

ARQUITETURA DE REDES DE COMPUTADORES E A INTERNET

Prof. Ricardo José Pfitscher

Baseado em:

“Redes de Computadores e a Internet – Uma Abordagem
Top-Down”

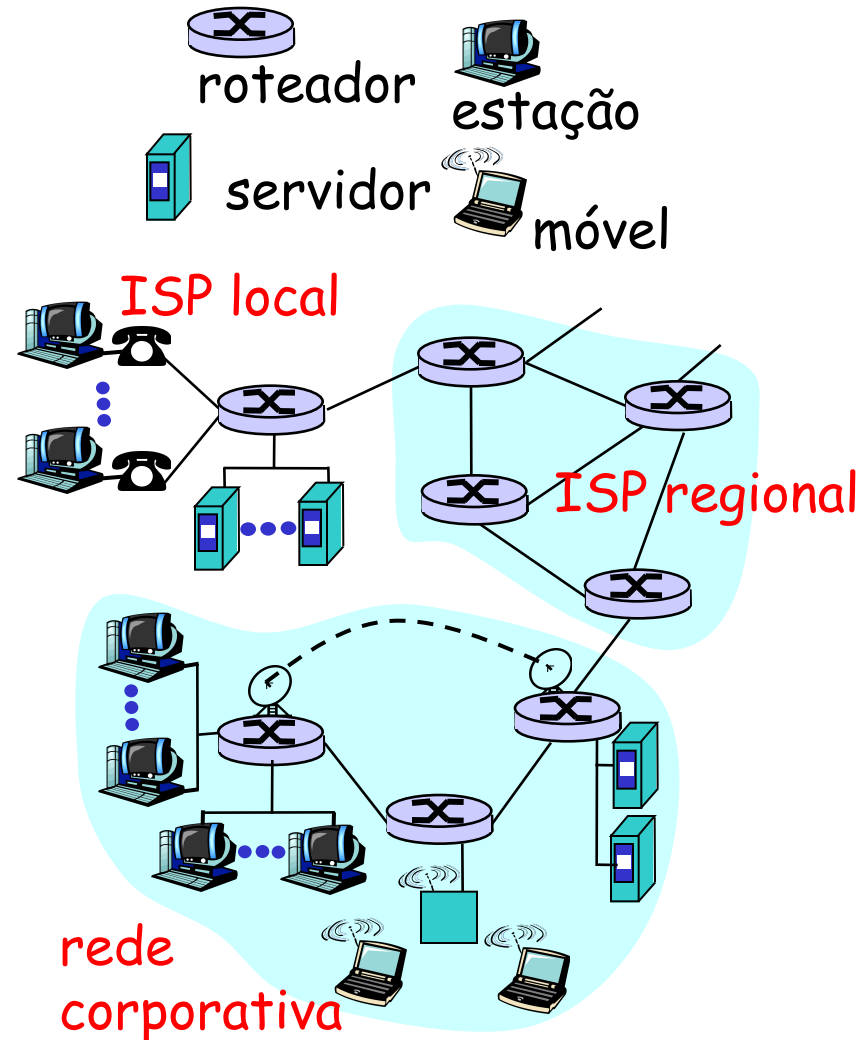
James F. Kurose e Keith W. Ross

Cronograma

- **O que é a Internet**
- O que é um protocolo
- Borda da rede
 - redes de acesso, meios físicos
- Núcleo da rede
- Estrutura de ISPs/Internet
- Desempenho: perda, atraso
- Camadas de protocolos, modelos de serviço

O que é a Internet?

- ❑ Milhões de dispositivos computacionais conectados: *hosts, sistemas finais*
 - ❑ executando *aplicações de rede*
- ❑ *Enlaces de comunicação*
 - ❑ fibra, par trançado, rádio, satélite
 - ❑ taxa de transmissão = *largura de banda = bandwidth*
- ❑ *Roteadores*: encaminham pacotes (segmentos de dados)



Alguns dispositivos Internet



Porta-retrato IP

<http://www.ceiva.com/>



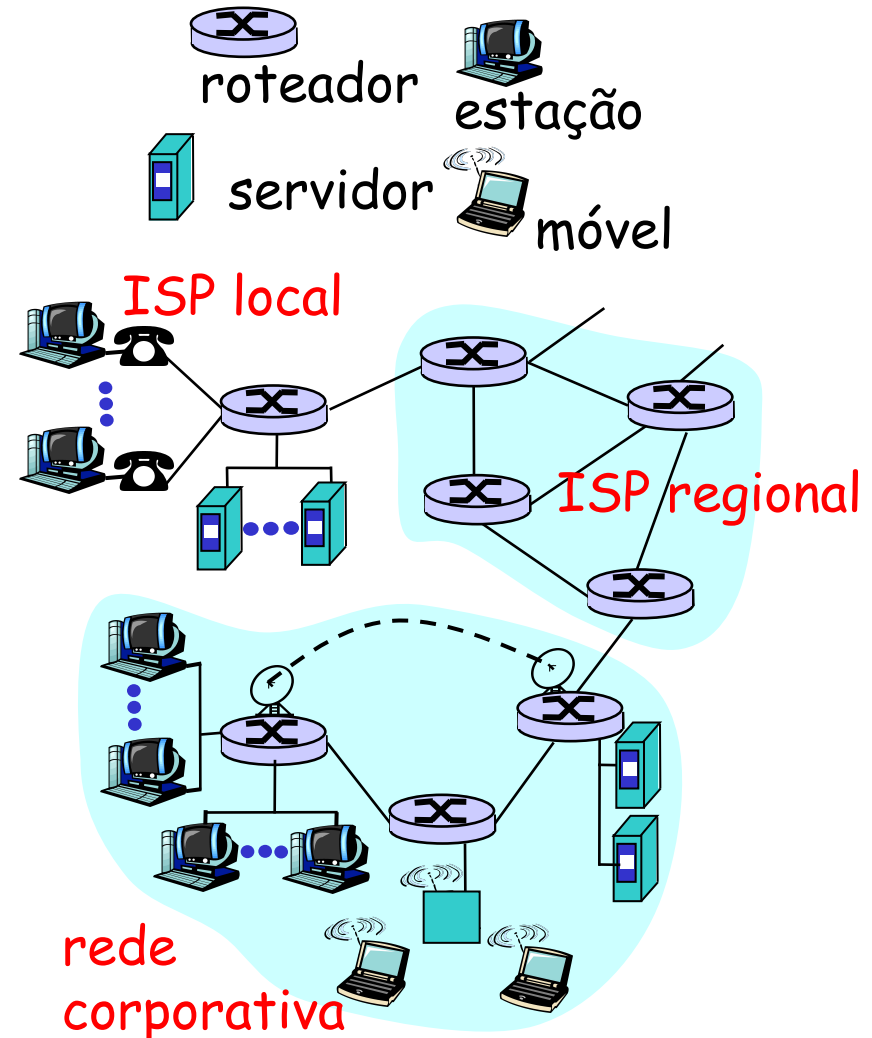
Menor servidor web do mundo



Torradeira com acesso a web que fornece a previsão do tempo

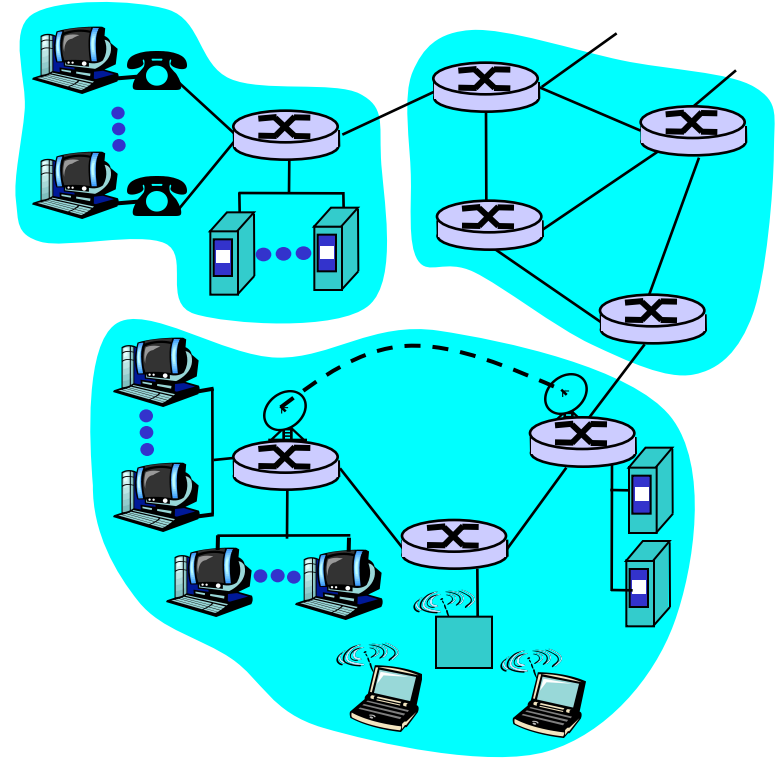
O que é a Internet: Componentes

- **Protocolos** controlam envio e recepção de mensagens
 - ex: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- **Internet: “rede de redes”**
 - organização hierárquica
 - Internet pública vs. intranets privadas
- Padrões da Internet
 - RFC: Request for Comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



O que é a Internet: Visão de serviço

- **Infraestrutura de comunicação** que dá suporte a aplicações distribuídas:
 - Web, email, jogos, e-commerce, BD, telefonia, compartilhamento de arquivos
- **Serviços de comunicação** fornecidos às aplicações:
 - entrega confiável de dados entre origem e destino
 - melhor esforço, sem garantias de entrega



Cronograma

- O que é a Internet
- **O que é um protocolo**
- Borda da rede
 - redes de acesso, meios físicos
- Núcleo da rede
- Estrutura de ISPs/Internet
- Desempenho: perda, atraso
- Camadas de protocolos, modelos de serviço

O que é protocolo?

