

# **Redes de Computadores I**

## **Introdução às Redes de Computadores**

**Prof. Ricardo Couto A. da Rocha**

**[rcarocha@ufg.br](mailto:rcarocha@ufg.br)**

**UFG – Regional de Catalão**

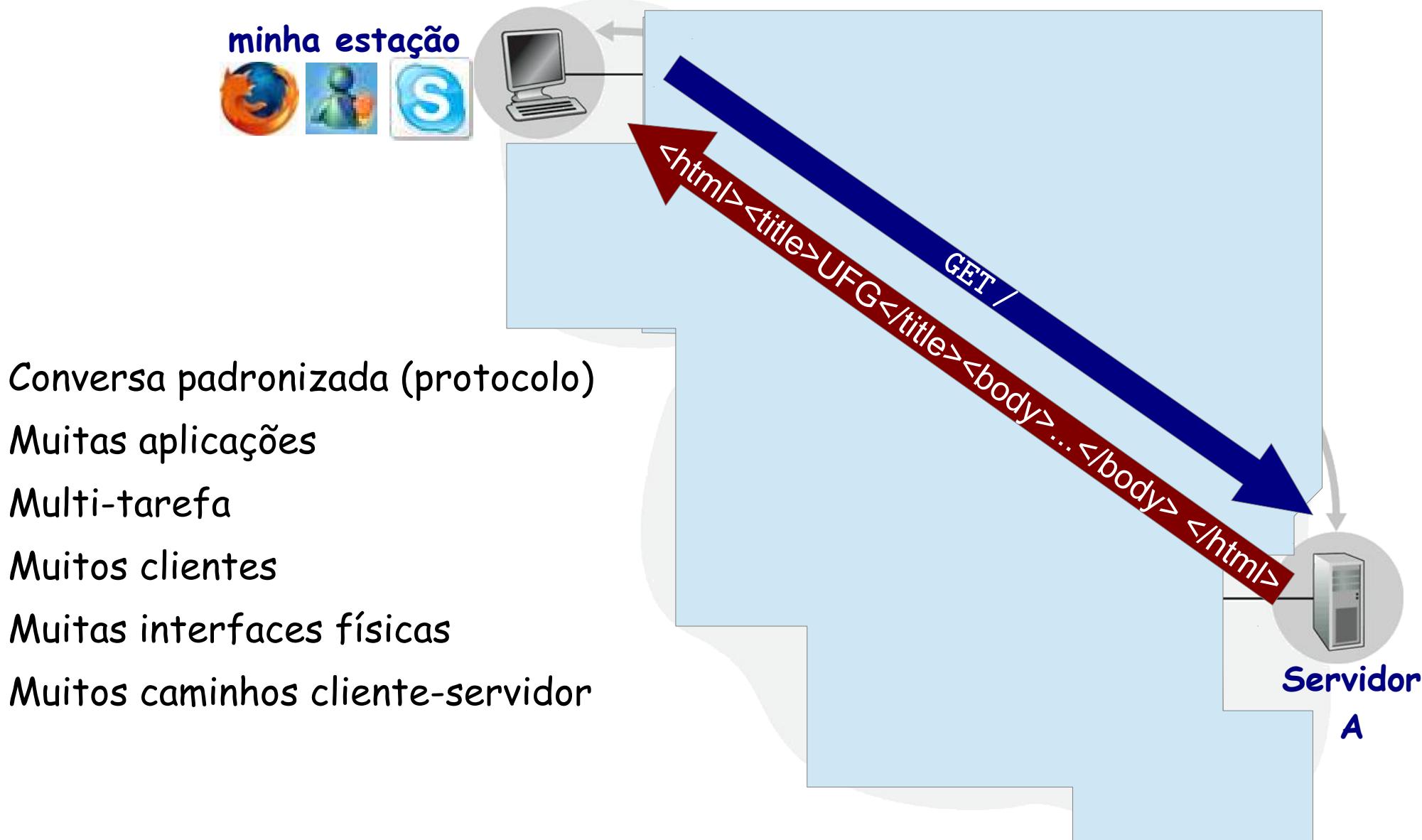
# Objetivos

- Entender o contexto, visão geral e o que são redes de computadores
- Ter uma idéia macro da complexidade de uma rede de computadores
- Entender os elementos fundamentais do funcionamento de uma rede de computadores e qual o papel eles assumem.
- **Internet** será o exemplo de todos os conceitos a serem discutidos

# Roteiro

- O que é a Internet
- O que é um protocolo?
- A borda da rede
- O núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
- Backbones, NAPs, ISPs
- Desempenho: perda, atraso

# Complexidade de uma Rede



# Internet: visão dos componentes

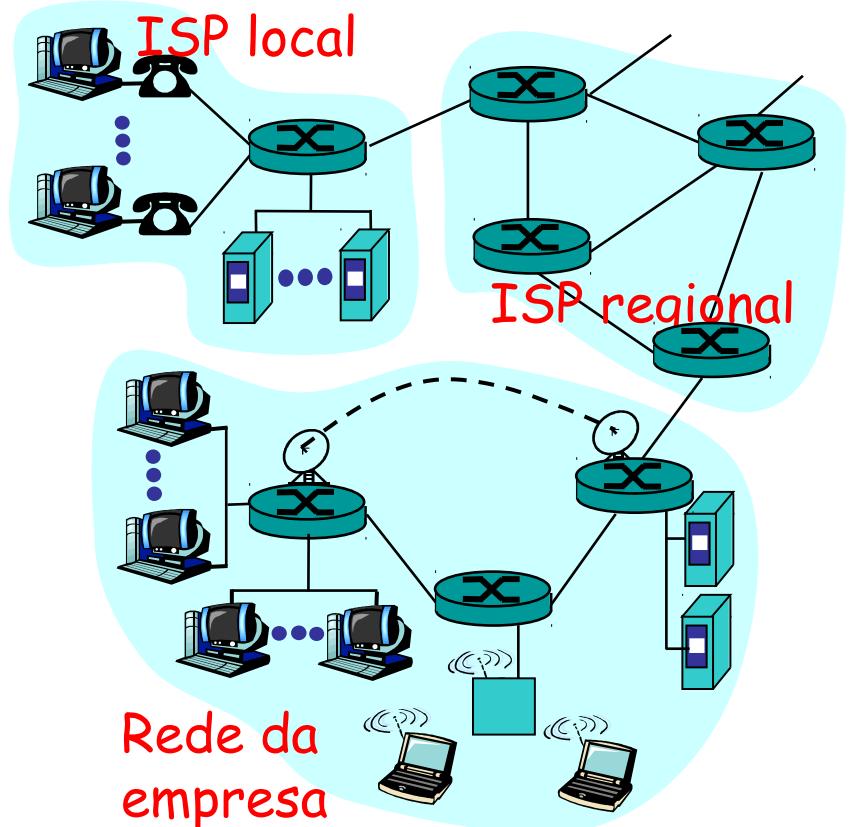
Milhões de dispositivos de computação conectados: *hosts, sistemas finais*

- workstations de PCs, servidores
- telefones com PDA's rodando *aplicações de rede*

*Enlaces (canais) de comunicação*

- fibra, cobre, rádio, satélite

*Roteadores:* encaminham pacotes de dados através da rede



# Internet: visão dos componentes

**Protocols:** controlam o envio e recepção de mensagens

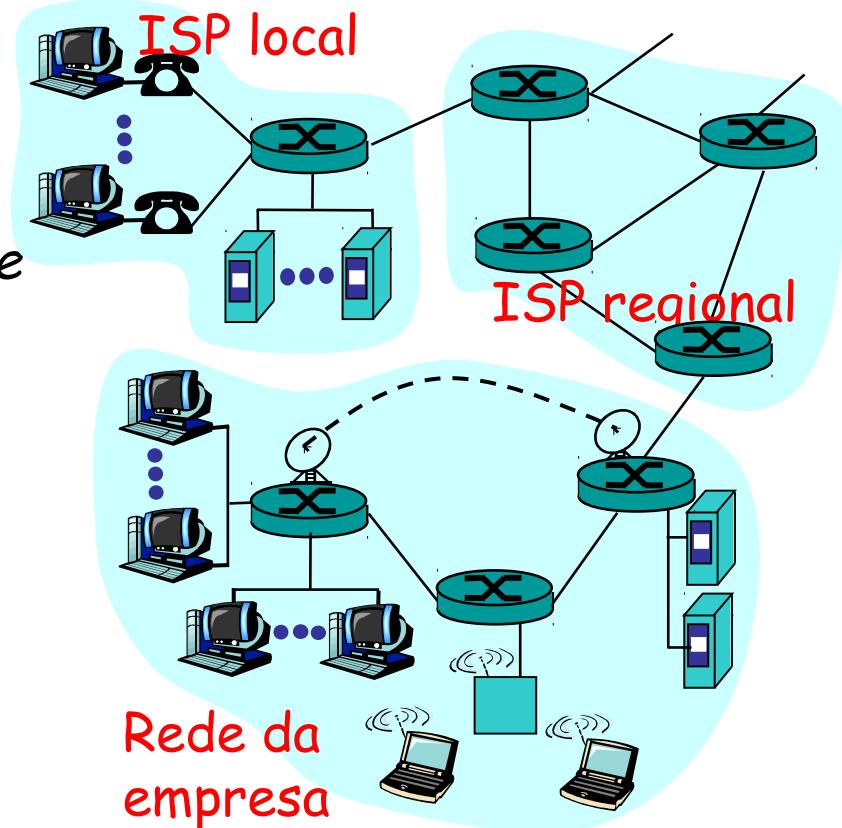
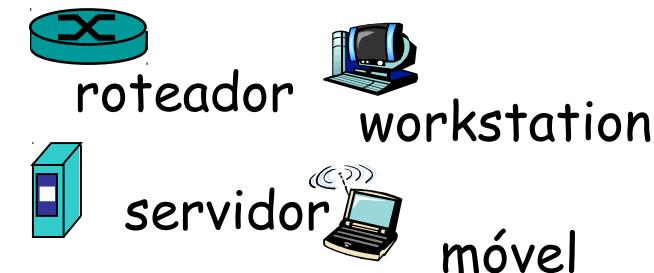
- ex., TCP, IP, HTTP, FTP, PPP

**Internet: "rede de redes"**

- livremente hierárquica
- Internet pública versus *intranet* privada

**Padrões Internet**

- RFC: *Request for comments*
- IETF: *Internet Engineering Task Force*



# Internet: visão dos serviços

A infra-estrutura de comunicação permite o uso de aplicações distribuídas:

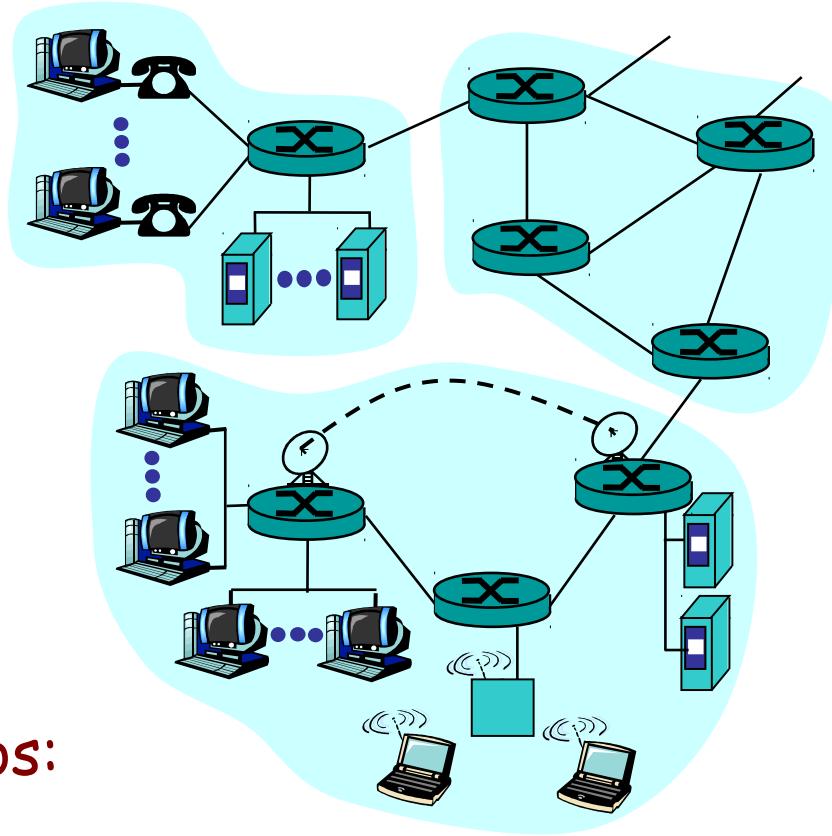
- WWW, email, jogos, e-commerce, bancos de dados, votações, compartilhamento de arquivos

Visão dos serviços: quais as funções de comunicação oferecidas para as aplicações

- Quais as suas características?
- Qual a sua aplicabilidade?

Serviços de comunicação disponibilizados:

- sem conexões
- orientado a conexões



# Roteiro

- O que é a Internet
- O que é um protocolo?
- A borda da rede
- O núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
- Backbones, NAPs, ISPs
- Desempenho: perda, atraso

# O que é um protocolo?

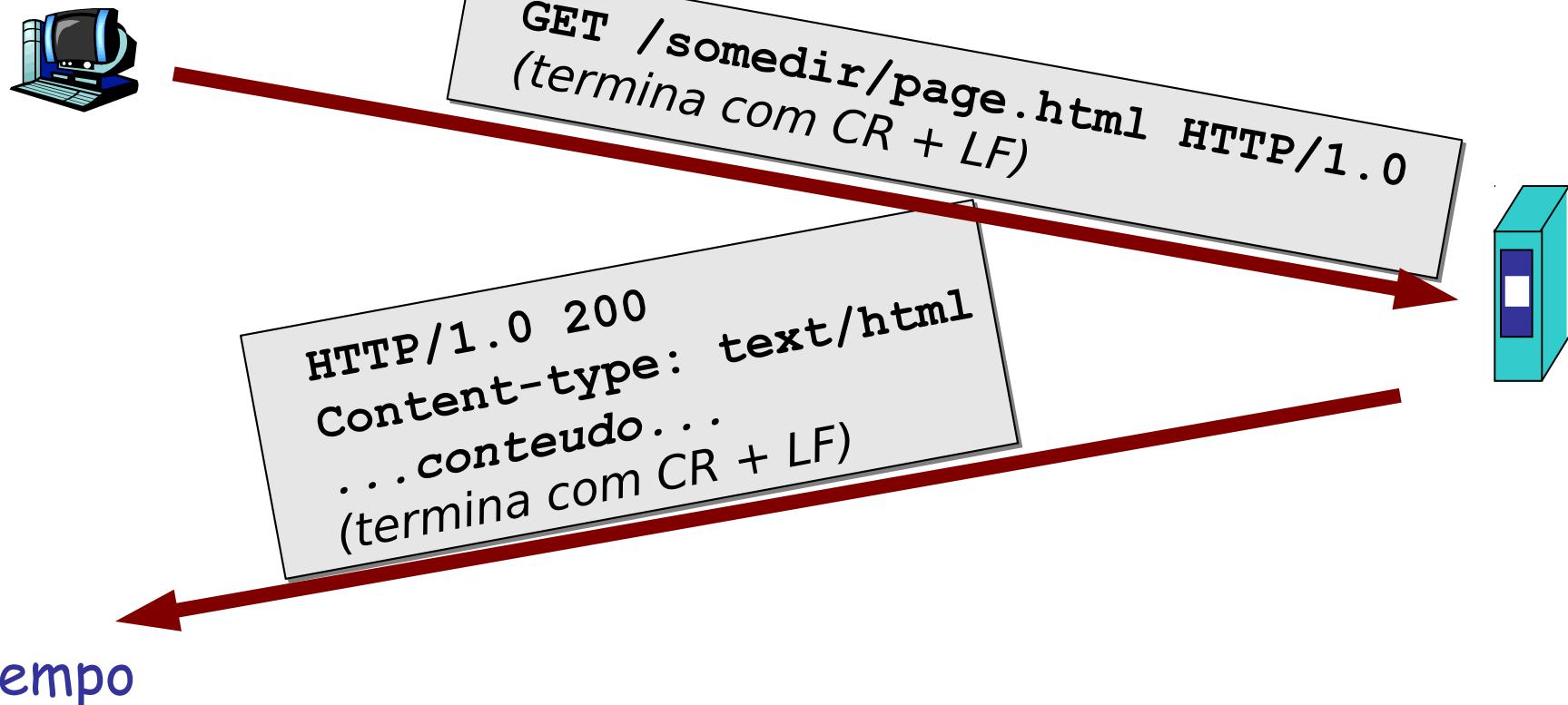
- Protocolos de rede
  - Softwares devem ser capazes de se comunicar
  - Comunicação possível deve ser pré-estabelecida  
→ software/hardware viável de ser construído
  - Todas as atividades de comunicação na Internet são governadas por protocolos

