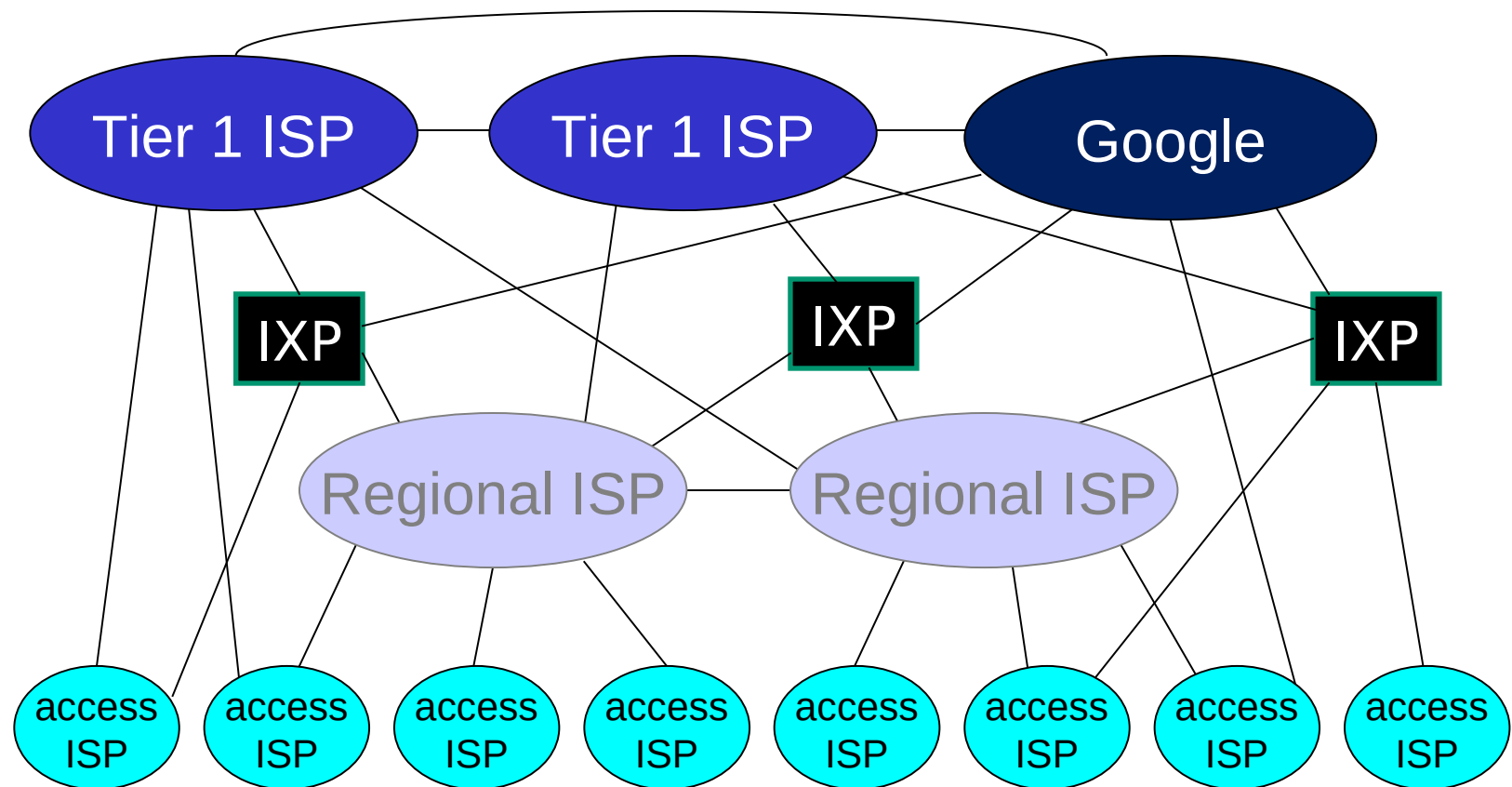


# Infraestrutura Internet: rede das redes

Surgem as redes provedoras de conteúdo - CDN - (Google, Microsoft, Akamai) que podem estabelecer suas próprias redes para fornecer **serviços** e levar **conteúdo** aos usuários.