- protocolos humanos:

- “que horas são?”
- “Eu tenho uma pergunta”

... msgs específicas
enviadas

... ações específicas
tomadas quando
msgs recebidas, ou
outros eventos

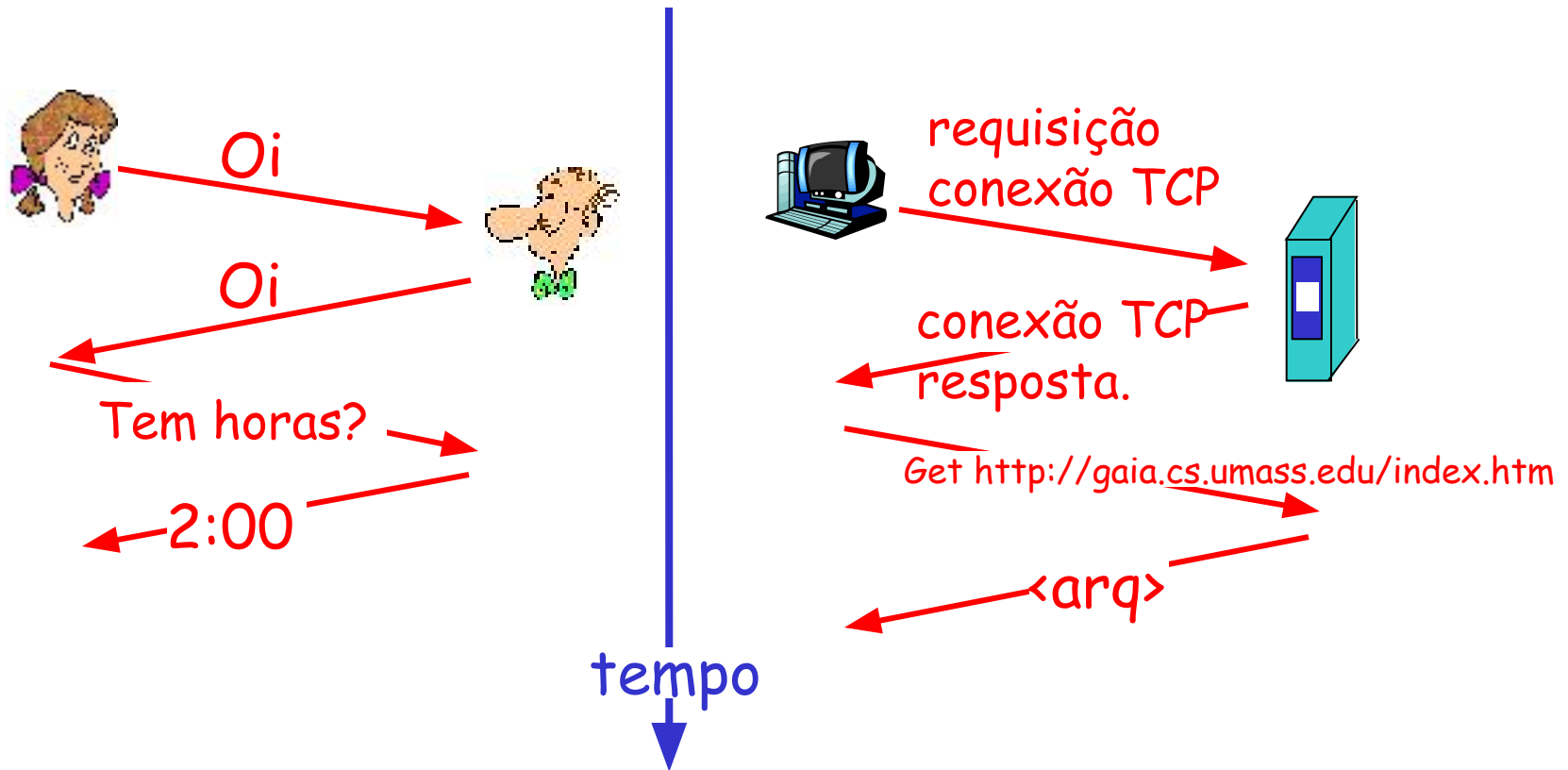
- protocolos de rede:

- máquinas em vez de humanos
- toda atividade de comunicação na Internet governada por protocolos

protocolos definem formatos, ordens de mensagens enviadas e recebidas entre entidades de rede, e ações tomadas

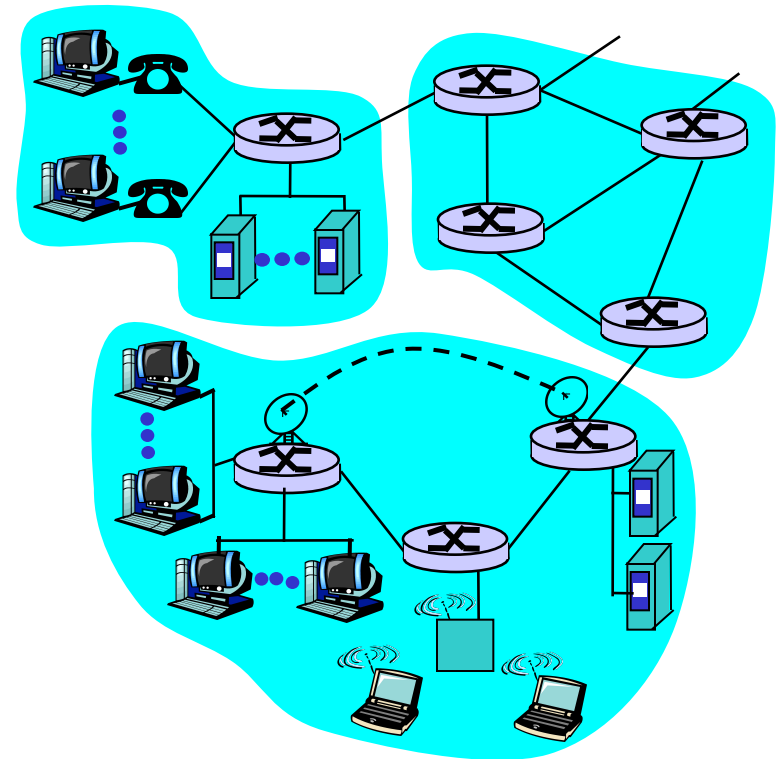
O que é protocolo?

- um protocolo humano e um protocolo computacional de rede:



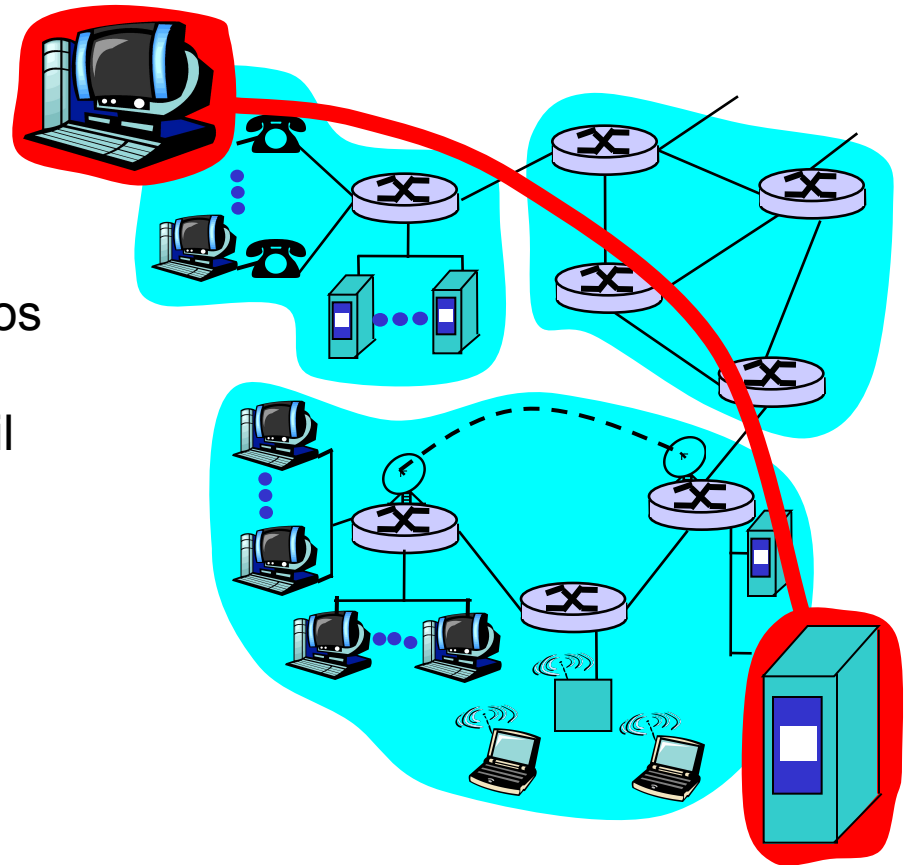
Estrutura de uma rede (ex. Internet)

- Rede de redes
- **borda da rede:** aplicações e hosts
- **núcleo da rede:**
 - roteadores



Borda da rede

- o **sistemas finais (hosts)**
 - o executam programas de aplicação
 - o ex.: WWW, e-mail
- o **modelo cliente/servidor**
 - o cliente solicita e recebe serviços oferecidos por um servidor
 - o ex.: Web browser/server; email client/server
- o **modelo peer-to-peer**
 - o uso mínimo de servidores dedicados
 - o ex.: Skype, BitTorrent



Borda da rede: serviço **com** conexão

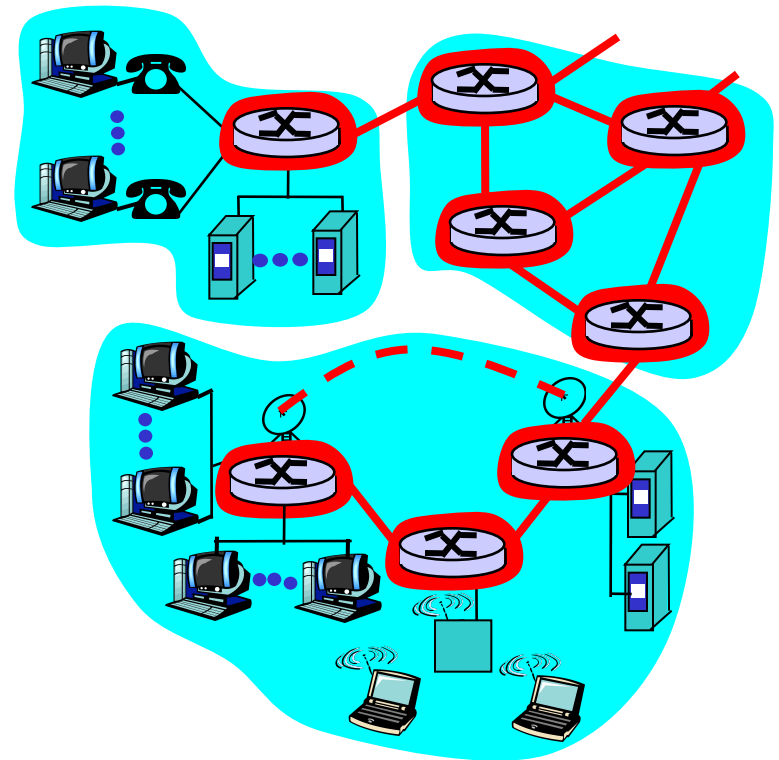
- Objetivo: transferir dados entre hosts
- *handshaking*: preparação antes de começar a transferir os dados
- troca de cumprimentos no protocolo humano
 - *definem “estado”* nos hosts que se comunicam
- TCP - Transmission Control Protocol
 - serviço orientado a conexão da Internet
- Serviço TCP [RFC 793]
 - transferência de fluxos de bytes *confiável e ordenada*
 - perdas: reconhecimentos e retransmissões
 - *controle de fluxo*:
 - emissor não sobrecarrega o receptor
 - *controle de congestionamento*:
 - emissores reduzem suas taxas de envio quando a rede está congestionada

Borda da rede: serviço **sem** conexão

- Objetivo: transferir dados entre sistemas finais
 - mesmo de antes!
- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]: serviço sem conexão da Internet
 - transferência de dados não confiável
 - sem controle de fluxo
 - sem controle de congestionamento
- Aplicações que usam TCP:
 - HTTP (Web), FTP (transferência de arquivos), Telnet (login remoto), SMTP (email)
- Aplicações que usam UDP:
 - vídeo, DNS, telefonia Internet

