

# Introdução às Redes de Computadores

Ricardo Couto Antunes da Rocha  
Redes e Sistemas Distribuídos  
2011



# Objetivos

- Entender o contexto, visão geral e o que são redes
- Ter uma idéia macro da complexidade de uma rede de computadores
- Um estudo aprofundado sobre cada um dos detalhes será feito posteriormente no curso
- Abordagem:
  - Descritiva, utilizando a Internet como exemplo.



# 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, etc



# Roteiro

O que é a Internet

O que é um protocolo?

A borda da rede

O núcleo da rede

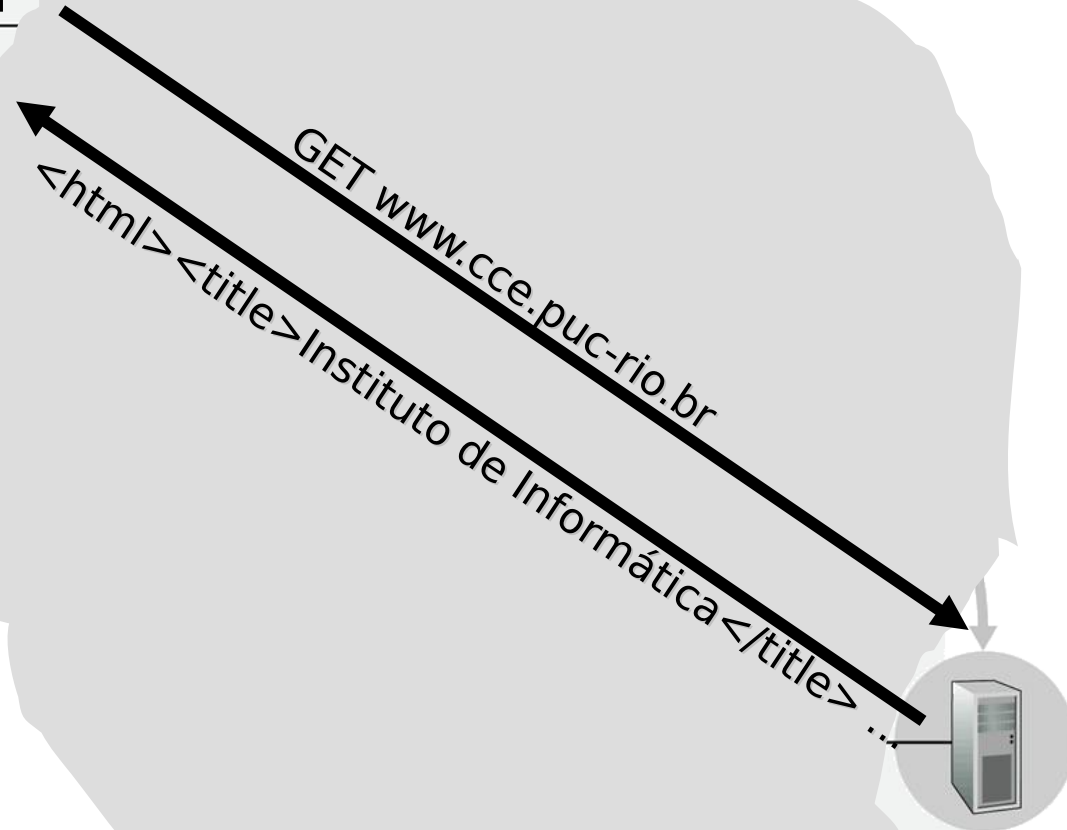
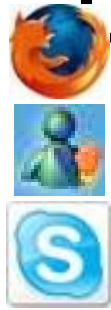
Rede de acesso e meio físico

Backbones, NAPs, ISPs

Desempenho: perda, atraso, etc



# Complexidade de uma Rede de Computadores



Conversa padronizada  
(protocolo)

Muitas aplicações

Multi-tarefa

Muitos clientes

Muitas interfaces  
físicas

Muitos caminhos  
cliente-servidor



# Internet: visão dos componentes

Milhões de dispositivos de computação conectados:

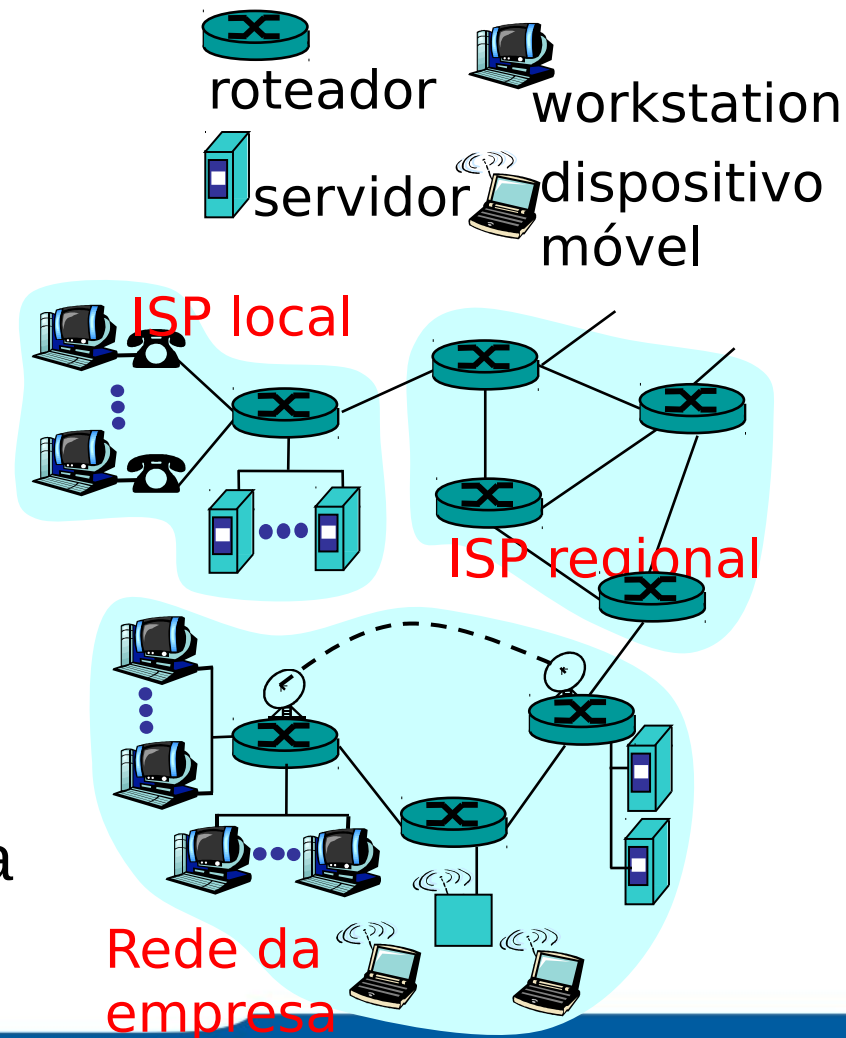
*hosts, sistemas finais*

- 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

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

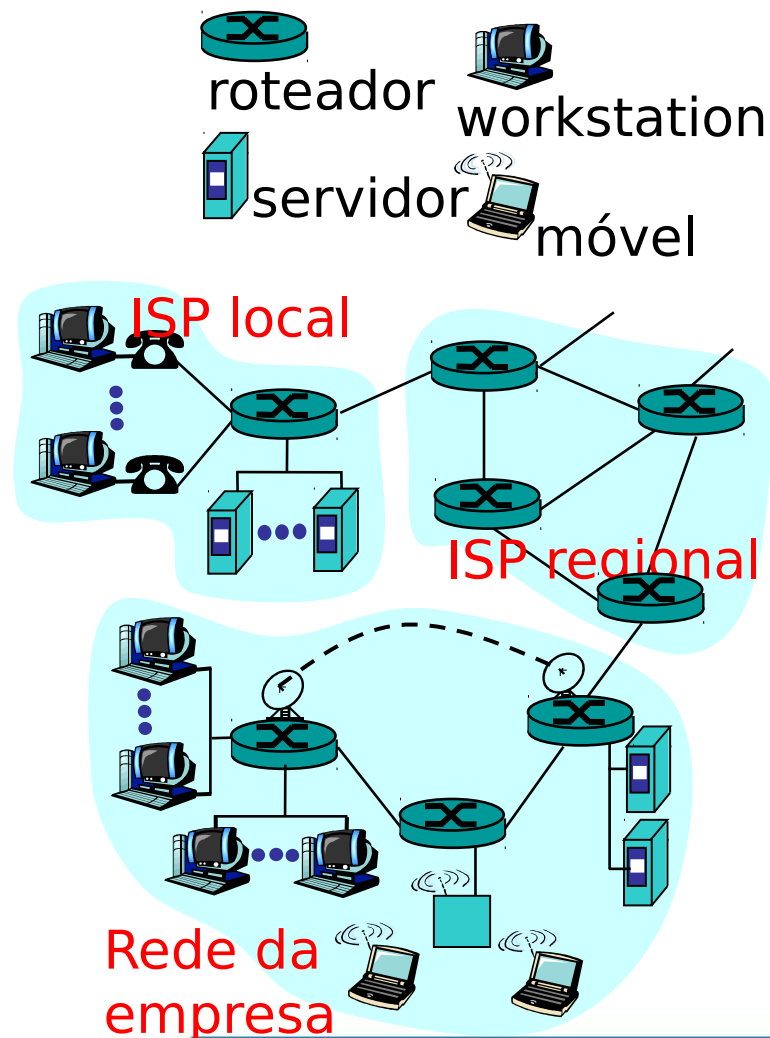
- ex., TCP, IP, HTTP, FTP, PPP

**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

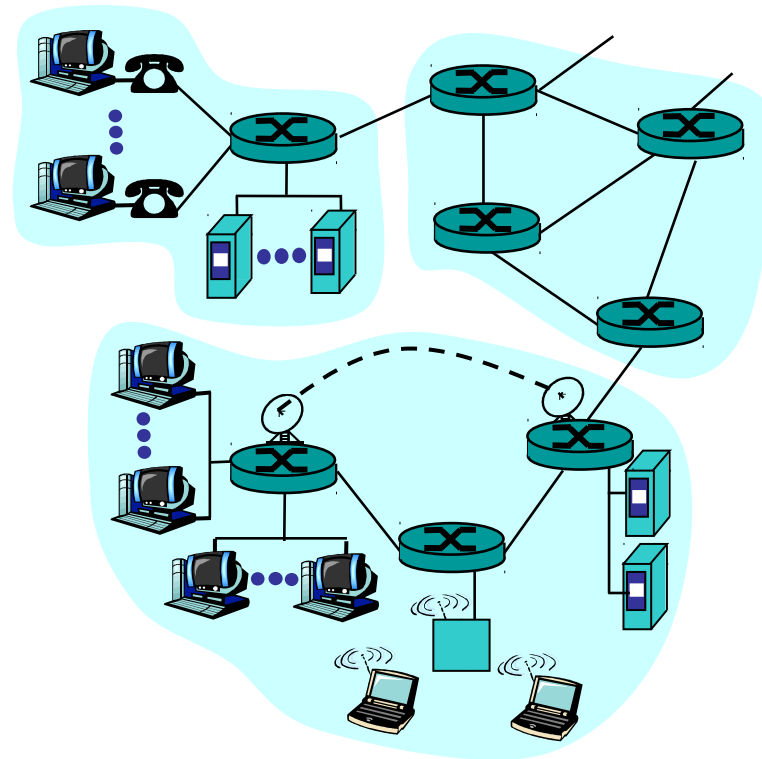
## *A infra-estrutura de comunicação*

permite o uso de aplicações distribuídas:

- WWW, email, jogos, e-commerce, bancos de dados, votações, compartilhamento de arquivos (ex.: MP3)

## *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, etc



# O que é um protocolo?

## Protocolos humanos:

- ... msgs específicas são enviadas, segundo uma ordem pré-estabelecida
- ... ações específicas são realizadas quando as msgs são recebidas, ou acontecem outros eventos

## Protocolos de rede:

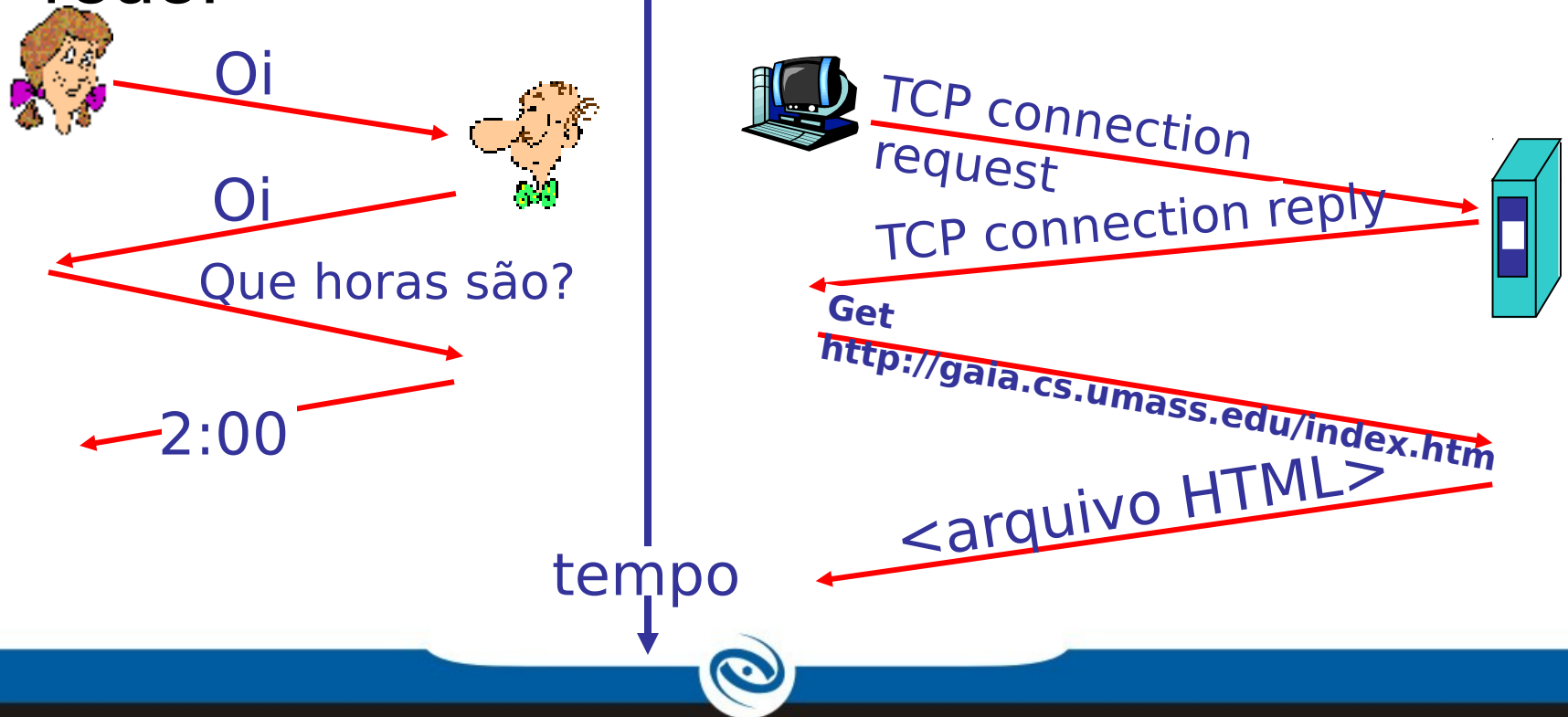
- máquinas ao invés de pessoas
- todas as atividades de comunicação na Internet são governadas por protocolos

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



# O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede:



# Olhando mais de perto a estrutura da rede

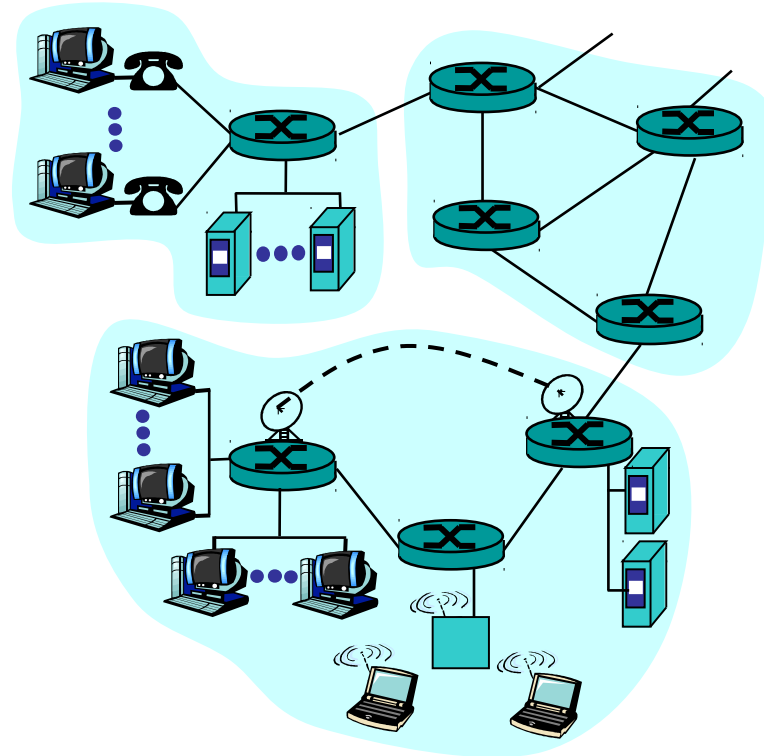
## Borda da rede:

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, etc



# A borda da rede

## Sistemas finais (*hosts*):

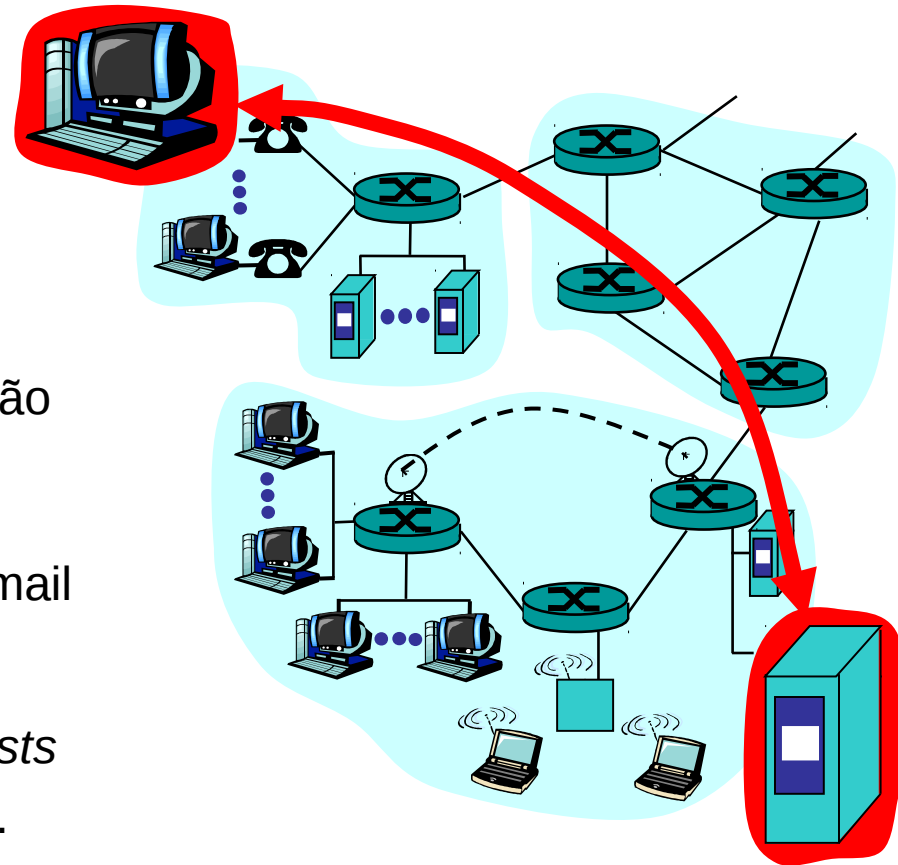
- rodam programas de aplicação
- ex.: WWW, email
- na “extremidade da rede”

## 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, NAPSTER.



# Serviços de rede

## Serviço **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 **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, etc