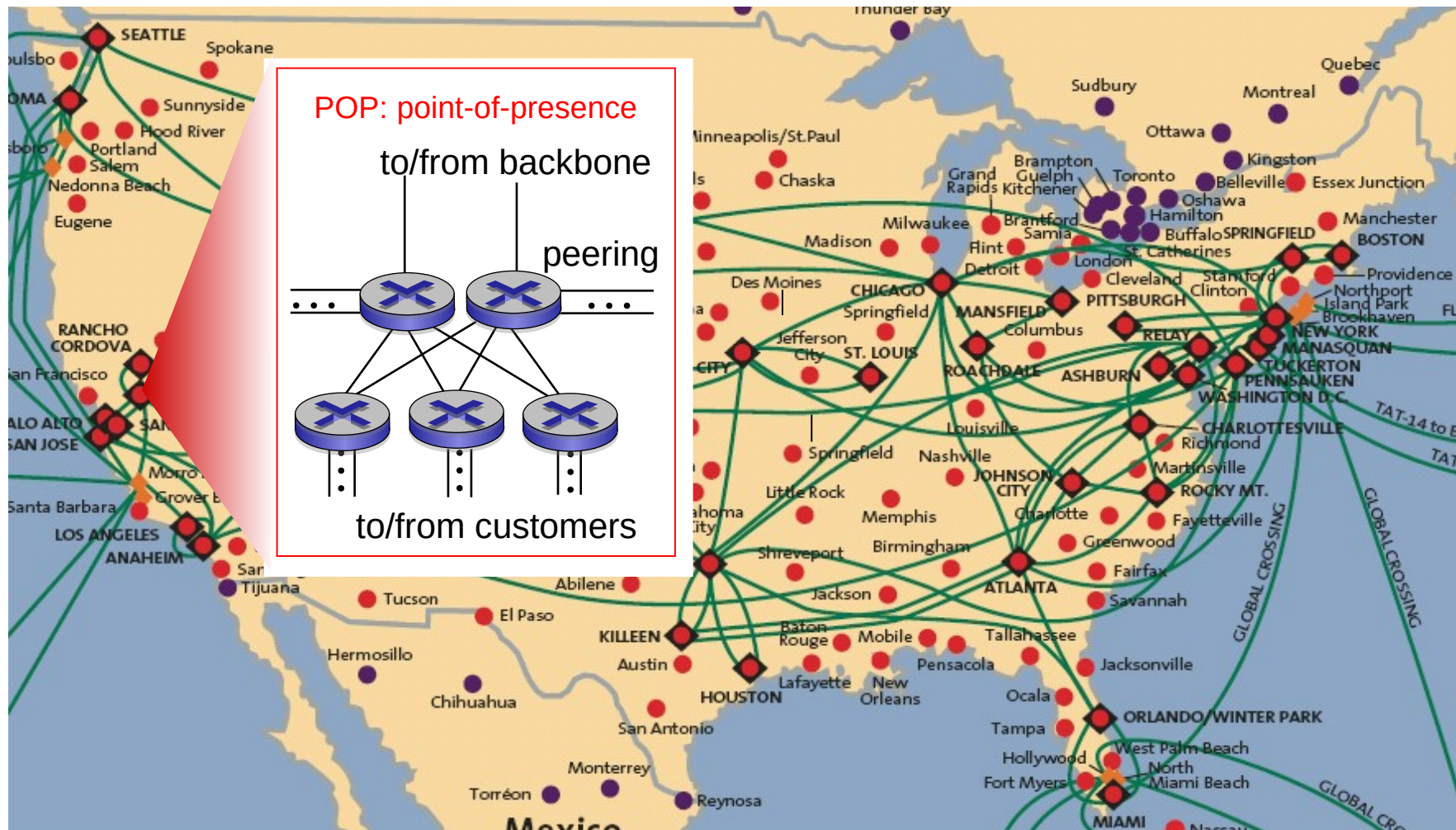


# Infraestrutura Internet: rede das redes



- No centro: poucas, mas bem conectadas grandes redes
  - “tier-1” commercial ISPs (Arelion(Telia), Level 3, Sprint, AT&T, NTT), cobertura nacional e internacional
  - Redes provedoras de conteúdo (Google): rede privada que conecta seus centros de dados à Internet

# Tier-1 ISP nos EUA: Sprint



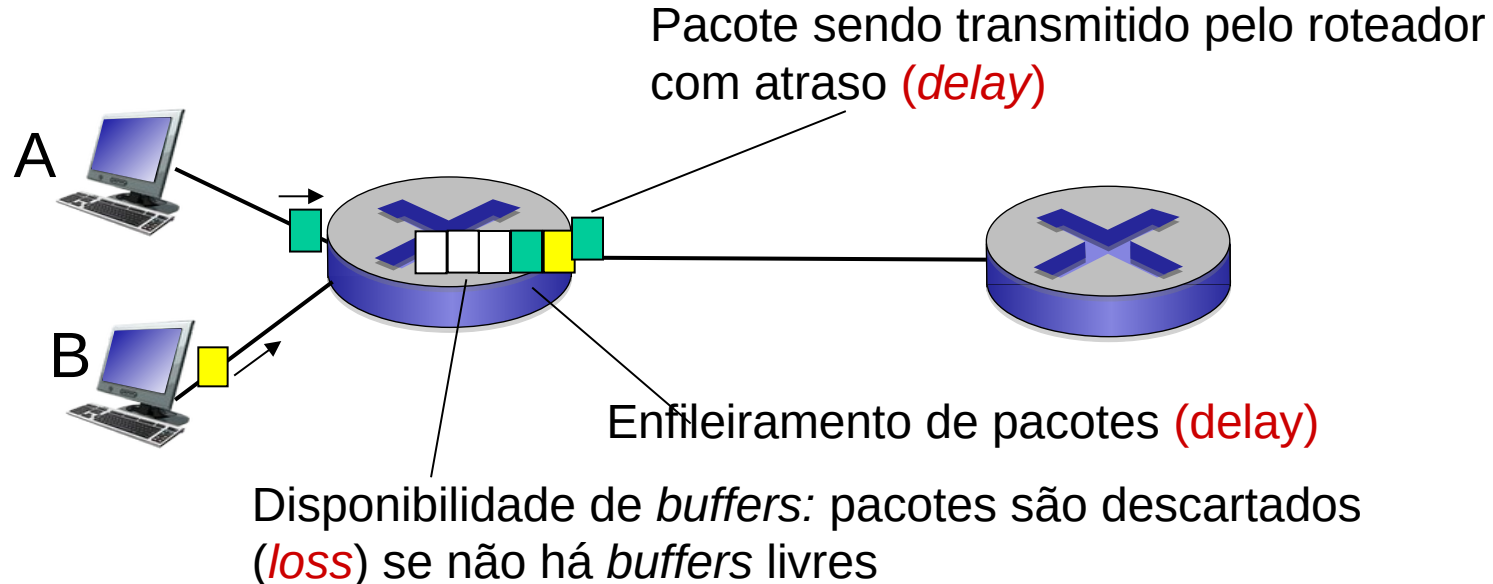
# Sumário

- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, acesso, meios físicos
- Núcleo da rede: comutação de circuitos e de pacotes; estrutura da Internet
- Questões de performance: perda, atraso, desempenho
- Segurança
- Camadas de protocolos, modelos de serviço
- História

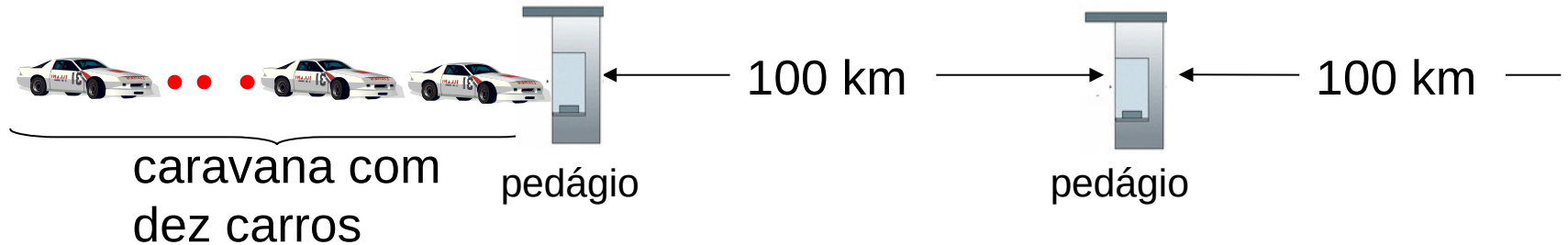
# Como a perda de pacotes e o atraso (*delay*) ocorrem

Pacotes chegam ao roteador e entram em filas (armazenamento temporário em *buffers*)

- A taxa de recebimento (chegada) de pacotes excede (mesmo que temporariamente) a capacidade do enlace de saída.



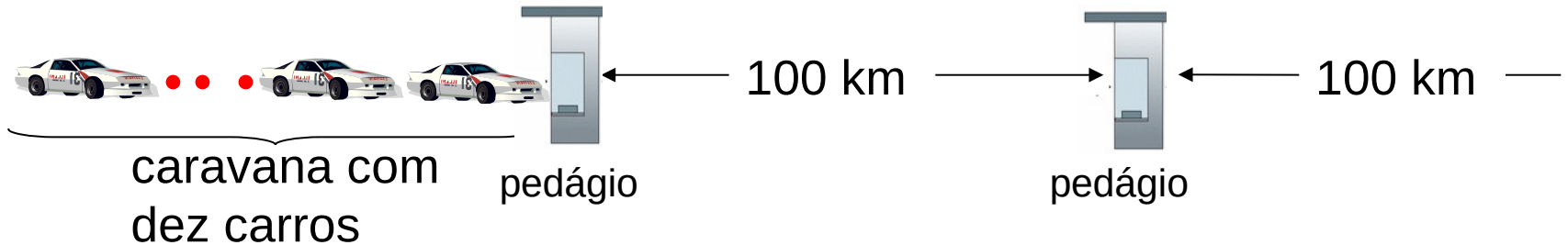
# Analogia: caravana de carros



- Carros “propagam” na velocidade de 100 km/h
- Pedágio leva 12 s para atender um carro (tempo de transmissão do bit)
- carro  $\sim$  bit; caravana  $\sim$  pacote
- **Q: Quanto tempo até o último carro chegar ao segundo pedágio?**
- Tempo para “entregar” toda a caravana do pedágio para a rodovia  
 $= 12 \times 10 = 120$  s
- Tempo para o último carro “propagar” do primeiro para o segundo pedágio:  
 $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$  h
- **R: 62 minutos**