**Protocolos** definem o **formato** e **ordem** das **mensagens** enviadas e recebidas pelas entidades da rede, bem como as **ações** tomadas quando da transmissão ou recepção destas mensagens

# Protocolo: Exemplo

**Problema:** clientes requisitam recursos (ex: arquivos), de natureza diversa, e armazenados em um servidor.

**Protocolo (resumido):** HTTP



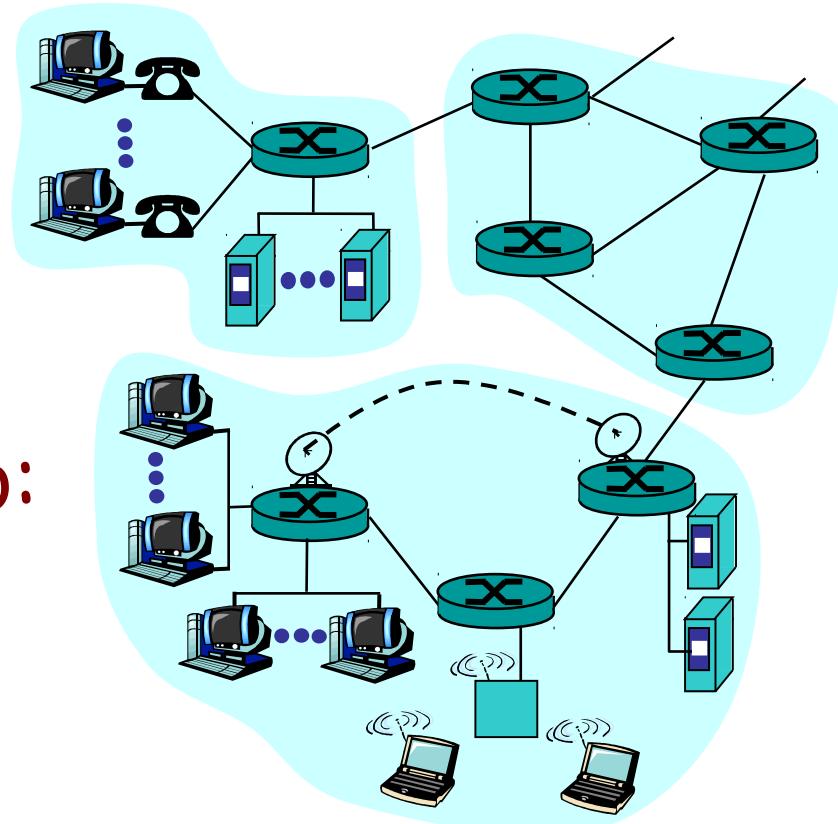
# Detalhando a estrutura da rede

Borda da rede: aplicações e estações (*hosts*)

Núcleo da rede:

- roteadores
- rede de redes

Redes de acesso, meio físico:  
enlaces de comunicação



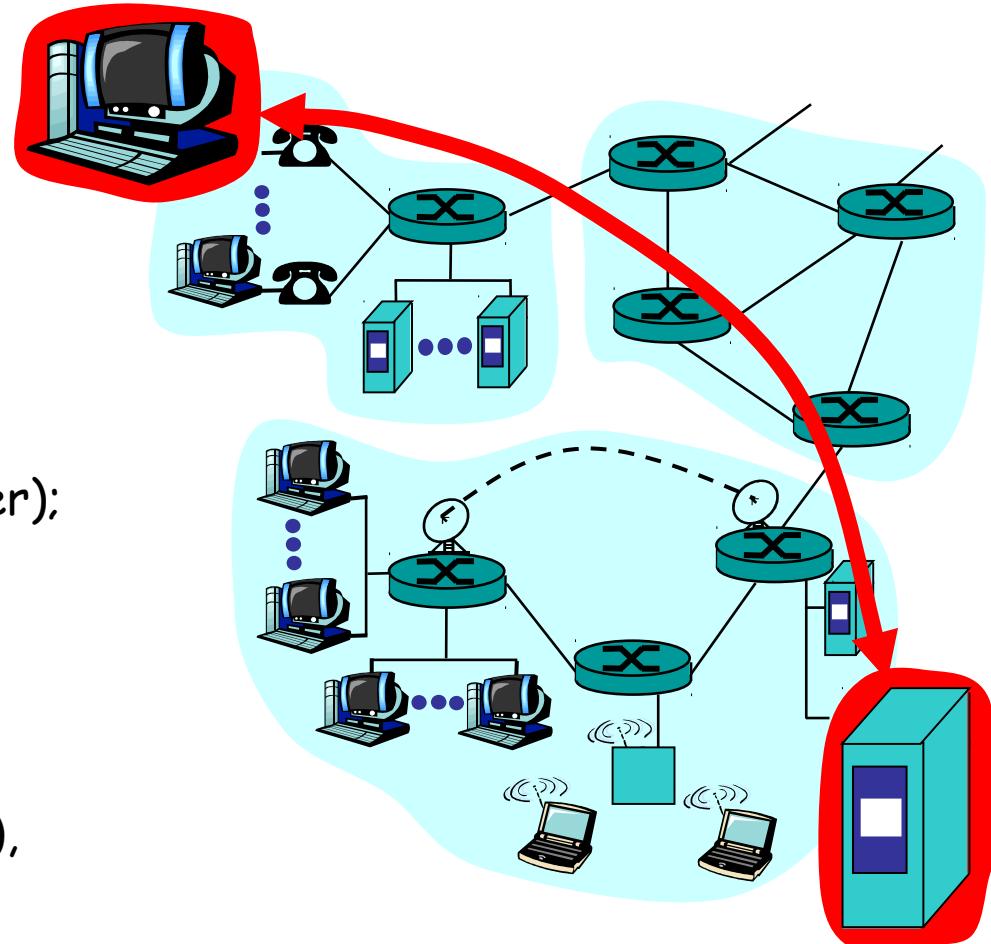
# Roteiro

- O que é a Internet
- O que é um protocolo?
- A borda da rede
- O núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
- Backbones, NAPs, ISPs
- Desempenho: perda, atraso

# A borda da rede

## Sistemas finais (*hosts ou estações*):

- rodam programas de aplicação - processos comunicantes
- ex.: WWW, email
- na “extremidade da rede”



## Modelo cliente/servidor

- o host cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
- ex.: cliente/ servidor WWW (browser); cliente/servidor de email

## Modelo peer-to-peer :

- interação simétrica entre os hosts
- ex.: teleconferência (skype, hangout), torrent, whatsapp.

O objetivo final da rede é permitir comunicação **entre processos**.

# Serviços de comunicação na rede

Serviço de comunicação (ou transporte) **orientado a conexão**

- Oferece a entrega de um fluxo de dados (stream)
- A entrega é garantida - confiável
- Os dados serão entregues sem erros e na mesma ordem em que foram enviados

Serviço de comunicação **não** orientado a conexão

- Não há garantia nenhuma de entrega dos dados
  - Parte dos dados ou todo o dado pode ser perdido
  - Dado pode ser corrompido
  - Dados podem chegar em qualquer ordem

# Serviço orientado a conexões

*Objetivo:* transferência de dados entre hosts.

*handshaking:* inicializa (prepara para) a transferência de dados

- Alô,... alô (protocolo humano)
- *inicializa o "estado"* em dois hosts que desejam se comunicar

TCP - *Transmission Control Protocol*

- serviço orientado a conexão da Internet

*serviço TCP [RFC 793]*

- transferência de dados através de um fluxo de bytes ordenados e confiável
  - ◆ perda: tratada através de reconhecimentos e retransmissões
- controle de fluxo :
  - ◆ transmissor não inundará o receptor
- controle de congestionamento :
  - ◆ transmissor “diminui a taxa de transmissão” quando a rede está congestionada.

# Serviço sem conexão

*Objetivo:* transferência de dados entre sistemas finais

*UDP - User Datagram Protocol [RFC 768]:* serviço sem conexão da Internet

- transferência de dados não confiável
- não controla o fluxo
- nem congestionamento

*Aplicações que usam TCP:*

- HTTP (WWW), FTP (transferência de arquivo), Telnet (login remoto), SMTP (email)

*Aplicações que usam UDP:*

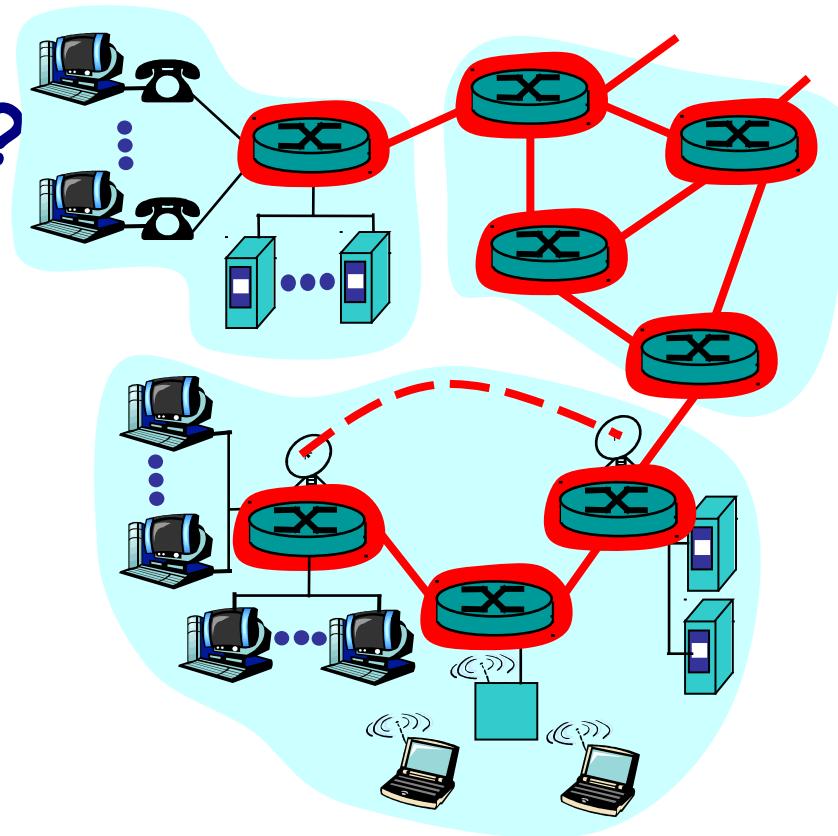
- streaming media, teleconferência, telefonia Internet

# Roteiro

- O que é a Internet
  - O que é um protocolo?
  - A borda da rede
- O núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
  - Backbones, NAPs, ISPs
  - Desempenho: perda, atraso

# O Núcleo da Rede

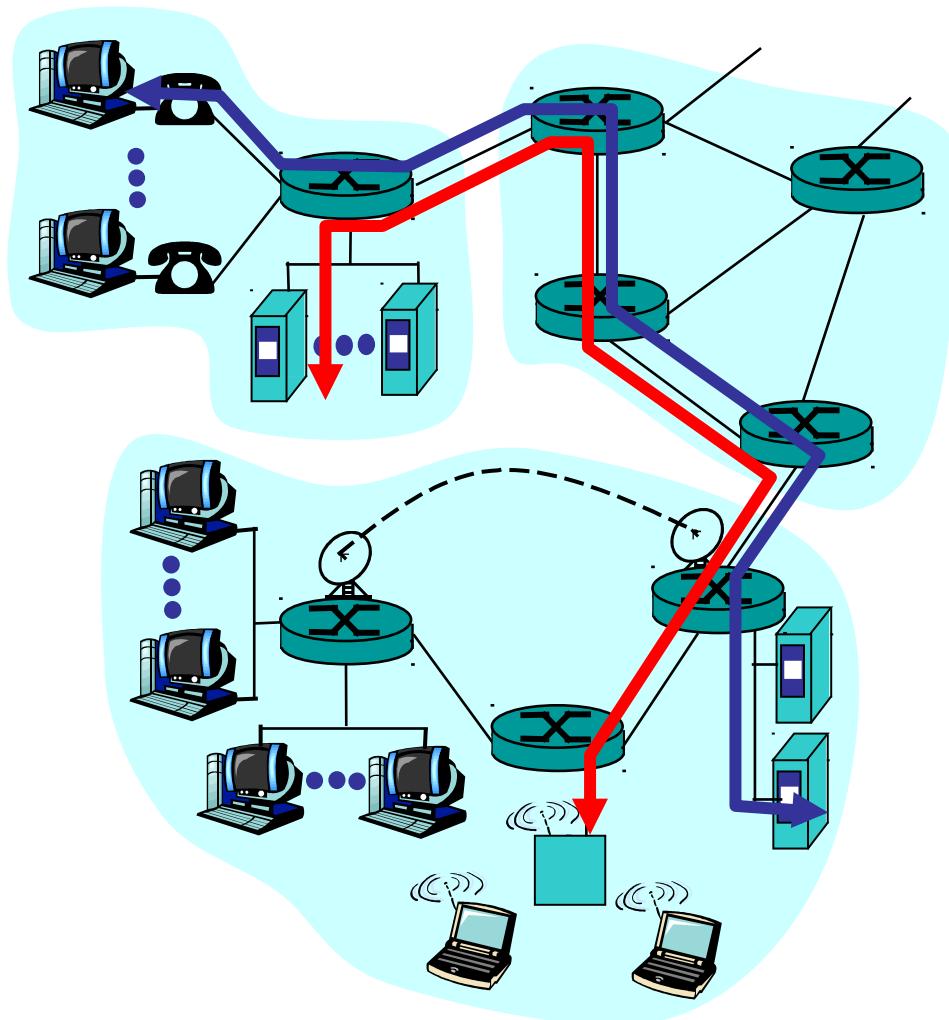
- A pergunta fundamental:  
**como os dados são transferidos através da rede seguindo um caminho?**
  - **comutação de circuitos:** circuito dedicado por chamada → rede telefônica
  - **comutação de pacotes:** os dados são enviados através da rede em pedaços discretos (Pacotes).



# Núcleo: Comutação de Circuitos

Recursos fim-a-fim são reservados para a chamada.

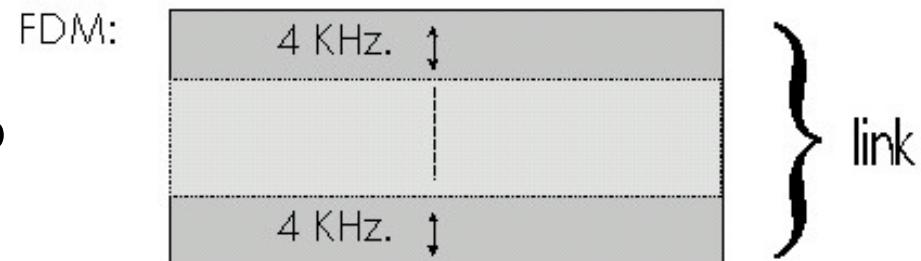
- banda do enlace, capacidade dos comutadores
- recursos dedicados: sem compartilhamento
- desempenho garantido (como em um circuito físico)
- necessita estabelecimento de conexão



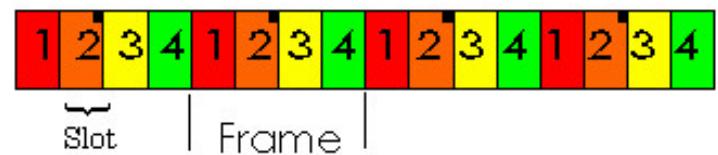
# Núcleo: Comutação de Circuitos

Recursos da rede (ex., banda) são divididos em “pedaços”

- pedaços alocados às chamadas
- o pedaço do recurso fica *ocioso* se não for usado pelo seu dono (*não há compartilhamento*)
- como é feita a divisão da banda de um canal em “pedaços” (**multiplexação**):
  - divisão de frequência (FDM)
  - divisão de tempo (TDM)



TDM:



All slots labelled **2** are dedicated to a specific sender-receiver pair.