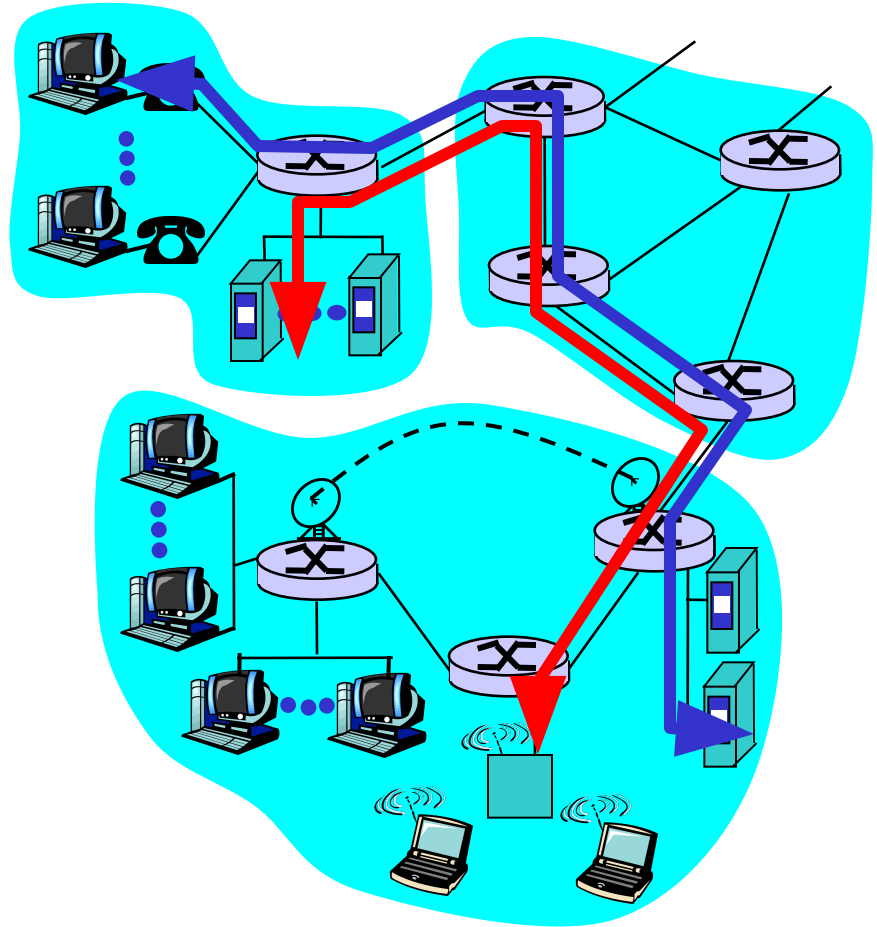
Núcleo da rede

- Malha de roteadores interconectados
- **Questão fundamental:** como os dados são transferidos através da rede?
 - **comutação de circuitos:** circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - **comutação de pacotes:** dados enviados através da rede em “pedaços”



Comutação de circuitos

- Recursos fim a fim reservados por chamada
- recursos são: largura de banda no enlace, capacidade no switch
- recursos dedicados: sem compartilhamento
- desempenho garantido
- requer setup no início da chamada



Comutação de Pacotes

- Cada fluxo de dados fim a fim é dividido em *pacotes*
- pacotes dos usuários A, B *compartilham* os recursos da rede
- cada pacote usa toda a banda do canal
- recursos são usados *quando necessário*

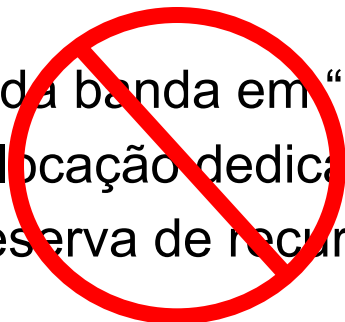
Disputa por recursos:

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

Divisão da banda em “pedaços”

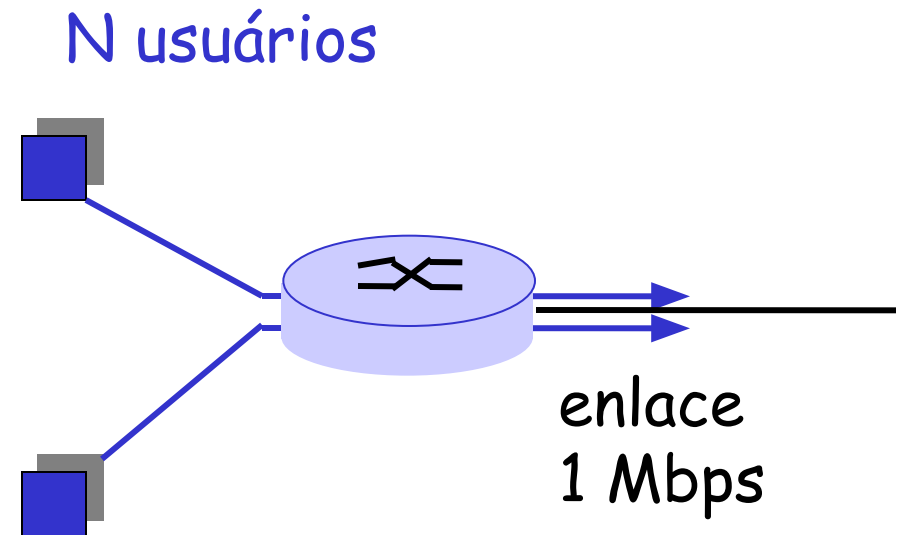
Alocação dedicada

Reserva de recursos



Comutação de circuitos vs comutação de pacotes

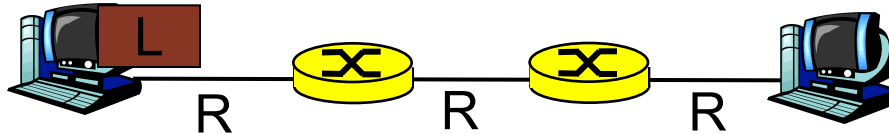
- Comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!
- Enlace 1 Mbit
- cada usuário:
 - 100Kbps qdo “ativo”
 - ativo 10% do tempo
- comutação de circuitos:
 - 10 usuários
- comutação de pacotes:
 - com 35 usuários, probabilidade > 10 ativos menor que .0004



Comutação de circuitos vs comutação de pacotes

- **A comutação de pacotes ganha de lavada?**
- Ótima para dados em 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

Comutação de pacotes: armazene-e-retransmita (*store-and-forward*)



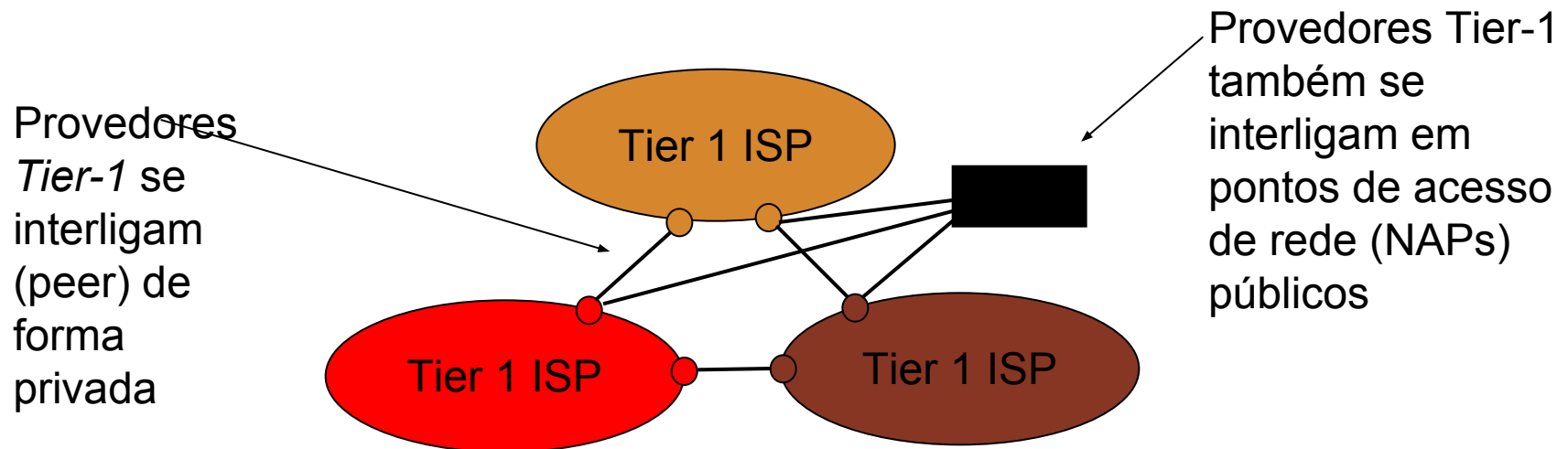
- Leva L/R segundos para transmitir um pacote de L bits em um canal de R bps
 - Todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo canal:
armazene e retransmita
 - atraso = $3L/R$
- Exemplo:
 - $L = 7,5$ Mbits
 - $R = 1,5$ Mbps
 - atraso = 15 seg

Cronograma

- O que é a Internet
- O que é um protocolo
- Borda da rede
 - redes de acesso, meios físicos
- Núcleo da rede
- **Estrutura de ISPs/Internet**
- Desempenho: perda, atraso
- Camadas de protocolos, modelos de serviço

Estrutura da Internet: rede de redes

- Quase hierárquica
- **No centro: ISPs “tier-1”** (ex. UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T), cobertura nacional/internacional
 - trata os demais como iguais