# Núcleo da Rede: Comutação de Pacotes

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

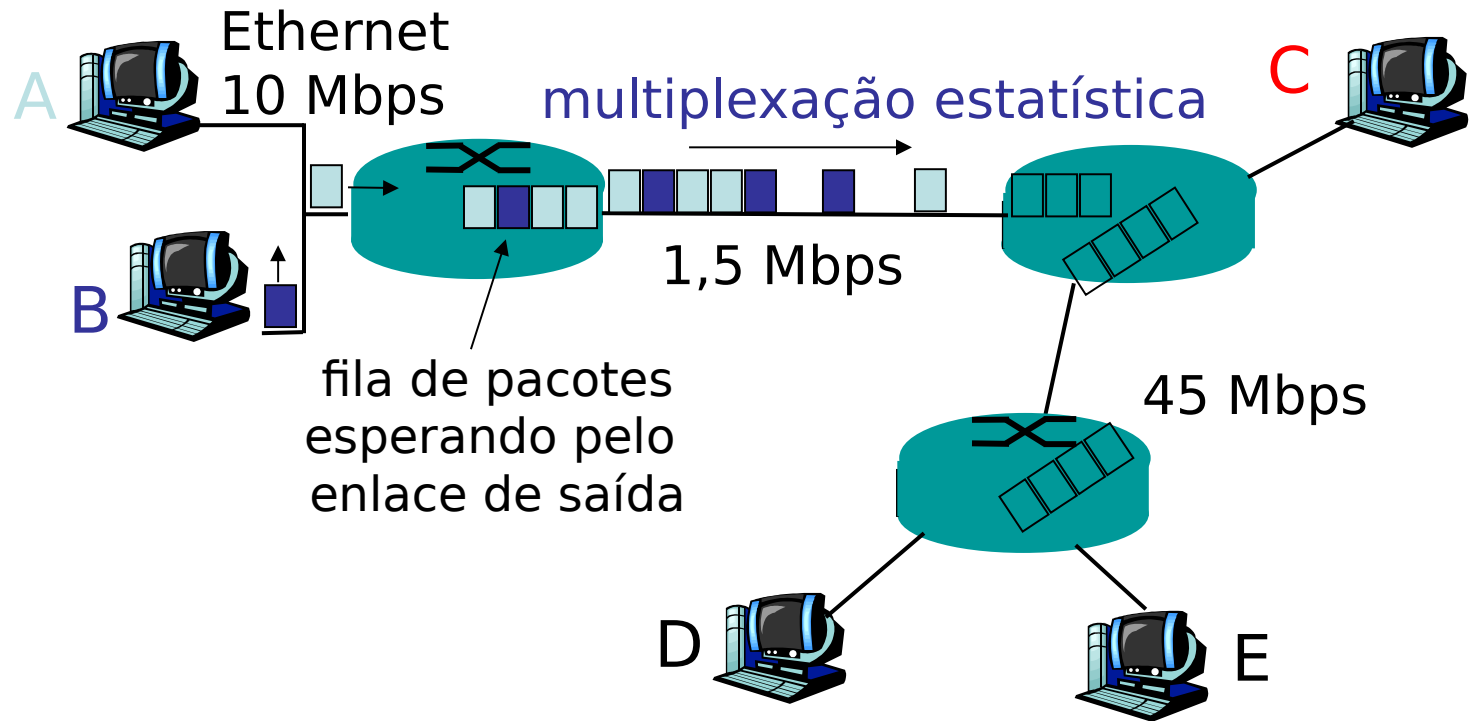
Reserva de recursos

Disputa por recursos:

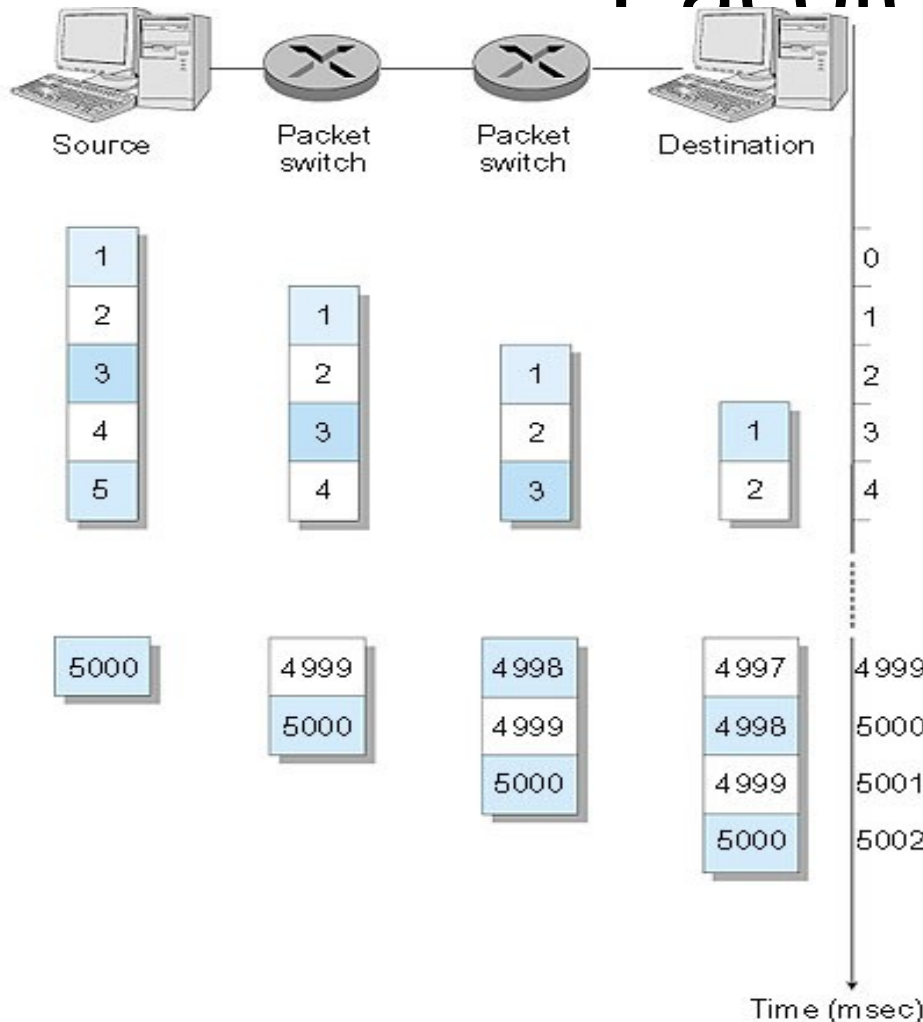
- a demanda total pelos recursos pode superar a quantidade disponível
- congestionamento: pacotes são enfileirados, esperando para usar o enlace
- armazena e retransmite: pacotes se deslocam uma etapa (hop) por vez
  - transmite num enlace
  - espera a vez no próximo enlace



# Núcleo da Rede: Comutação de Pacotes



# Núcleo da Rede: Comutação de Pacotes



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

Quebra uma mensagem em pedaços menores (*pacotes*)

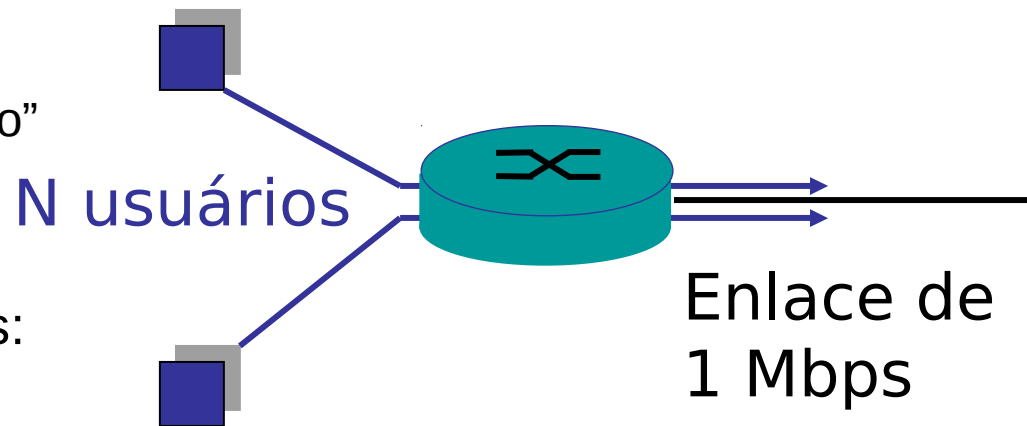
*Store-and-forward*: comutador espera a chegada do pacote completo e o encaminha/roteia para o próximo comutador



# Comutação de pacotes x comutação de circuitos

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

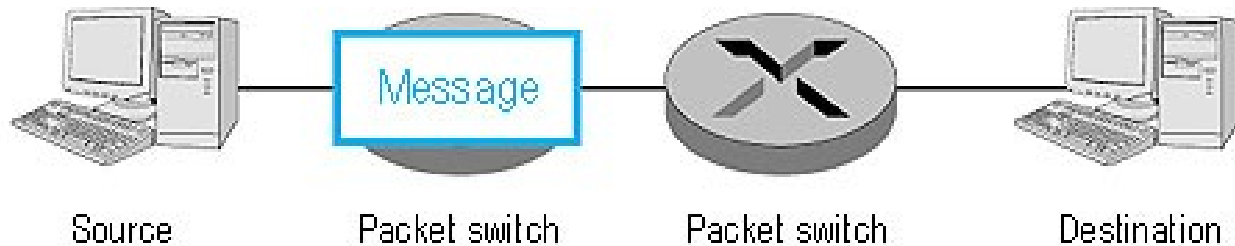
- Enlace de 1 Mbit/s
- cada usuário:
  - 100Kbps quando “ativo”
  - ativo 10% do tempo
- comutação por circuitos:
  - 10 usuários
- comutação por pacotes:
  - com 35 usuários, probabilidade  $> 10$  ativos menor que 0,004



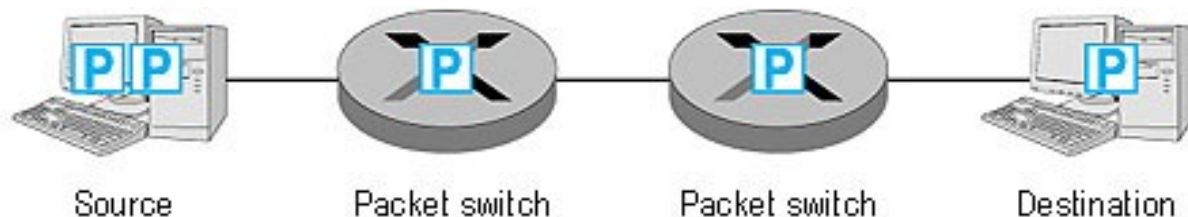
# Segmentação de Mensagens

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!