# Analogia: caravana de carros

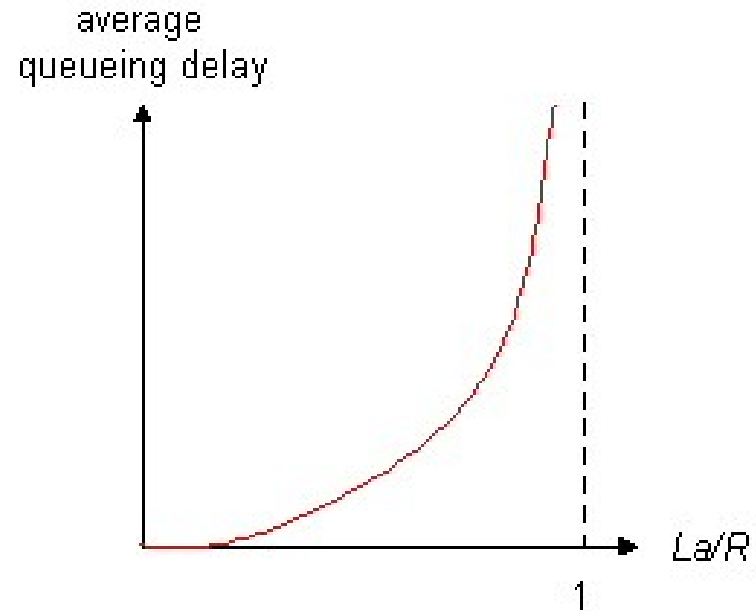


- Supondo, agora, que os carros “propaguem” na velocidade de 1000 km/h
- E que o pedágio leve um minuto para atender um carro
- Q: Carros chegarão ao segundo pedágio antes que tenham passado completamente pelo primeiro pedágio?
- $d_{\text{prop}} = 100 \text{ km} / 1000 \text{ km/hora} = 0,1 * 60\text{min} = 6\text{min}$
- R: Sim, depois de 7 minutos, o primeiro carro chega ao segundo pedágio; três carros ainda estarão esperando no primeiro pedágio.



# Filas e Atraso

- $R$ : largura de banda do enlace (bps)
- $L$ : tamanho do pacote (bits)
- $a$ : razão média de chegada dos pacotes
- $La/R$ : intensidade do tráfego



- $La/R \sim 0$ : média de atraso devido fila pequeno
- $La/R \rightarrow 1$ : média de atraso devido fila é muito grande
- $La/R > 1$ : mais chegadas do que podem ser tratadas; média de atraso tendendo ao infinito



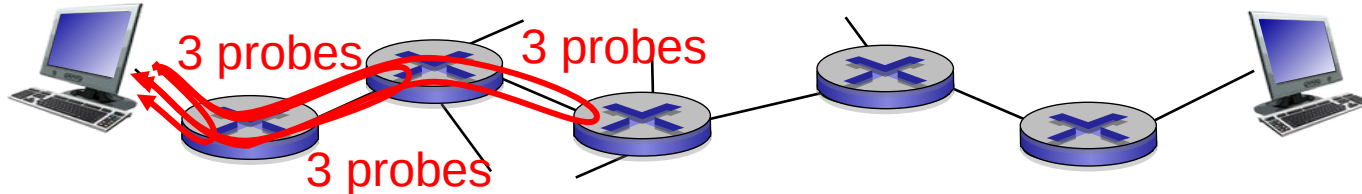
$La/R \sim 0$



$La/R \rightarrow 1$

# Internet: atrasos e rotas

- Como se obtém medidas de atrasos e de perda de pacotes na Internet?
- **traceroute**: provê medidas de atraso da origem até um roteador ao longo do caminho até o destino final dos pacotes. Para todos os roteadores  $i$ :
  - Envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho até o destino final.
  - Roteador  $i$  retornará os pacotes até o emissor.
  - O emissor computará o tempo entre a transmissão e a chegada dos respectivos pacotes.




# Internet: atrasos e rotas

**traceroute:** gaia.cs.umass.edu até [www.eurecom.fr](http://www.eurecom.fr)

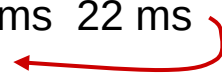
Comandos: Linux: **traceroute** ou **tracepath** Windows: **tracert**

3 medidas de atraso (*delay*) da máquina  
gaia.cs.umass.edu até 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 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
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
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 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

Enlace trans-oceânico



\* indica sem resposta (*probe lost, router not replying*)

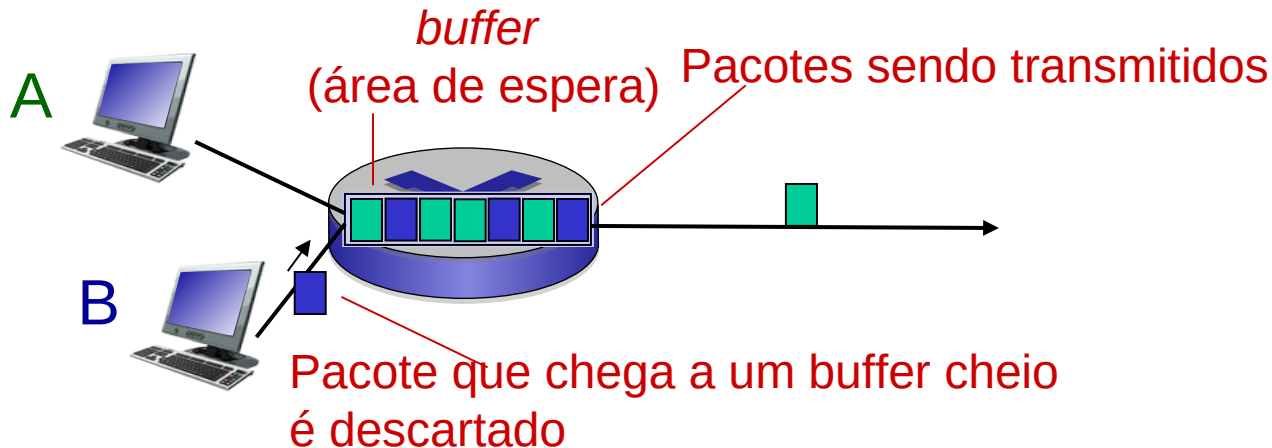


[www.traceroute.org](http://www.traceroute.org)