Provedor de *Backbone* Nacional

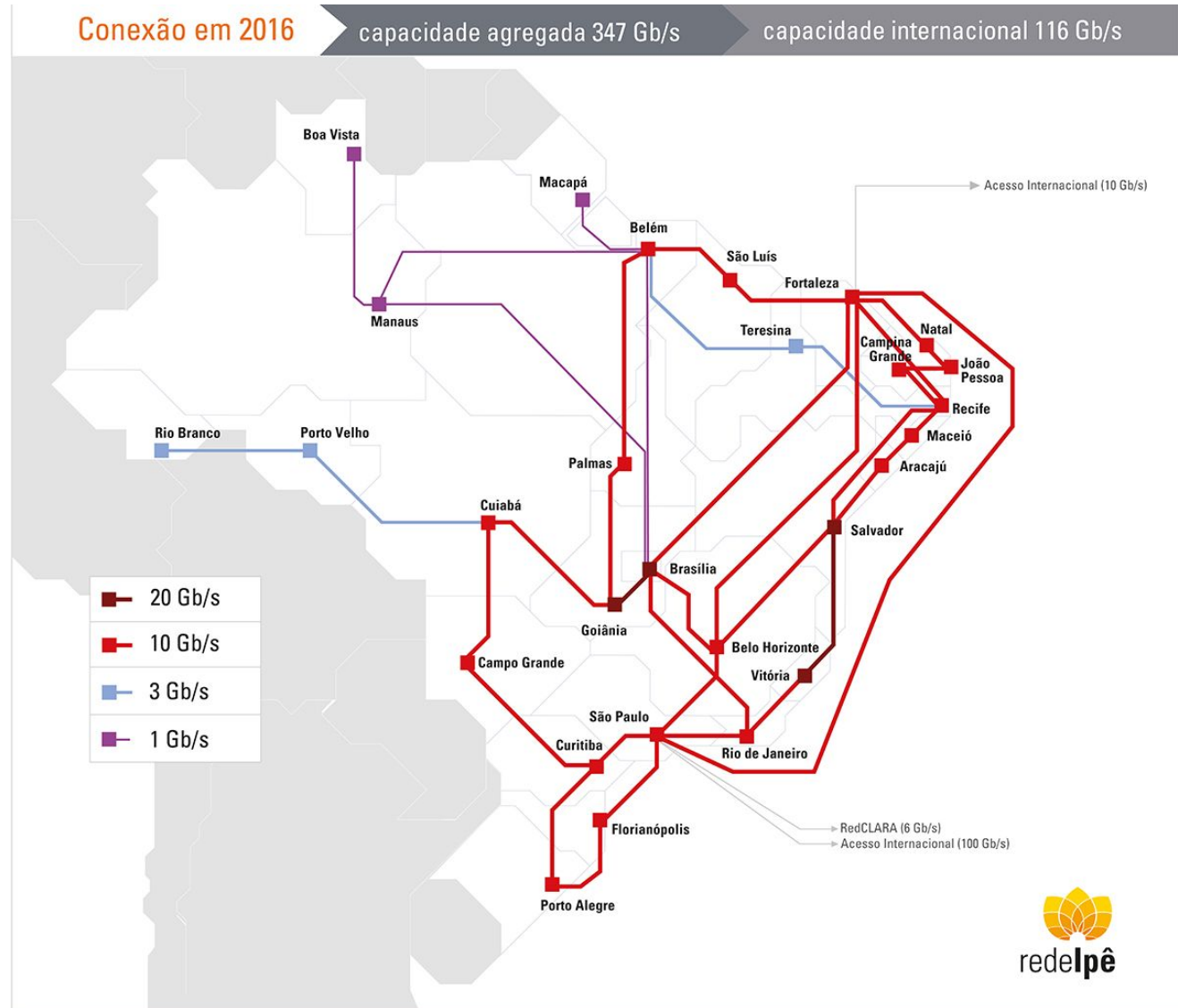
ex. RNP

Conexão em 2016

capacidade agregada 347 Gb/s

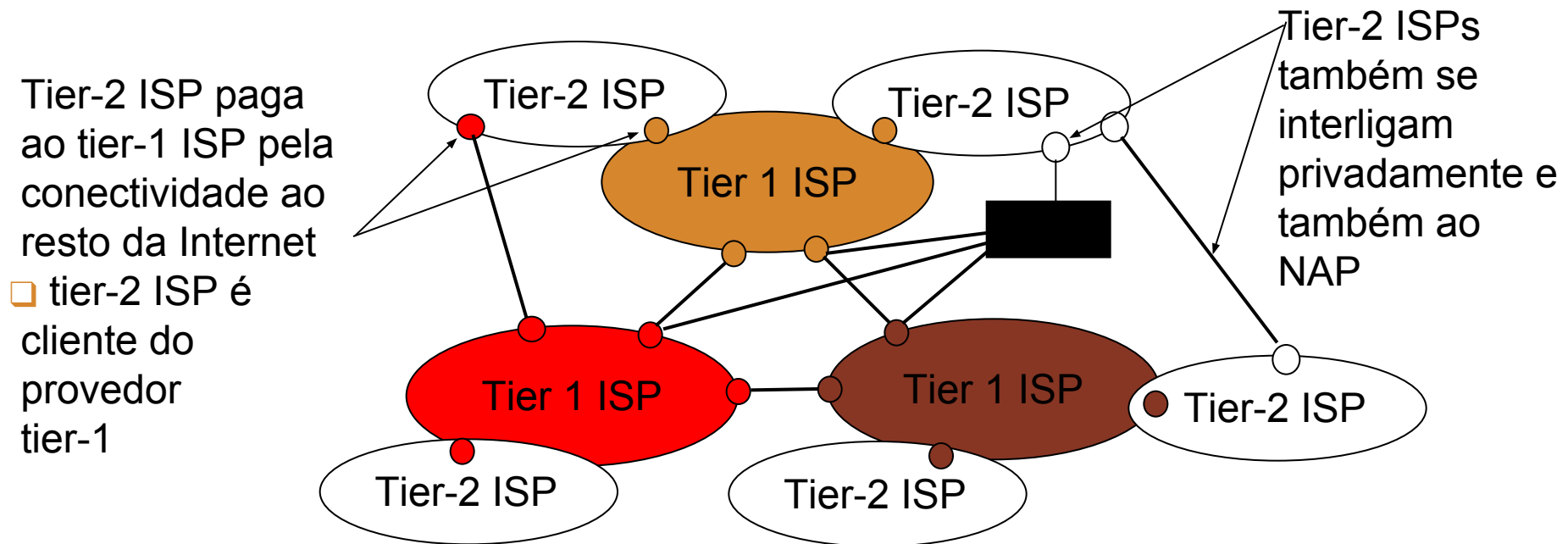
capacidade internacional 116 Gb/s

<http://www.rnp.br>



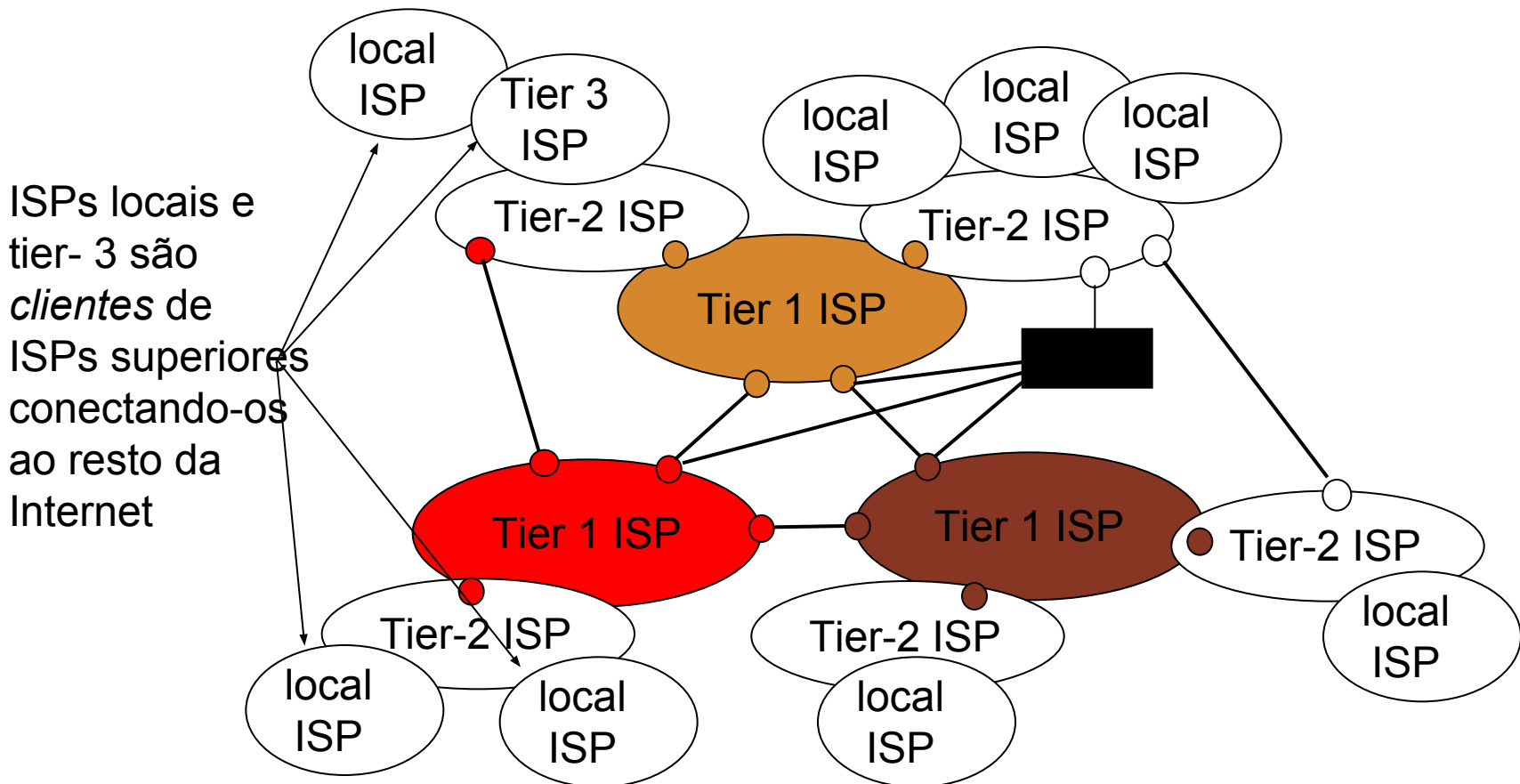
Estrutura da Internet: rede de redes

- “Tier-2” ISPs: ISPs menores (frequentemente regionais)
 - Conexão a um ou mais ISPs tier-1, possivelmente a outros ISPs tier-2