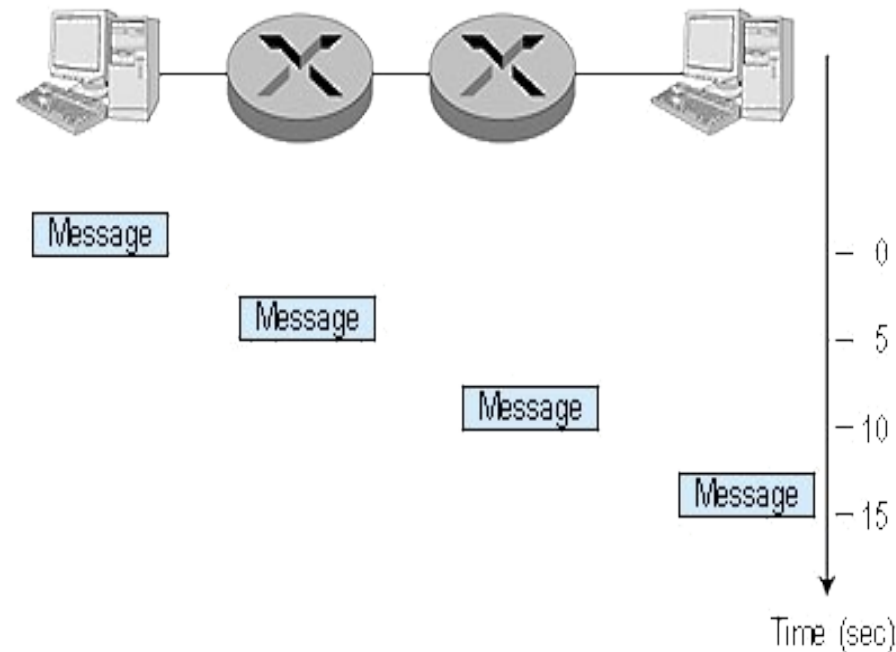
# Segmentação de Mensagens e Desempenho

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

- longa espera em cada comutador

Uso seqüencial dos componentes da rede

- desperdício de recursos

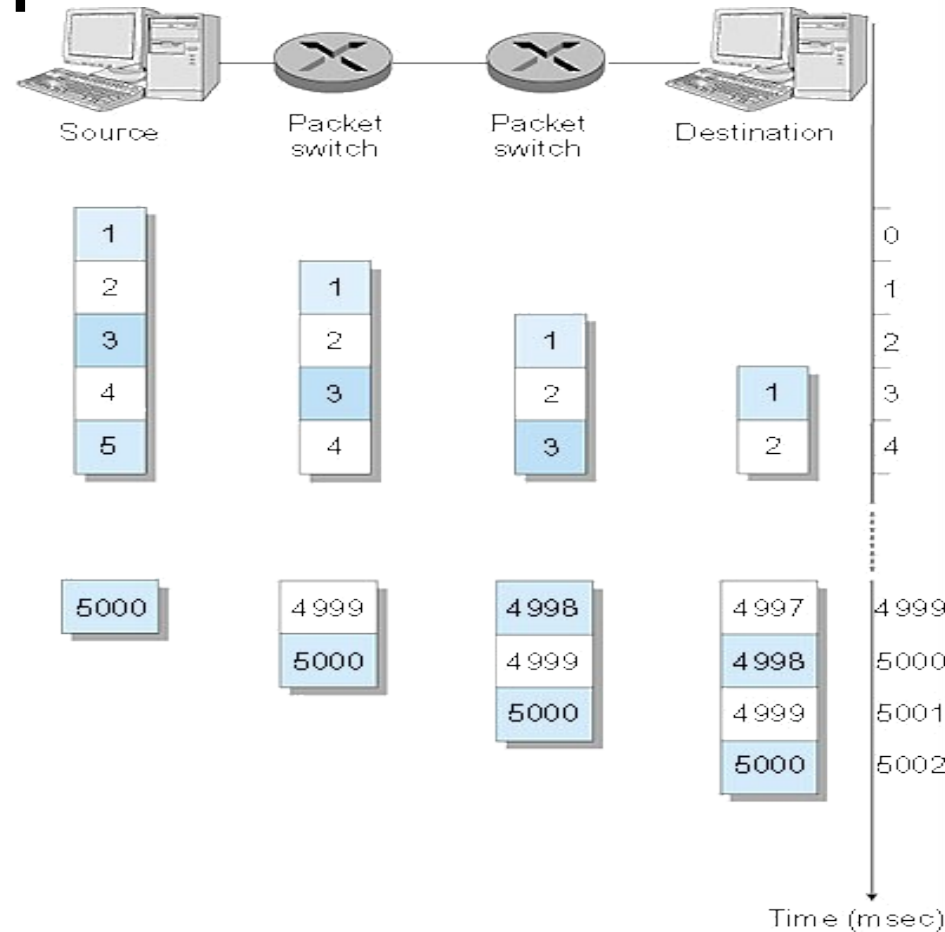




# Segmentação de Mensagens e Desempenho

## 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.!



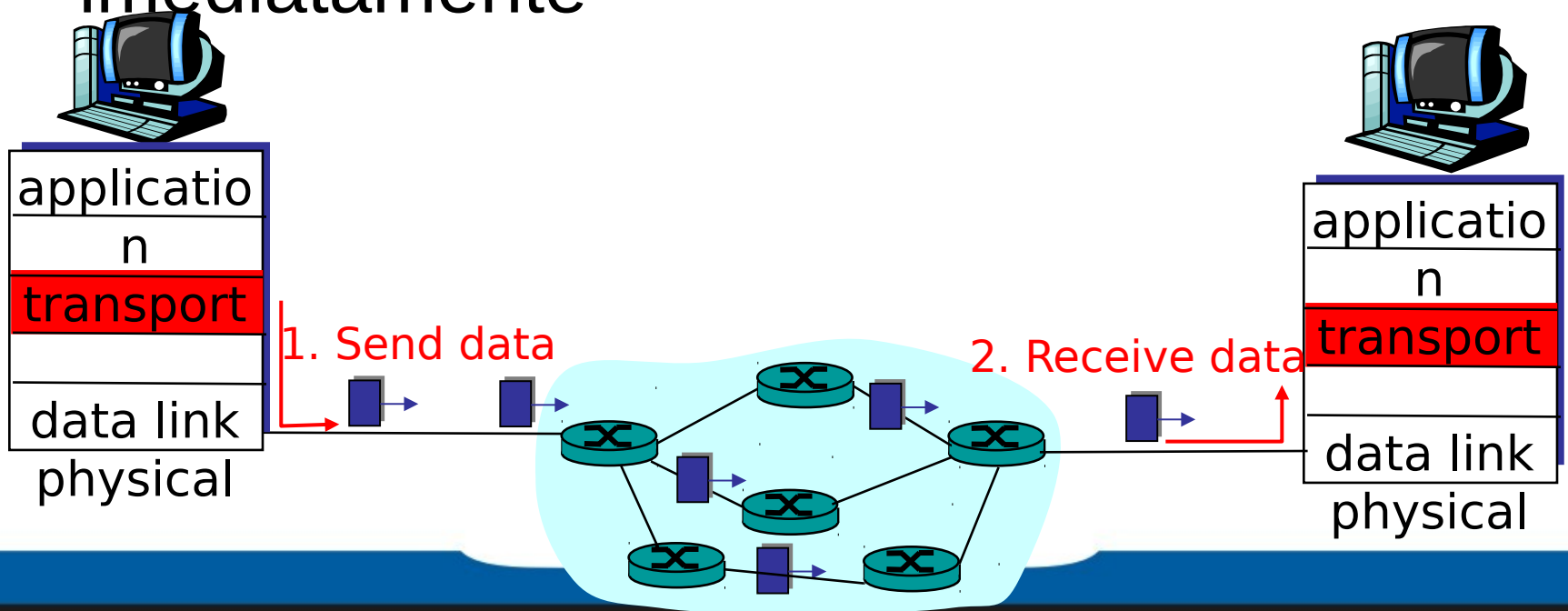
# Redes de Datagrama

- 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



# 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, etc



# Estrutura da Internet: rede de redes

quase hierárquica

provedores de backbones  
nacionais/internacionais  
(NBPs)

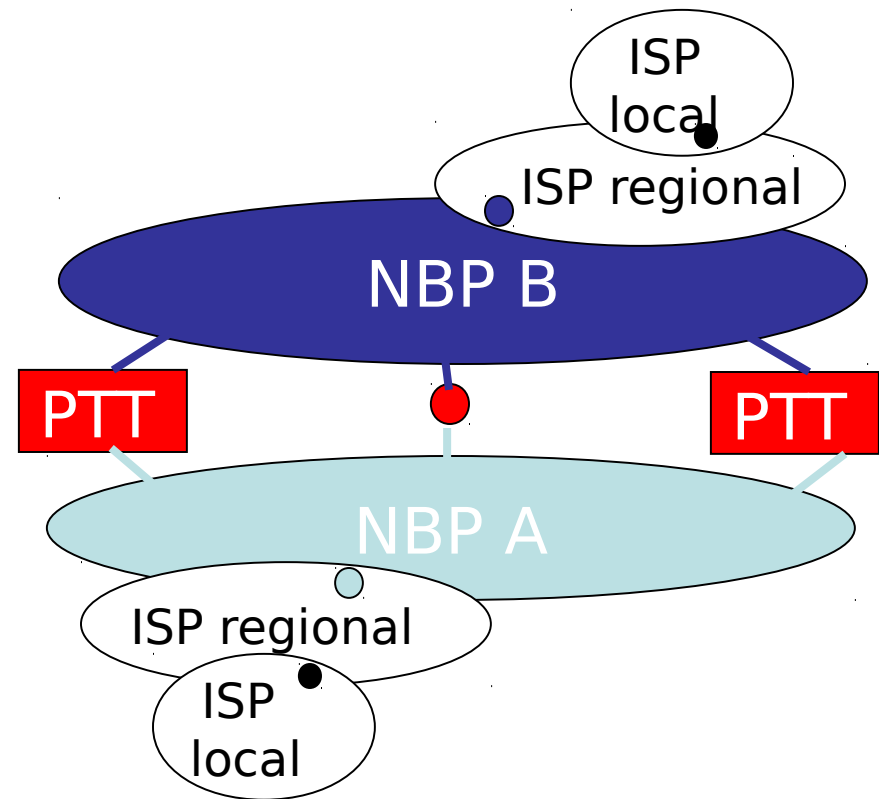
- ex. Embratel, Banco Rural, Global One
- interconecta com cada um dos outros de forma privada, ou em pontos de troca de tráfego públicos (PTTs)