# Núcleo: Comutação de Pacotes

Disputa por recursos:

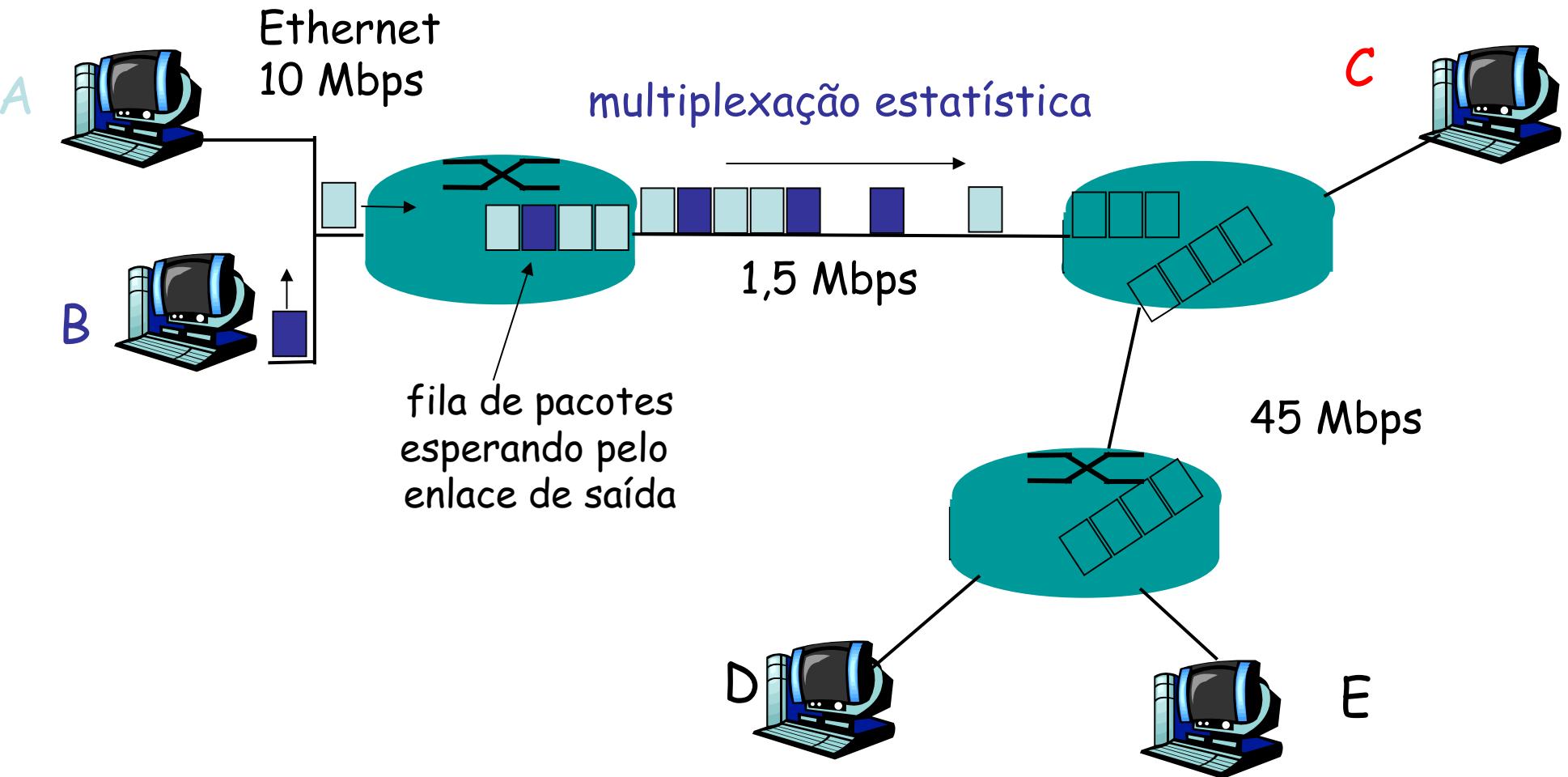
- a demanda total pelos recursos pode superar a quantidade disponível
- congestionamento: pacotes são enfileirados, esperando para usar o enlace
- armazena e retransmite: pacotes se deslocam uma etapa (hop) por vez
  - transmite num enlace
  - espera a vez no próximo enlace

Cada fluxo de dados fim-a-fim é dividido em *pacotes*

- pacotes dos usuários A e B *compartilham* os recursos da rede
- cada pacote usa toda a banda do canal
- recursos são usados *quando necessário*

■  
Divisão da banda em “pedaços”  
Alocação dedicada  
Reserva de recursos

# Núcleo: Comutação de Pacotes

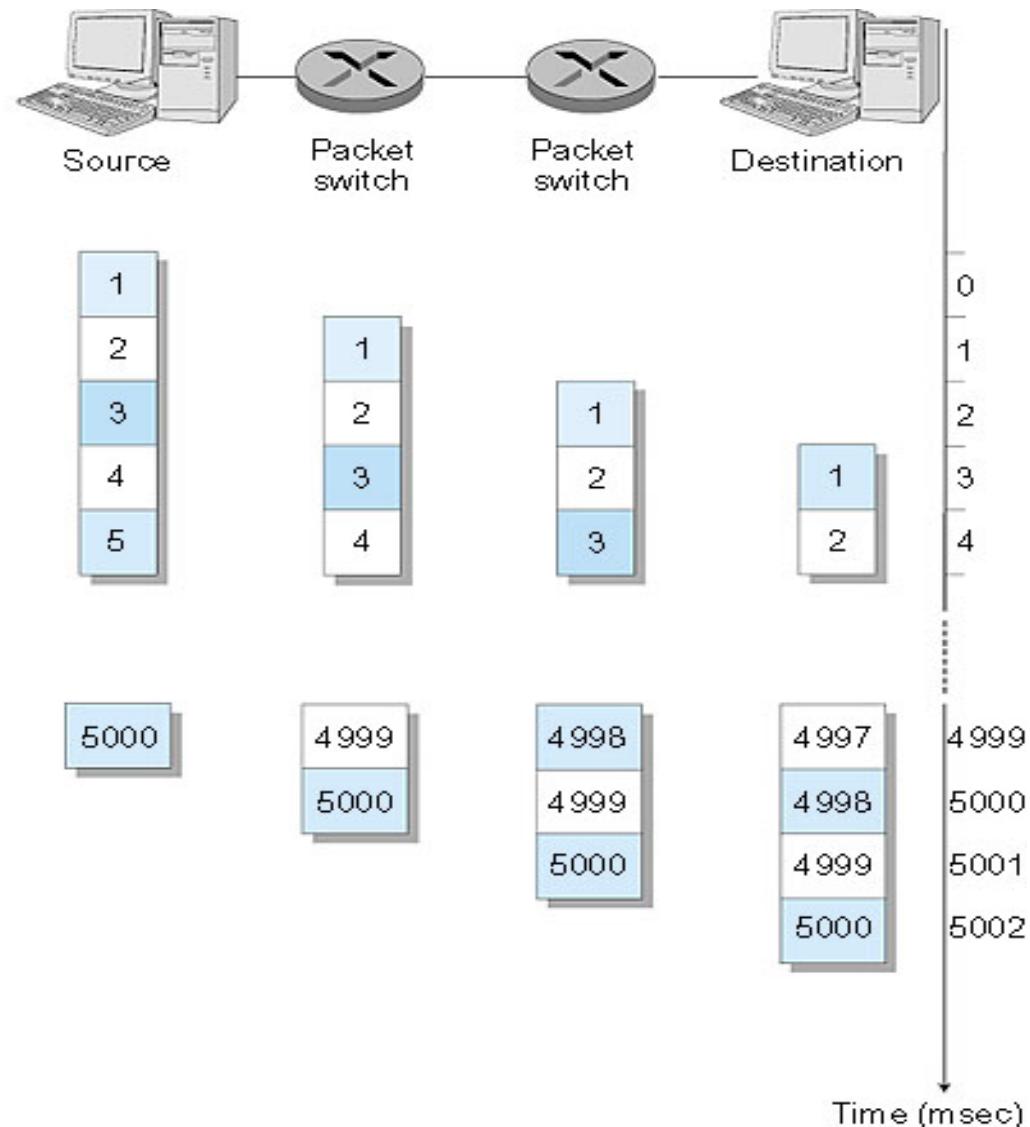


# Núcleo: Comutação de Pacotes

Comutação de pacotes:  
comportamento de  
armazenamento e retransmissão  
*(store and forward)*

Quebra uma mensagem em pedaços  
menores (*pacotes*)

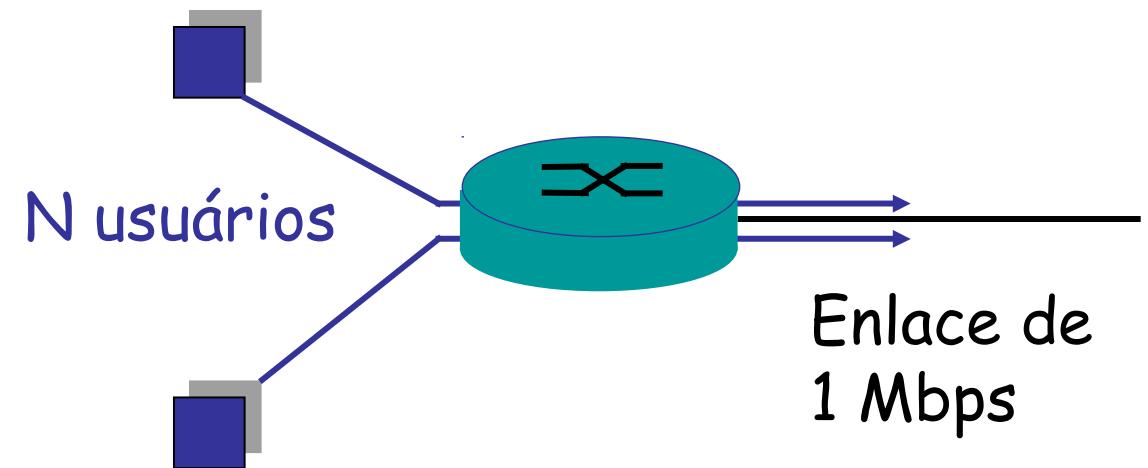
*Store-and-forward*: comutador  
espera a chegada do pacote  
completo e o encaminha/roteia  
para o próximo comutador



# Comutação Pacotes X Circuitos

A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

- Enlace de 1 Mbit/s
- cada usuário:
  - 100Kbps quando “ativo”
  - ativo 10% do tempo
- comutação por circuitos:
  - 10 usuários
- comutação por pacotes:
  - com 35 usuários, probabilidade > 10 ativos menor que 0,004



# Comutação Pacotes X Circuitos

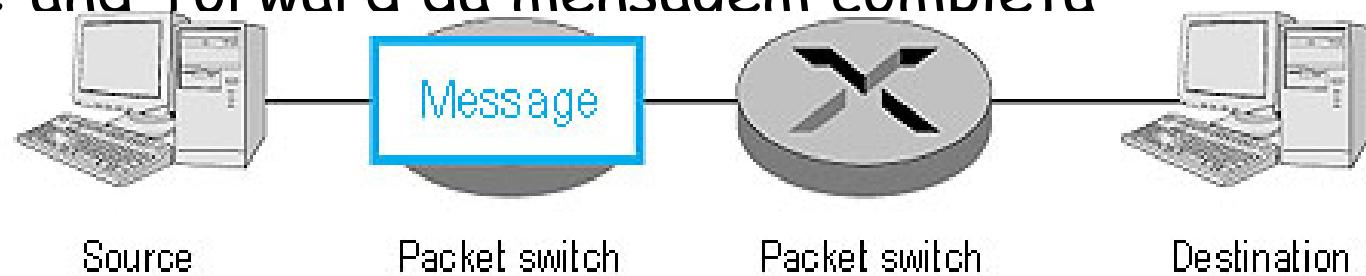
## A comutação de pacotes é sempre mais vantajosa?

- Ótima para dados em surtos/rajadas
  - compartilhamento dos recursos
  - não necessita estabelecimento de conexão
- Congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes
  - necessita de protocolos para transferência confiável de dados, controle de congestionamento
- P: Como fornecer um comportamento do tipo circuito?
  - São necessárias garantias de banda para aplicações de áudio e vídeo
  - ainda é um problema não resolvido

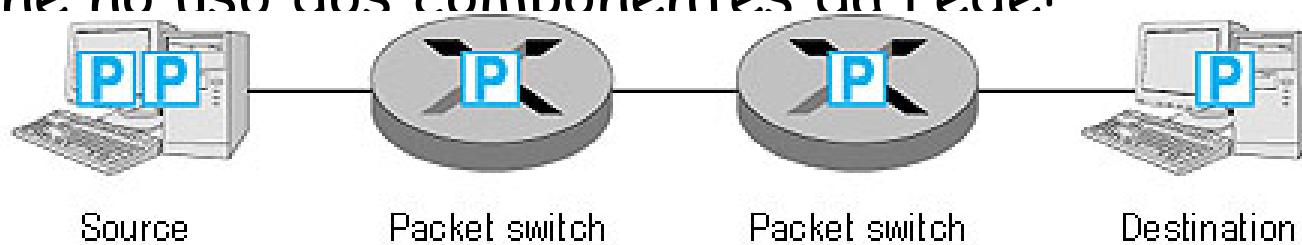
# Segmentação de Mensagens

Transmissão de mensagens longas

- como uma única unidade de transmissão
- store-and-forward da mensagem completa



- segmentadas em uma série de pacotes transmitidos independentemente
- pipeline no uso dos componentes da rede!