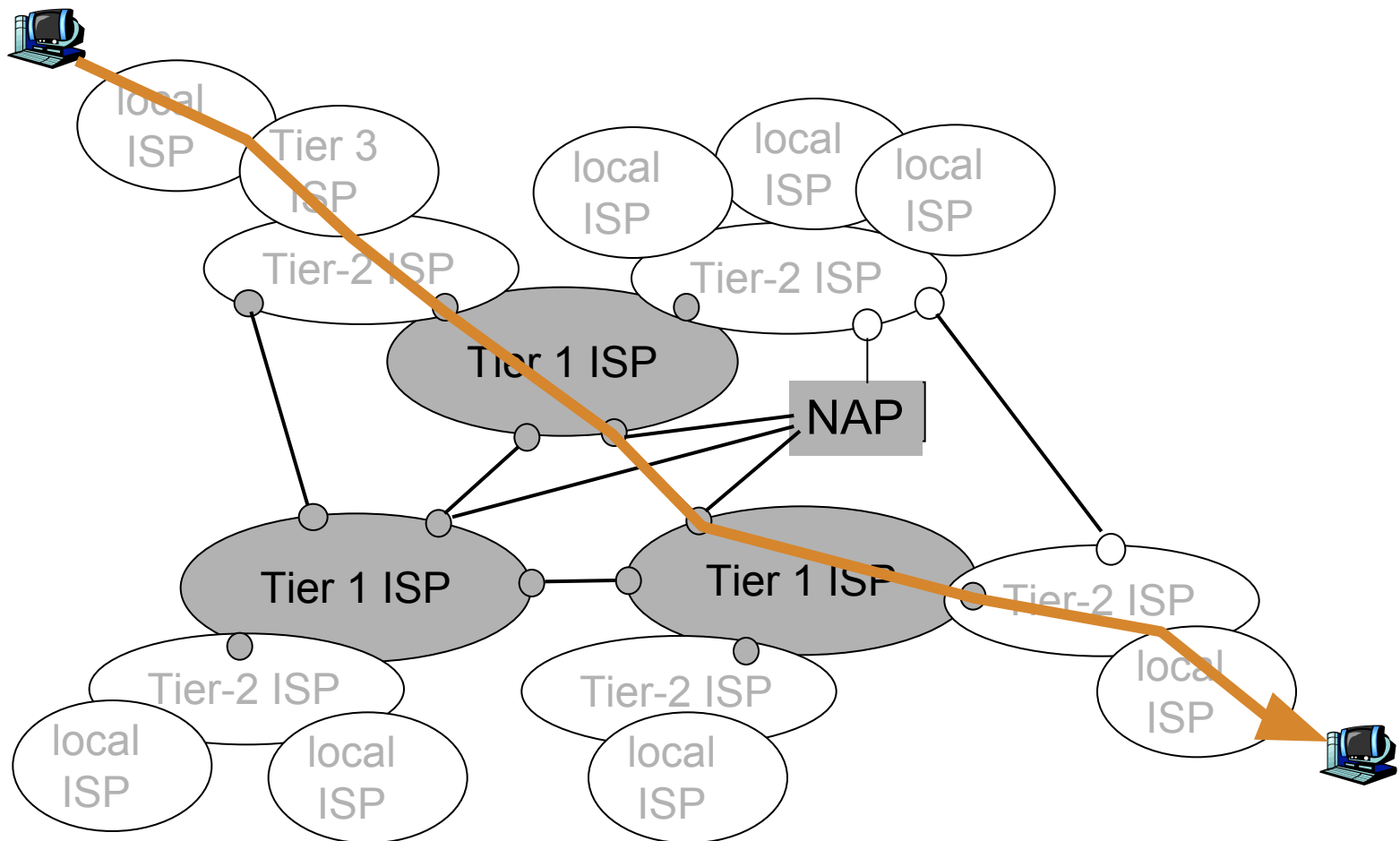
Estrutura da Internet: rede de redes

- “Tier-3” ISPs e ISPs locais
 - rede de última milha (“acesso”) (próximo aos sistemas finais)



Estrutura da Internet: rede de redes

- um pacote passa por muitas redes!



Atividade - ISPs

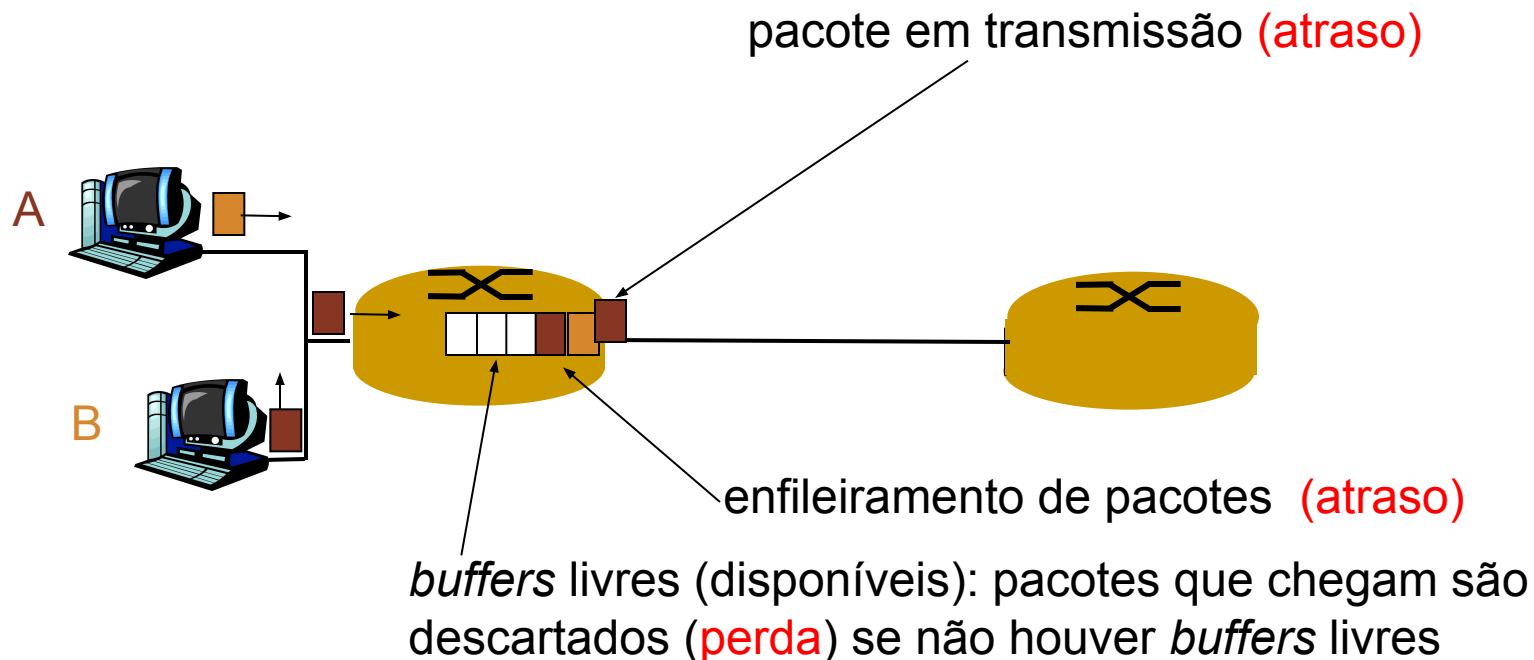
- Pesquisa:
 - Cite exemplos de ISPs nível 1, 2 e 3 no Brasil
- Atenção, guarde esses resultados, eles serão aproveitados!

Cronograma

- O que é a Internet
- O que é um protocolo
- Borda da rede
 - redes de acesso, meios físicos
- Núcleo da rede
- Estrutura de ISPs/Internet
- **Desempenho: perda, atraso**
- Camadas de protocolos, modelos de serviço

Como ocorrem as perdas e atrasos?

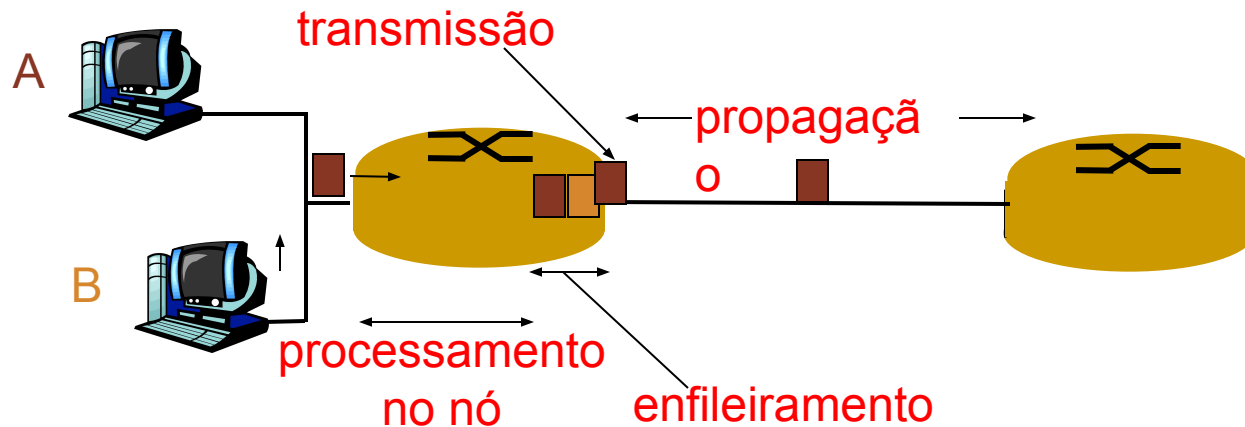
- Pacotes enfileiram nos buffers do roteador
- taxa de chegada de pacotes ao enlace excede a capacidade do enlace de saída
- pacotes são enfileirados, esperam pela vez



Fontes de atraso de pacotes

- 1. Atraso de processamento no nó:
 - verificação de bits errados
 - identificação do enlace de saída

- 2. Atraso de enfileiramento
 - tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
 - depende do nível de congestionamento do roteador



Fontes de atraso de pacotes

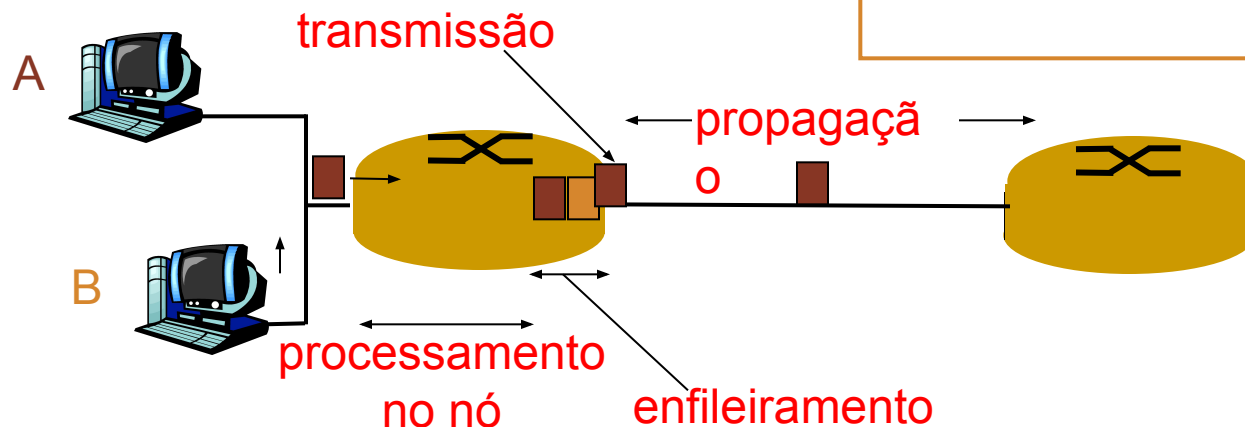
• 3. Atraso de transmissão:

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

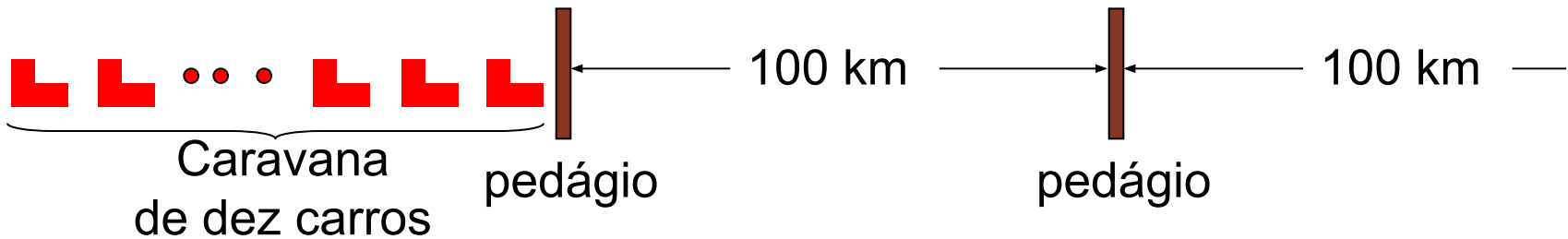
• 4. Atraso de propagação:

- 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!