ISPs regionais

- conectam a NBPs

ISP local, empresa

- conecta a um ISP regional

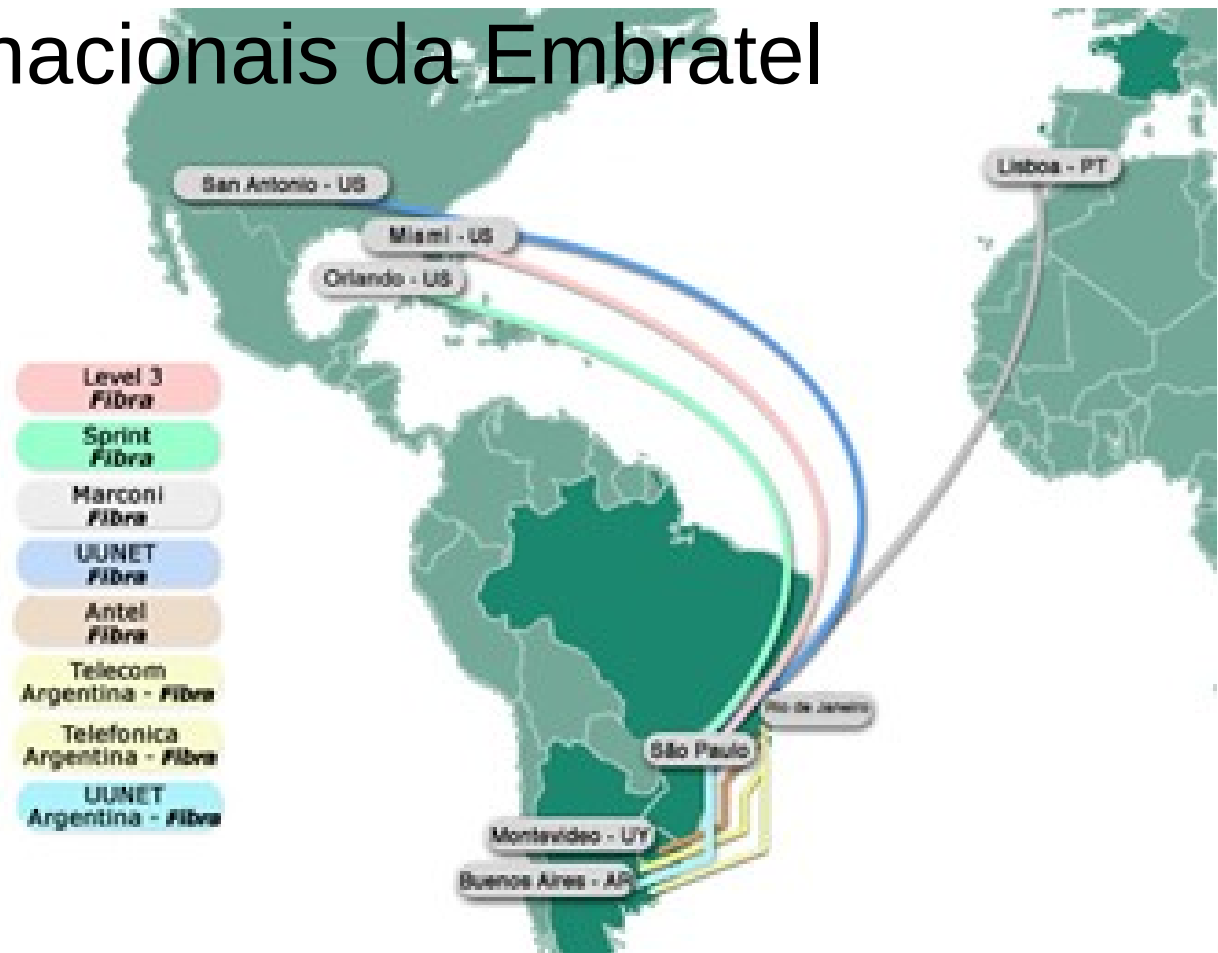


ex. Embratel



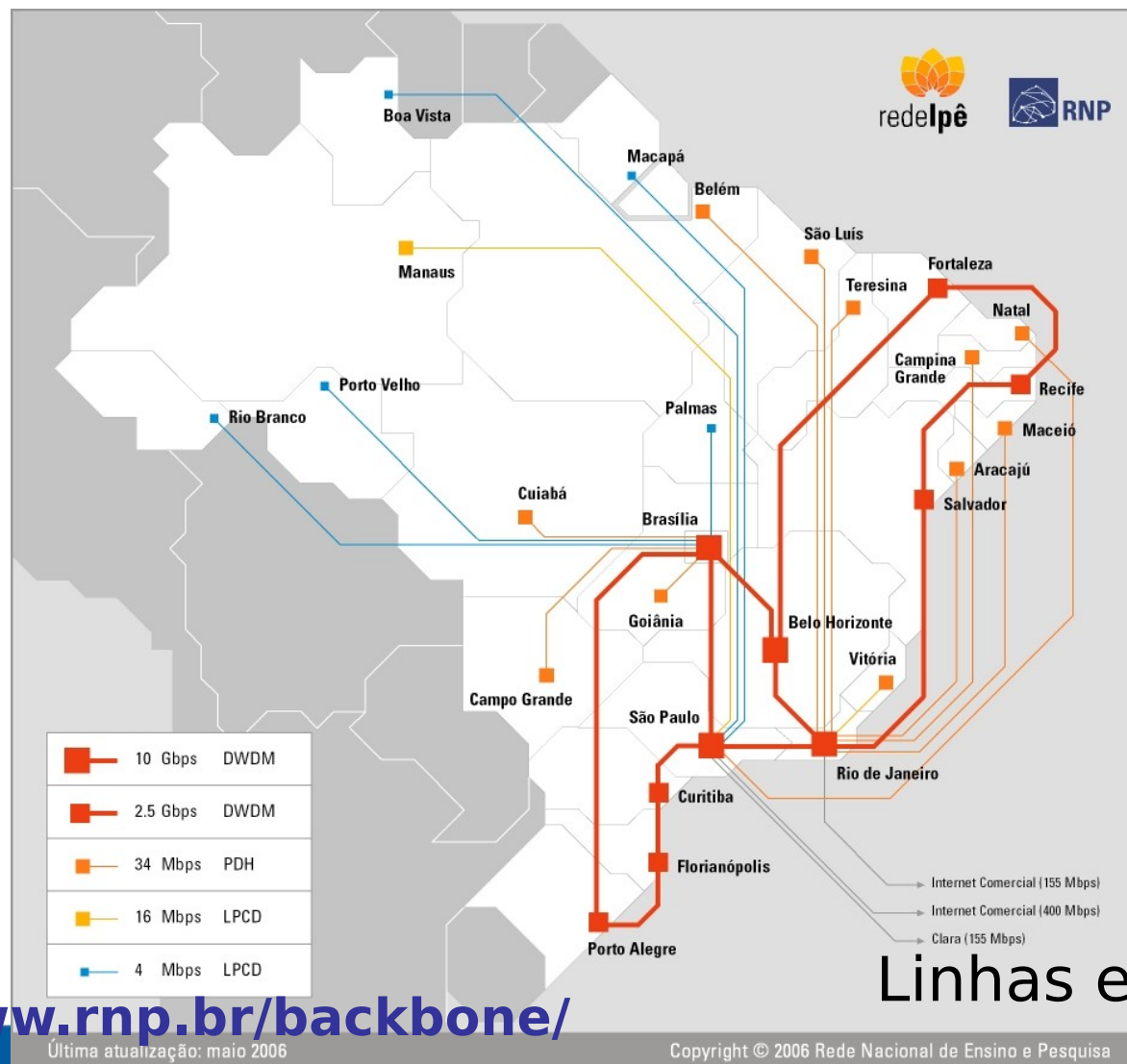
# Provedor Nacional de Backbone

## Linhas internacionais da Embratel



# Provedor de Backbone Nacional

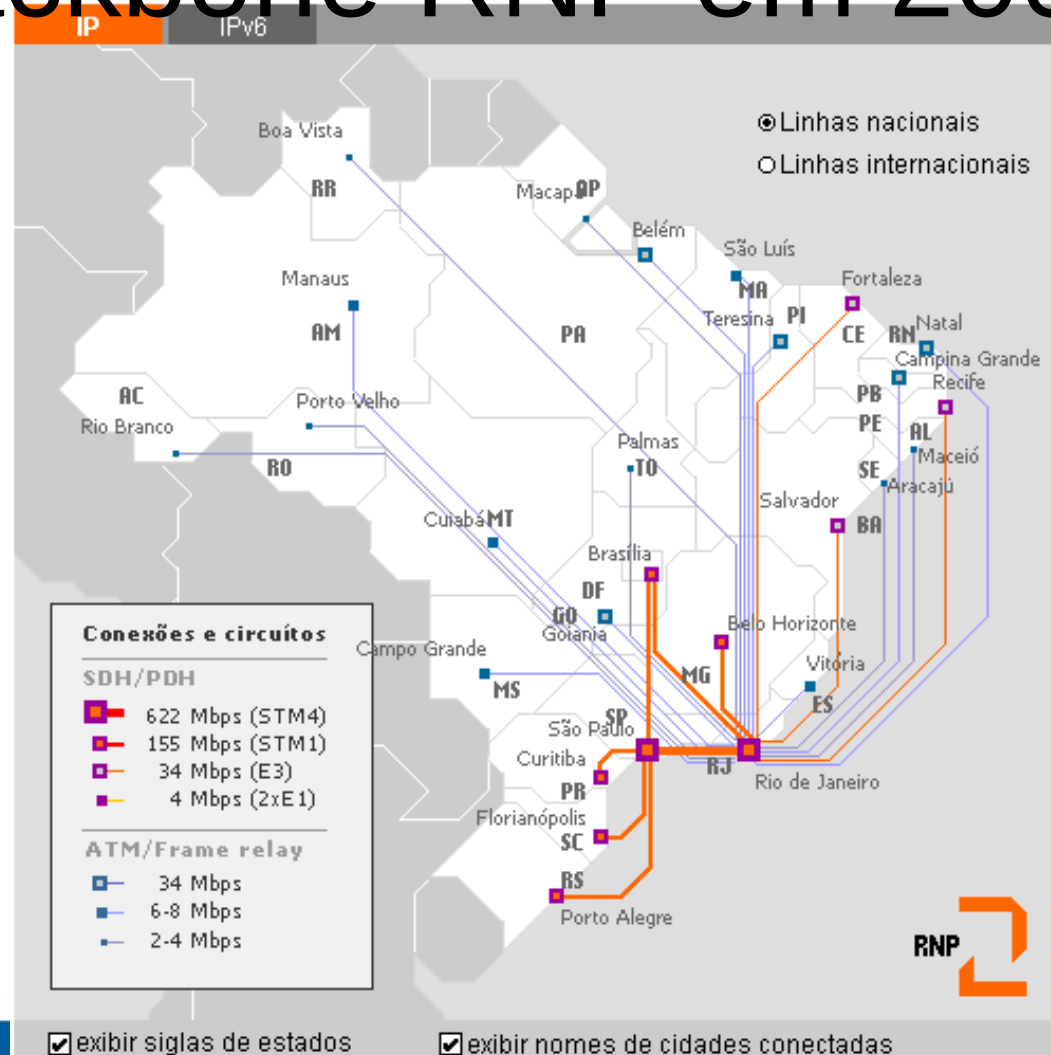
ex. RNP



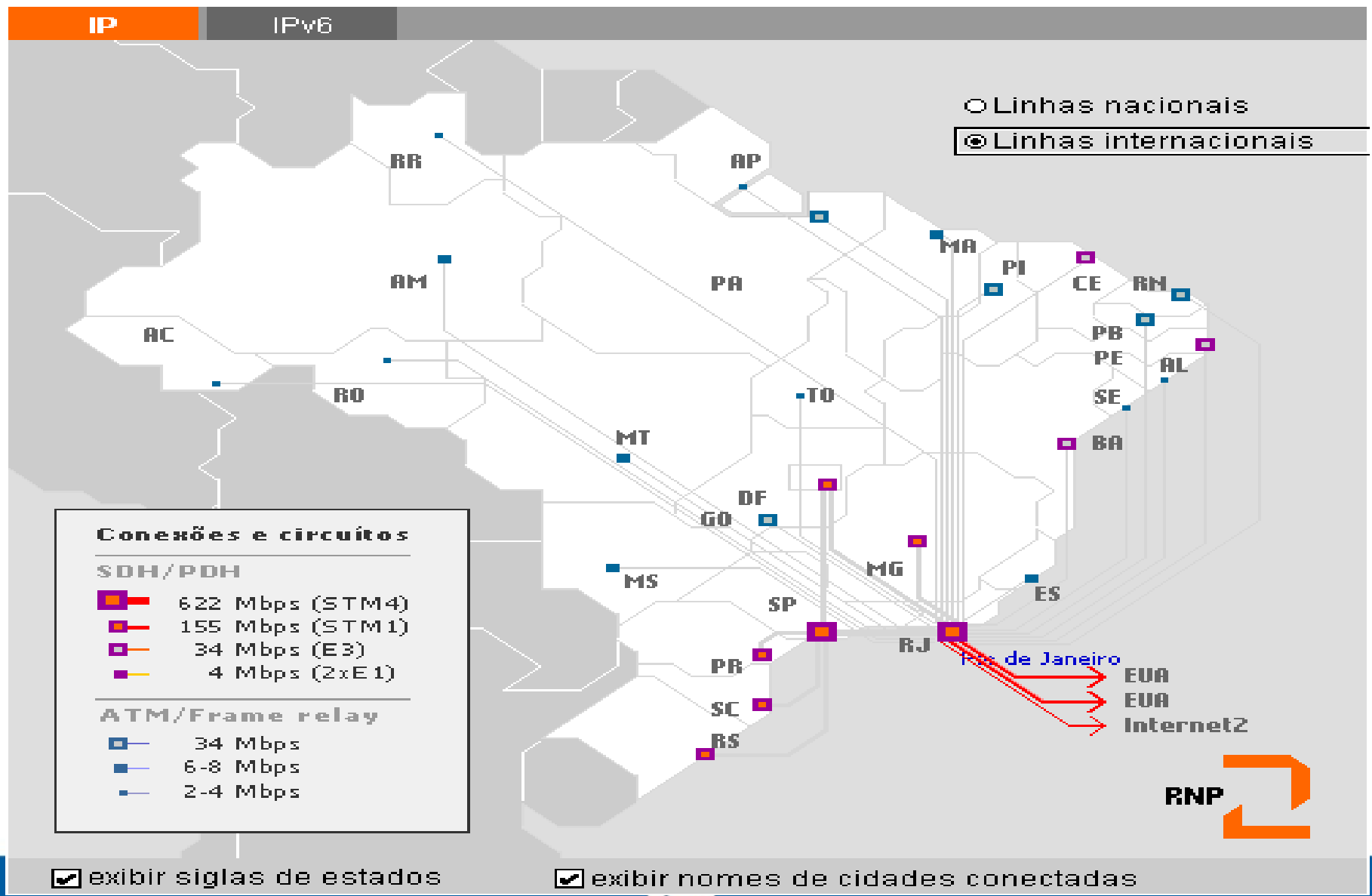