<https://registro.br/tecnologia/ferramentas/traceroute/>

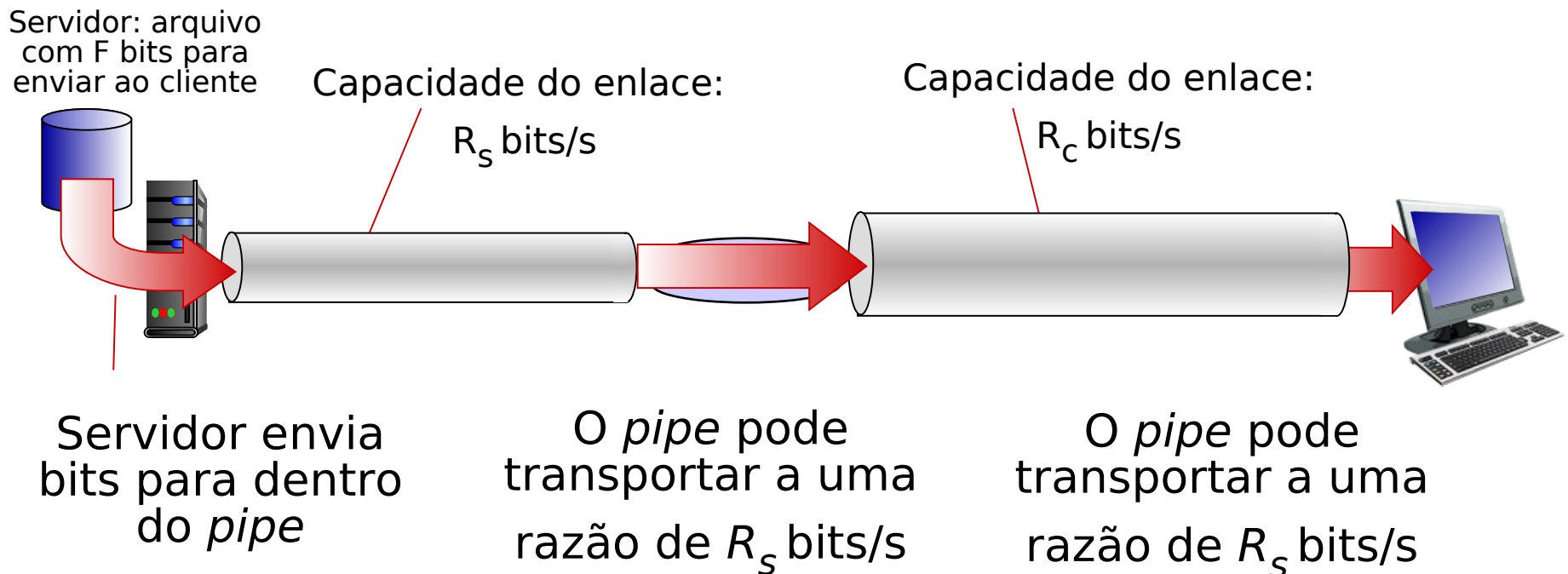
# Internet: perda de pacotes

- Fila (*buffer*) de entrada do roteador com capacidade limitada
- Pacotes que chegam a uma fila cheia são descartados (perda)
- Pacotes perdidos podem ser retransmitidos pelo nó de origem ou pelo emissor ou podem ser dados como perdidos.



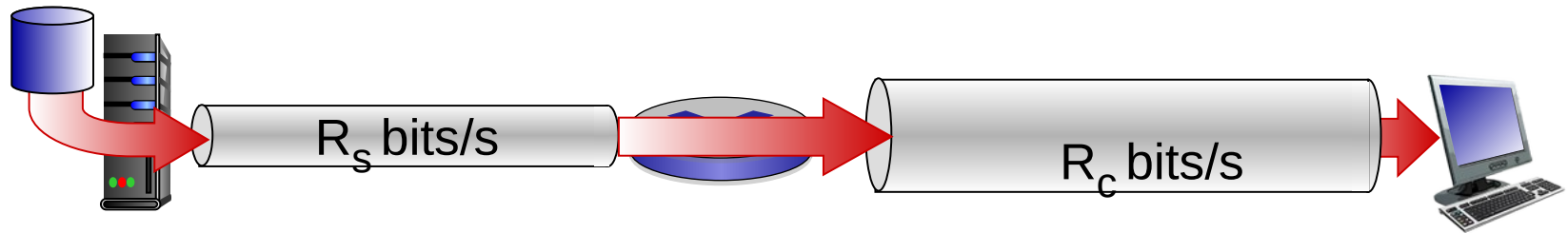
# Desempenho: vazão (*throughput*)

- **Vazão (*throughput*):** razão (bits/unidade tempo) na qual são transferidos entre emissor/receptor
  - **instantânea:** razão em um dado tempo
  - **média:** razão sobre um período de tempo mais longo

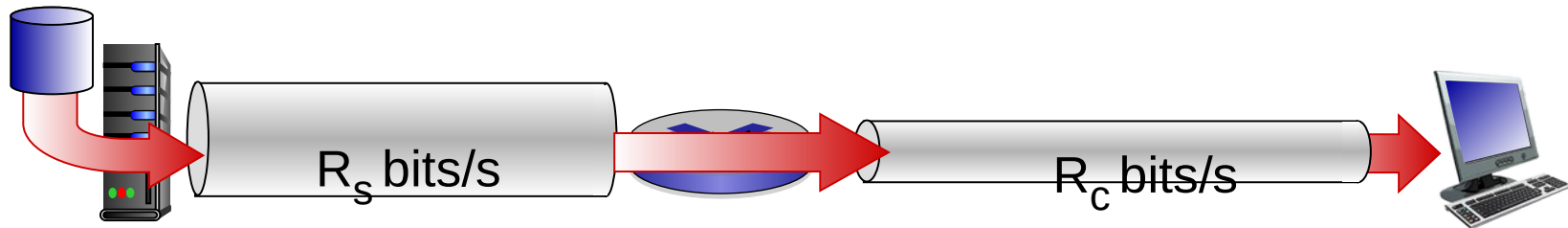


# Desempenho: vazão (*throughput*)

- $R_s < R_c$  Qual a média da vazão fim-a-fim?



- $R_s > R_c$  Qual a média da vazão fim-a-fim?