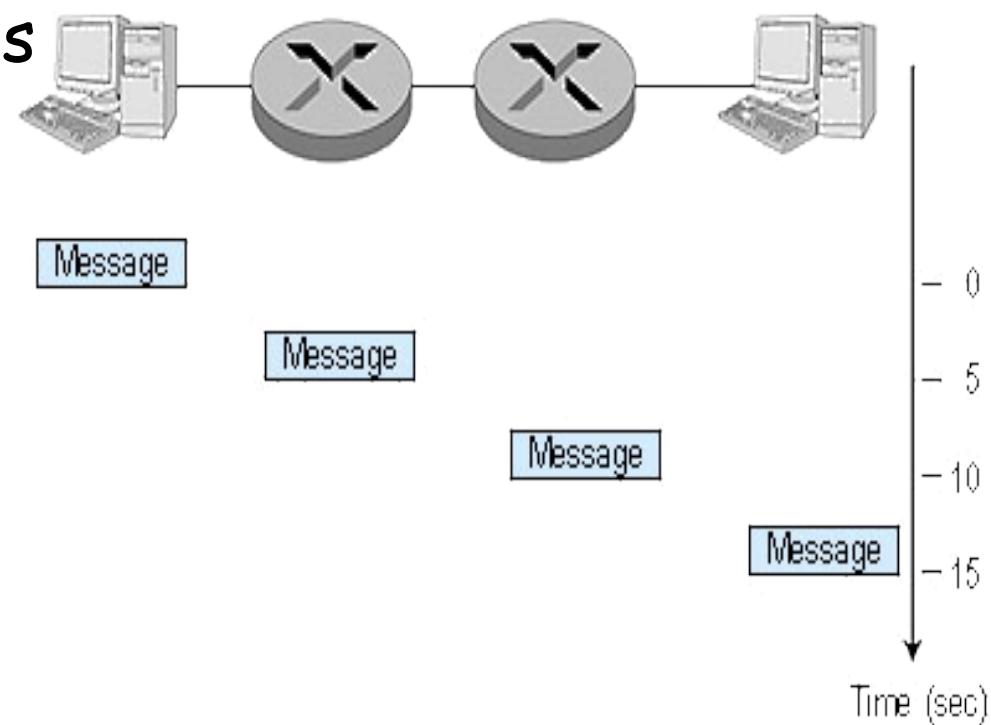
# Segmentação e Desempenho

**Sem segmentação:** cada mensagem precisa ser armazenada completamente em cada comutador antes de ser retransmitida

- longa espera em cada comutador

Uso sequencial dos componentes da rede

- desperdício de recursos



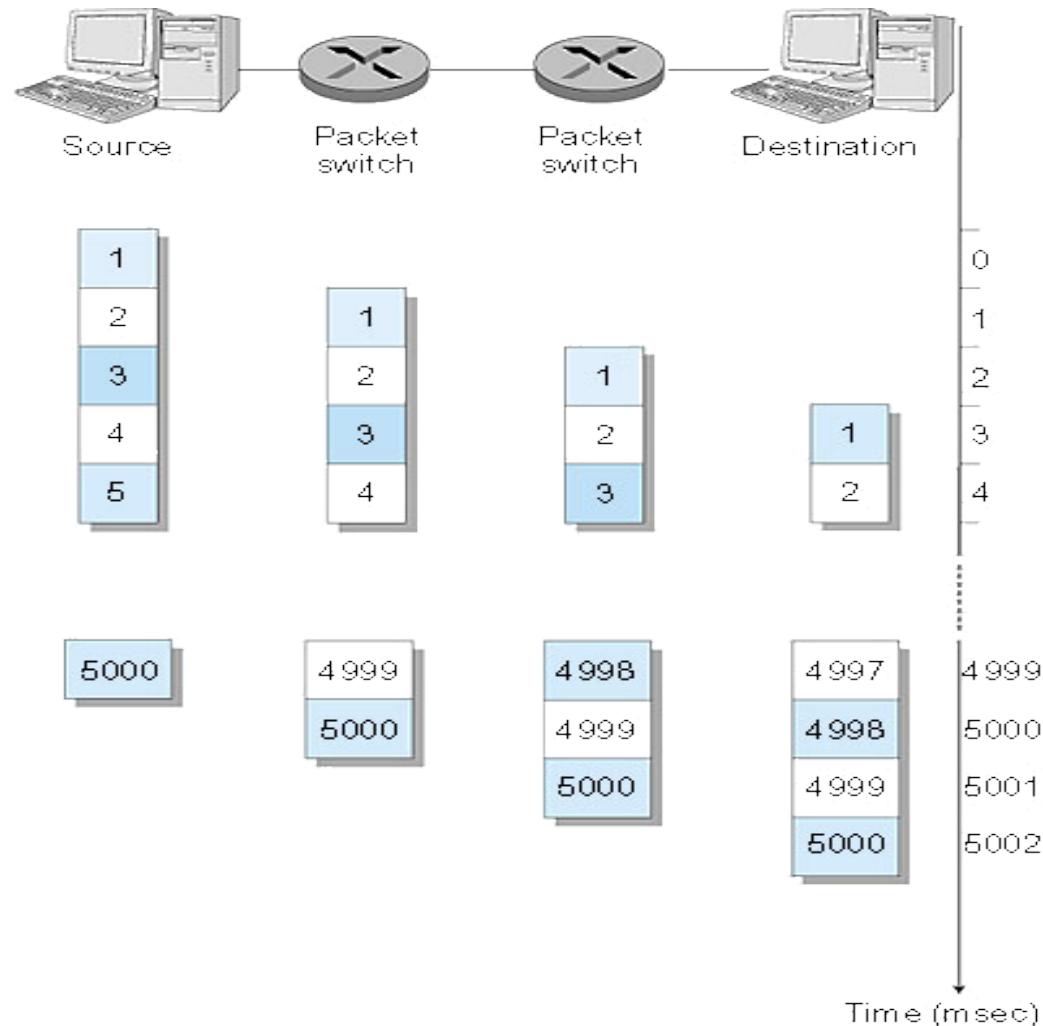
# Segmentação e Desempenho

Com segmentação em pacotes:

- cada componente da rede pode “trabalhar” em paralelo em pacotes diferentes da mensagem

Resulta em um menor atraso total de transmissão da mensagem

- um fator de 3 neste ex.!



# Comutação por pacotes: roteamento

## Objetivo

- mover pacotes entre roteadores da origem até o destino
- serão estudados diversos algoritmos de escolha de caminhos

## Redes de datagrama:

- O endereço do destino determina próxima etapa
- Rotas podem mudar durante a sessão
- Analogia: dirigir, pedindo informações

## Redes de circuitos virtuais:

- Cada pacote contém uma marca (id. do circuito virtual), a qual determina a próxima etapa
- Caminho fixo determinado no estabelecimento da chamada, permanece fixo durante a chamada
- Roteadores mantêm estados para cada chamada

# Redes de Circuitos Virtuais

Cada roteador mantém uma tabela de VCs:

- Uma entrada para cada VC passando por ele
- Indicando a interface de rede através da qual pacotes de cada VC devem ser encaminhados

Cada VC recebe um número único no contexto de um roteador

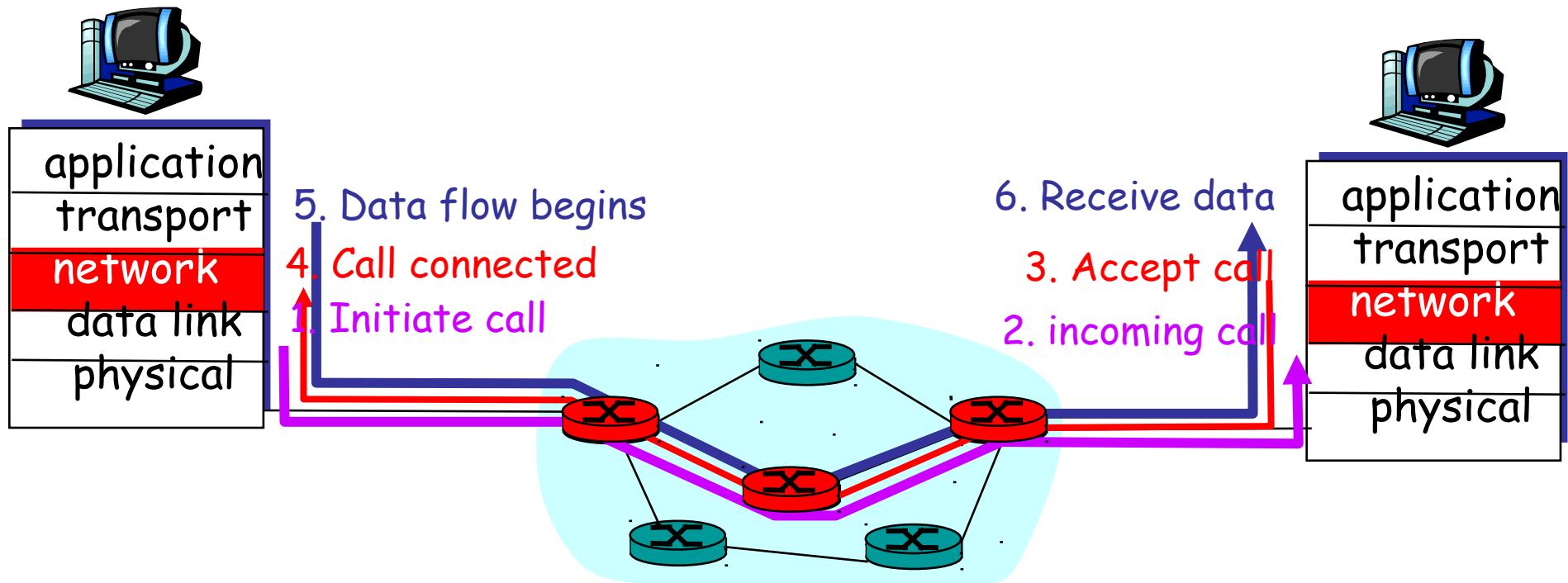
- O mesmo VC pode ser identificado através de números diferentes em roteadores (e links) distintos ao longo do caminho

Pacotes são identificados pelo número do VC ao qual pertencem

# Redes de Circuitos Virtuais

## Protocolo de sinalização

- Usado para o estabelecimento de circuitos virtuais
- Antes que transferência de dados real possa ocorrer



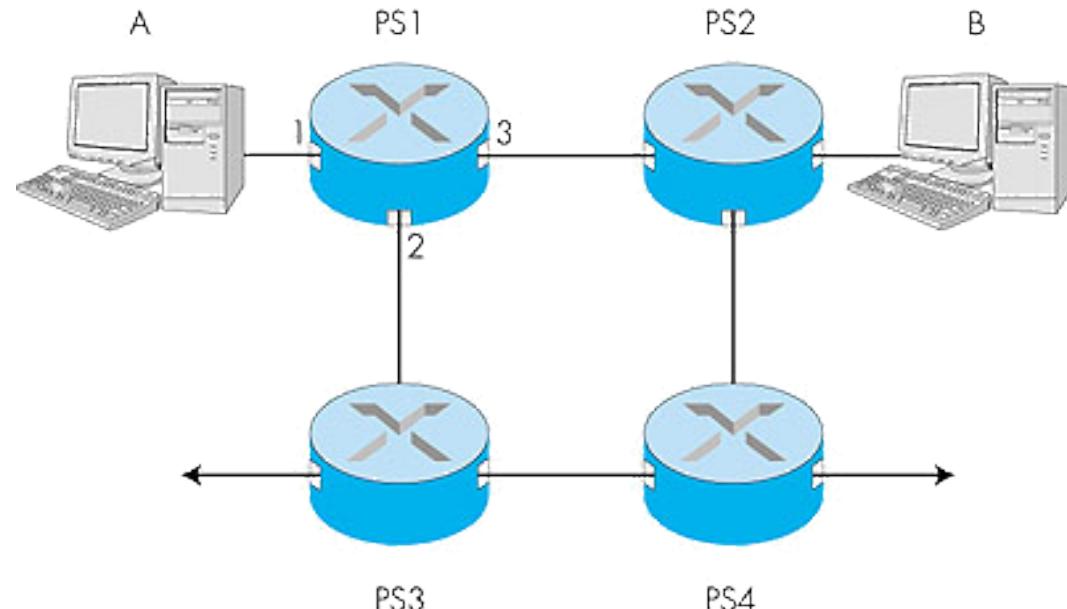
# Redes de Circuitos Virtuais

De A para B

-  $A \rightarrow PS1 \rightarrow PS2 \rightarrow B$

12      22      32

Tabela de VCs em PS1



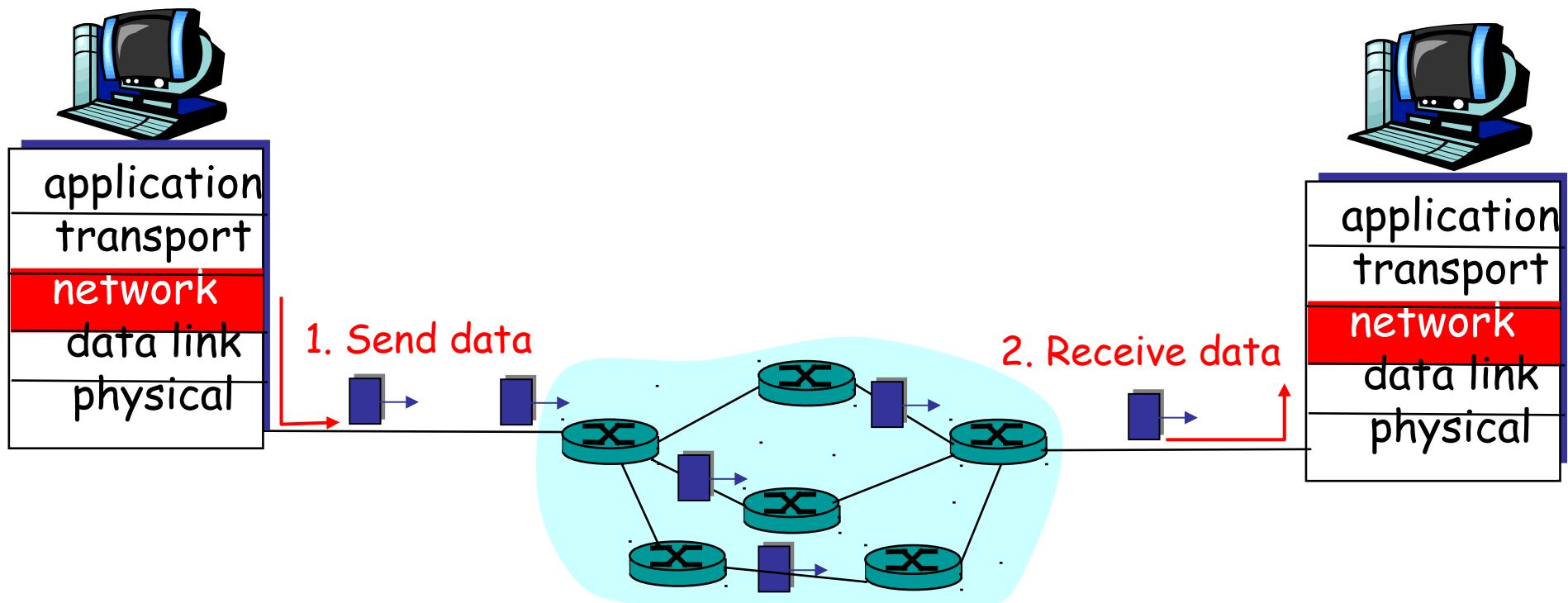
Incoming interface	Incoming VC #	Outgoing Interface	Outgoing VC #
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...	...	...	...

# Redes de Datagrama

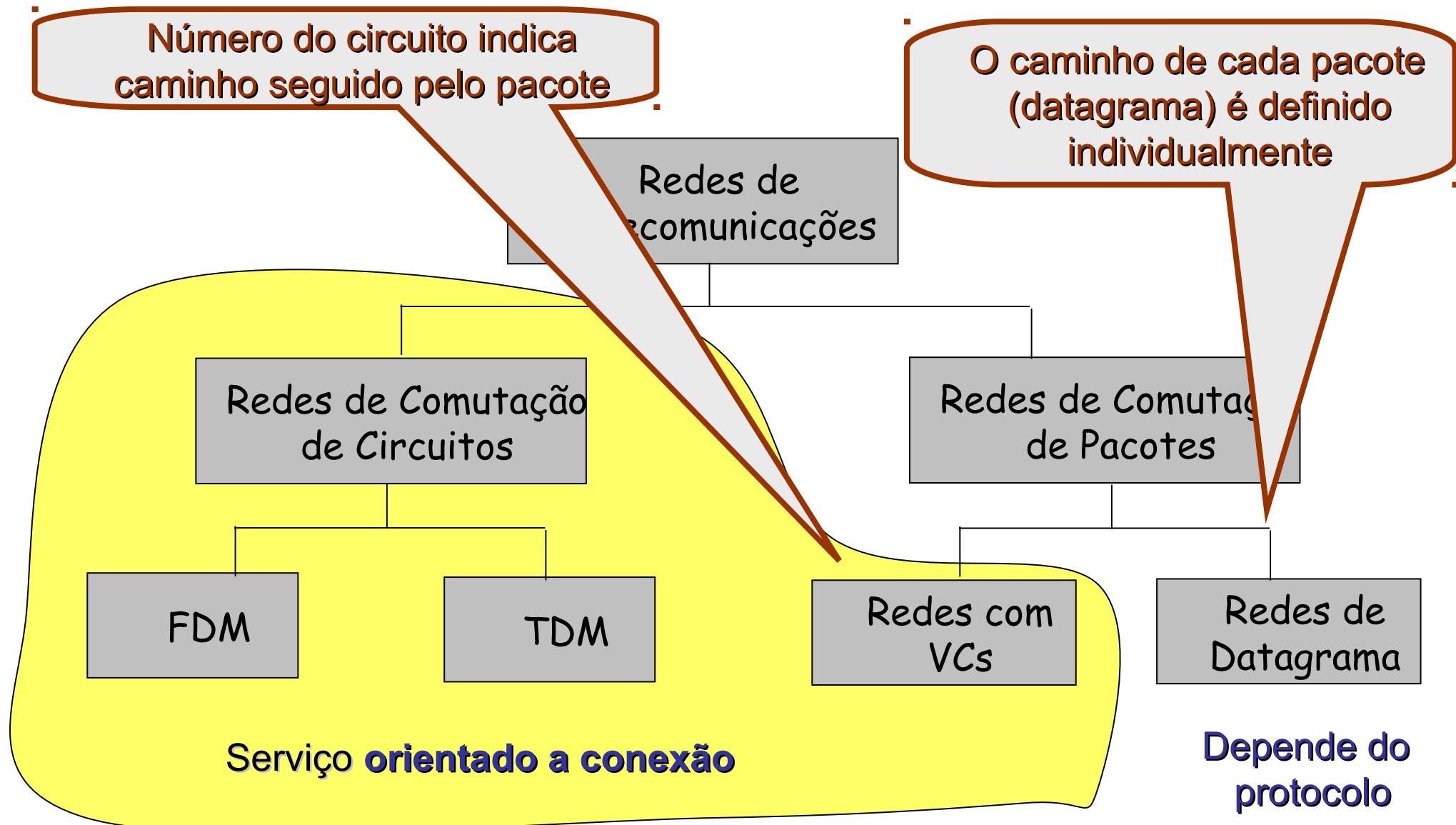
- Rota determinada para cada pacote individual
- Pacotes podem seguir rotas diferentes
- Tabela de rotas em cada roteador
  - indica a próxima etapa (hop) no caminho a ser seguida para se chegar a cada destino conhecido
  - com base no endereço de destino
  - endereços organizados de forma hierárquica
    - Ex.: rede + máquina
- Análogo ao sistema postal

# Redes de Datagrama

- Não é necessário tempo inicial de preparação da conexão
- Dados começam a ser transmitidos imediatamente



# Serviços X Comutação em Redes



# Classificação das Redes

- **Redes Locais (LANs)**

- Área limitada, como uma sala, prédio ou campus
- Altas taxas de transmissão (Mbps ou Gbps)
- Meio de transmissão privado
- Ex: Ethernet, redes locais sem fio, TokenRing

- **Redes Metropolitanas (MANs)**

- Rede local estendida, interconectando prédios, escritórios matriz/filial em uma cidade
- Ex.: Uma rede dedicada a experimentos que interliga a UFG com a UFRJ.