# A Internet no Brasil

## Backbone RNP em 2004



# A Internet no Brasil



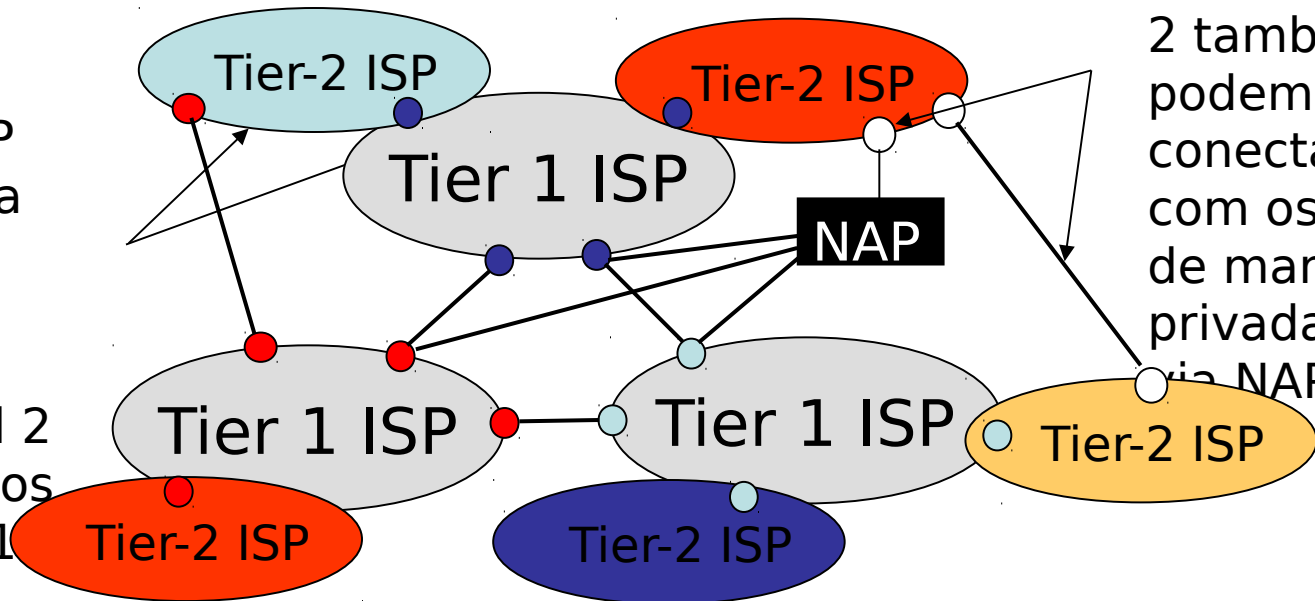
# Estrutura da Internet: rede de redes

## ISPs do nível 2: menores (frequentemente 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



ISPs de nível 2 também podem se conectar uns com os outros de maneira privada ou via NAPs