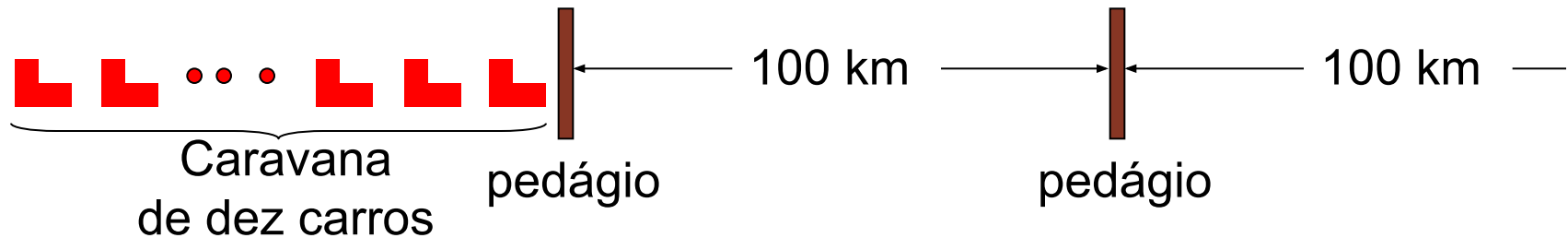


Analogia com uma Caravana



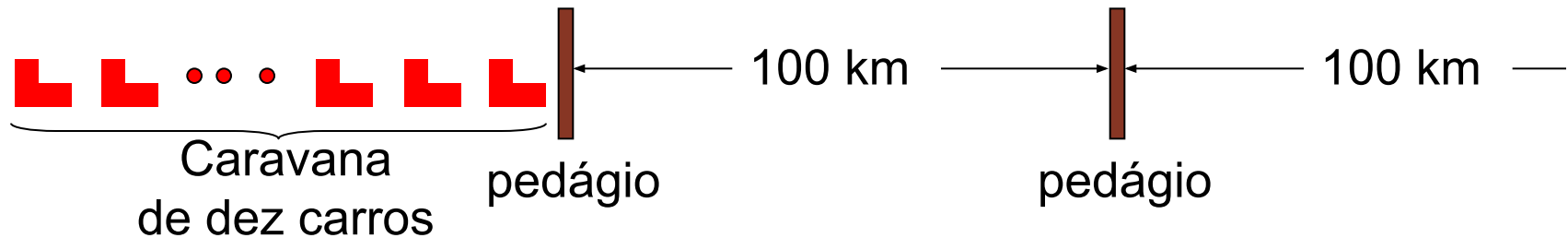
- Os carros se “propagam” a 100 km/h
- O pedágio leva 12 seg para atender um carro (tempo de transmissão)
- carro ~ bit; caravana ~ pacote
- P: Quanto tempo leva até que a caravana esteja enfileirada antes do segundo pedágio?

Analogia com uma Caravana



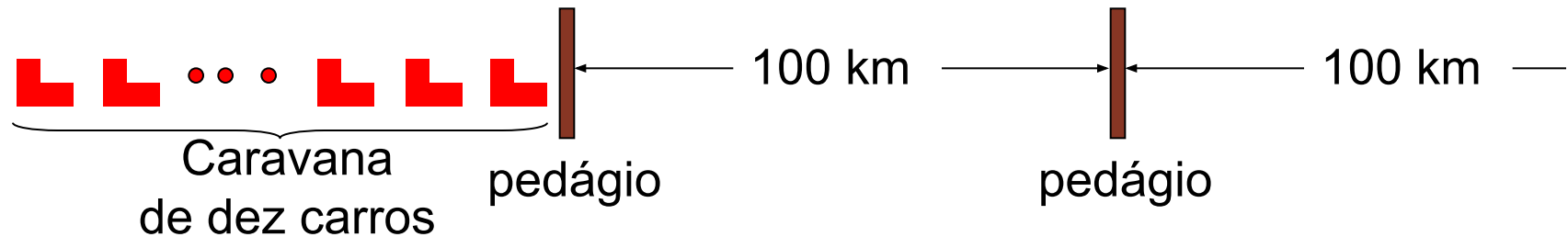
- Os carros se “propagam” a 100 km/h
- O pedágio leva 12 seg para atender um carro (tempo de transmissão)
- carro ~ bit; caravana ~ pacote
- P: Quanto tempo leva até que a caravana esteja enfileirada antes do segundo pedágio?
- Tempo para “atravessar” toda a caravana através do pedágio para a estrada = $12 \times 10 = 120$ seg
- Tempo para que o último carro se propague do primeiro para o segundo pedágio:
 $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$ h
- R: 62 minutos

Analogia com uma caravana (2)



- Os carros agora se “propagam” a 1000 km/h
- Os pedágios agora levam em torno de 1 min para atender um carro
- **P:** Os carros chegarão ao segundo pedágio antes que todos os carros tenham sido atendidos no primeiro pedágio?

Analogia com uma caravana (2)



- Os carros agora se “propagam” a 1000 km/h
- Os pedágios agora levam em torno de 1 min para atender um carro
- **P:** Os carros chegarão ao segundo pedágio antes que todos os carros tenham sido atendidos no primeiro pedágio?

- **Sim!** Após 7 min, o 1o. carro chega ao 2o. pedágio e ainda há 3 carros no 1o. pedágio
- O 1o. bit do pacote pode chegar ao 2o. roteador antes que o pacote tenha sido totalmente transmitido no 1o. roteador!
 - Veja o applet “Transmission vs Propagation Delay” no site do Kurose
 - http://wps.aw.com/br_kurose_redes_3/

Perda de pacotes

- ❑ Fila (buffer) anterior a um canal possui capacidade finita
- ❑ Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- ❑ O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido

Atrasos e rotas “reais”

tracert: lista roteadores e atrasos de ida e volta no caminho da origem até o destino

também: pingplotter, vários programas windows (tracert)

<https://registro.br/cgi-bin/nicbr/trt>

```
C:\Users\rjpfitscher>tracert google.com.br
```

```
Rastreando a rota para google.com.br [2800:3f0:4004:801::2003]
com no máximo 30 saltos:
```

```

 1      <1 ms      <1 ms      <1 ms      2804:0:2460:3000::1
 2      <1 ms      <1 ms      <1 ms      ifrs-poa.metropoa.tche.br
    [2804::c03d]
 3      <1 ms      <1 ms      <1 ms      2804:0:0:bac::a253
 4      <1 ms      <1 ms      <1 ms      rs2-lanrs-2.bkb-v6.rnp.br
    [2001:12f0:0:fd::c1]
 5      15 ms      15 ms      16 ms      pr-rs2-oi.bkb-v6.rnp.br
    [2001:12f0:0:fc::36]
 6      22 ms      22 ms      22 ms      sp2-pr-oi.bkb-v6.rnp.br
    [2001:12f0:0:fc::3d]
 7      22 ms      22 ms      23 ms      2001:12f0:ffff:0:322:11:215:5
 8      22 ms      23 ms      22 ms      2001:4860:0:1096::2
 9      31 ms      31 ms      31 ms      2001:4860::9:4000:f2fd
10      33 ms      33 ms      33 ms      2001:4860:0:1173::1
11      32 ms      31 ms      32 ms      2001:4860:0:1::2777
12      33 ms      33 ms      33 ms      2800:3f0:4004:801::2003
```

Traceroute (UMass)

Rastreando a rota para gaia.cs.umass.edu [128.119.245.12]
com no máximo 30 saltos:

1	<1 ms	<1 ms	<1 ms	200.132.50.1
2	<1 ms	<1 ms	<1 ms	ifrs-poa.metropoa.tche.br [200.132.73.61]
3	<1 ms	<1 ms	<1 ms	mlxe8.tche.br [200.19.246.5]
4	<1 ms	<1 ms	<1 ms	rs-lanrs.bkb.rnp.br [200.143.255.161]
5	8 ms	7 ms	7 ms	sc-rs-oi.bkb.rnp.br [200.143.252.58]
6	20 ms	20 ms	20 ms	sp-sc-oi.bkb.rnp.br [200.143.252.65]
7	196 ms	196 ms	196 ms	et-3-3-0.469.rts.wash.net.internet2.edu [64.57.28.61]
8	199 ms	199 ms	199 ms	et-7-0-0.4079.sdn-sw.phil.net.internet2.edu [162.252.70.118]
9	201 ms	201 ms	201 ms	et-7-1-0.4079.rts.newy32aoa.net.internet2.edu [162.252.70.102]
10	206 ms	206 ms	206 ms	nox300gw1-i2-re.nox.org [192.5.89.221]
11	209 ms	209 ms	209 ms	umass-re-nox300gw1.nox.org [192.5.89.102]
12	210 ms	210 ms	210 ms	core1-rt-xe-0-0-0.gw.umass.edu [192.80.83.101]
13	210 ms	210 ms	210 ms	lgrc-rt-106-8-po-10.gw.umass.edu [128.119.0.233]
14	210 ms	210 ms	210 ms	128.119.3.32
15	211 ms	214 ms	212 ms	nsclbbs1.cs.umass.edu [128.119.240.253]
16	210 ms	210 ms	210 ms	gaia.cs.umass.edu [128.119.245.12]

Rastreamento concluído.

Atividade

- Experimente!
- Faça um traceroute para o seu domínio favorito
 - Qual é o atraso médio entre nós?
 - Qual é o atraso total?

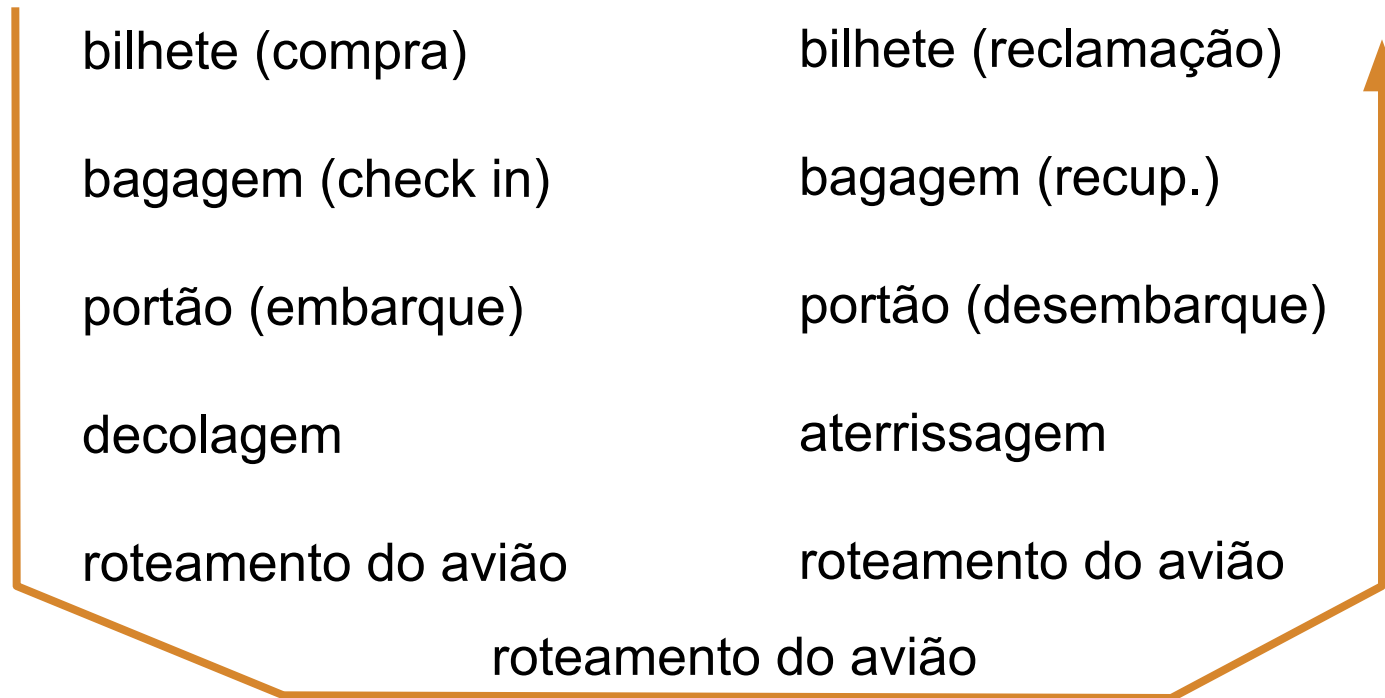
Cronograma

- O que é a Internet
- O que é um protocolo
- Borda da rede
 - redes de acesso, meios físicos
- Núcleo da rede
- Estrutura de ISPs/Internet
- Desempenho: perda, atraso
- **Camadas de protocolos, modelos de serviço**