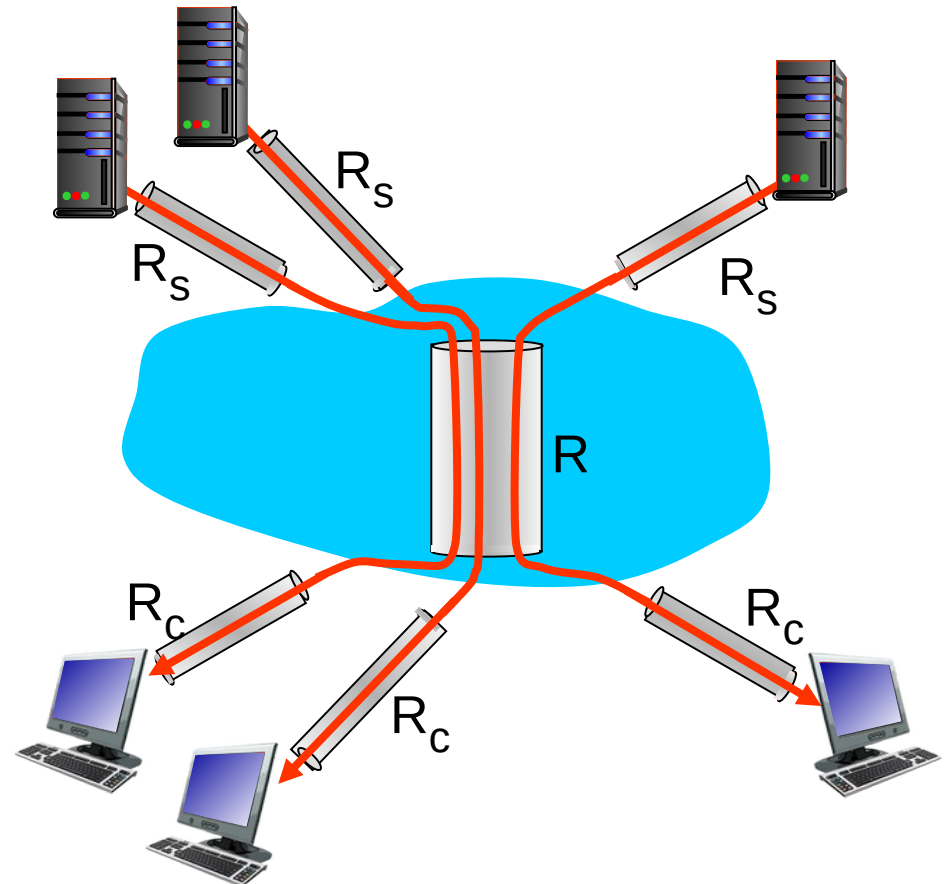


*Gargalo no enlace*

Enlace que limita a vazão fim-a-fim

# Desempenho: cenário da Internet

- Vazão por conexão fim-a-fim:  
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Na prática:  $R_c$  ou  $R_s$  é geralmente o gargalo



10 conexões compartilham o enlace de backbone ( $R$  bits/s)

# Sumário

- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, acesso, meios físicos
- Núcleo da rede: comutação de circuitos e de pacotes; estrutura da Internet
- Questões de performance: perda, atraso, desempenho
- Camadas de protocolos, modelos de serviço
- Segurança
- História



# Camadas de protocolos

*Redes são complexas, com muitas partes:*

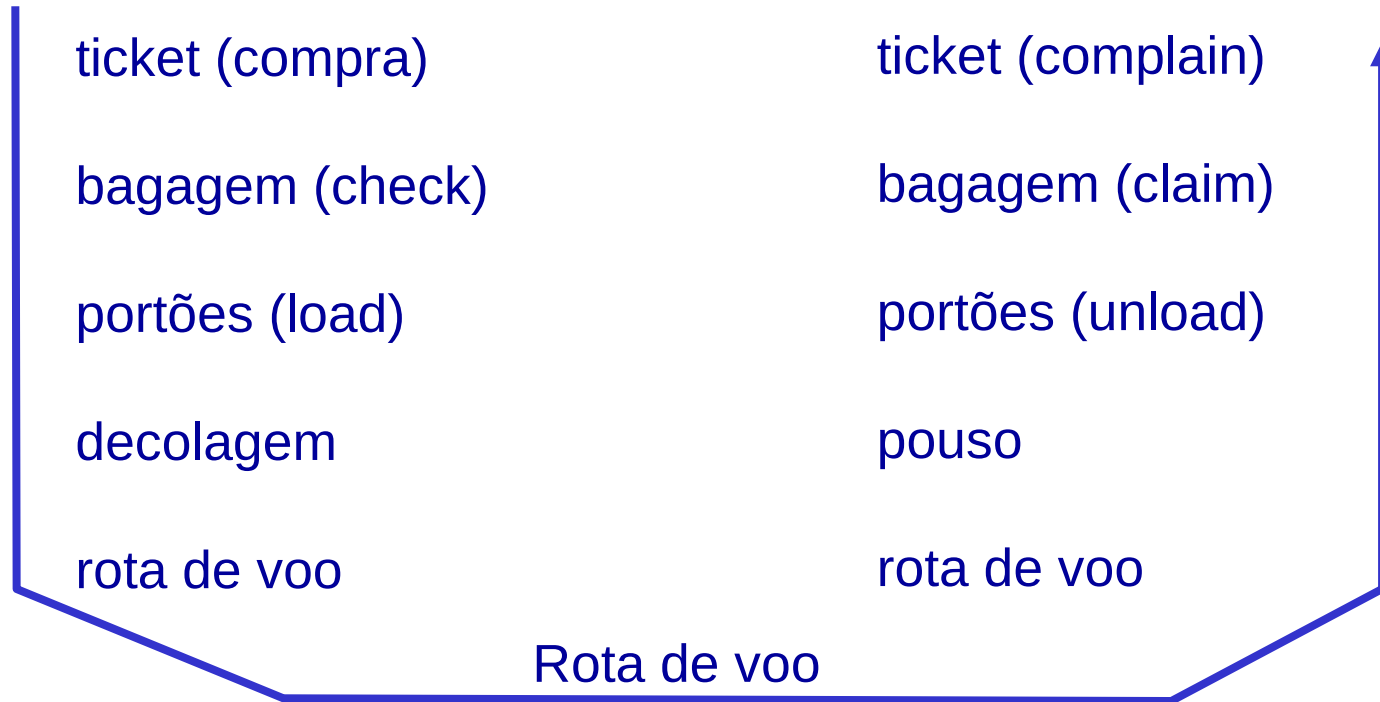
- hosts
- roteadores
- enlaces de diversos tipos
- aplicações
- protocolos
- hardware, software

*Questão:*

existe alguma  
“esperança” de  
organizar essa  
estrutura de  
rede?