- **Redes Distribuídas (WANs)**

- Sistemas ou redes locais geograficamente distantes.
- Meios de transmissão são públicos
- Ex: Internet

# Roteiro

- O que é a Internet
  - O que é um protocolo?
  - A borda da rede
  - O núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
- Backbones, NAPs, ISPs
  - Desempenho: perda, atraso

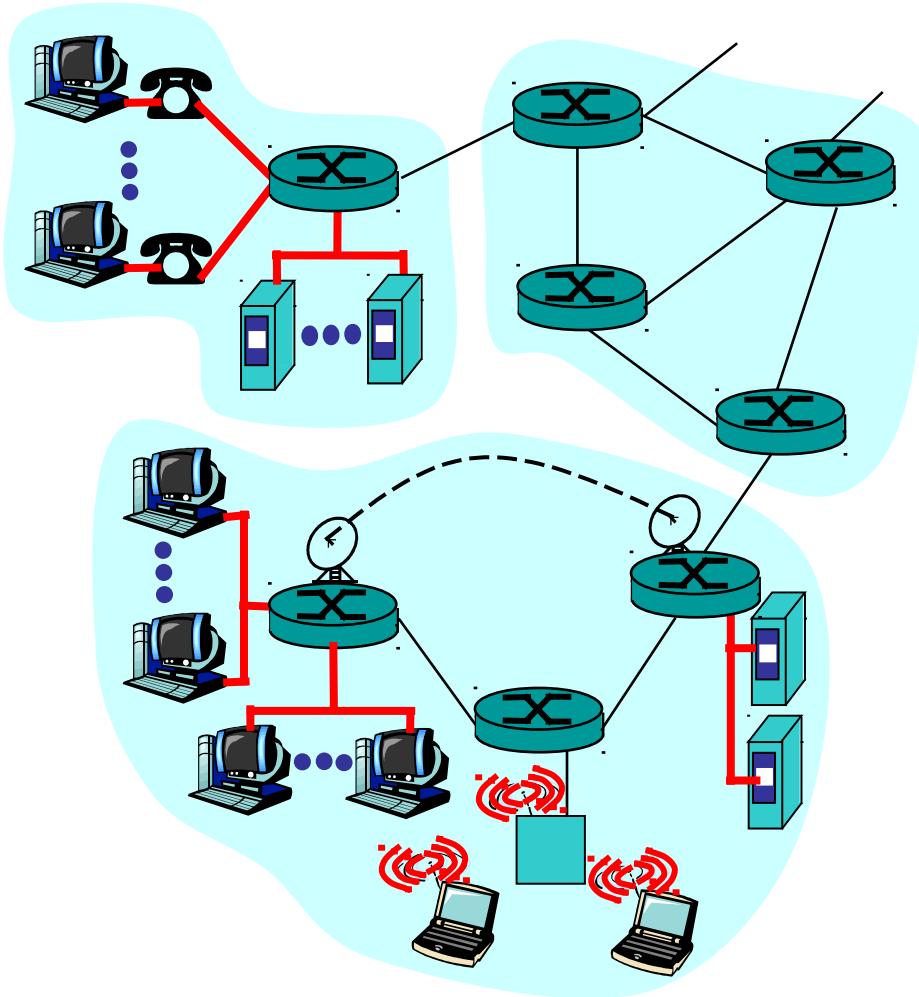
# Acesso à rede e meios físicos

*Questão: Como conectar os sistemas finais aos roteadores de borda?*

- redes de acesso residencial
- redes de acesso institucional (escola, empresa)
- redes de acesso móvel

*Considere:*

- largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
- compartilhada ou dedicada?



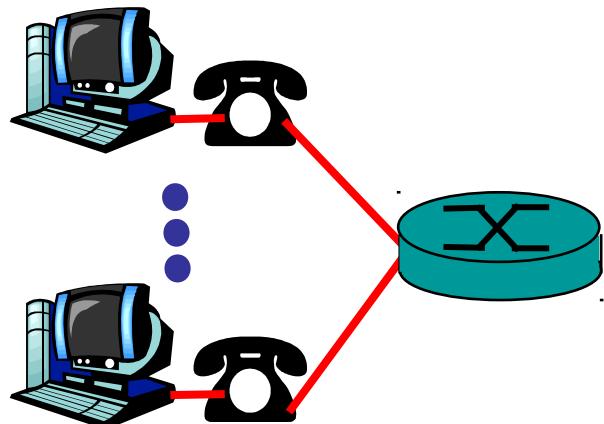
# Acesso residencial: ponto-a-ponto

## Discado (*Dial-up*) via modem

- acesso direto ao roteador; até 56Kbps (teoricamente)
- Inconveniente: não é possível utilizar o telefone ao mesmo tempo

## RDSI/ISDN:

- rede digital de serviços integrados: conexão digital de 128Kbps ao roteador.



## ADSL: asymmetric digital subscriber line

- até 1 Mbps casa-para-roteador (provedor)
  - ◆ 4KHz - 50KHz
- até 8 Mbps roteador-para-casa
  - ◆ 50KHz - 1MHz
- telefone: 0KHz - 4KHz
- FDM:
- Ex.: Serviço Velox da Telemar

# Redes de acesso sem fio

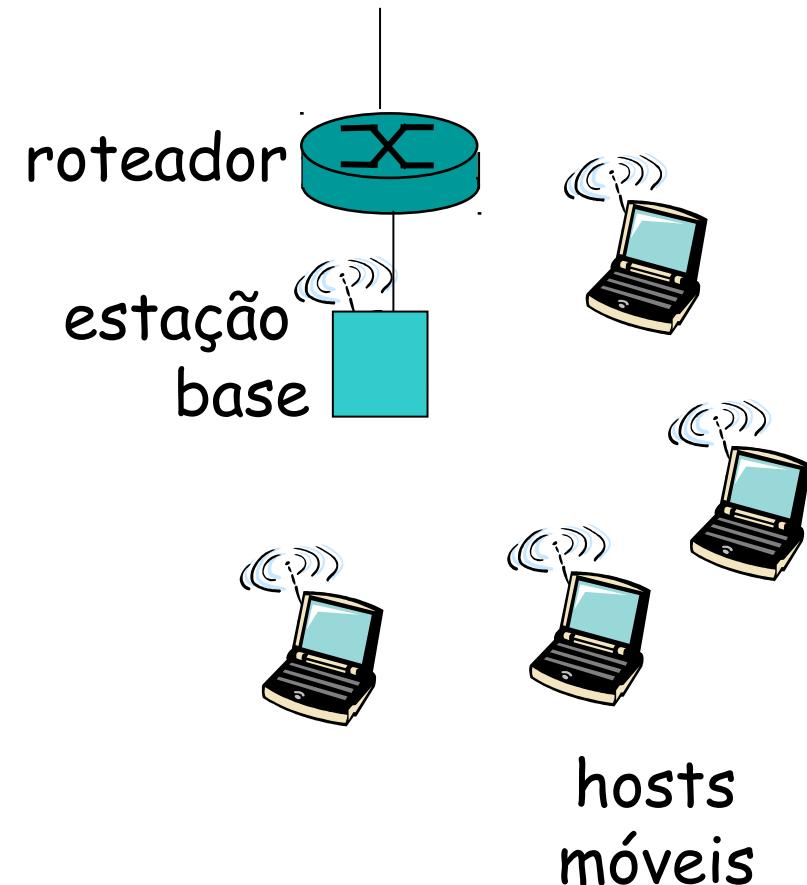
Rede de acesso compartilhado *sem fio* (*wireless*) conecta o sistema final ao roteador

## LANs sem fio:

- ondas de rádio substituem os fios
- 802.11b (WiFi): 11Mbps

## acesso sem fio com maior cobertura

- WAP (*Wireless Application Protocol*)
- WiMAX (até 50 Km)



# Meios Físicos

**enlace físico:** bit de dados transmitido se propaga através do enlace

**meios guiados:**

- os sinais se propagam em meios sólidos: cobre, fibra

**meios não guiados:**

- os sinais se propagam livremente (através do ar), ex. rádio

**Par Trançado (TP - Twisted Pair)**

- dois fios de cobre isolados
  - ◆ Categoria 3: fios tradicionais de telefonia, 10 Mbps Ethernet
  - ◆ Categoria 5 TP: 100Mbps Ethernet



# Meios físicos: cabo coaxial, fibra

## Cabo coaxial:

- fio (transporta o sinal) dentro de outro fio (blindagem)
  - banda básica (*baseband*): canal único no cabo
  - banda larga (*broadband*): múltiplos canais num cabo
- bidirecional



## Cabo de fibra óptica:

- fibra de vidro transporta pulsos de luz
- opera em alta velocidade:
- Ethernet 100Mbps
  - transmissão ponto a ponto de alta velocidade (ex., 10 Gbps)
  - baixa taxa de erros



# Meios físicos: rádio

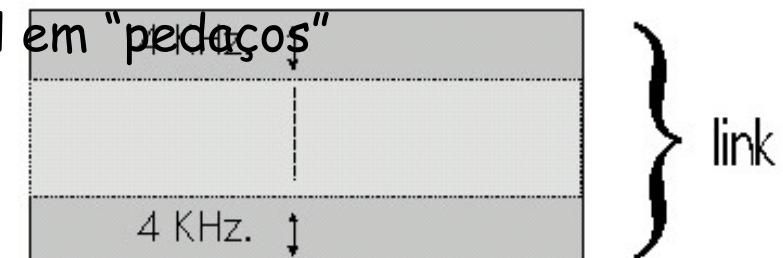
- sinal transportado em ondas eletromagnéticas
- não há "fio" físico
- bidirecional
- efeitos do ambiente de propagação:
  - reflexão
  - obstrução por objetos
  - interferência

- Tipos de enlaces de rádio:**
- microondas
    - ex.: canais de até 45 Mbps
  - LAN (ex., IEEE 802.11b)
    - 2Mbps, 11Mbps
  - longa distância (ex., celular)
    - 10's Kbps, 'Mbps' em 3G
  - satélite
    - canal de até 50Mbps (ou múltiplos canais menores)
    - atraso fim-a-fim de 270 mseg

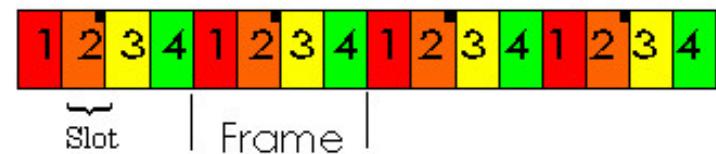
# Compartilhamento do meio

Recursos da rede (ex., banda) são divididos em “pedaços”

- pedaços alocados às chamadas
- o pedaço do recurso fica *ocioso* se não for usado pelo seu dono (*não há compartilhamento*)
- como é feita a divisão da banda de um canal em “pedaços”  
*(multiplexação)*
  - divisão de frequência (FDM)
  - divisão de tempo (TDM)



TDM:



All slots labelled **2** are dedicated to a specific sender-receiver pair.

# Compartilhamento do meio

- Exemplo

FDM

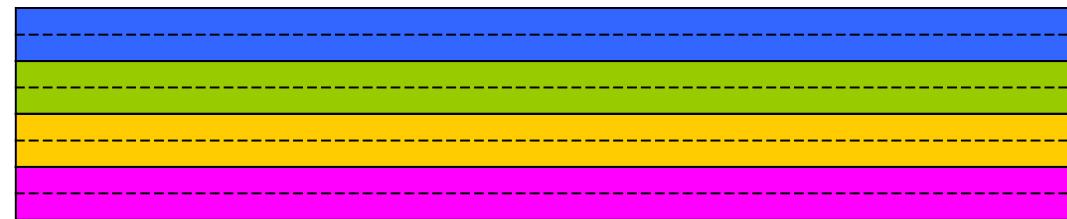
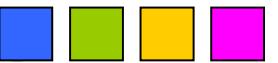
freqüência

TDM

freqüência

Exemplo:

4 usuário



tempo



tempo

# Roteiro

- O que é a Internet
  - O que é um protocolo?
  - A borda da rede
  - O núcleo da rede
  - Rede de acesso e meio físico
- 
- Backbones, NAPs, ISPs
  - Desempenho: perda, atraso



# Internet: rede de redes

quase hierárquica

provedores de backbones nacionais/internacionais (NBPs)

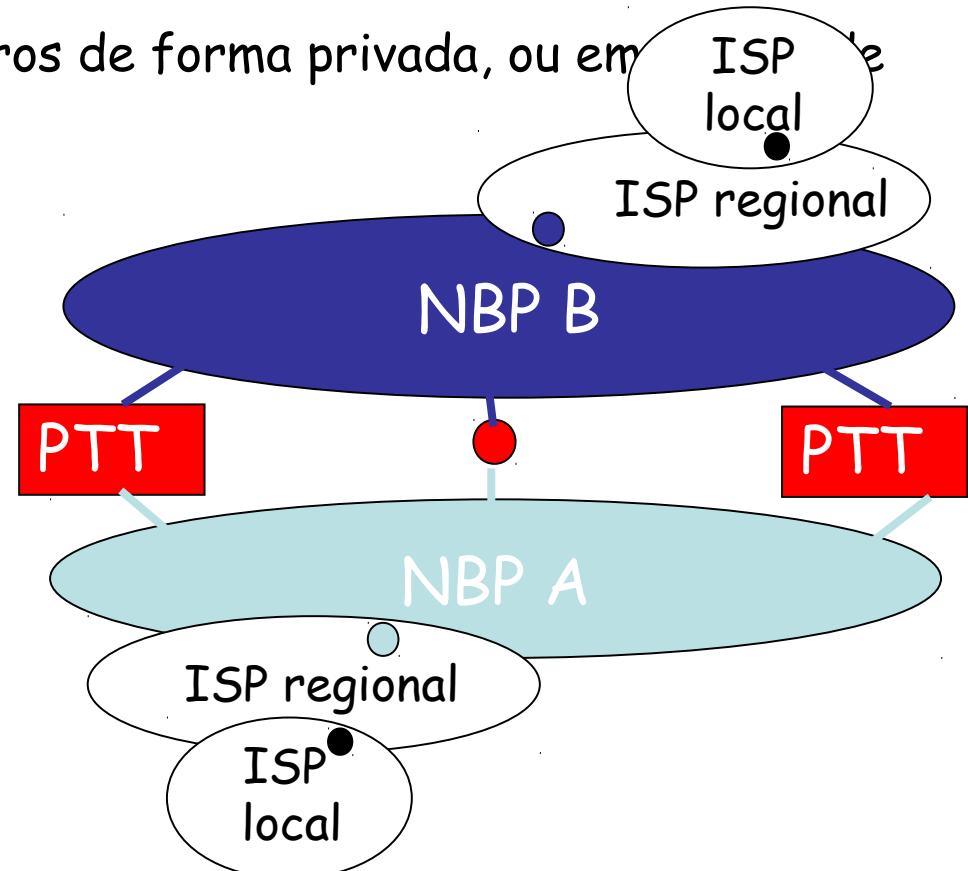
- ex. Embratel, Banco Rural, Global One
- interconecta com cada um dos outros de forma privada, ou em troca de tráfego públicos (PTTs)

