

.....

Redes de Computadores

Conceitos Básicos

Introdução

Prof. Vagner Sacramento

Revisão

Objetivo:

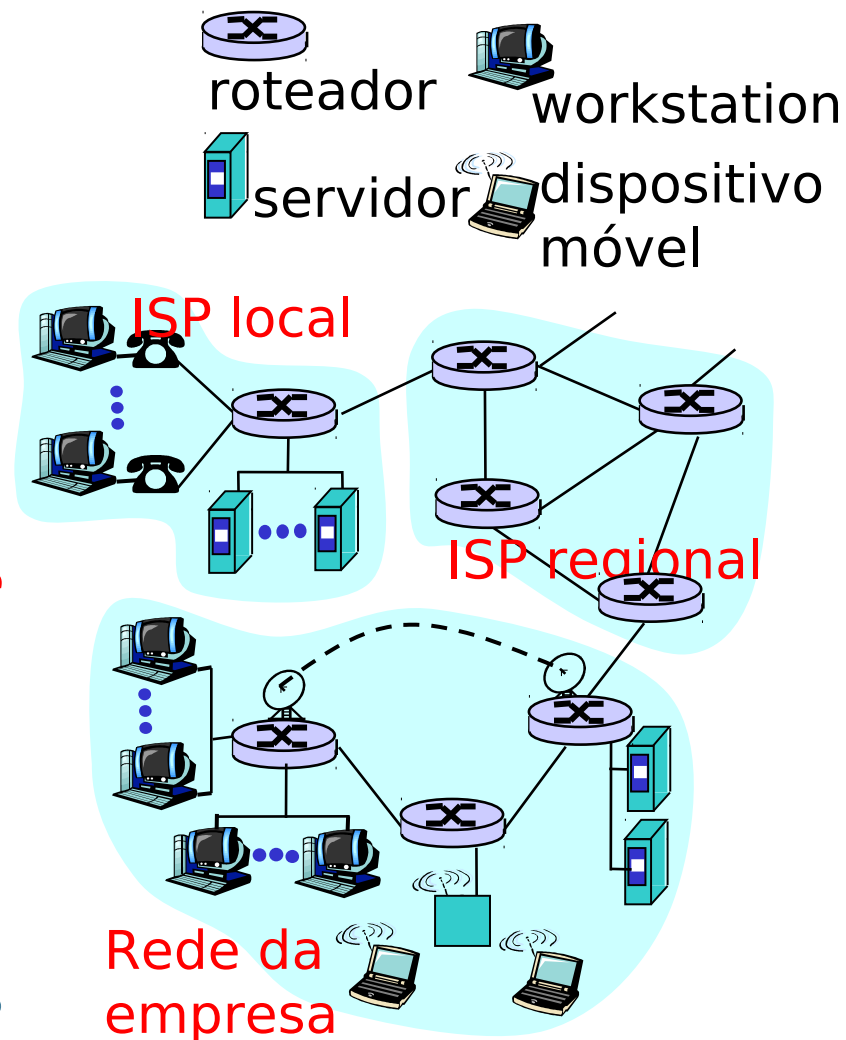
- entender o contexto, visão geral e o que são redes
- maior profundidade, detalhes
posteriormente no curso
- abordagem:
 - descritiva
 - uso da Internet como exemplo

Resumo:

- o que é a Internet
- o que é um protocolo?
- a borda da rede
- o núcleo da rede
- rede de acesso e meio físico
- desempenho: perda, atraso, etc
- camadas de protocolos, modelos de serviço
- backbones, NAPs, ISPs

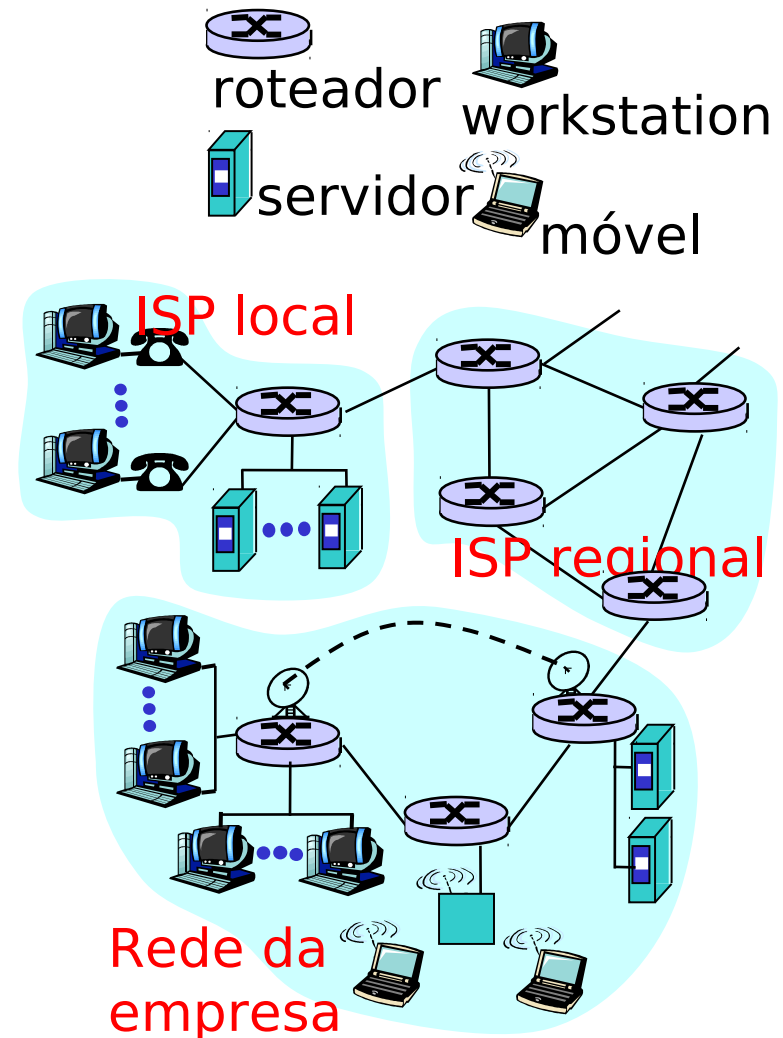
O que é a Internet: visão dos componentes (I)

- 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



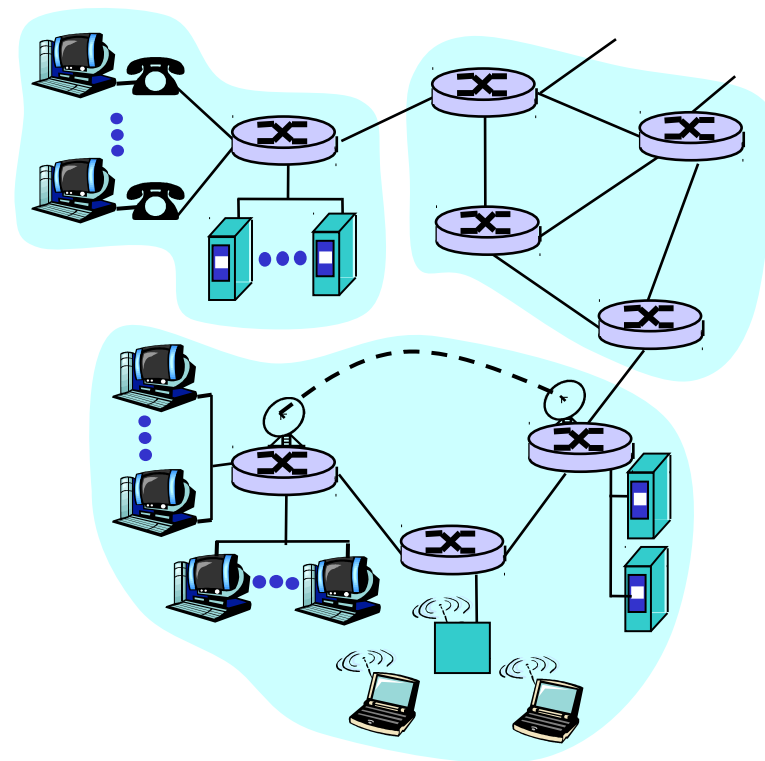
O que é a Internet: visão dos componentes (II)

- **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*



O que é a Internet: visão dos serviços

- **A infra-estrutura de comunicação** permite o uso de aplicações distribuídas:
 - WWW, email, jogos, e-comércio, bancos de dados, votações, compartilhamento de arquivos (ex.: MP3)
- **Serviços de comunicação disponibilizados:**
 - sem conexões
 - orientado a conexões



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.....

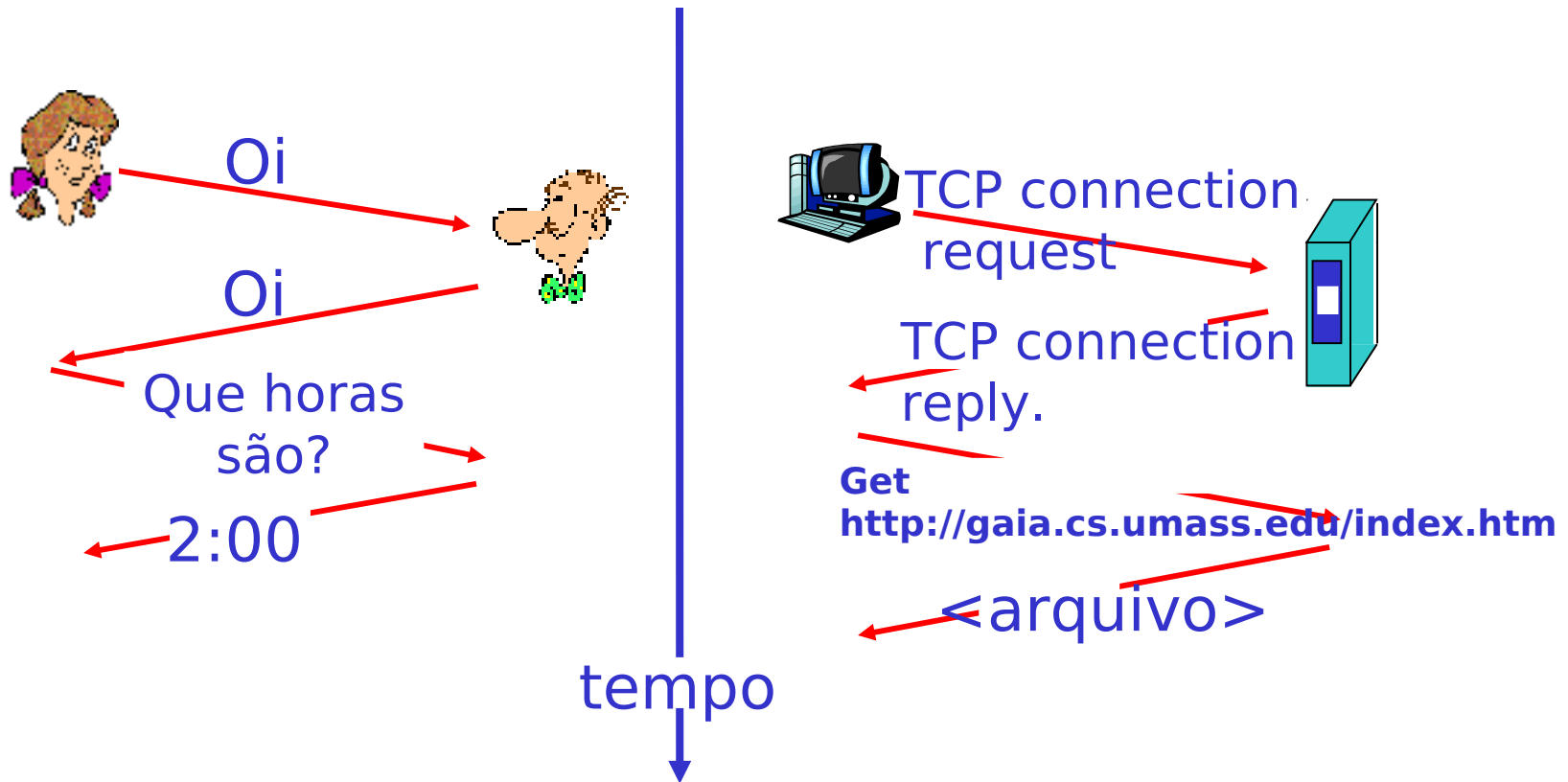
Protocolos de rede:

- 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

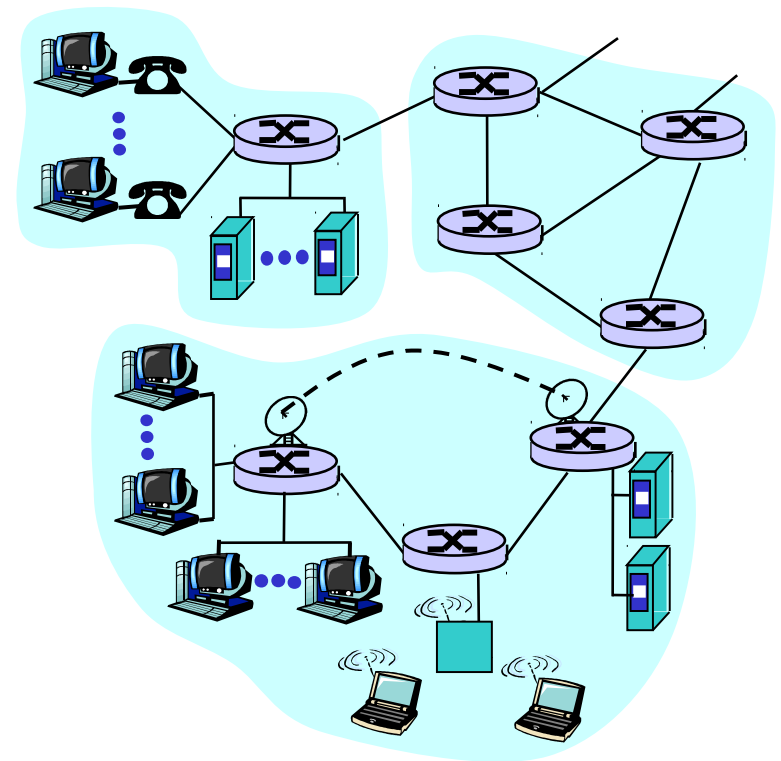
O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede:



Uma olhada mais de perto na estrutura da rede:

- **Borda da rede:** aplicações e hospedeiros (*hosts*)
- **Núcleo da rede:**
 - roteadores
 - rede de redes
- **Redes de acesso, meio físico:** enlaces de comunicação



A borda da rede

- **Sistemas finais (*hosts*):**

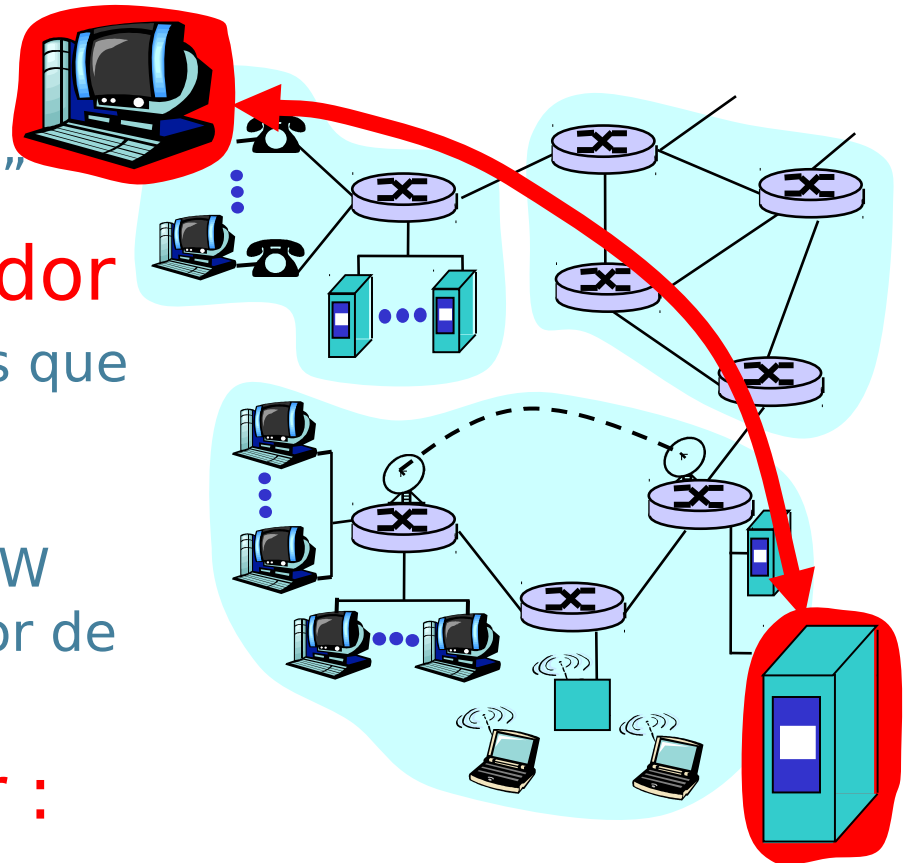
- rodam programas de aplicação
- ex.: WWW, email
- na “extremidade da rede”

- **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, ...



Borda da rede: serviço orientado a conexões

- Objetivo:** transferência de dados entre *hosts*.
- *handshaking*: inicializa (prepara para) a transf. 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.

Borda da rede: 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:

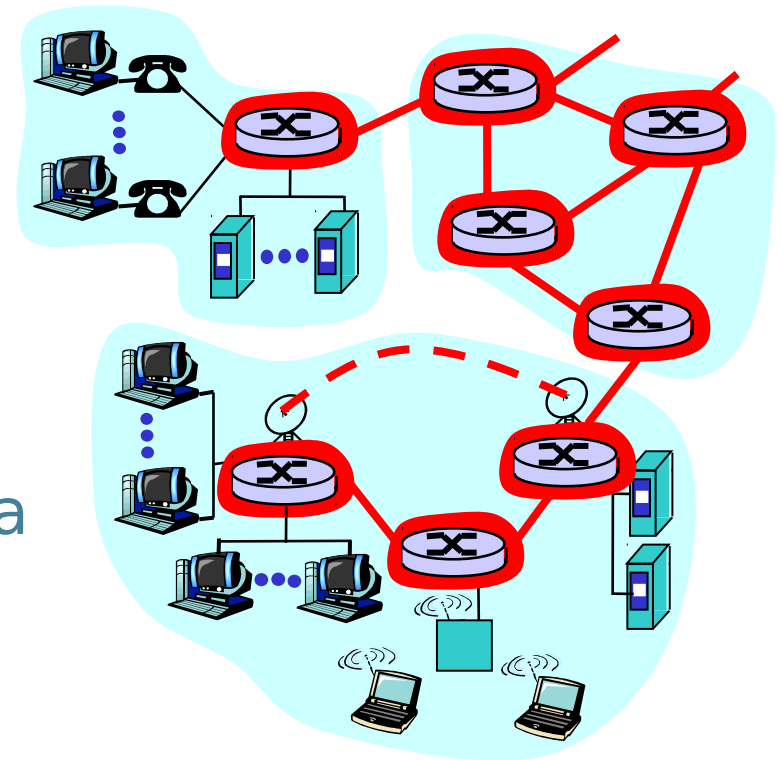
- HTTP (WWW), FTP (transferência de arquivo), Telnet (login remoto), SMTP (email)

Aplicações que usam UDP:

- streaming media, teleconferência, telefonia Internet

O Núcleo da Rede

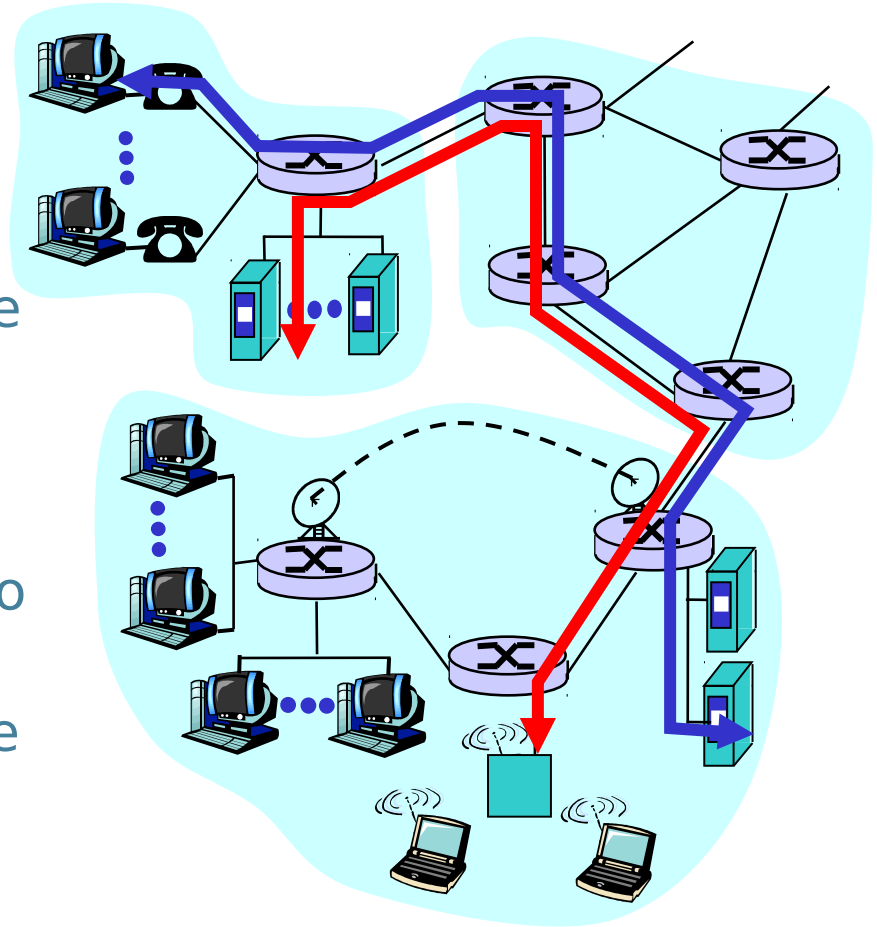
- Malha de roteadores interconectados
- **A pergunta fundamental:** como os dados são transferidos através da rede?
 - **comutação de circuitos:** circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - **comutação de pacotes:** os dados são enviados através da rede em pedaços discretos (Pacotes).