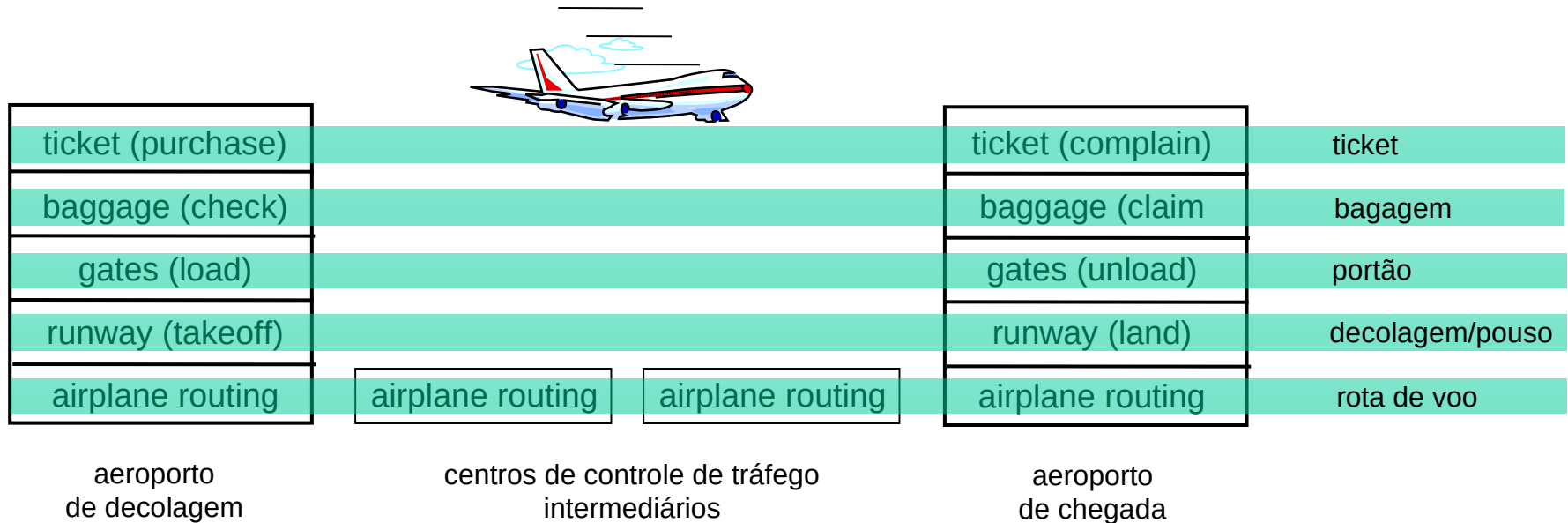
.... ou ao menos  
na organização  
da discussão  
sobre redes?

# Exemplo: como é uma viagem aérea



- Uma série de passos

# Funcionalidade da viagem aérea em camadas



**Camadas:** cada camada implementa um serviço

- Através de ações internas na camada
- Usando os serviços providos pela camada mais abaixo

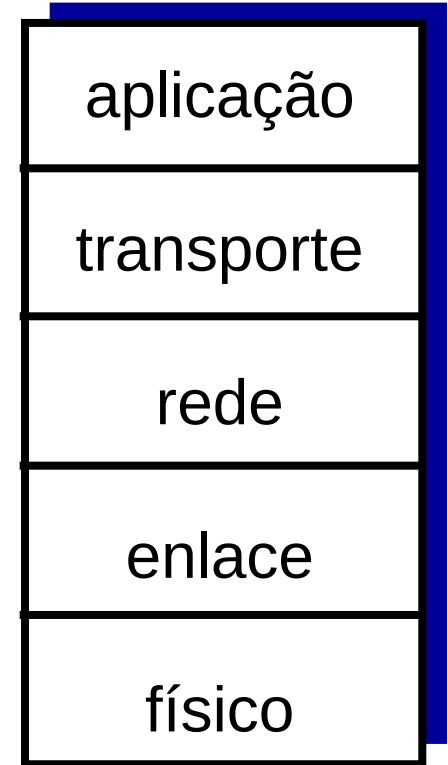
# Porquê camadas

Tratar com sistemas complexos:

- Estrutura explícita permite identificação e o estabelecimento da relação entre os elementos
  - *modelo de referência* de camadas para discussão
- Modularização facilita a manutenção e atualizações
  - Mudança na implementação em um serviço de uma camada é transparente ao resto do sistema

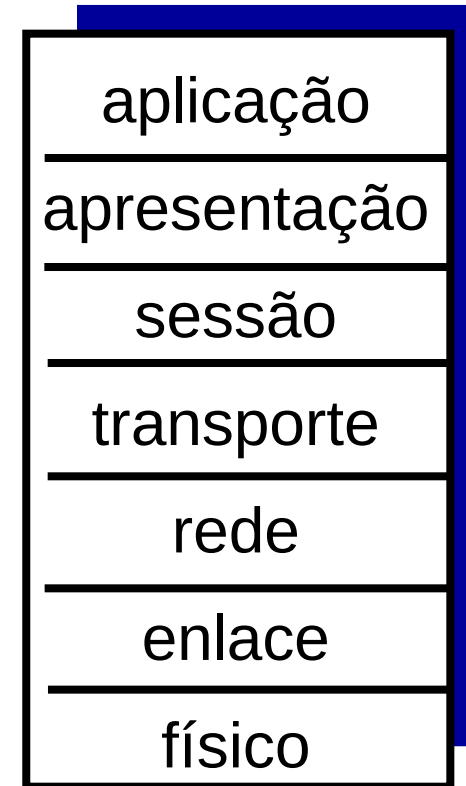
# Pilha de Protocolos TCP/IP

- *aplicação*: supota as aplicações de rede
  - FTP, SMTP, HTTP
- *transporte*: transferência de dados entre processos
  - TCP, UDP
- *rede*: roteamento dos datagramas entre a origem e o destino
  - IP, protocolos de roteamento
- *enlace*: transferência de dados entre dois elementos “próximos”
  - Ethernet, 802.111 (WiFi), PPP
- *físico*: bits “on the wire”