“Camadas” de protocolos

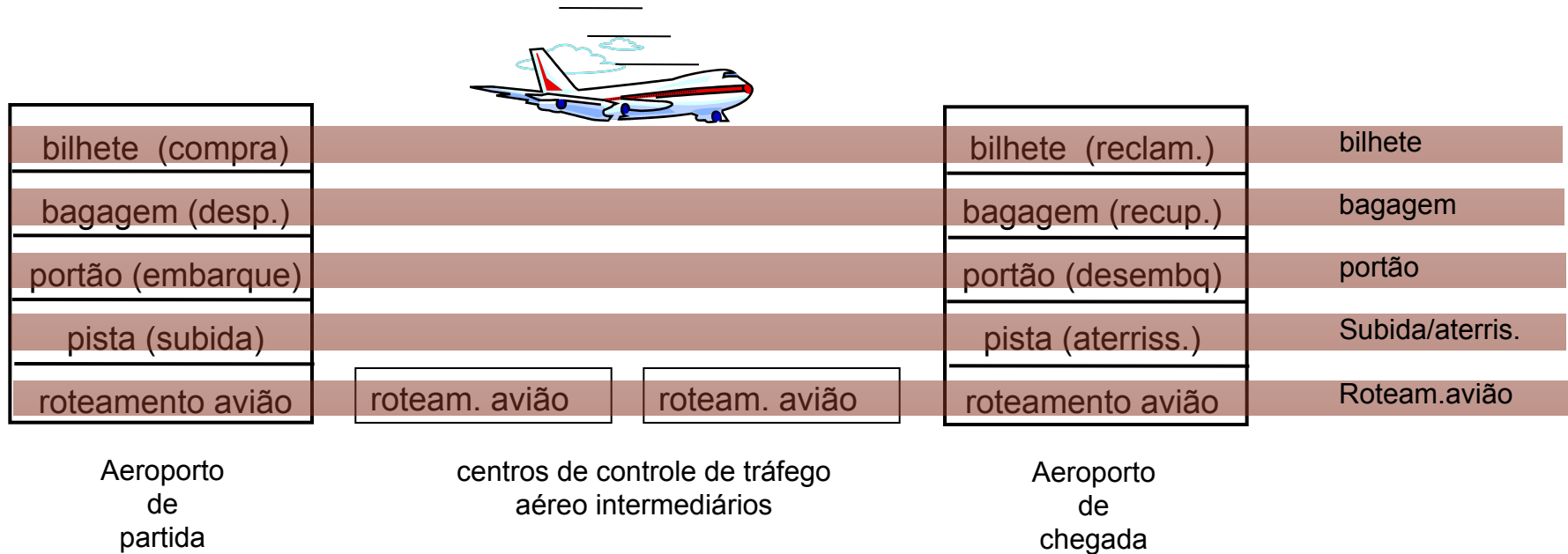
- Redes são complexas!
- Muitas “peças”:
 - hosts
 - roteadores
 - vários tipos de links
 - aplicações
 - protocolos
 - hardware, software
- Questão:
 - Existe alguma esperança em organizar a estrutura de rede?
 - Ou pelo menos a discussão sobre redes?

Organização de uma viagem aérea



- uma série de etapas

Funcionalidade de uma empresa aérea em camadas

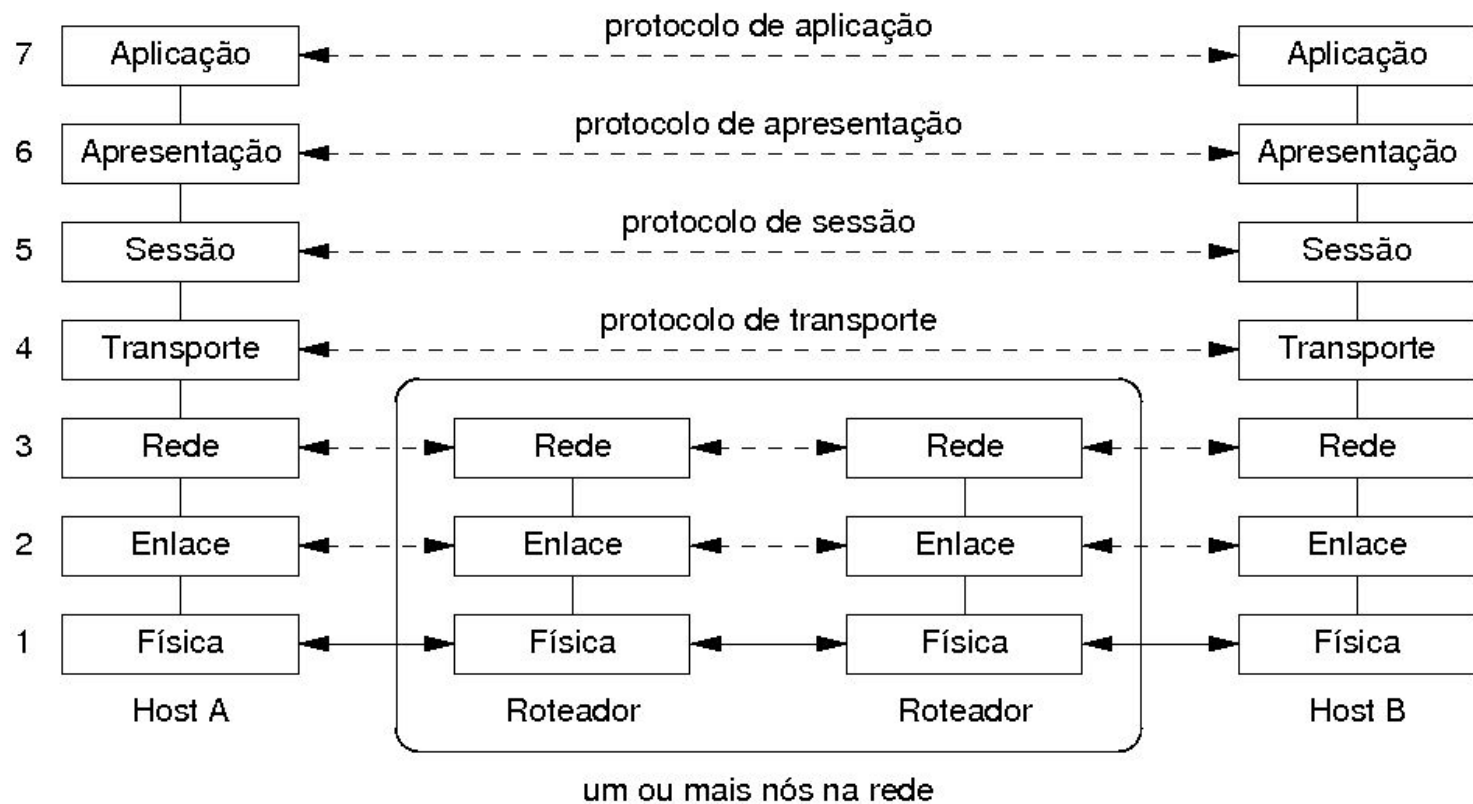


- **Camadas:** cada camada implementa um serviço
 - o através de ações internas à camada
 - o usando serviços providos pela camada inferior

Por que usar camadas?

- Para lidar com sistemas complexos:
- estrutura explícita permite identificar o relacionamento entre peças do sistema complexo
 - **modelo de referência** em camadas facilita discussão
- modularização facilita manutenção e atualização do sistema
 - mudança na **implementação do serviço** de uma camada é transparente para o resto do sistema
 - o **modelo de serviço** não pode ser alterado
- uso de camadas pode ser prejudicial?
 - duplicação de funcionalidades
 - necessidade de dados de outras camadas
 - “violação de camadas”

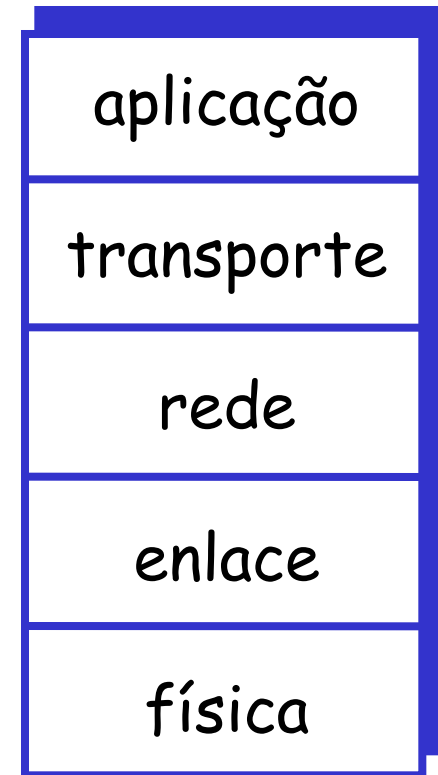
O modelo de referência OSI



- Modelo de referência para interconexão de redes
- Definido pela ISO na década de 80