ISPs regionais

- conectam a NBPs

ISP local, empresa

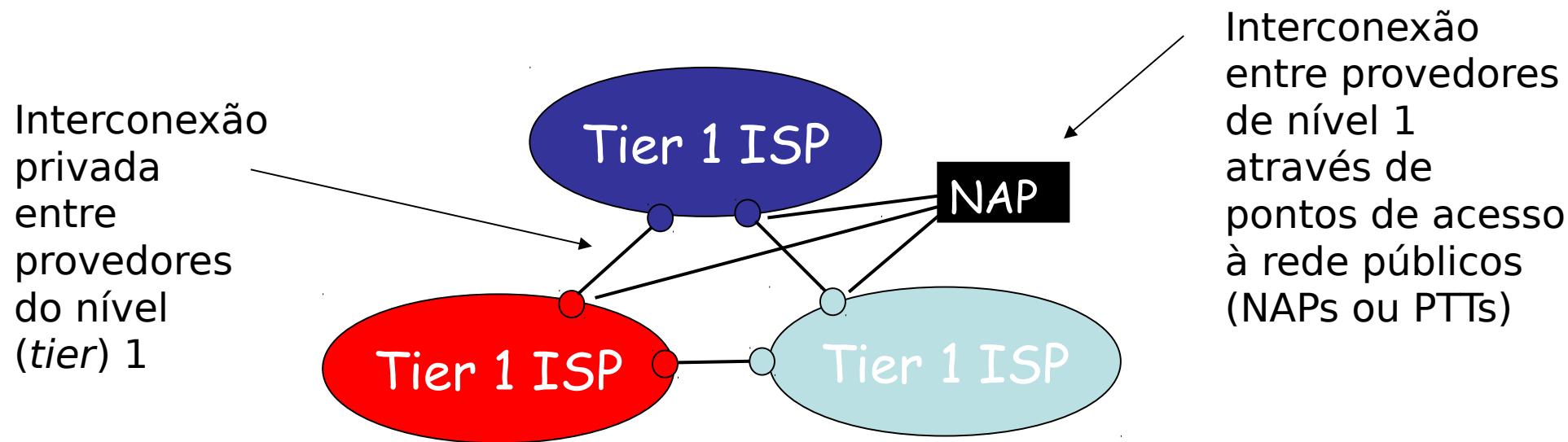
- conecta a um ISP regional



# Internet: rede de redes

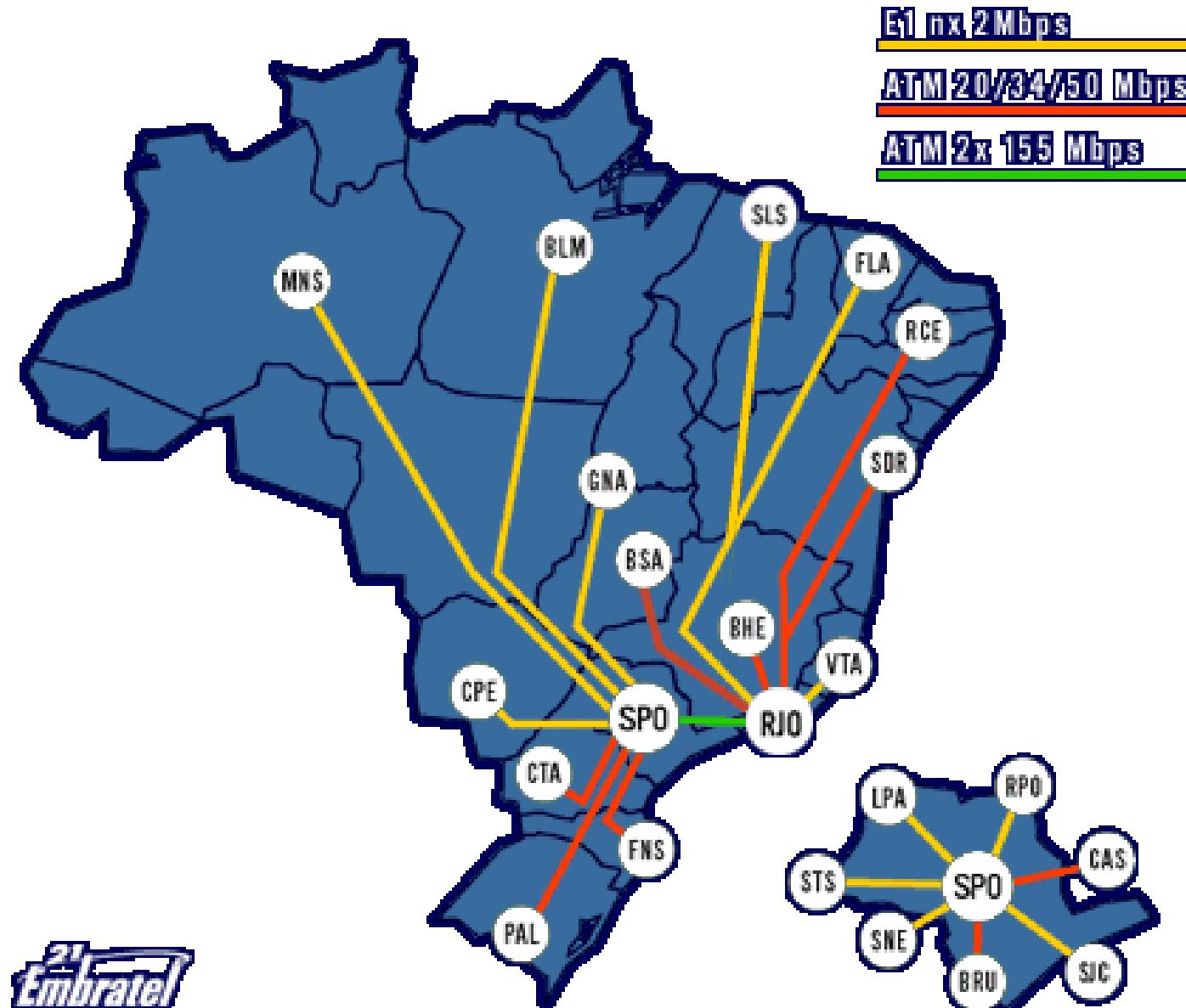
no centro da rede: ISPs da camada/nível 1