Núcleo da Rede: 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

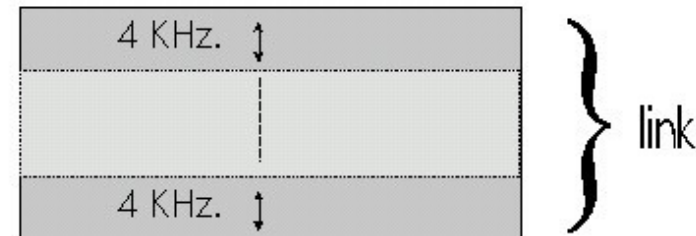


Núcleo da Rede: Comutação de Circuitos

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)

FDM:



TDM:



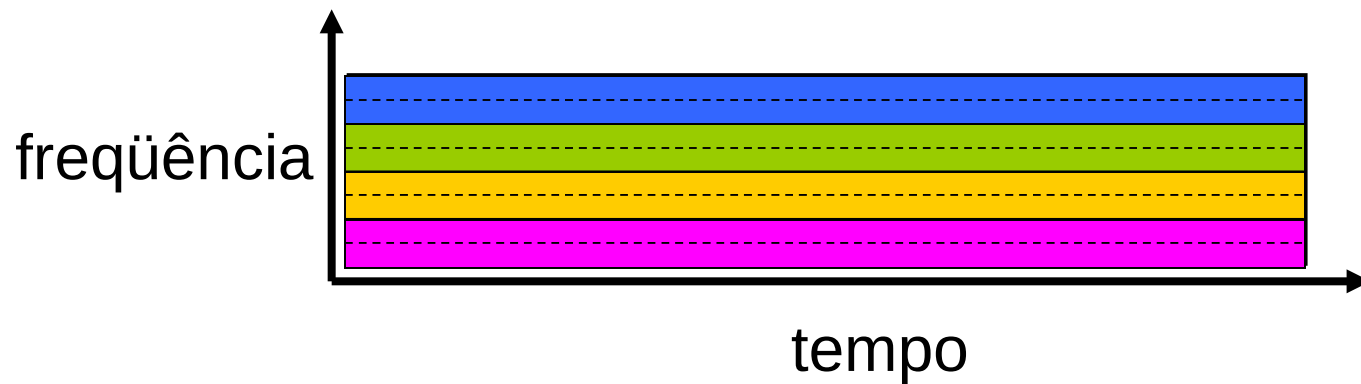
All slots labelled  are dedicated to a specific sender-receiver pair.

Comutação de Circuitos: FDM e TDM

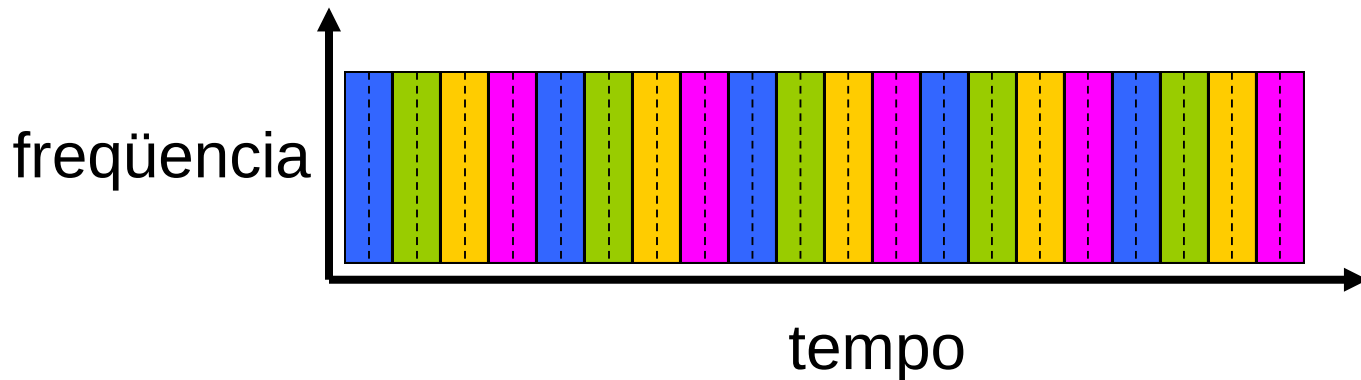
FDM

Exemplo:

4 usuários ■ ■ ■ ■



TDM



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"

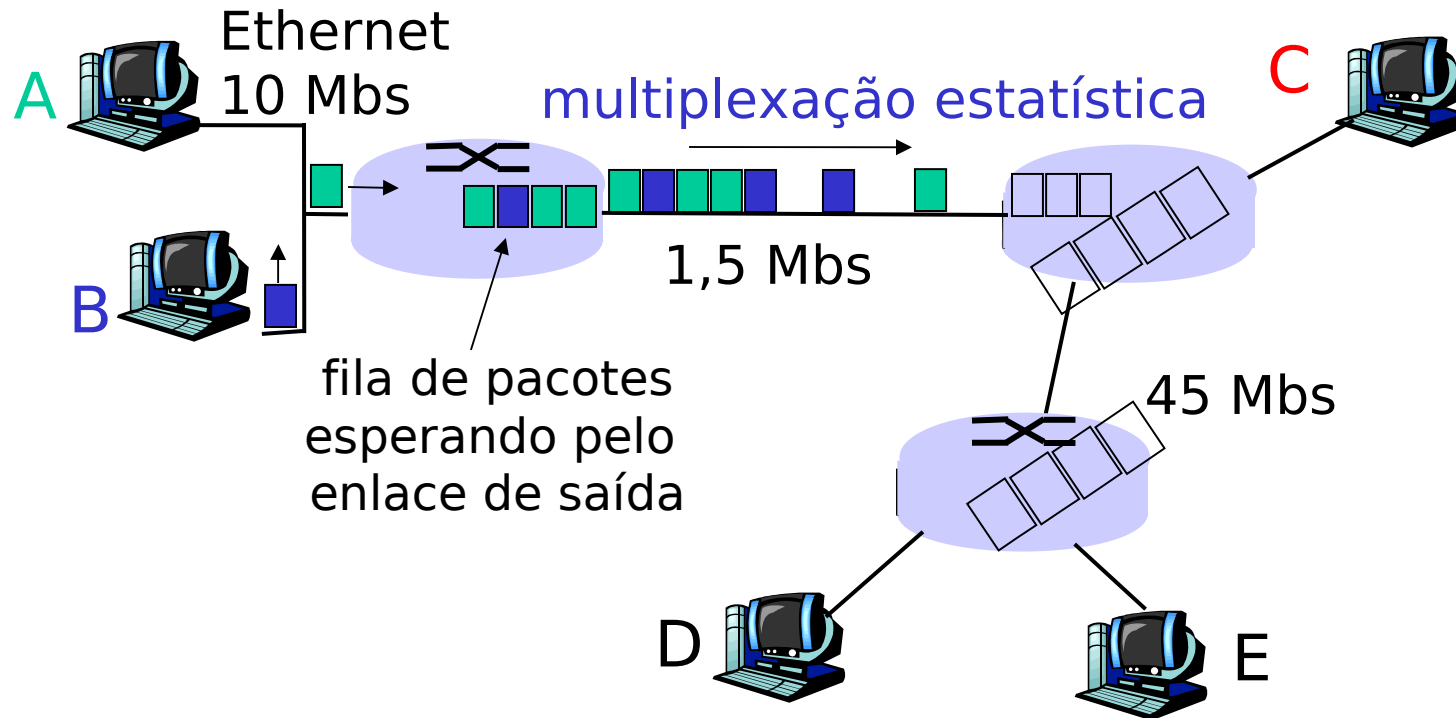
Alocação dedicada

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

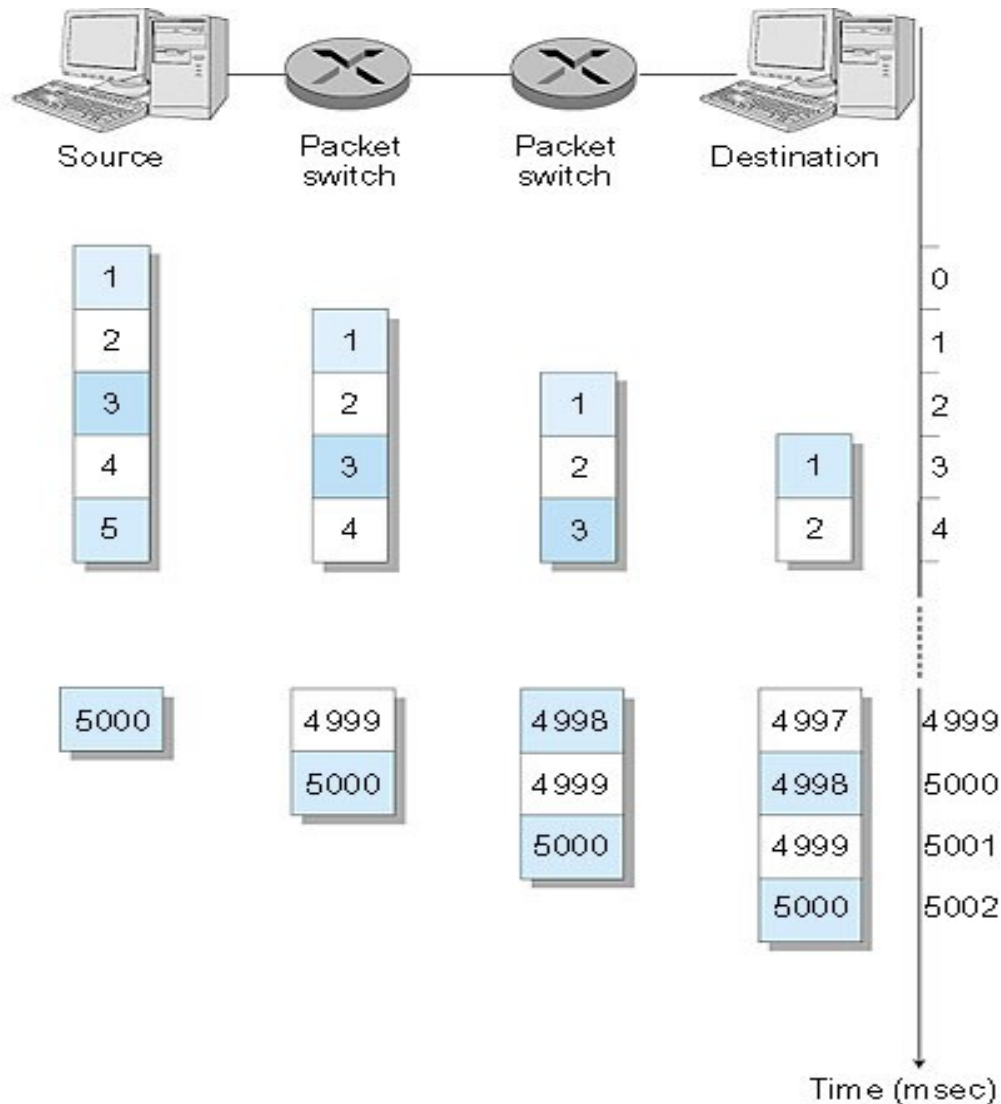
Núcleo da Rede: Comutação de Pacotes



Comutação de pacotes versus comutação de circuitos:

- existem outras analogias humanas? Ex: correios

Núcleo da Rede: Comutação de Pacotes



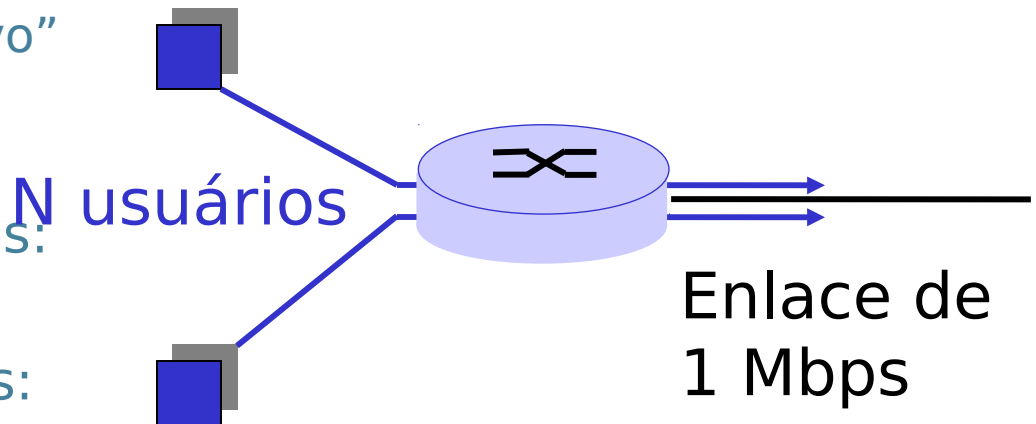
Comutação de pacotes: comportamento de armazenamento e retransmissão (*store and forward*)

- 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
- 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 de pacotes x comutação de 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**

Classificação das Redes

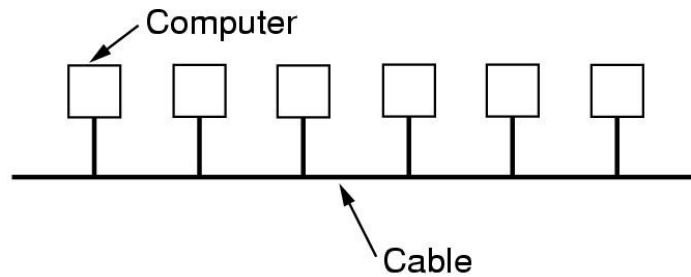
- Redes Locais (LANs)
- Redes Metropolitanas (MANs)
- Redes Distribuídas (WANs)

Redes Locais (LAN)

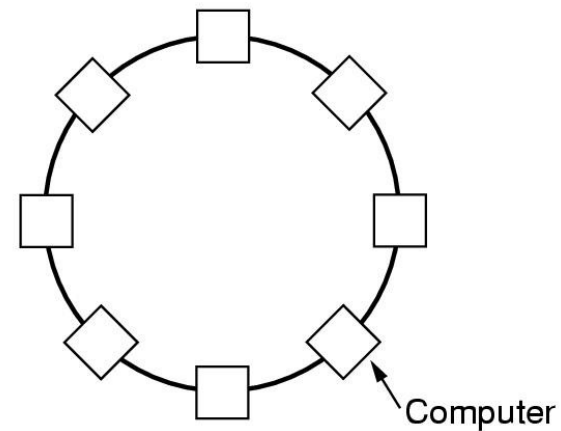
- Uma *rede local* (Local Area Network – LAN) é um conjunto de sistemas computacionais interconectados em uma área limitada, como uma sala, prédio ou campus
- Alta taxa de transmissão da ordem de Mbps (Megabits/seg) ou Gbps (Gigabits/seg)
- Normalmente tem baixas taxas de erro na transmissão
- O meio de transmissão é privado

Redes Locais (LAN)

- Exemplos:
 - Ethernet (a)
 - Token Ring (b)



(a)



(b)

Redes Metropolitanas (MAN)

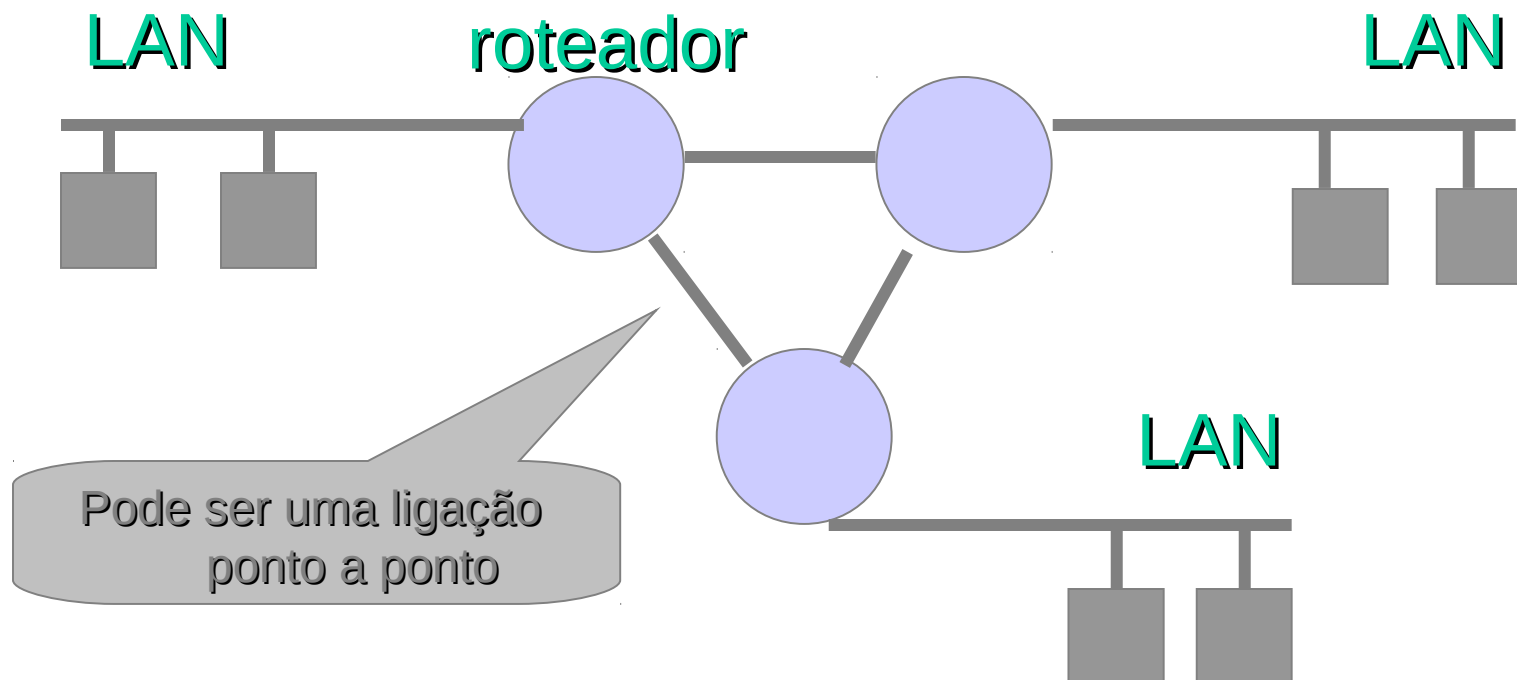
- Uma *rede metropolitana* (Metropolitan Area Network – MAN) pode ser entendida como uma rede local estendida, interconectando prédios, escritórios matriz/filial em uma cidade
 - Ex.: Uma rede dedicada a experimentos que interliga a PUC-Rio com a UFRJ.
- Alta taxa de transmissão da ordem de Mbps (Megabits/seg);
- Baixa taxa de erro na transmissão;

Redes Distribuídas (WAN)

- Uma rede distribuída (Wide Area Network – WAN) permite conectar sistemas ou redes locais geograficamente distantes. Ex.: Comunicação entre estados ou países;
- As taxas de transmissão são, geralmente da ordem de Kbps (Kilobits/seg), mas podem chegar a Mbps (Megabits/seg) ou Gbps;
- As taxas de erros na transmissão são maiores que nas LANs e MANs;
- Os meios de transmissão são geralmente públicos;
- Exemplo:
 - Internet

Redes Distribuídas (WAN)

- A redes WAN utilizam uma tecnologia de transmissão que permite interligar roteadores em distâncias arbitrariamente grandes.



Redes comutadas por pacotes: roteamento

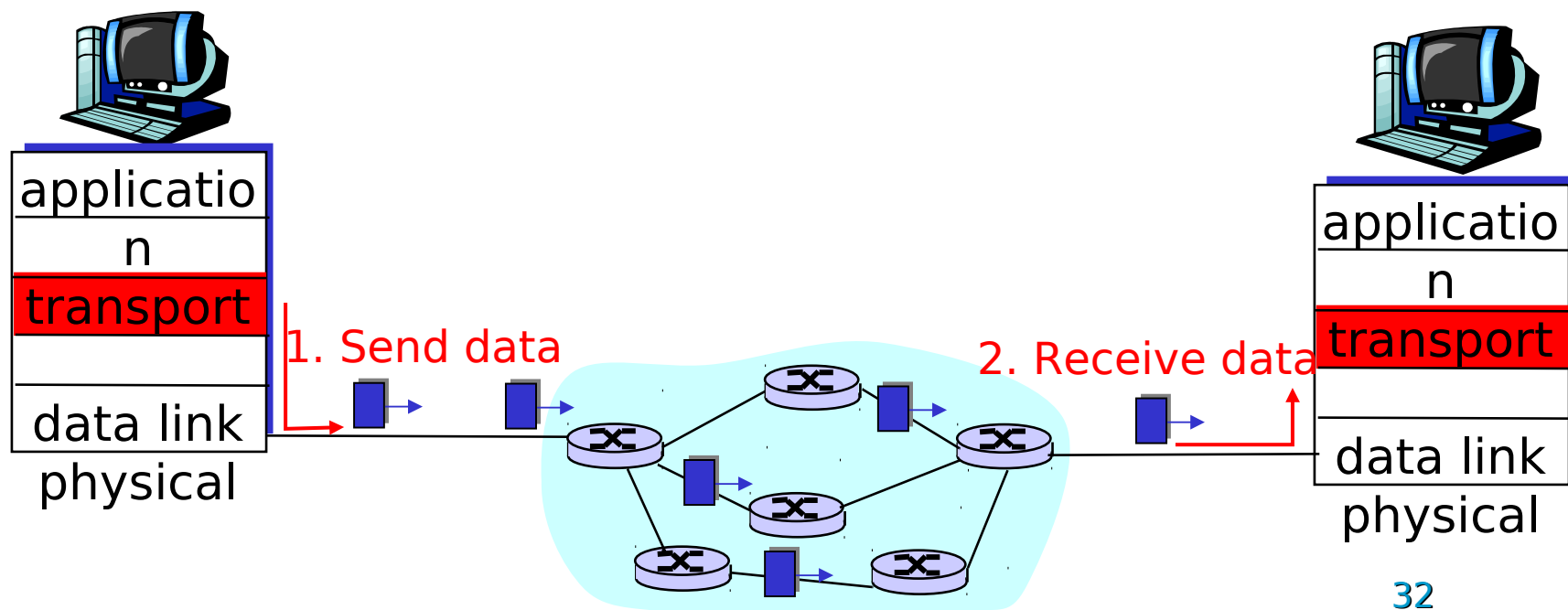
- **Objetivo:** mover pacotes entre roteadores da origem até o destino
 - serão estudados diversos algoritmos de escolha de caminhos
- **redes de datagrama:**
 - *o endereço do destino* determina próxima etapa
 - rotas podem mudar durante a sessão
 - analogia: dirigir, pedindo informações

Redes de 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 (cont.)