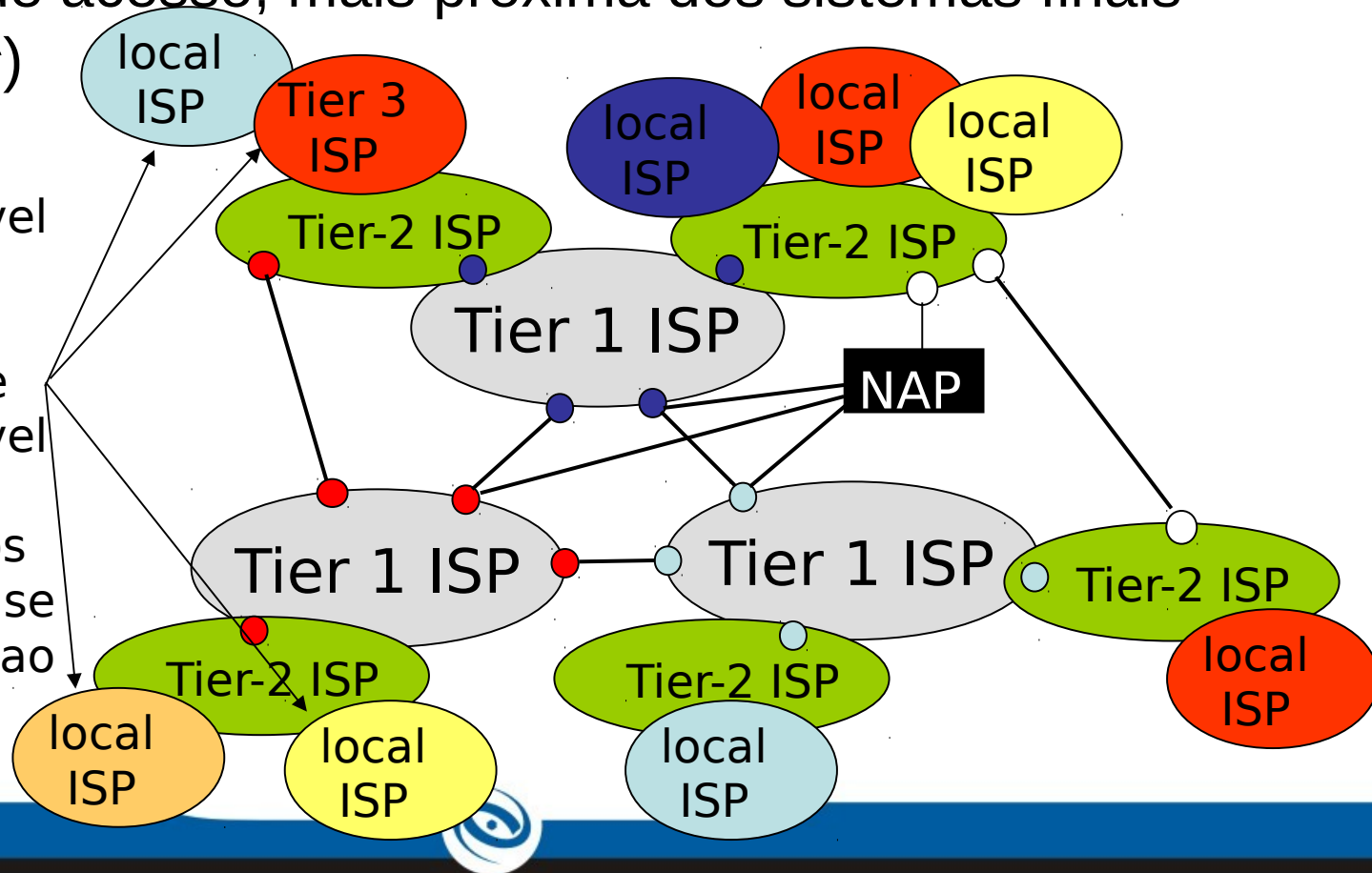


# Estrutura da Internet: rede de redes

## ISPs de nível 3 e ISPs locais

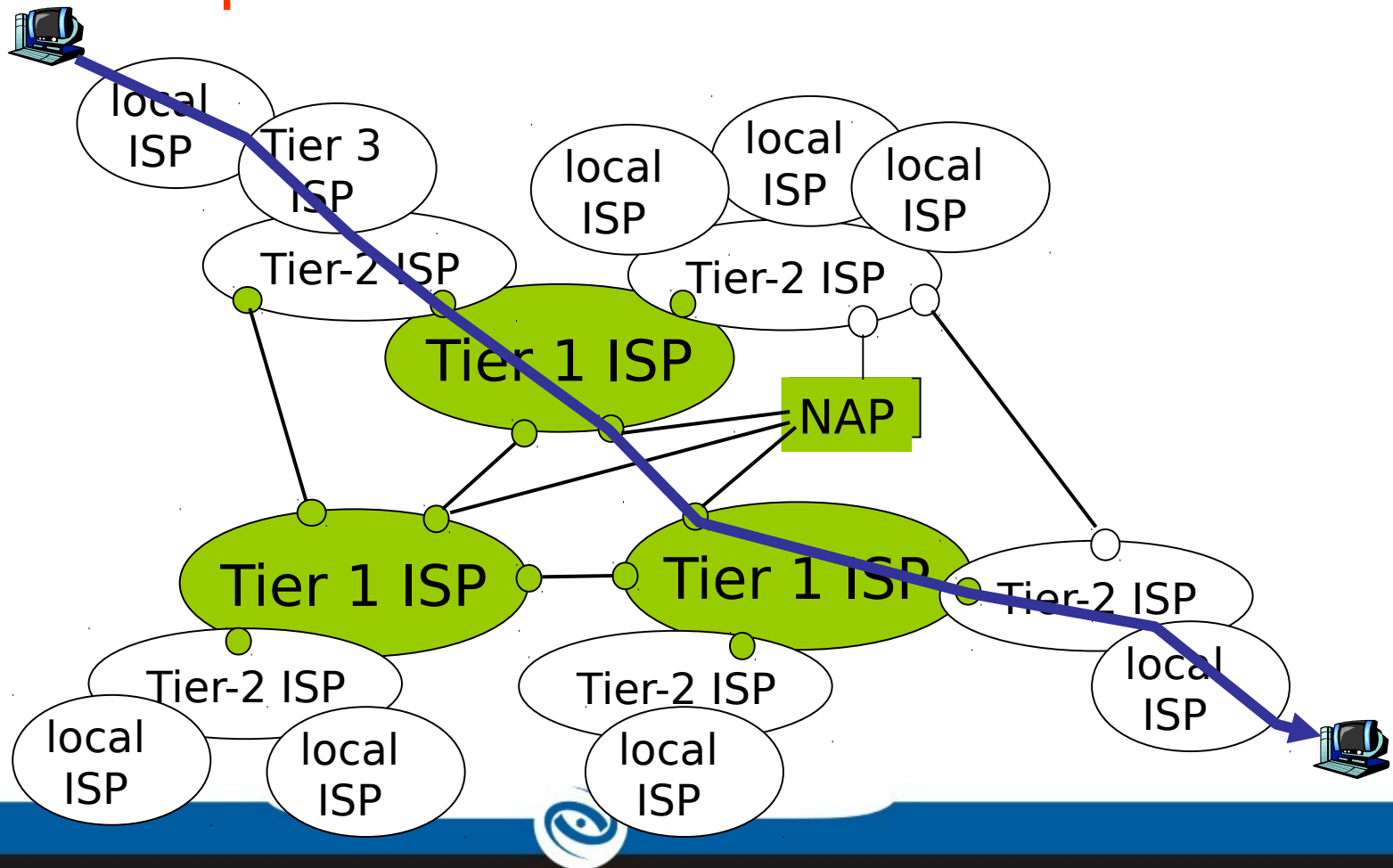
- rede de acesso, mais próxima dos sistemas finais (*hosts*)

ISPs de nível 3 e ISPs locais são clientes de ISPs de nível mais alto, através dos quais eles se conectam ao resto da Internet

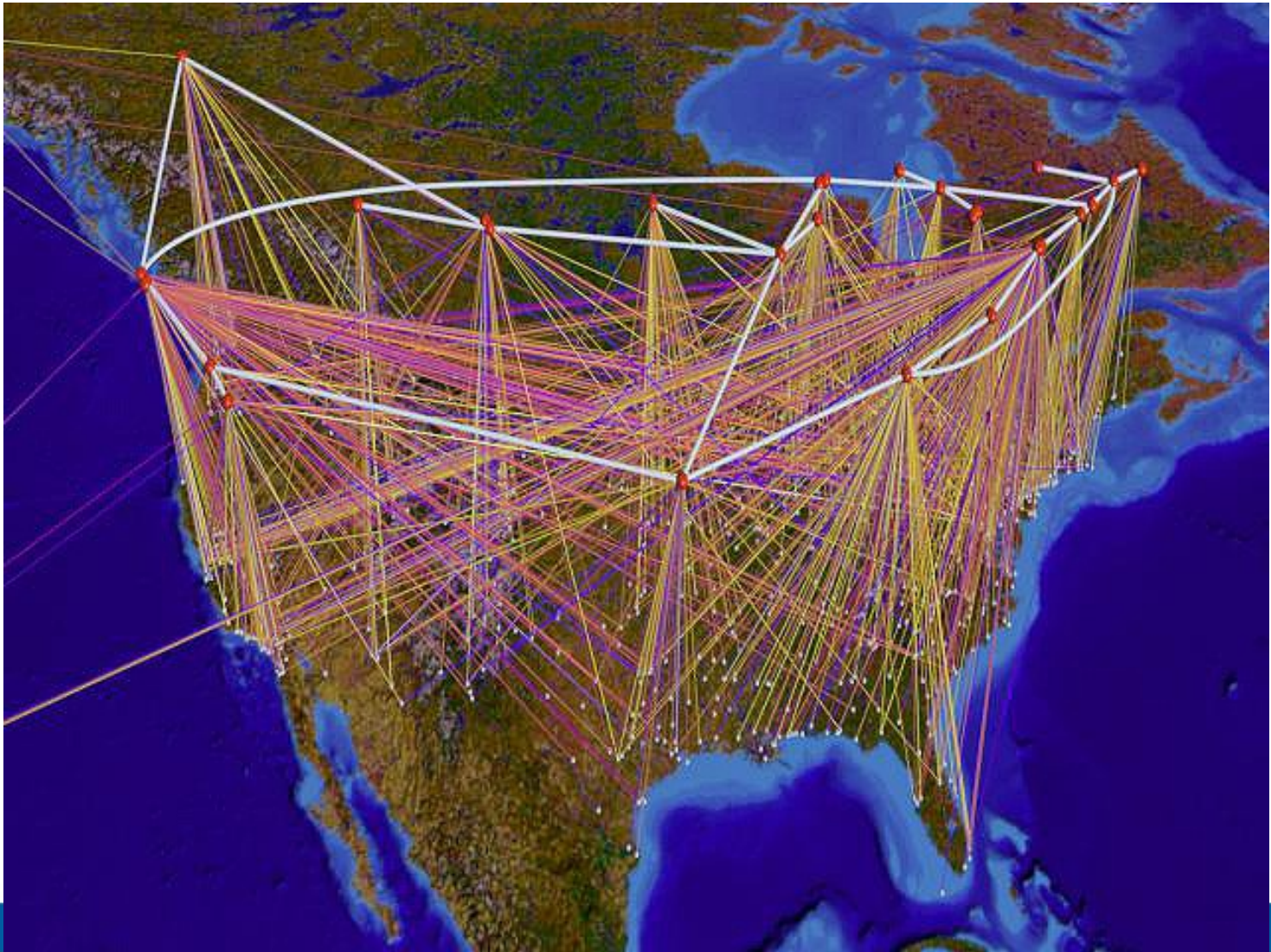


# Estrutura da Internet: rede de redes

Um pacote passa através de várias redes!