- ex.: Embratel, RNP
- cobertura nacional / internacional



# Provedor de Backbone Nacional

ex. Embratel



Fonte (2006): <http://www.embratel.net.br/internet/index.html>

# Provedor de Backbone Nacional

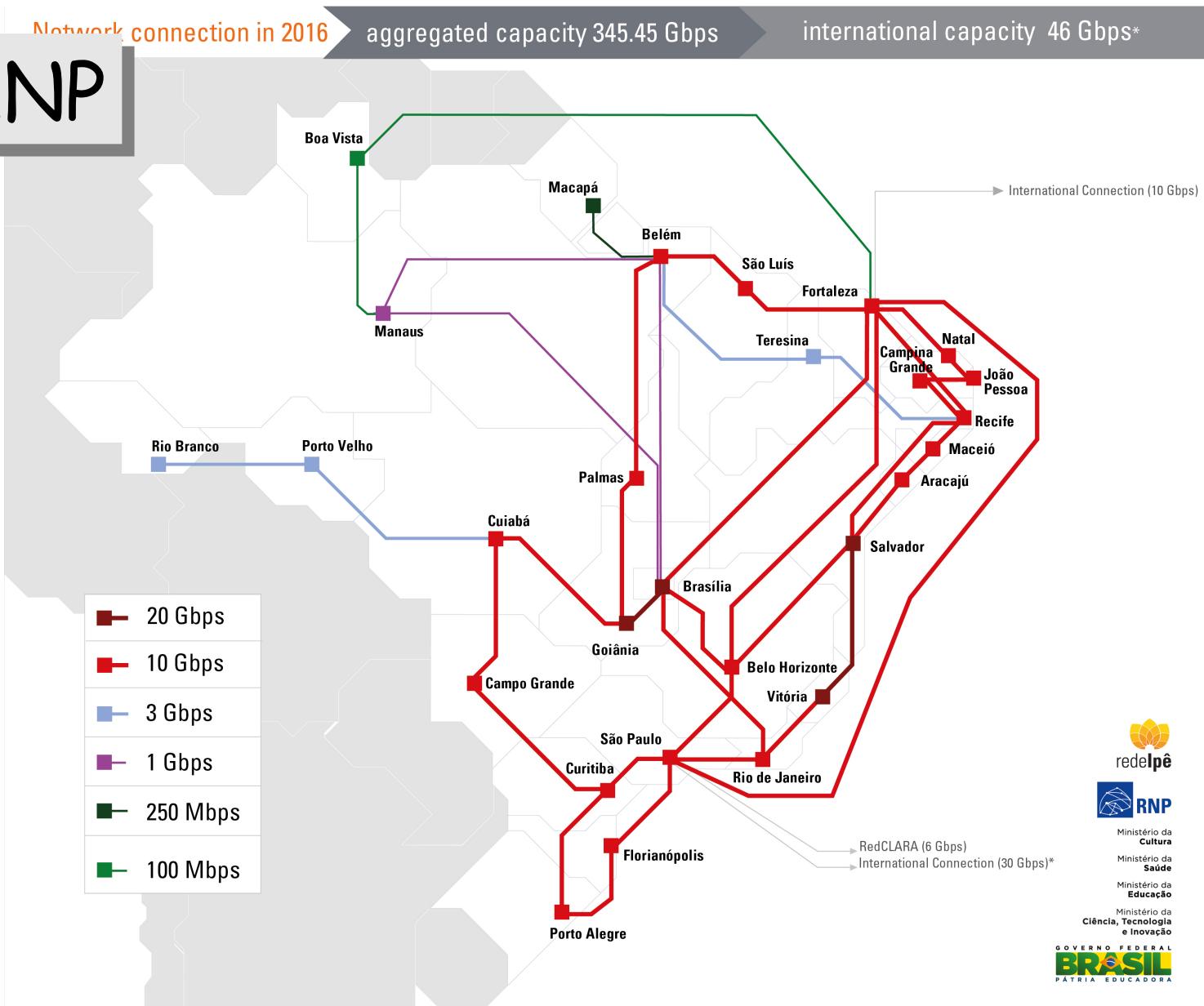
## Linhas internacionais da Embratel



Fonte (2006): <http://www.embratel.net.br/>

# Provedor de Backbone Nacional

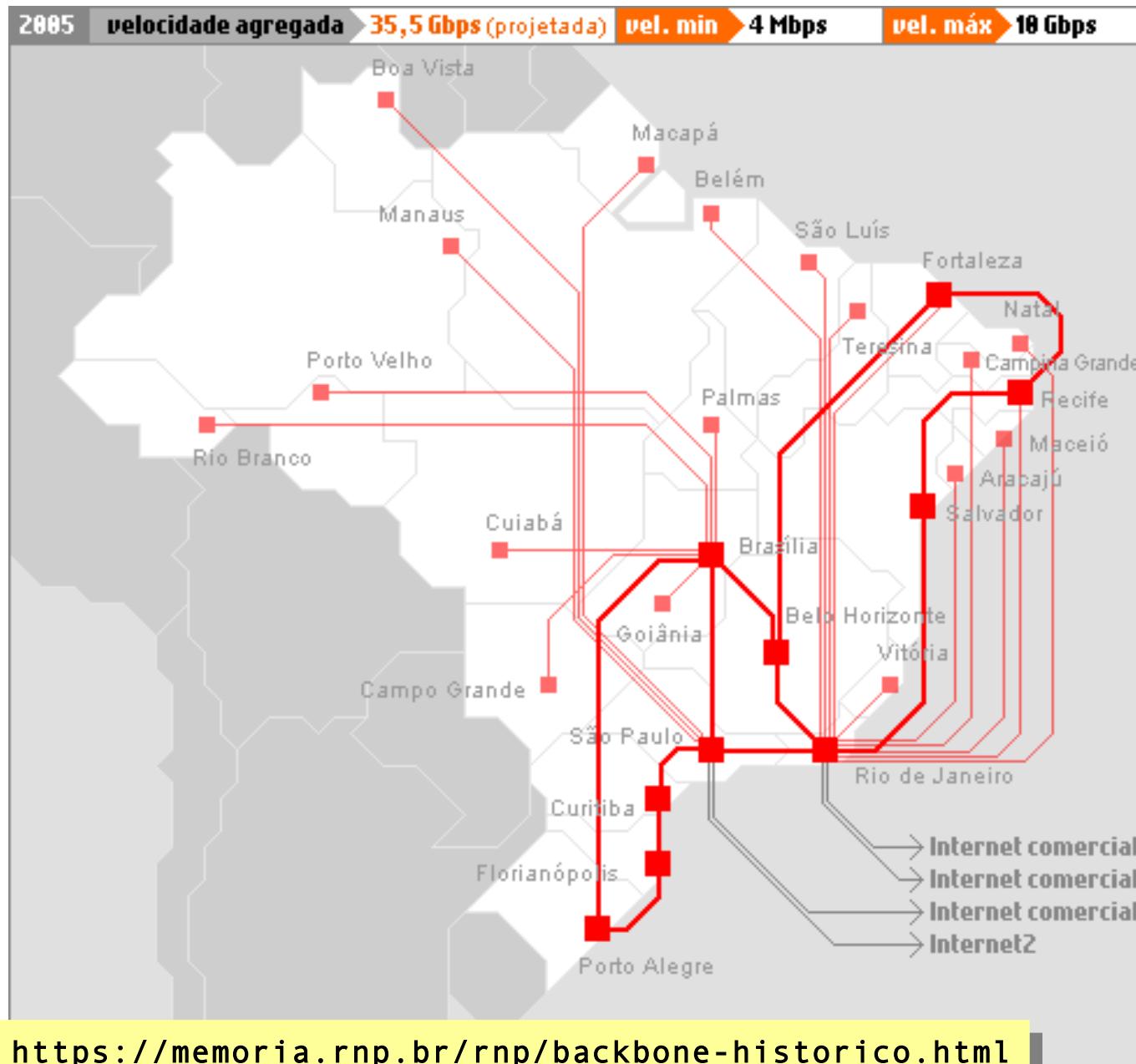
## Exemplo: RNP



Fonte (2016): <https://www.rnp.br/en/services/connectivity/ipe-network>

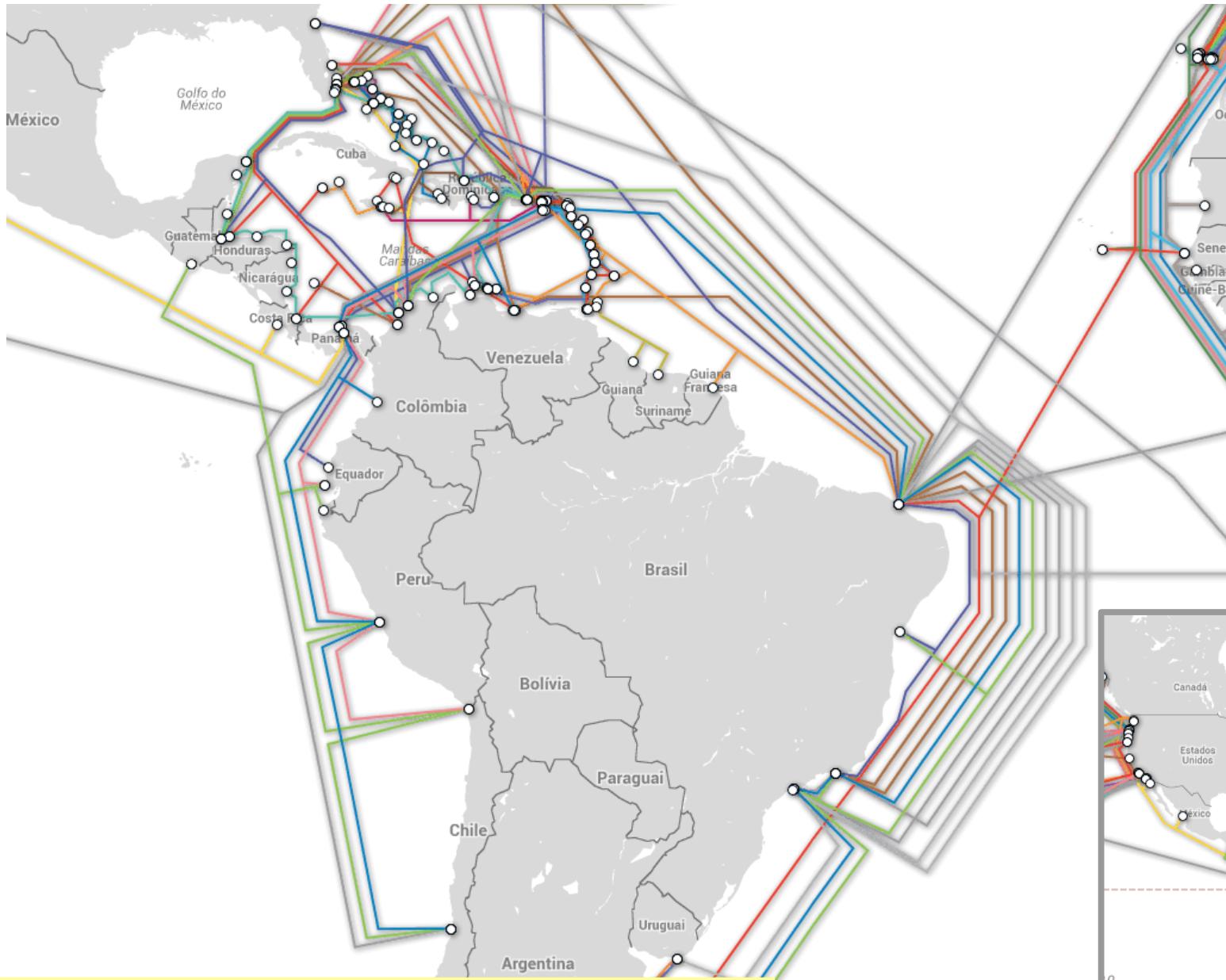
february 2016

# Enlaces Internacionais



Fonte (>2005): <https://memoria.rnp.br/rnp/backbone-historico.html>

# Enlace Submarinos Brasil



Fonte (2016): <http://submarinecablemap.com/>

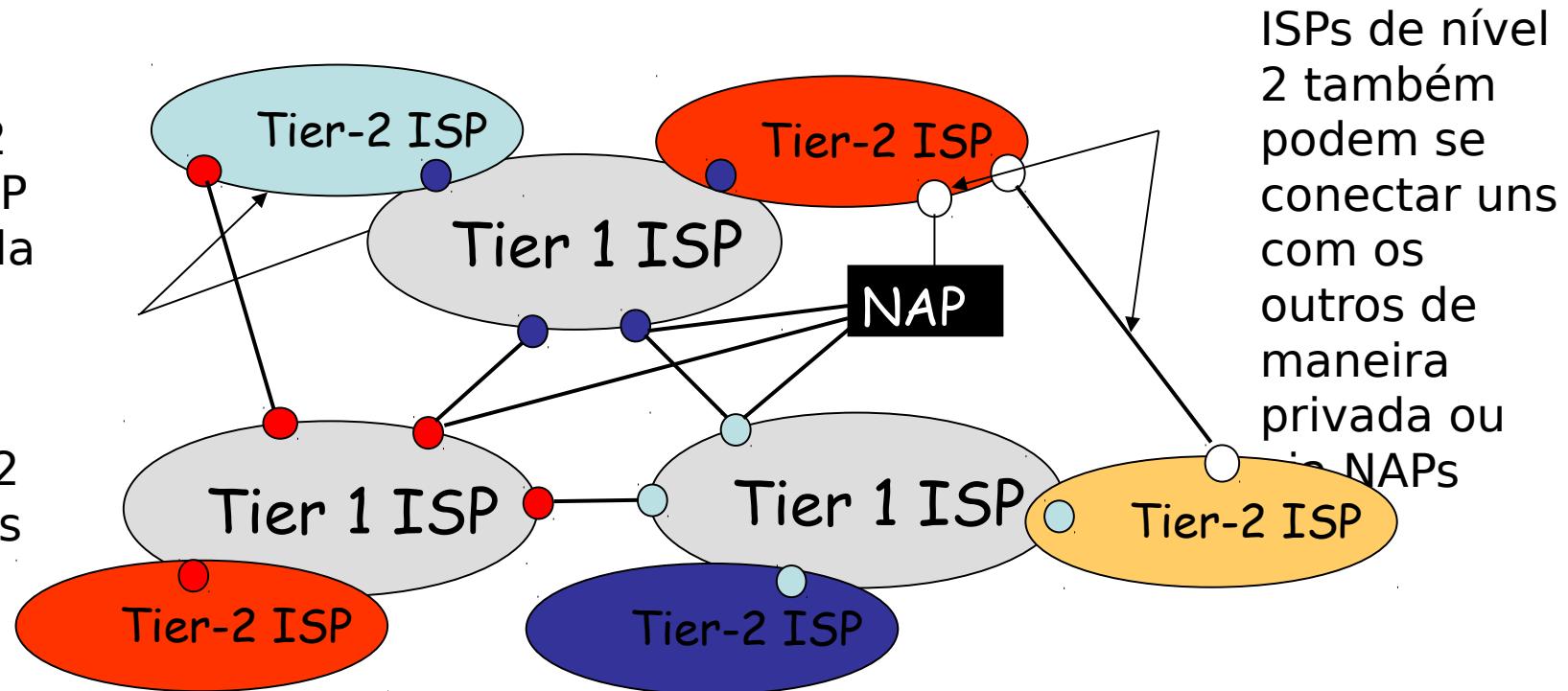
# Internet: rede de redes

ISPs do nível 2: menores (freqüentemente regionais)

- Conectam-se a um ou mais ISPs do nível 1 e, possivelmente, a outros ISPs de nível 2

ISP do nível 2 paga a um ISP de nível 1 pela conexão ao resto da Internet

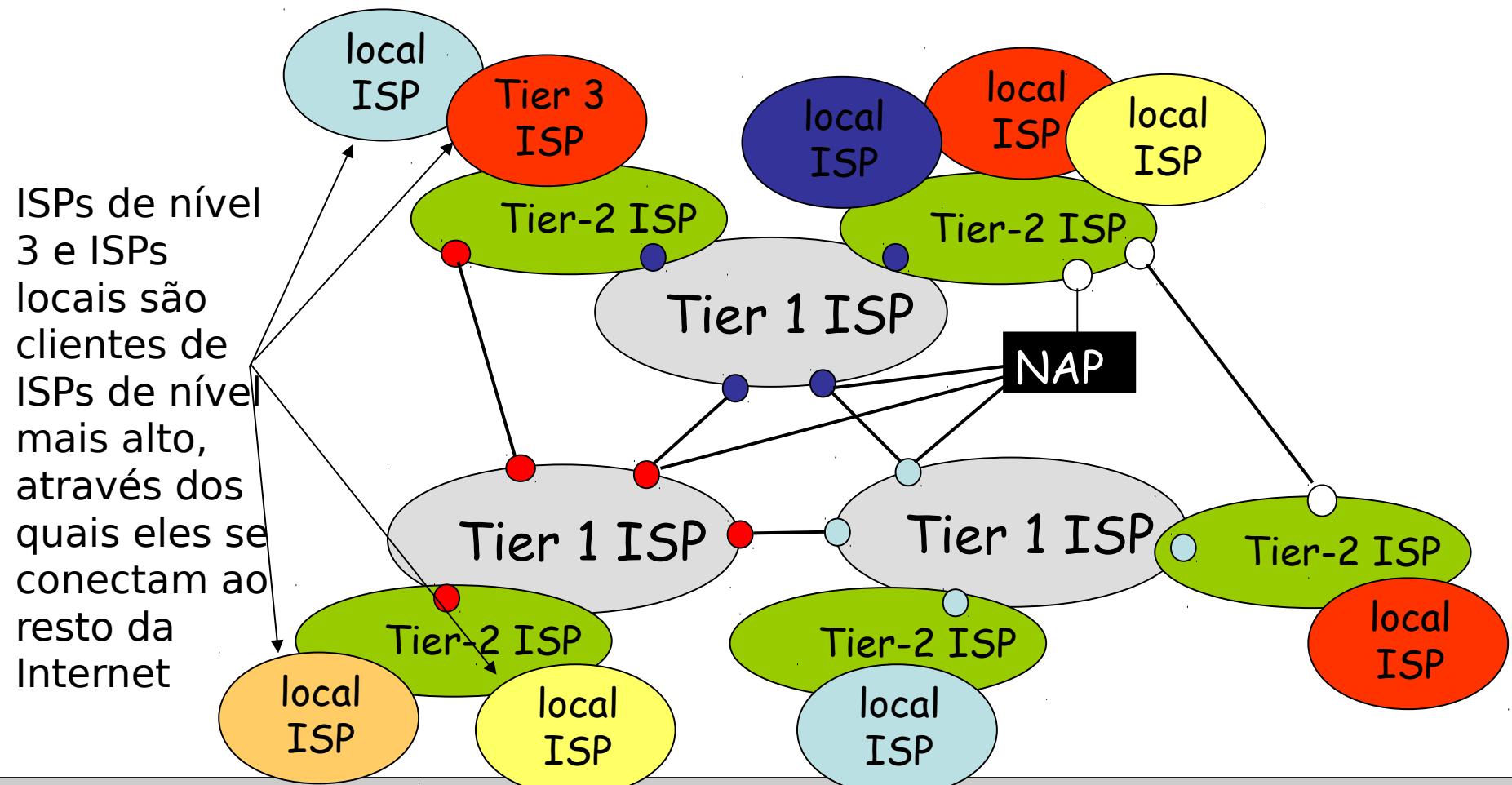
- ISPs do nível 2 são clientes dos ISPs de nível 1



# Internet: rede de redes

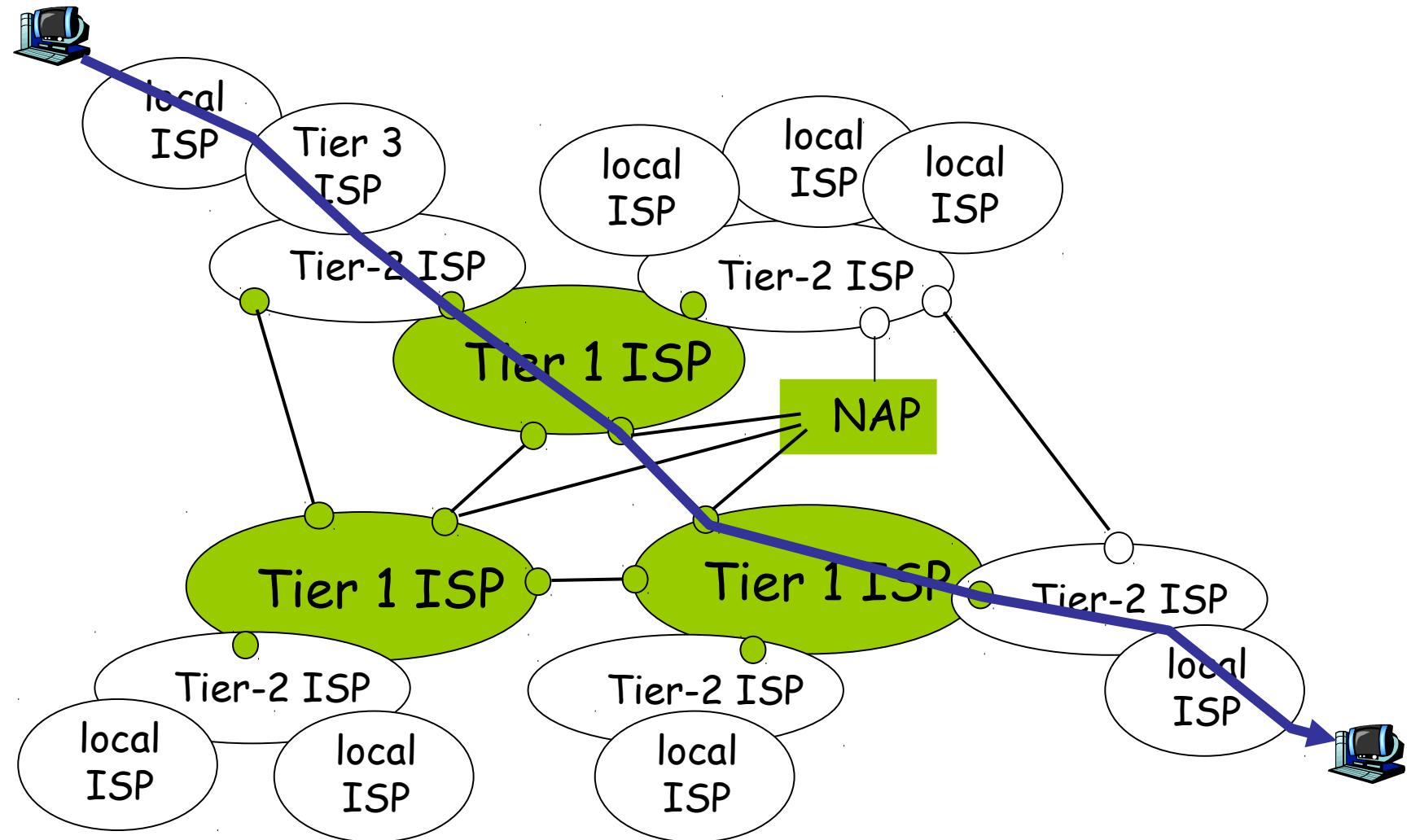
ISPs de nível 3 e ISPs locais

– rede de acesso, mais próxima dos sistemas finais (*hosts*)

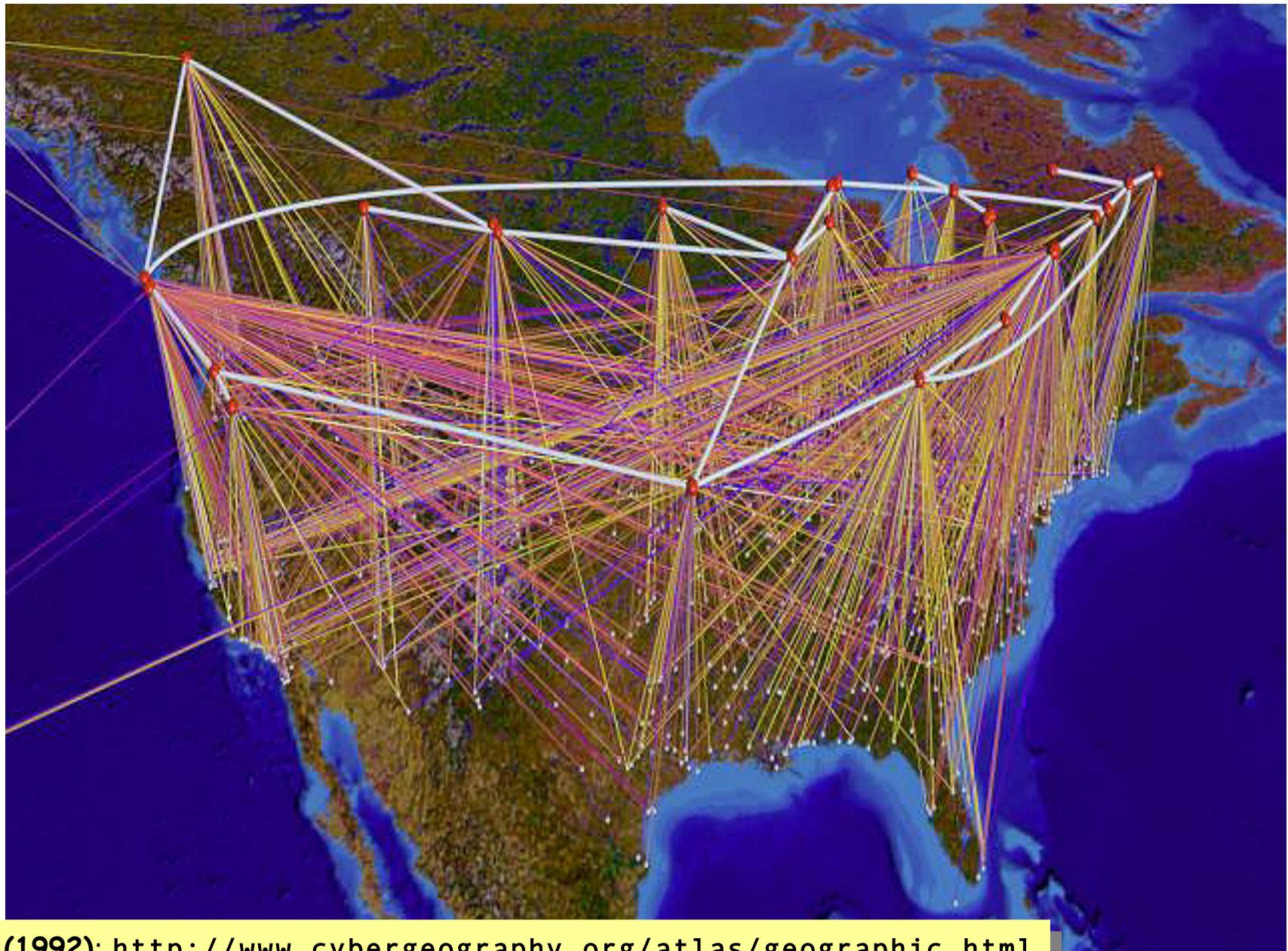


# Internet: rede de redes

Um pacote passa através de várias redes!