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

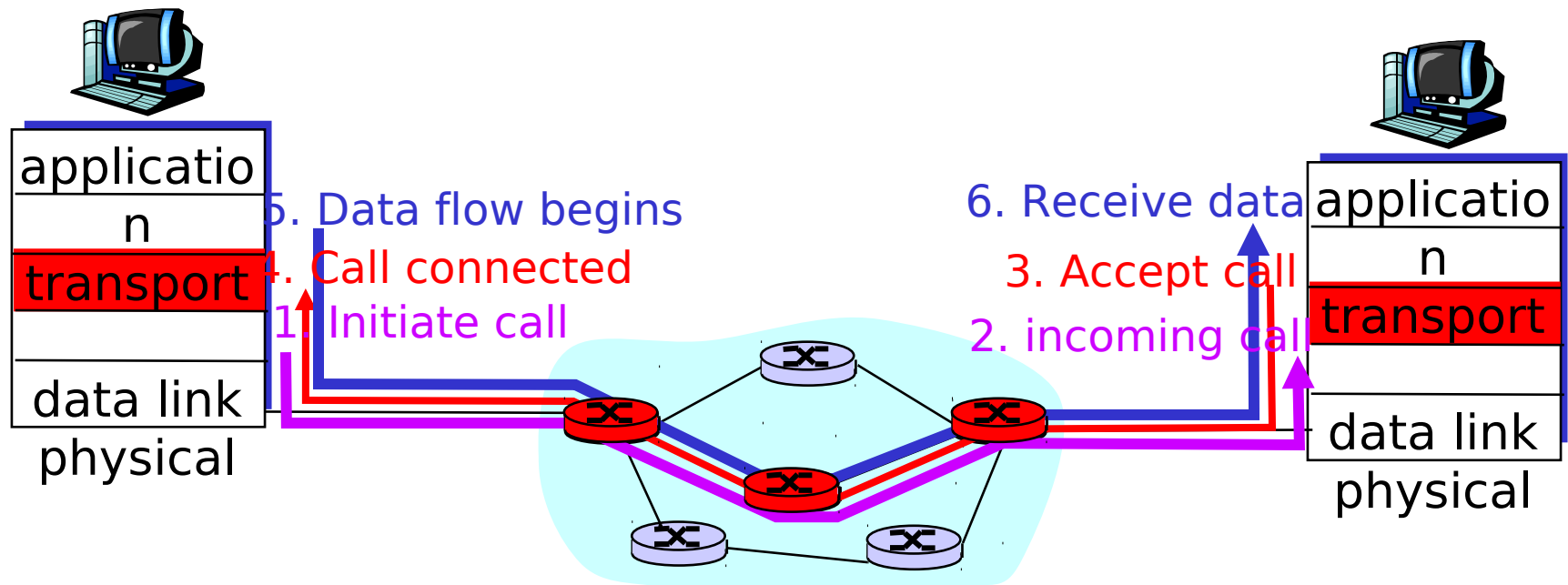


Redes de Circuitos Virtuais

- 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
- 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 (cont.)

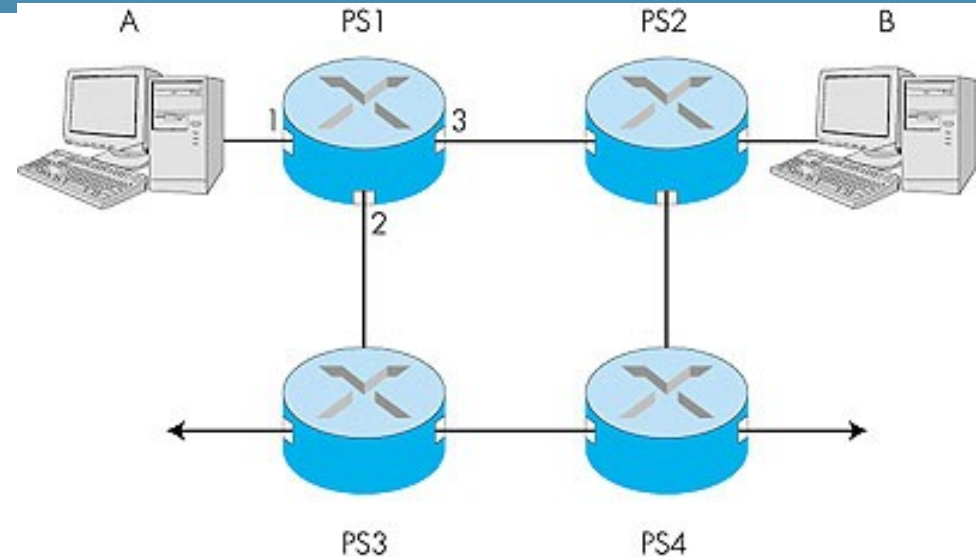
- Protocolo de sinalização
 - Usado para o estabelecimento de circuitos virtuais
 - Antes que transferência de dados real possa ocorrer



Redes de Circuitos Virtuais: Exemplo

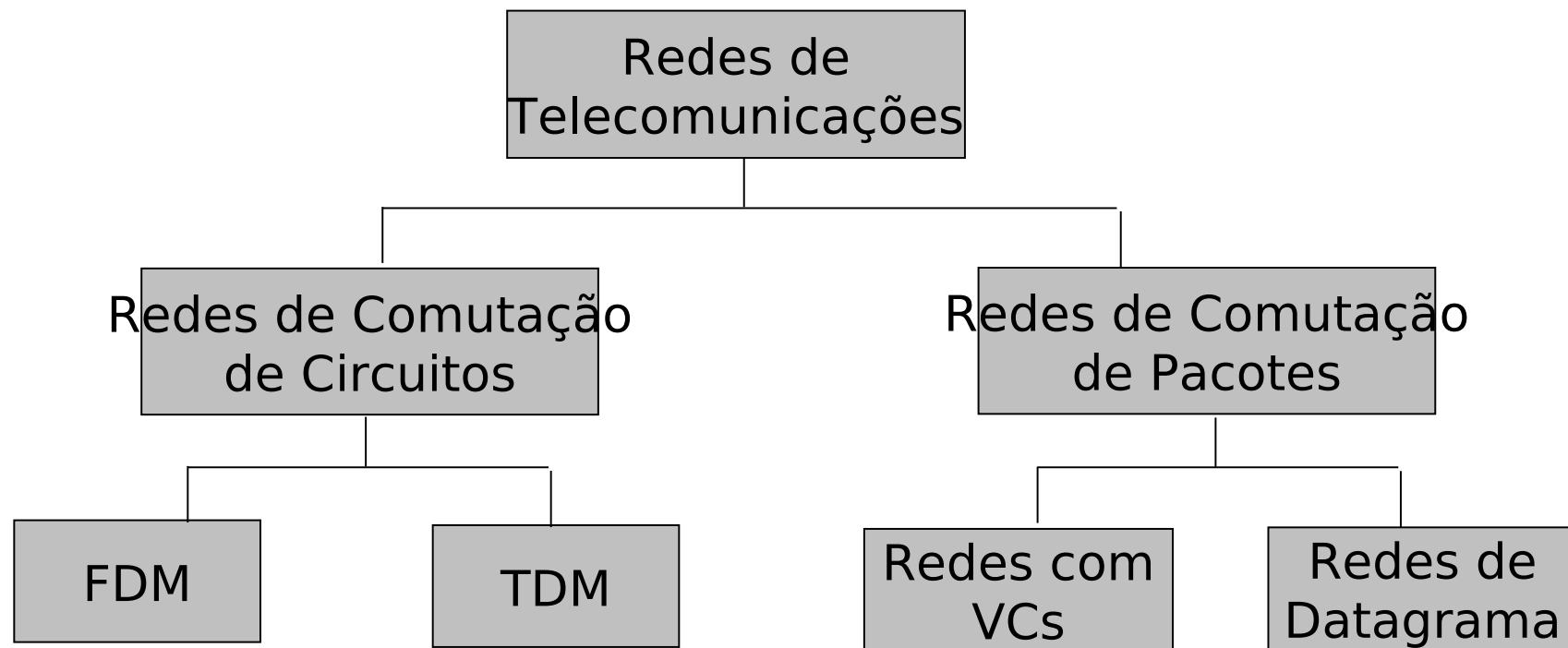
- De A para B
 - A ---- PS1 ---- PS2 ---- B
 - 12 22 32

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
... 35

Taxonomia de Redes de Computadores



- O fato de uma rede ser baseada em datagramas não implica em que ela seja orientada a conexões ou sem conexões
- A Internet oferece ambos os tipos de serviço às aplicações: orientado a conexões (TCP) e sem conexões (UDP)

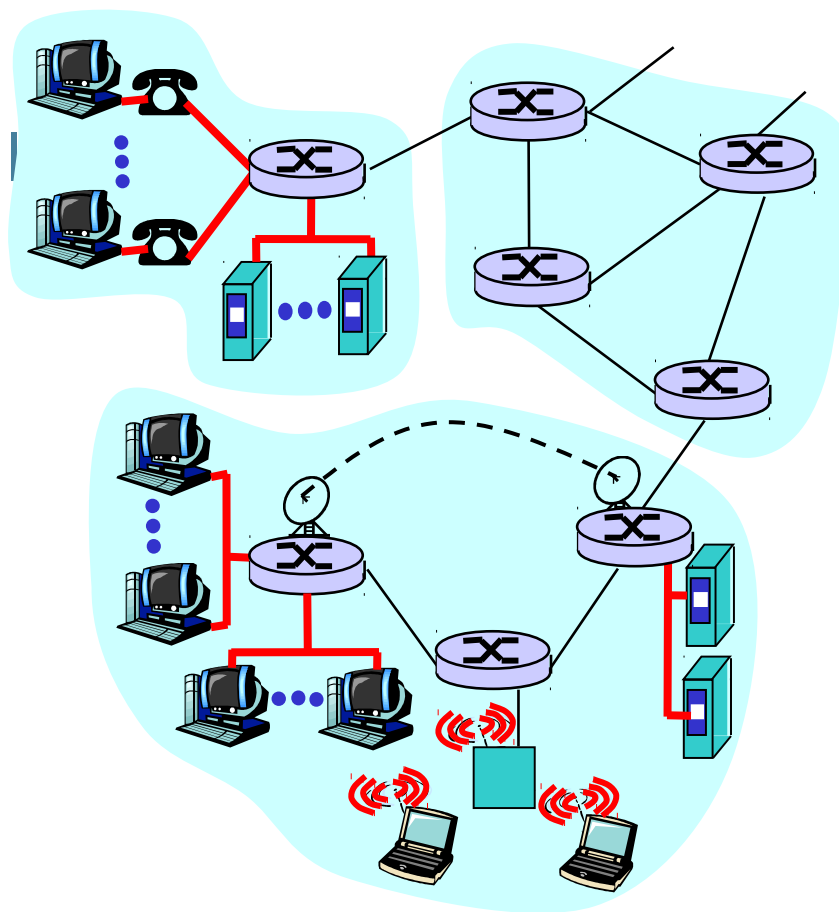
Acesso à rede e meios físicos

P: 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?