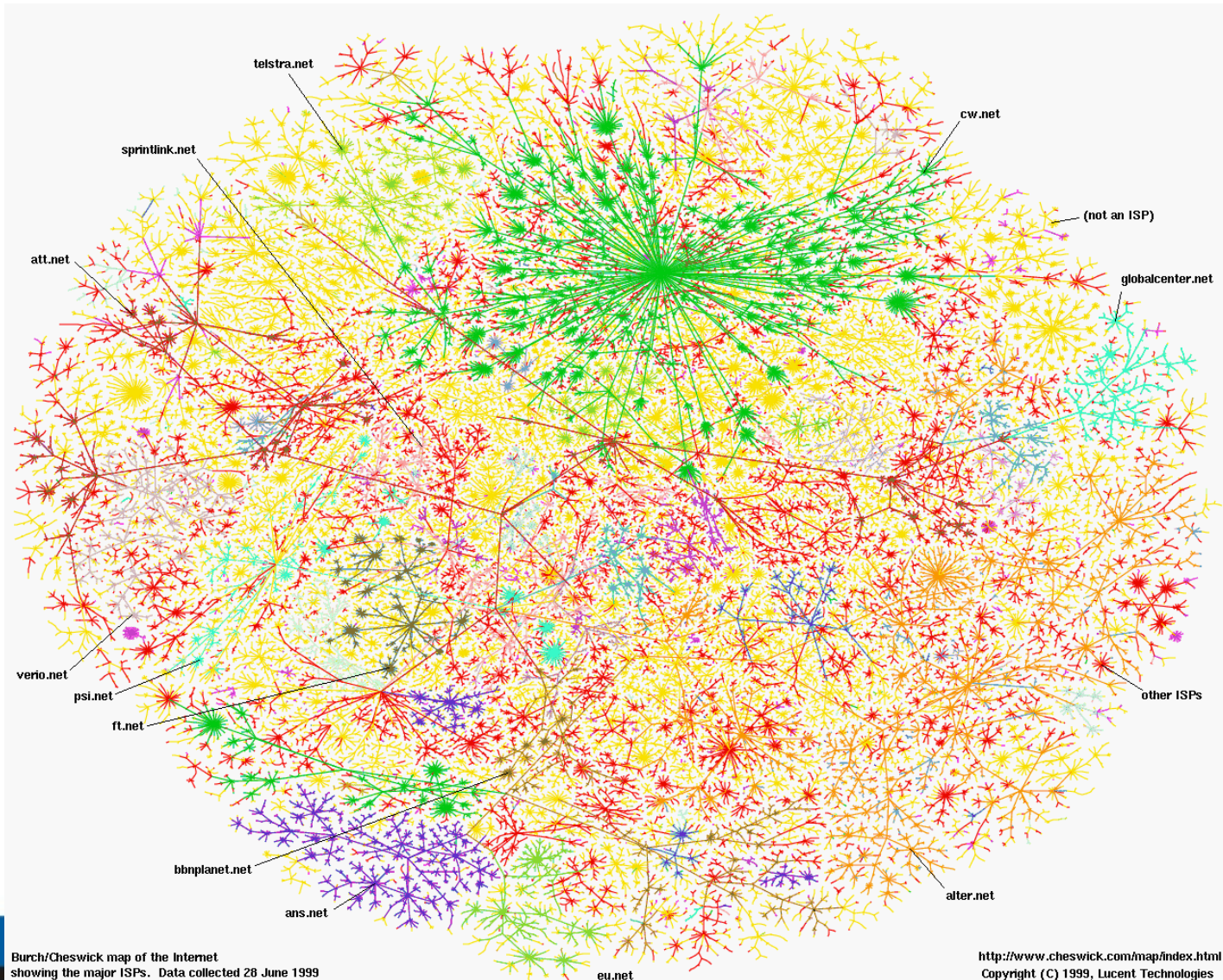


# Internet: Topologia NSFNET em 1992





# Diagrama de Interconexão entre ISPs



# 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, etc**





# Atraso em redes comutadas por pacotes

Os pacotes experimentam **atraso** no caminho fim a fim

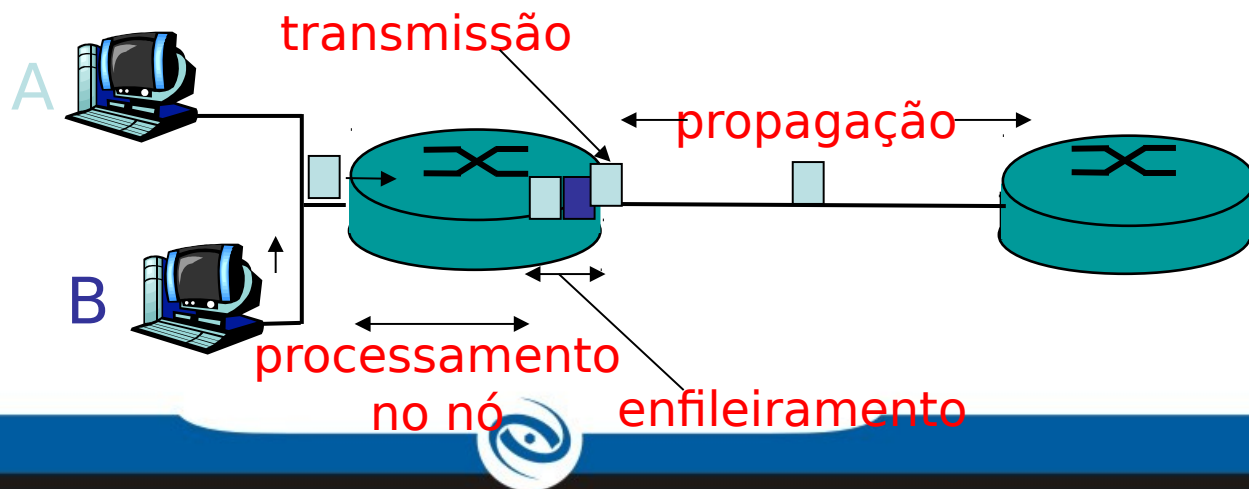
**quatro** fontes de atraso em cada etapa (roteador)

**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



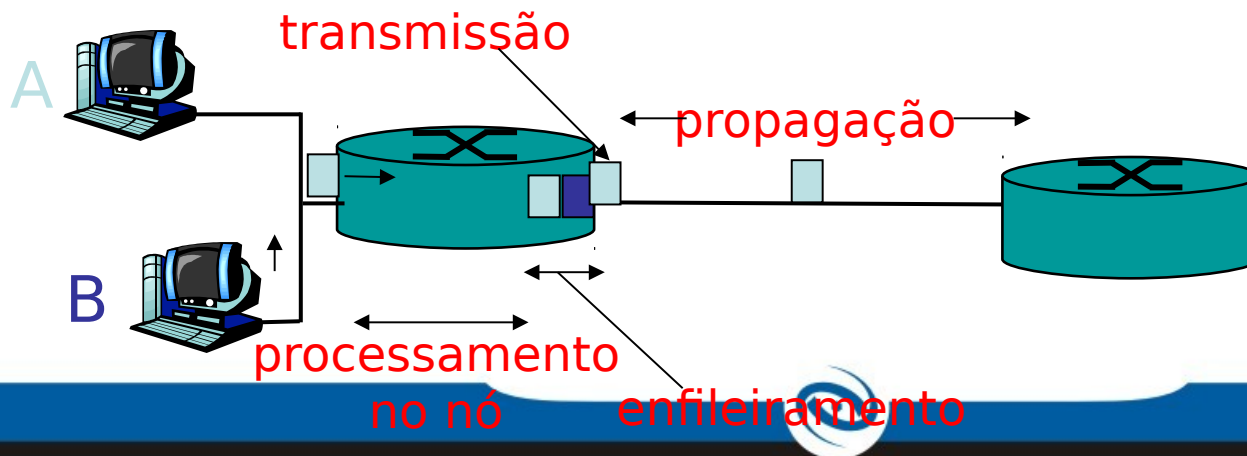
# Atraso em redes comutadas por pacotes

## 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 =  $d/s$



# 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

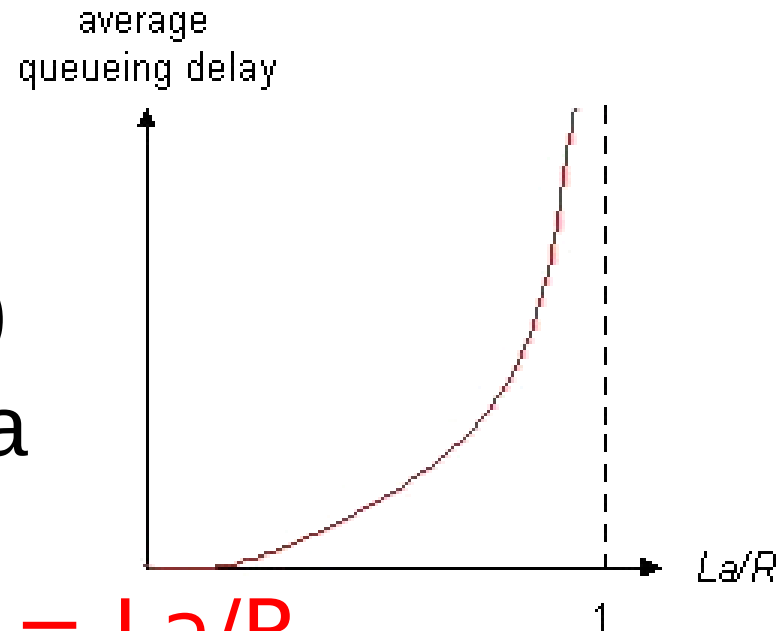


# Atraso de enfileiramento

$R$  = 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

# 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 ( $\lambda/R$ ) aumenta**

- pacotes perdidos devem ser retransmitidos

É uma medida de desempenho da rede (juntamente com o atraso fim-a-fim)

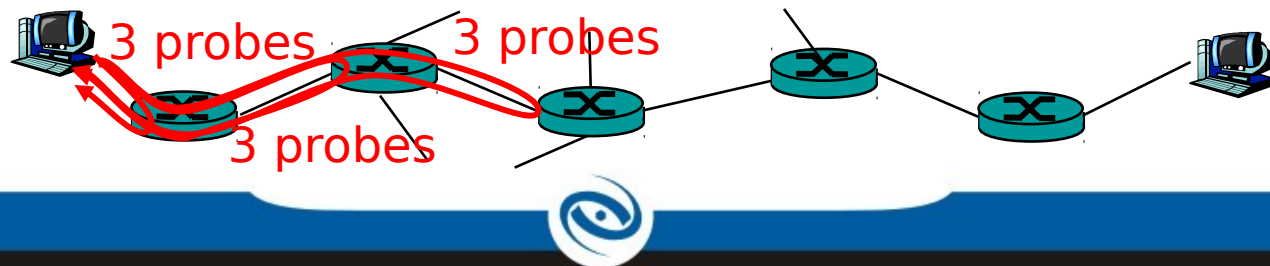


# Atrasos e Rotas na Internet

Como se mostram os atrasos e perdas na Internet?

**Programa traceroute:** realiza medidas de atraso da origem para cada roteador ao longo do caminho até o destino na Internet. Para todo  $i$ :

- envia três pacotes que chegarão ao roteador  $j$  no caminho em direção ao destino (i.e., três experimentos distintos)
- roteador  $j$  retornará pacotes de resposta à origem
- origem mede o intervalo de tempo entre a transmissão dos pacotes e a recepção das respostas



# Atrasos e Rotas na Internet

Experimentar com o programa **traceroute**

- N-1 roteadores intermediários
- origem envia N pacotes especiais de “sondagem”
- ao receber o n-ésimo pacote, o n-ésimo roteador suprime o pacote e envia uma mensagem de volta para a origem
- ao receber tal mensagem, a origem registra:
  - o tempo gasto entre o envio do n-ésimo pacote a recepção da respectiva resposta – atraso de ida-e-volta para o n-ésimo roteador
  - nome e endereço do n-ésimo roteador
- origem reconstrói a rota até o destino

<http://www.traceroute.org>

O equivalente Windows do **traceroute** chama-se **tracert**.



# traceroute: exemplo

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

```

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

```

Três medidas distintas

enlace trans-oceânico

\* significa sem resp. (pcte. perdido, roteador não responde)





# Referências

## Capítulo 1:

- [Redes de Computadores e a Internet: Uma Nova Abordagem](#)

James Kurose e Keith Ross. Makron Books, 2002