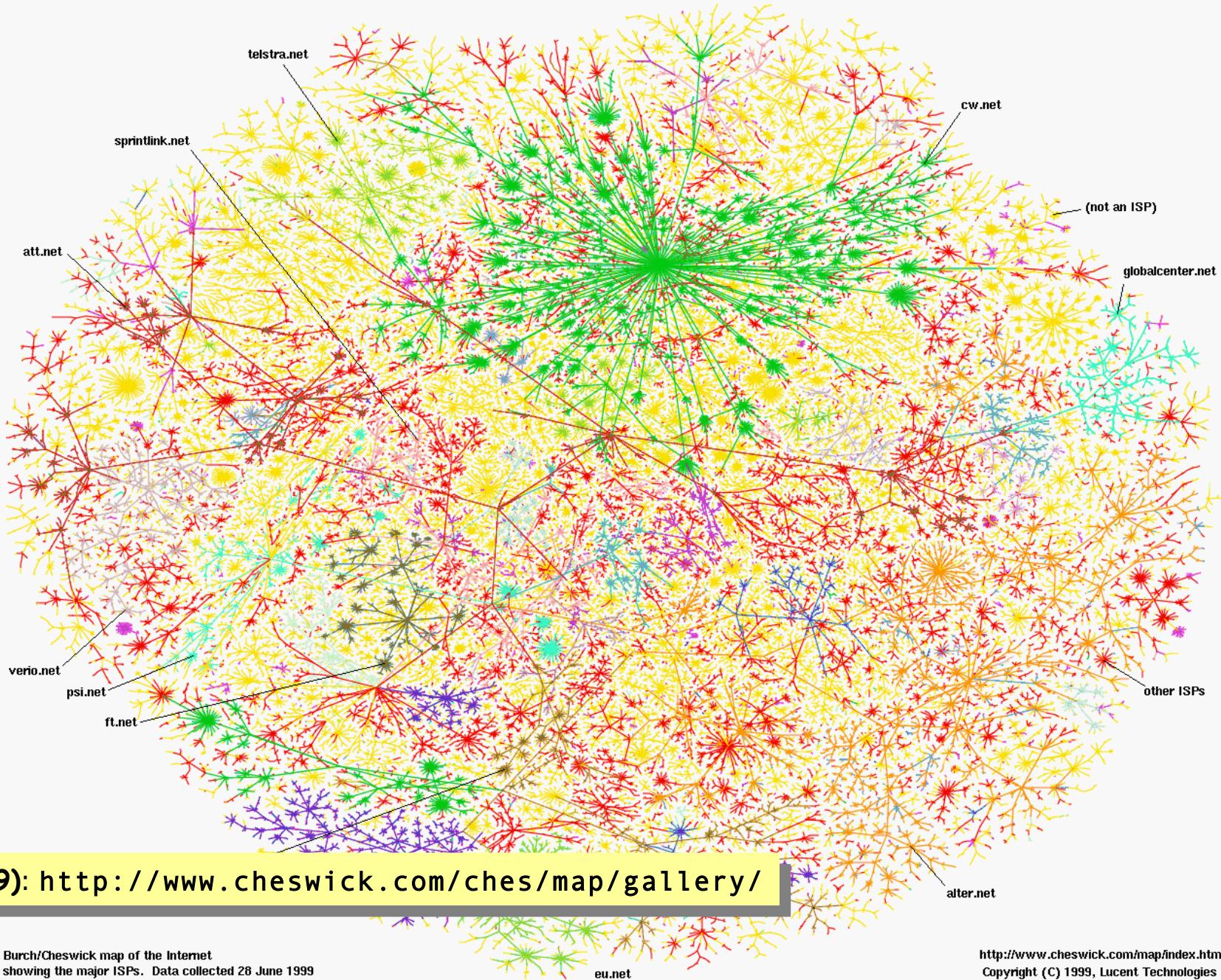


# Internet: Topologia NSFNET em 1992



Fonte (1992): <http://www.cybergeography.org/atlas/geographic.html>

# Diagrama de Interconexão entre ISPs/EUA

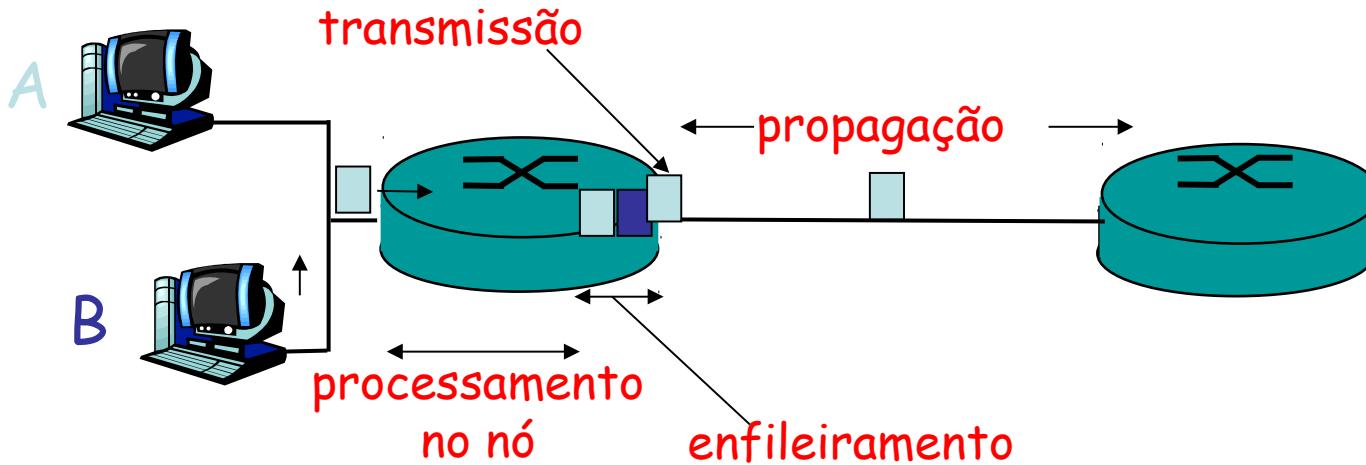


# Roteiro

- O que é a Internet
  - O que é um protocolo?
  - A borda da rede
  - O núcleo da rede
  - Rede de acesso e meio físico
  - Backbones, NAPs, ISPs
- Desempenho: perda, atraso

# Atrasos em comutação por pacotes

Os pacotes experimentam **atraso** no caminho fim a fim  
**quatro fontes de atraso** em cada etapa (roteador)



## Processamento no nó:

- verificação de bits com erro
- identif. do enlace de saída

## Enfileiramento:

- tempo de espera no enlace de saída até a transmissão: depende do nível de congestionamento do roteador

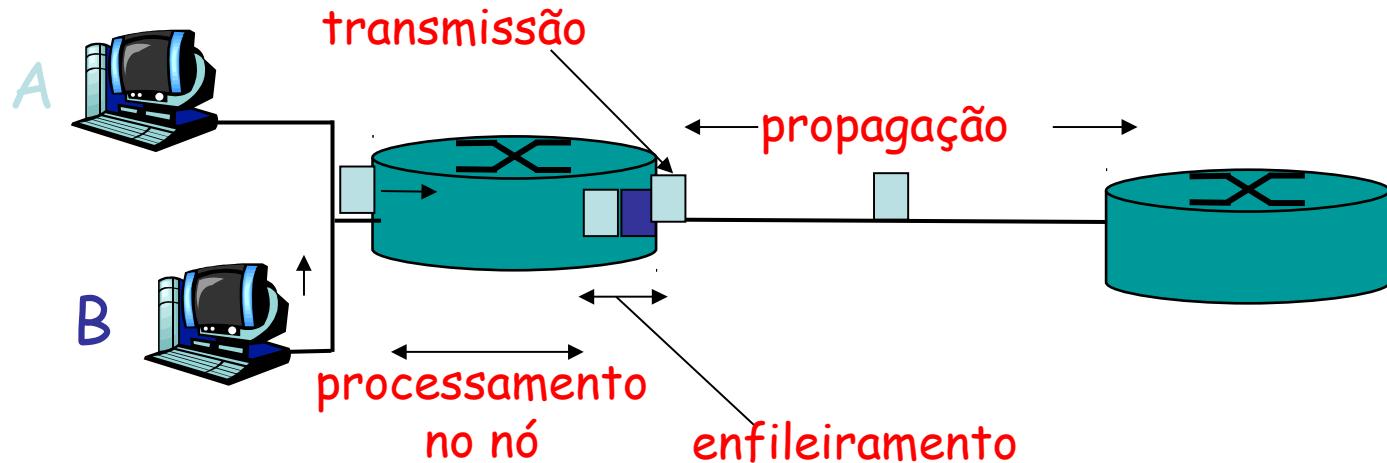
# Atrasos em comutação por pacotes

## Atraso de transmissão:

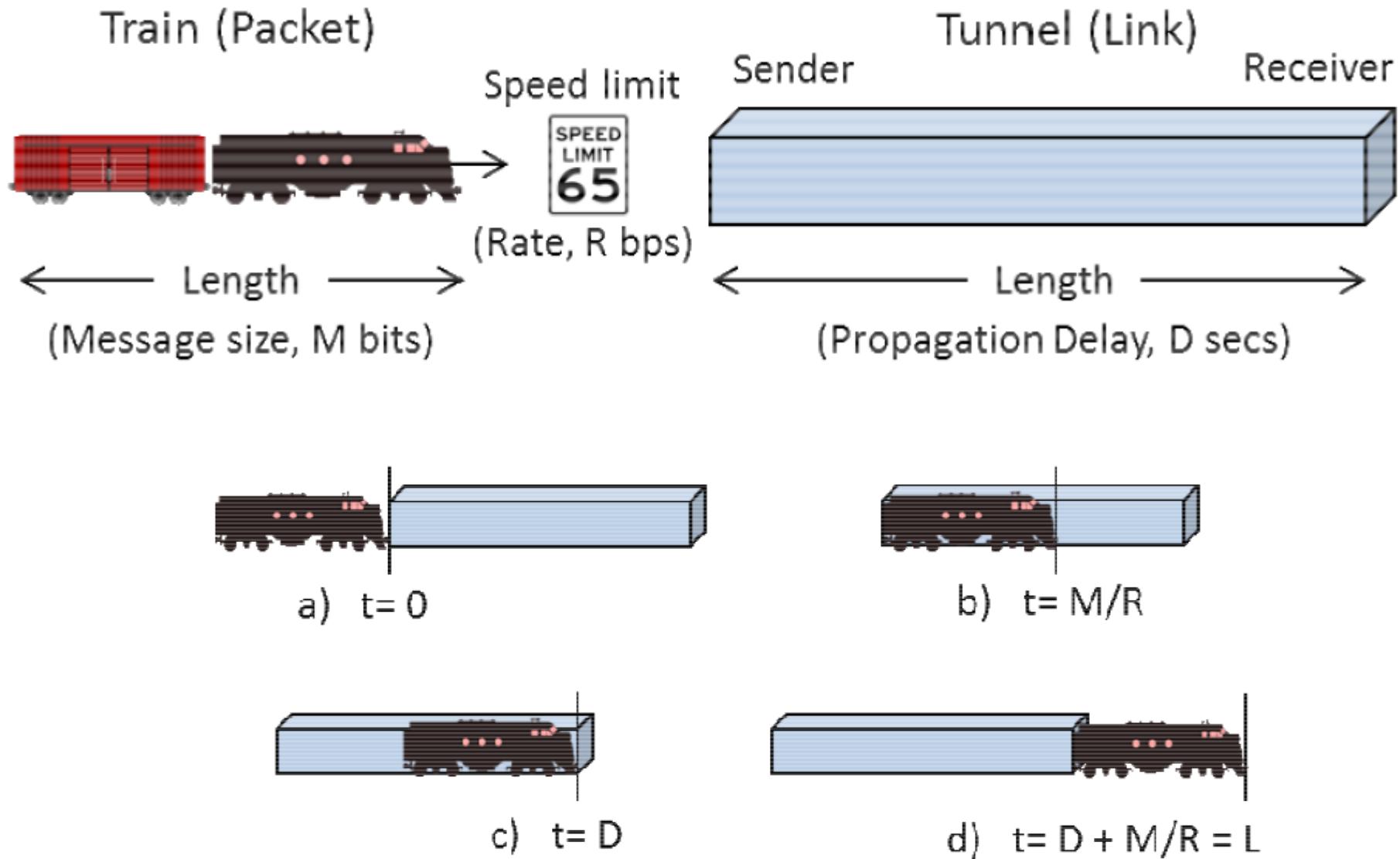
- $R$ =largura de banda do enlace (bps)
- $L$ =compr. do pacote (bits)
- tempo para enviar os bits no enlace =  $L/R$

## Atraso de propagação:

- $d$  = compr. do enlace
- $s$  = velocidade de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/seg)
- atraso de propagação =  $d/s$



# Transmissão vs. Propagação



Fonte: Tanenbaum

# Atraso fim-a-fim

## Atraso em um nó

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

## Atraso fim-a-fim

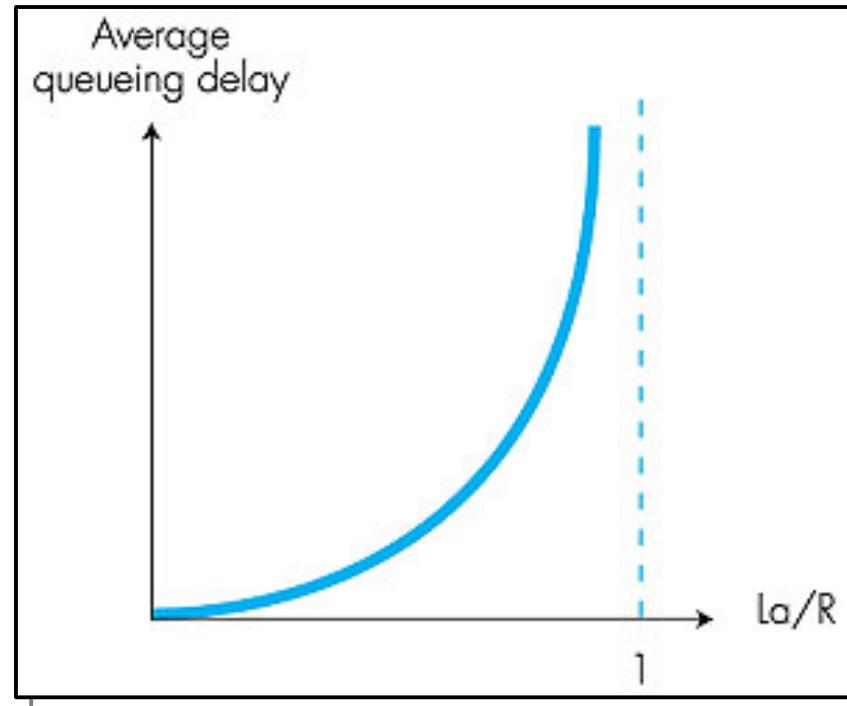
- $d_{\text{total}} = N(d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$
- assumindo que o atraso de enfileiramento é desprezível (rede sem congestionamento)
- pacote passa por  $N-1$  roteadores intermediários

# Atraso de enfileiramento

$R$  = largura de banda do enlace (bps)

$L$  = compr. do pacote (bits)

$a$  = taxa média de chegada de pacotes



## Intensidade de tráfego = $La/R$

- $La/R \sim 0$ : pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R > 1$ : chega mais “trabalho” do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito! (assumindo capac. de fila infinita!)

# Perda de pacotes

Na realidade: filas dos roteadores têm tamanho limitado

O que acontece quando um pacote chega a um roteador cuja fila está cheia?

- O pacote é descartado (i.e., perdido)!

Taxa de perda de pacotes **aumenta à medida que a intensidade do tráfego ( $L_a/R$ ) aumenta**

- pacotes perdidos devem ser retransmitidos
- É uma medida de desempenho da rede (juntamente com o atraso fim-a-fim)

# Referências

- Kurose, James F., Keith W. Ross, and Wagner Luiz Zucchi. *Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down.* Pearson, 2010.