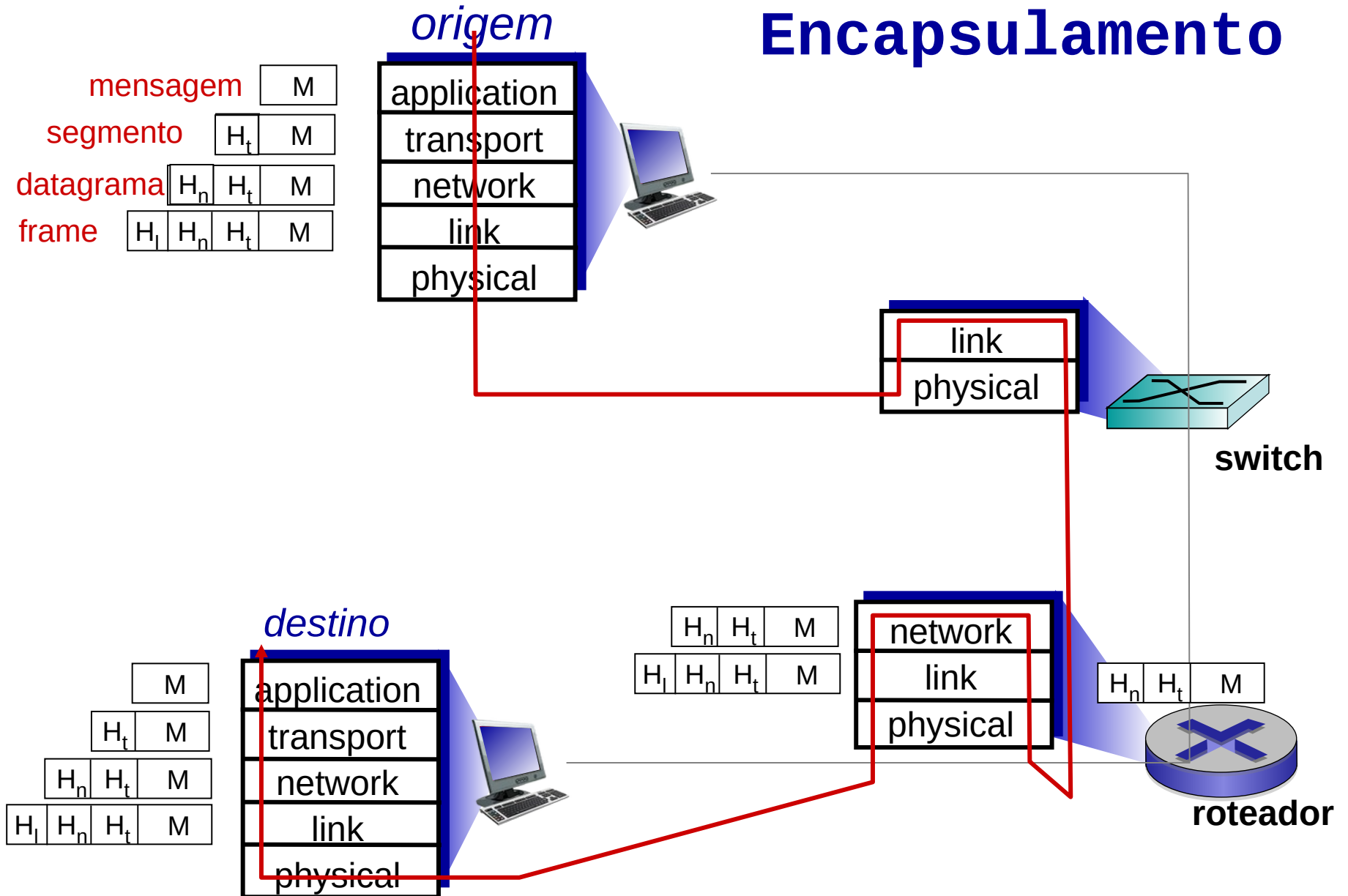


# Modelo de Referência ISO/OSI

- **apresentação:** permite aplicações interpretar o significado dos dados: compressão, criptografia, convenções específicas da máquina (*endianess*)
- **sessão:** sincronização, pontos de checagem, recuperação durante troca de dados
- Camadas “ausentes” da pilha Internet
  - Esses serviços, se necessários, deverão ser implementados pelas aplicações



# Encapsulamento



# Sumário

- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, acesso, meios físicos
- Núcleo da rede: comutação de circuitos e de pacotes; estrutura da Internet
- Questões de performance: perda, atraso, desempenho
- Camadas de protocolos, modelos de serviço
- Segurança
- História



# Segurança de Rede (*Network Security*)

- **Segurança de rede:**
  - Como um computador é atacado pela através da rede
  - Como se defender desses tipos de ataques
  - Como projetar arquiteturas “imunes” a estes tipos de ataques
- **A Internet não foi projetada originalmente visando segurança**
  - *Visão original: “a group of mutually trusting users attached to a transparent network”*
  - A segurança deve ser considerada em todos os níveis.

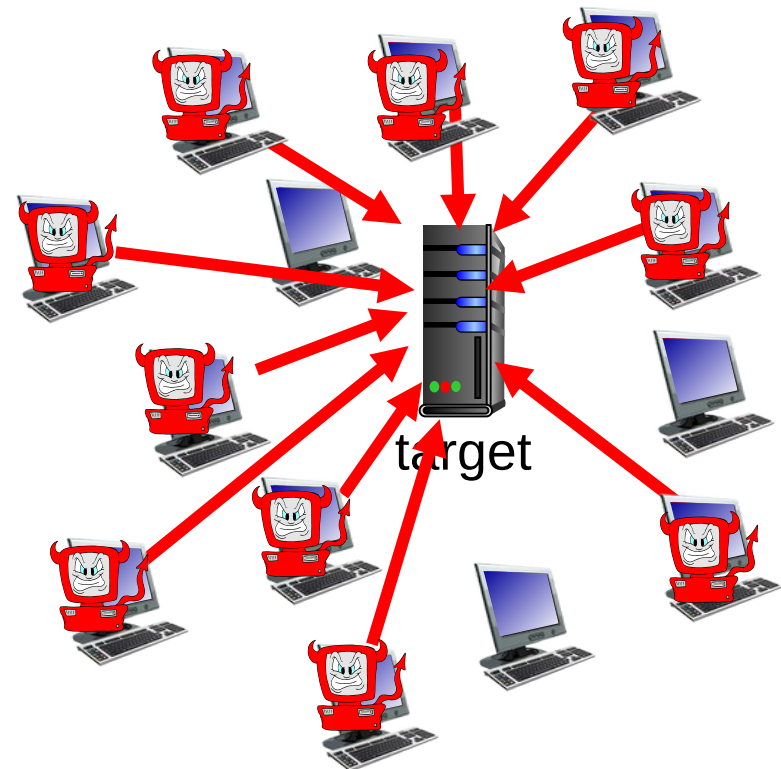
# “Infectando” hosts com *malware*

- *Malware* podem chegar num host a partir de:
  - *virus*: programa que se auto-replica e infecta hosts através do recebimento e execução de objetos (por exemplo, arquivos anexados em e-mail).
  - *worm*: infecção que se replica através do recebimento de forma passiva de um objeto que é autoexecutado. O objeto é um arquivo executável e o ataque ocorre via rede.
- *spyware malware* pode registrar e armazenar digitação, sítios visitados, obter e enviar dados pessoais.
- Um host infectado pode se tornar um membro de uma *botnet*, rede que é usada para diversas atividades, como gerar spam, realizar ataques DdoS.

# Atacando servidores de rede e infraestrutura de rede

*Denial of Service (DoS)*: atacantes esgotam os recursos (servidores, largura de banda), tornando-os indisponíveis para usuários legítimos. DDoS: *Distributed DoS*

1. Seleção do alvo
2. Ataca hosts tornando-os “escravos”(botnet)
3. O atacante envia comandos aos hosts comprometidos para que enviem pacotes ao alvo

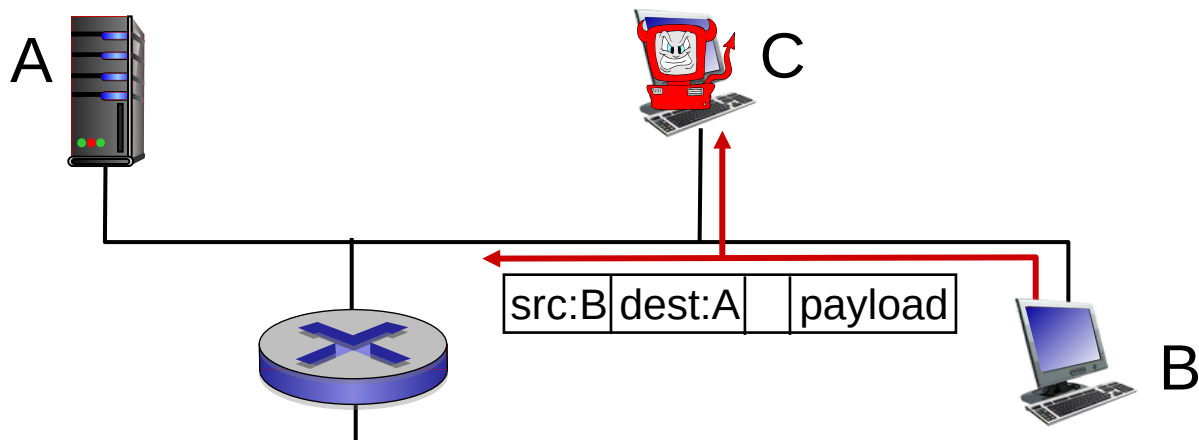


# Visualizando conteúdo dos pacotes na rede

*Packet "sniffing"*: captura de dados de rede; no sentido geral, pacotes de rede, e em sentido restrito, *frames* de rede (unidade básica de dados da camada de enlace), a qual permite analisar todos os protocolos das diversas camadas que estejam sendo transportados. A palavra vem de "farejar" dados de rede.