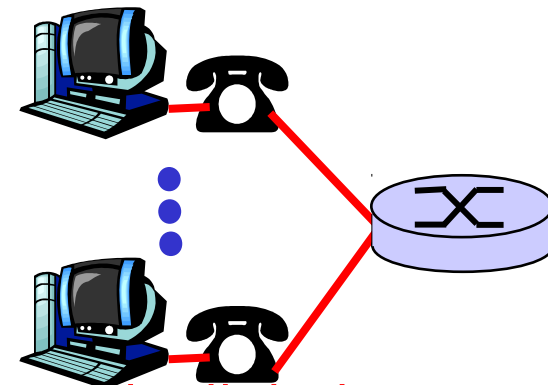
Acesso residencial: acesso ponto-a-ponto

- **Discado (*Dialup*) 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.

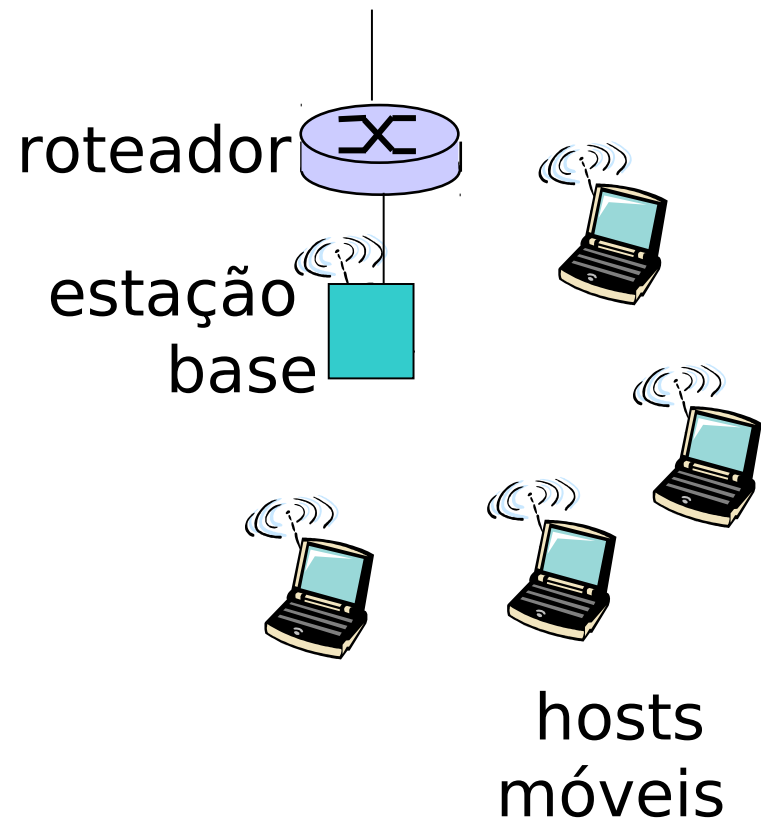


- **ADSL: *asymmetric digital subscriber line***

- 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 (*wireless*)

- rede de acesso compartilhado *sem fio* 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*)



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

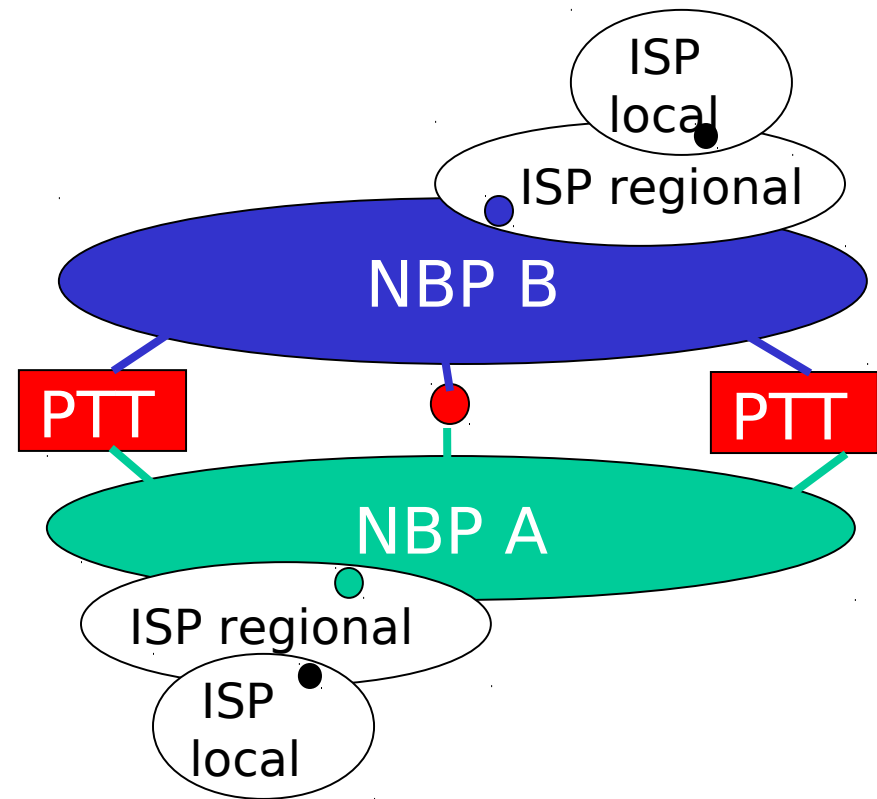
- sinal transportado em ondas eletromagnéticas
- não há “fio” físico
- bidirecional
- efeitos do ambiente de propagação:
 - reflexão
 - obstrução por objetos
 - interferência

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
- **satélite**
 - canal de até 50Mbps (ou múltiplos canais menores)
 - atraso fim a fim de 270 mseg

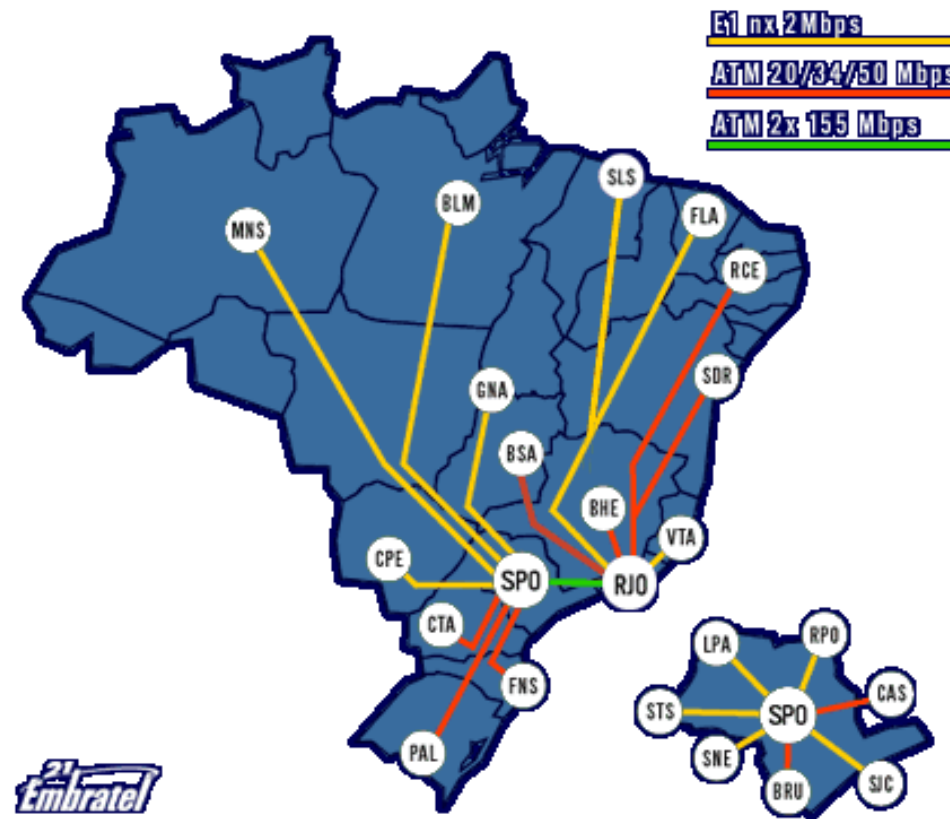
Estrutura da Internet: rede de redes

- 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



Provedor de Backbone Nacional

ex. Embratel



<http://www.embratel.net.br/internet/index.html>

Provedor de Backbone Nacional

ex. RNF

RNP

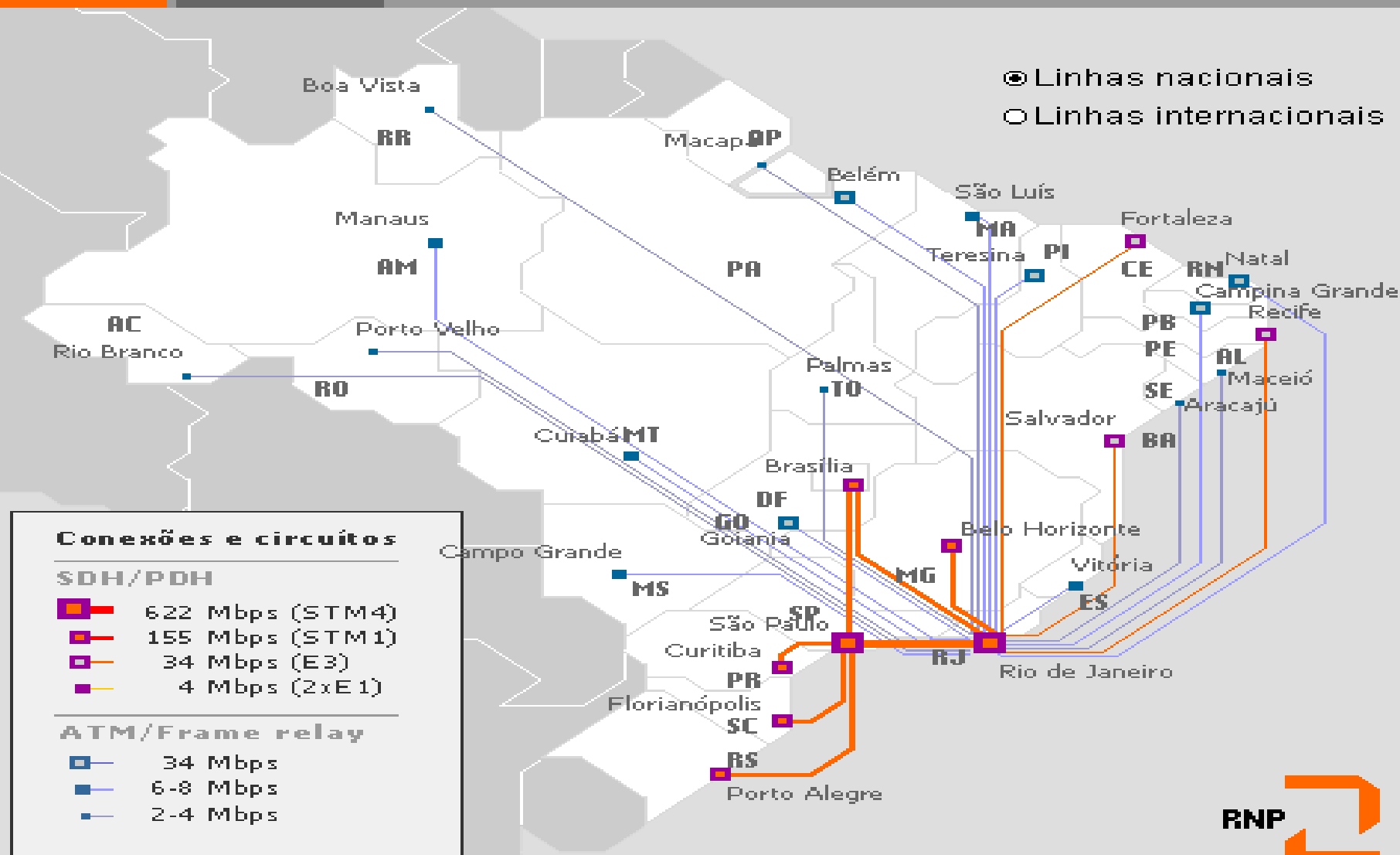


A Internet no Brasil

Backbone RNP em 2004

IP

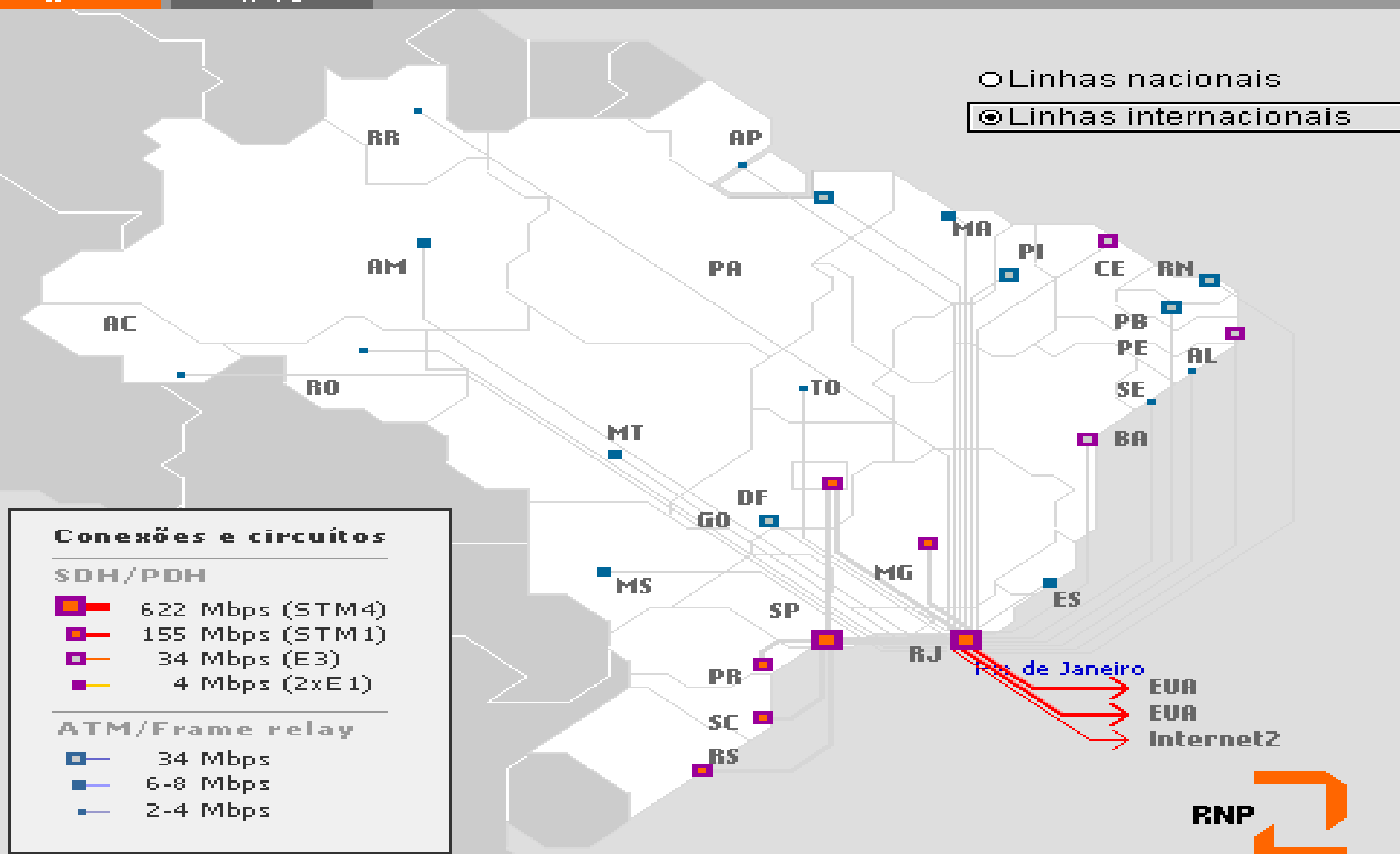
IPv6

☒ exhibir siglas de estados☒ exibir nomes de cidades conectadas

A Internet no Brasil Backbone RNP em 2004

IP

IPv6



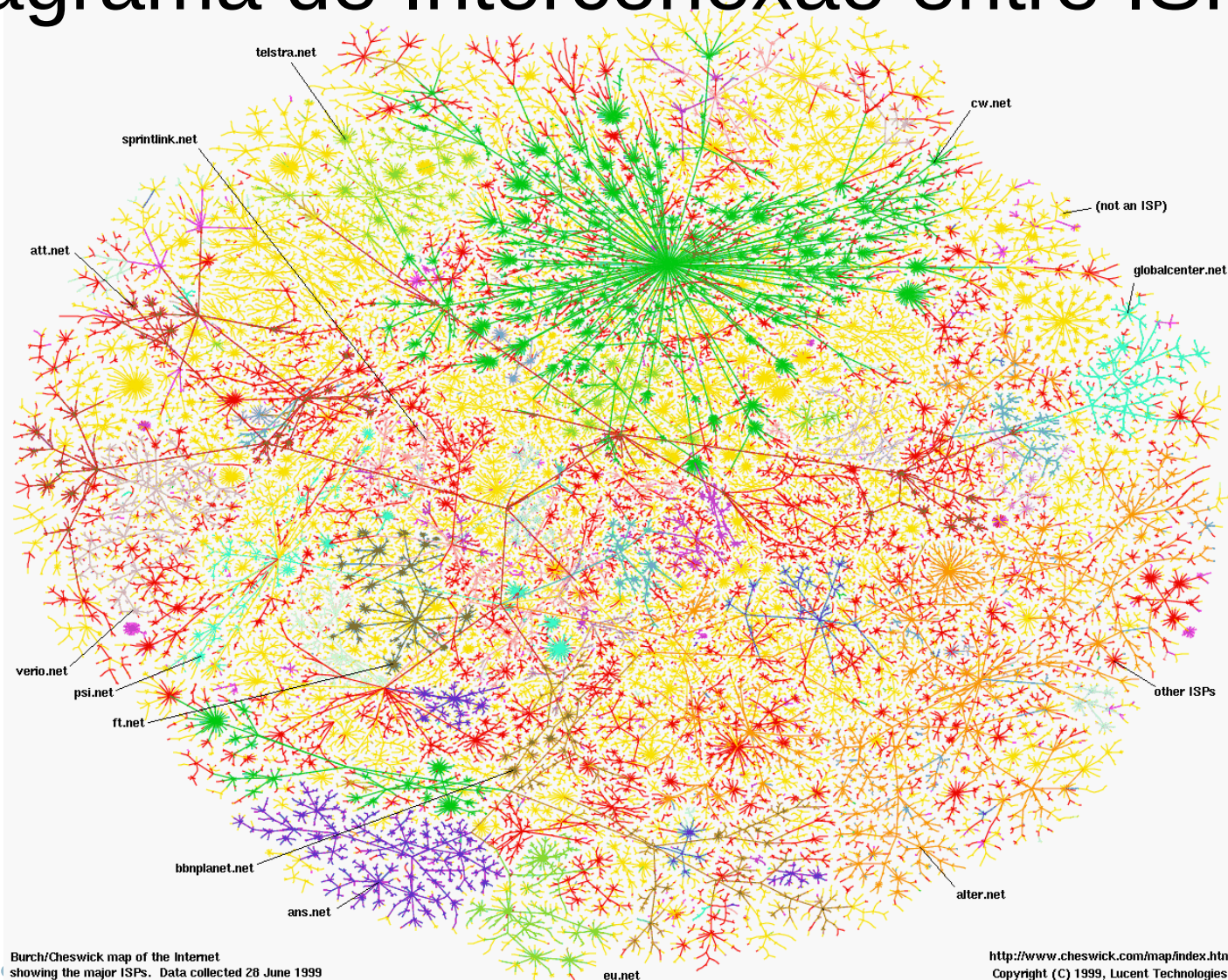
☒ exibir siglas de estados

☒ exibir nomes de cidades conectadas

Internet: Topologia NSFNET em 1992

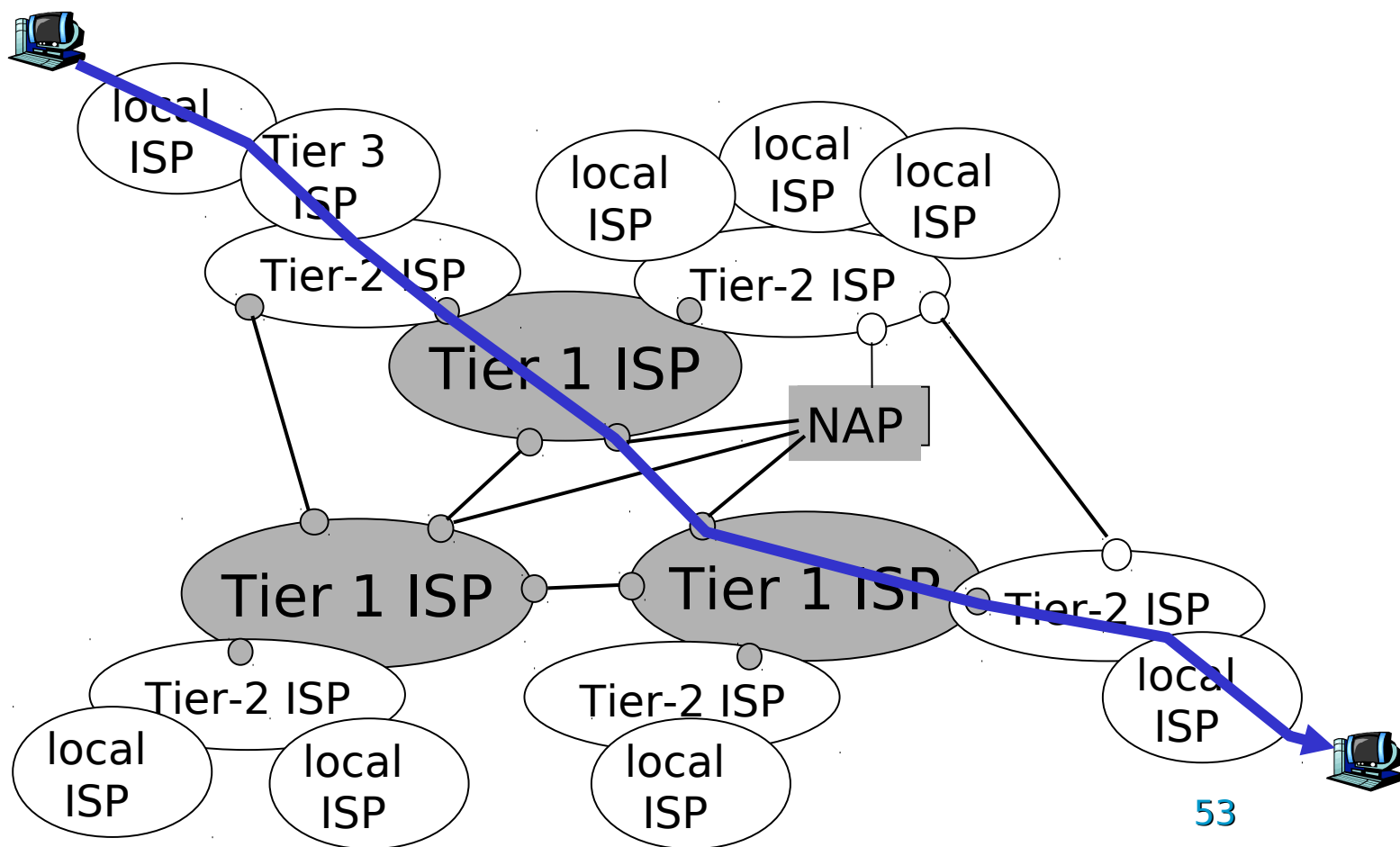


Diagrama de Interconexão entre ISPs



Estrutura da Internet: rede de redes

- Um pacote passa através de várias redes!



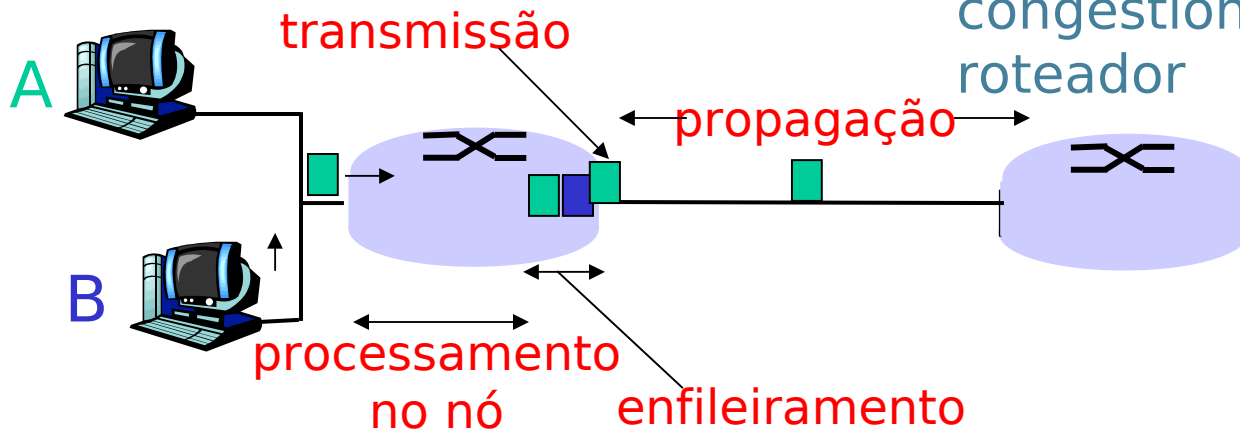
Atraso em redes comutadas por pacotes

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

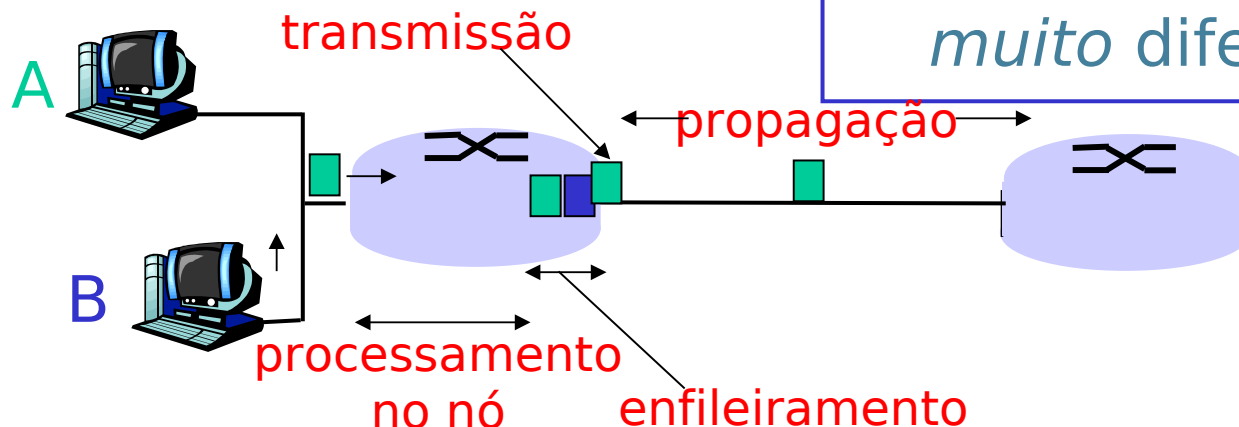
Atraso de transmissão:

- 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

Nota: s e R são valores *muito* diferentes!



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

$$d_{\text{total}} = N(d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

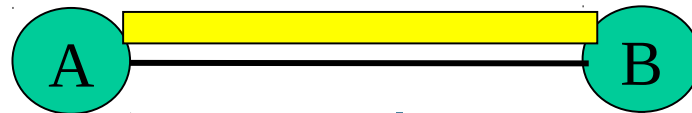
- assumindo que o atraso de enfileiramento é desprezível (rede sem congestionamento)
- pacote passa por N-1 roteadores intermediários

Atraso de transmissão X Atraso de propagação

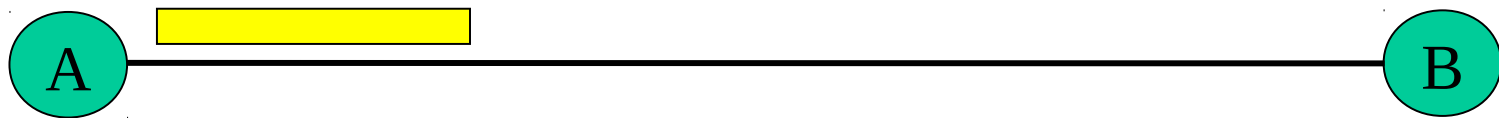
- **Transmissão:** quanto tempo se gasta para o transmissor colocar todos os bits no meio