## Requisitos:

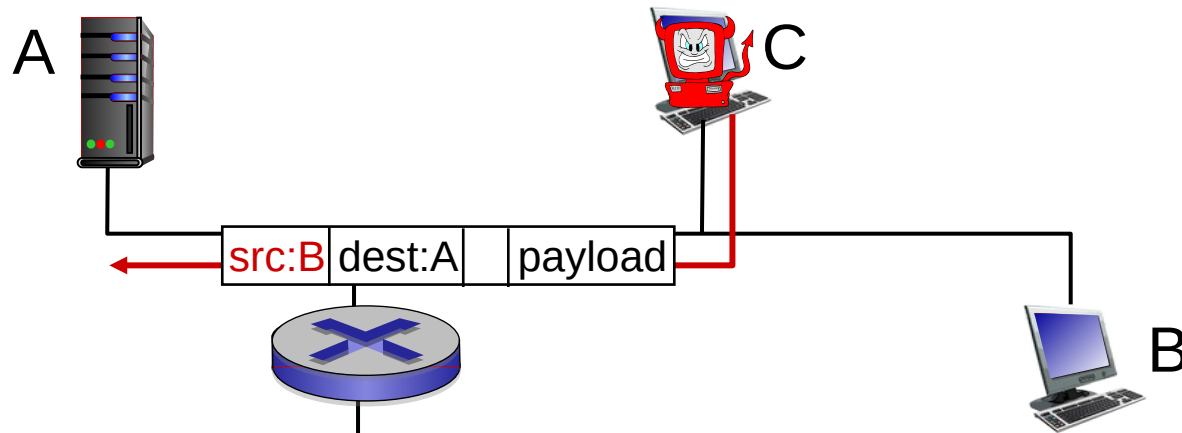
- Meios que usam broadcast (Ethernet compartilhada, wireless)
- Interface de rede deve estar modo promíscuo (promiscuous) para que ela receba e trate todos os frames (Ethernet) que passam pela mesma.



Obs.: programas mais conhecidos para realizar *packet-sniffer*: tcpdump (modo texto) e *Wireshark* (modo gráfico).

# Uso de endereços falsos

*IP spoofing*: enviar um pacote com endereço falso de origem



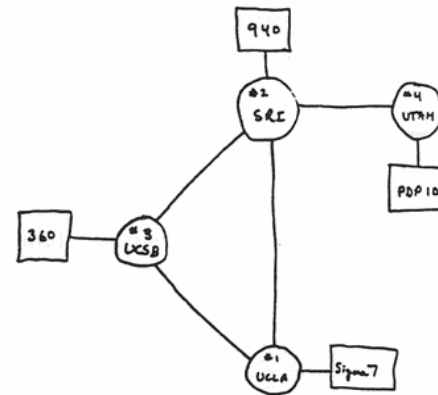
# Sumário

- O que é a Internet? O que é um protocolo?
- Borda da rede: hosts, acesso, meios físicos
- Núcleo da rede: comutação de circuitos e de pacotes; estrutura da Internet
- Questões de performance: perda, atraso, desempenho
- Camadas de protocolos, modelos de serviço
- Segurança
- História

# História da Internet

## 1961-1972: princípios da comutação de pacotes

- **1961:** Kleinrock – teoria de filas mostra a efetividade da comutação de pacotes
- **1964:** Baran – comutação de pacotes em redes militares
- **1967:** ARPAnet definida pela agência *Advanced Research Projects Agency*
- **1969:** primeiro nó operacional da ARPAnet
- **1972:**
  - ARPAnet public demo
  - NCP (*Network Control Protocol*) primeiro protocolo para comunicação host-host
  - Primeiro programa de e-mail
  - ARPAnet possui 15 nós



THE ARPA NETWORK

DEC 1969

# História da Internet

1972-1980: *Internetworking*: conexão entre redes; criação de redes; redes proprietárias

- 1970: ALOHAnet: rede por satélite no Hawaii
- 1974: Cerf e Kahn – arquitetura para interconexão de redes
- 1976: Ethernet no Xerox PARC
- Final década 70: arquiteturas rede proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- Final década 70: comutação de pacotes com tamanho fixo (precursores do ATM)
- 1979: ARPAnet registra 200 nós

## Princípios de internetworking (Cerf e Kahn):

- Minimalismo, autonomia – sem mudanças internas requeridas para interconectar redes
- Modelo de serviço melhor esforço (*best effort*)
- Roteadores sem estado (*stateless*)
- Controle descentralizado

Que definem a arquitetura da Internet atual



# História da Internet

## 1980-1990: novos protocolos e proliferação das redes

- 1983: desenvolvimento do TCP/IP
- 1982: protocolo de e-mail: SMTP
- 1983: protocolo para tradução nomes-para-endereços: DNS
- 1985: protocolo para transferência arquivos: FTP
- 1988: controle de congestionamento TCP
- Novas redes nacionais: CSnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 hosts conectados às diversas redes

# História da Internet

## Décadas 1990 e 2000: comercialização na Web; novas aplicações

- **Início 1990:** ARPAnet foi decomissionada
- **1991:** NSF retirou restrições ao uso comercial da rede NSFnet (1995)
- **Década de 1990:** Web
  - Hypertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, depois Netscape
  - Final da década 1990: comercialização na Web

### Entre 1990 e 2000:

- Mais “*killer apps*”: mensagens instantâneas, compartilhamento arquivos P2P
- Segurança de rede
- Estimativas de 50 milhões de hosts e mais de 100 milhões de usuários
- Enlaces de *backbone* chegando a taxas de Gbps

# História da Internet

## *2005-até o presente*

- ~5B dispositivos conectados à Internet (2016)
  - *Smartphones e tablets*
- Desenvolvimento do acesso em banda larga (fibra óptica)
- Aumento e generalização do acesso a redes sem fio
- Redes sociais:
  - Facebook: ~ um bilhão de usuários
- Provedores de serviços (Google, Microsoft, Amazon, etc) criando suas próprias redes
  - “Bypassando” a Internet, de forma a prover acesso instantâneo à pesquisa, email, vídeo, serviços (computação em nuvem), etc.
- E-commerce, universidades, empresas executando seus serviços em nuvens públicas (Amazon EC2)

Uso do Wireshark  
[www.wireshark.org](http://www.wireshark.org)