 - depende da taxa de transmissão do enlace, do tamanho do pacote e disponibilidade do meio (em redes ponto-multiponto)
- **Propagação:** quanto tempo um bit demora para chegar ao outro lado do enlace
 - depende da distância entre origem e destino
- **P:** Qual dos dois será o fator dominante?
- Analisar duas situações especiais:
 - pacotes muito longos e enlaces de curta distância
 - pacotes curtos e enlaces de longa distância

Atraso de transmissão X Atraso de propagação

- pacotes muito longos e enlaces de curta distância:
 - atraso de transmissão domina



- pacotes curtos e enlaces de longa distância:
 - atraso de propagação domina

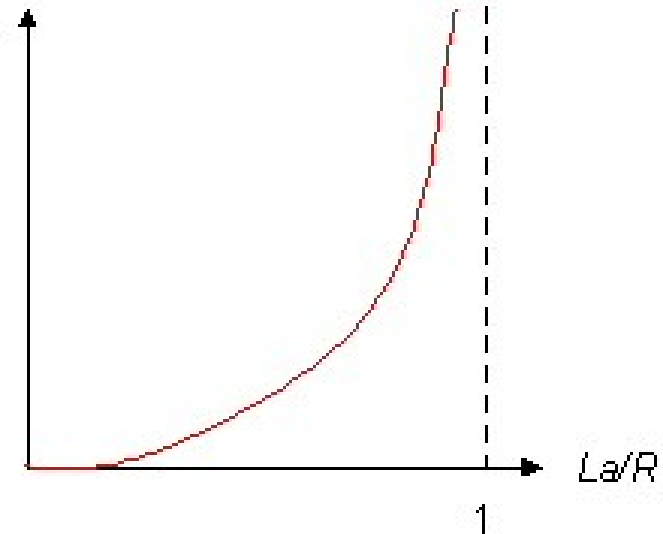


Atraso de enfileiramento

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = compr. do pacote (bits)
- a = taxa média de chegada de pacotes

intensidade de tráfego =
 La/R

average
queueing delay



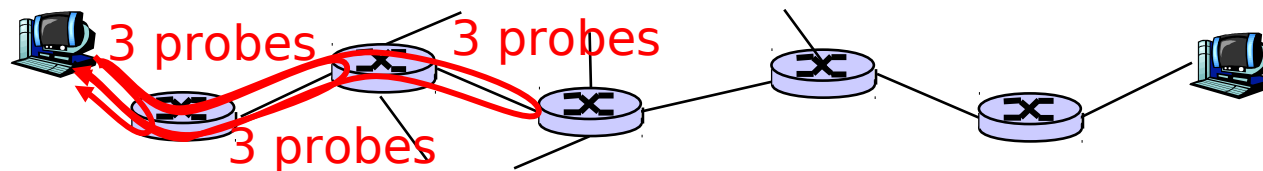
- $La/R \sim 0$: pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R > 1$: chega mais “trabalho” do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito! (assumindo capac. de fila infinita!)

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 (λ/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>

traceroute: exemplo

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



Três medidas distintas

```

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  129 ms  126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)  132 ms  128 ms  136 ms
  
```

enlace trans-
oceânico

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

Referências

- [Kurose, 2004] – Cap. 1
- [Soares, 1995] – Cap. 1