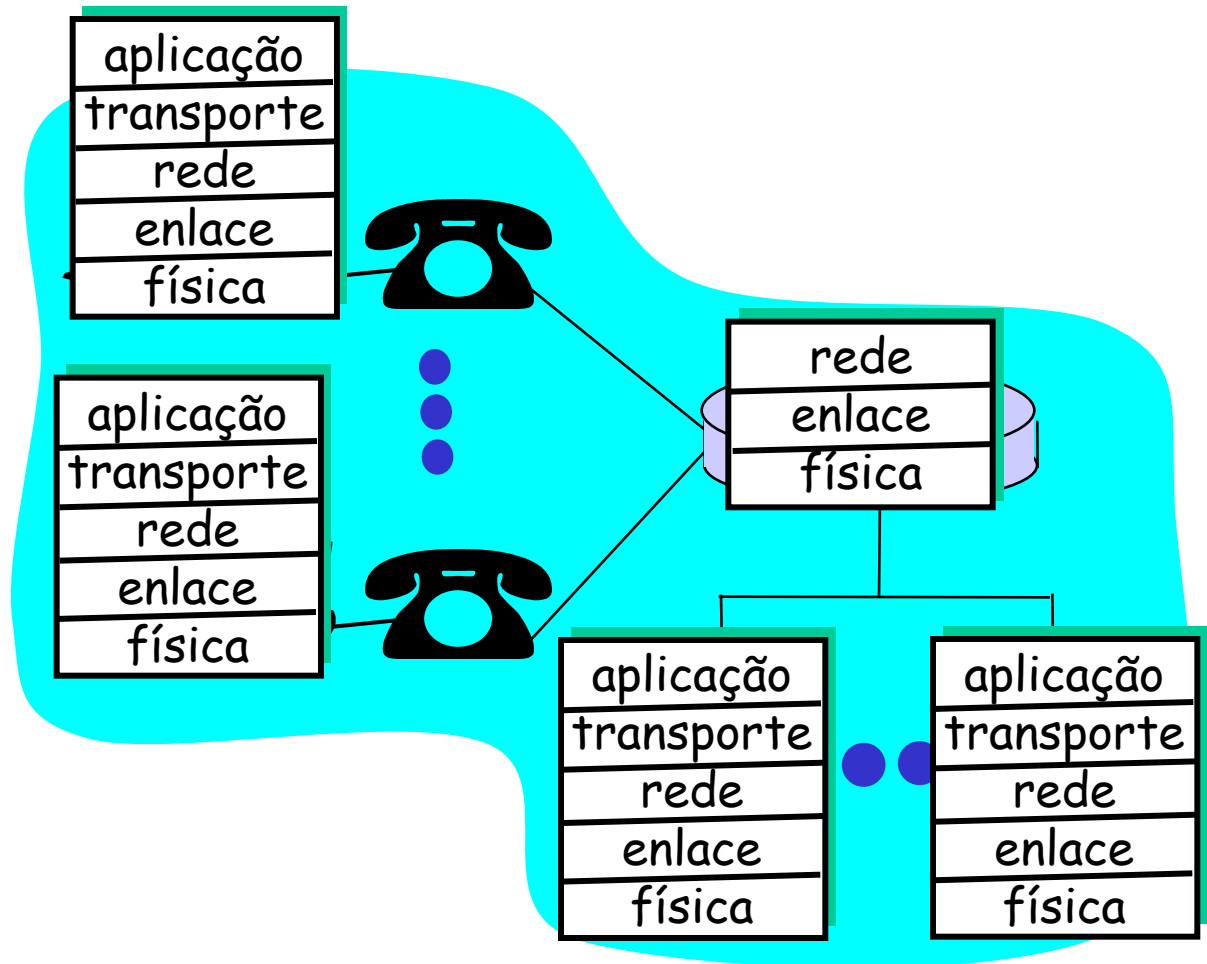
Pilha de protocolos da Internet

- **7 - aplicação:** suporta aplicações de rede
 - FTP, SMTP, HTTP
 - **4 - transporte:** transferência de dados entre hosts
 - TCP, UDP
 - **3- rede:** roteamento de datagramas da origem para destino
 - IP, protocolos de roteamento
 - **2 - enlace:** transferência de dados entre elementos de rede “vizinhos”
 - PPP, Ethernet
 - **1 - física:** representação física dos bits, questões de hardware, etc.
-
- Obs. camadas 6 (apresentação) e 5 (sessão) não existem na Internet



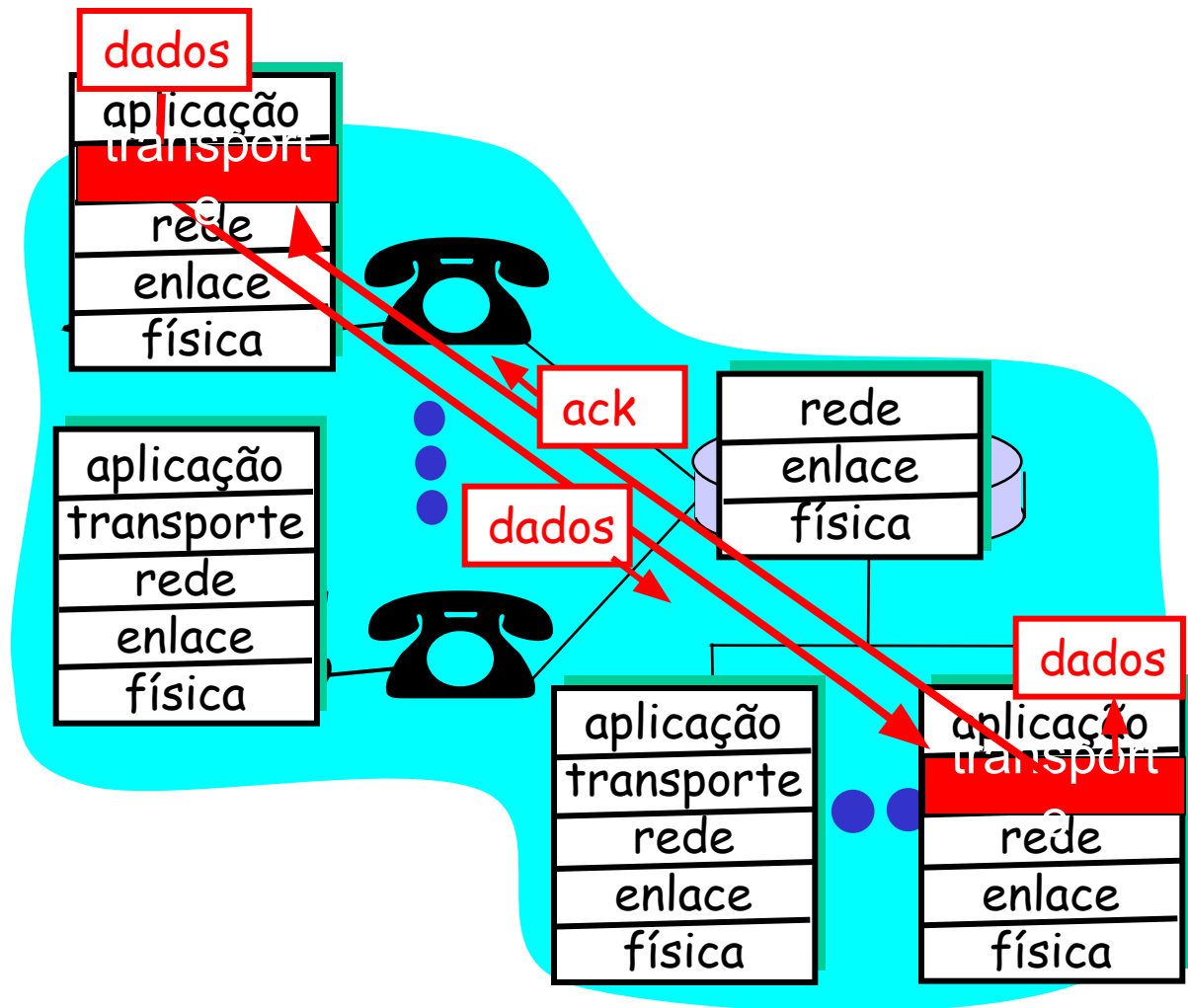
Camadas: comunicação lógica

- Cada camada:
- distribuída
- “entidades” implementam funções de camadas em cada nó
- entidades executam ações, trocam mensagens com seus pares

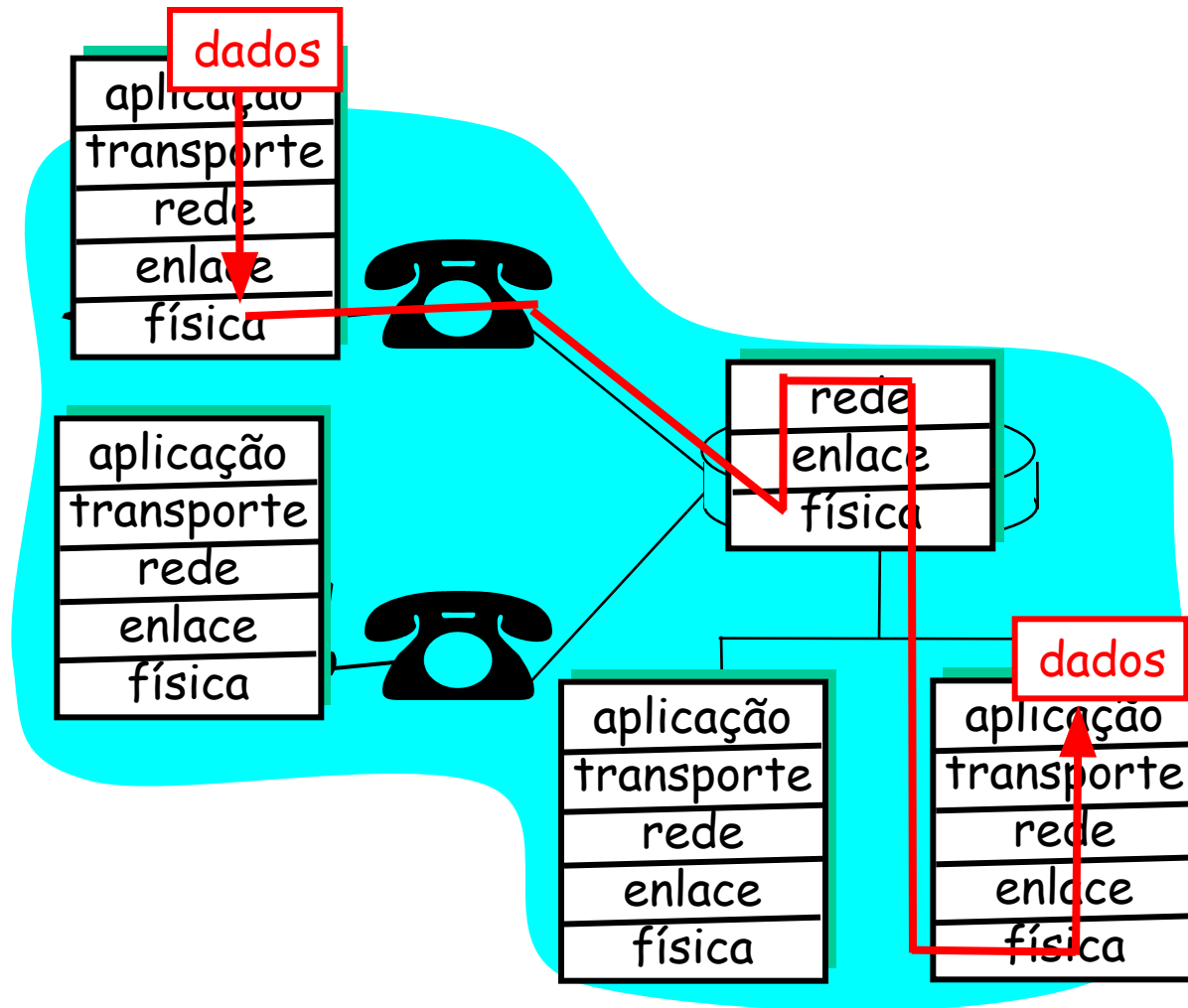


Camadas: comunicação *lógica*

- **E.g.: transporte**
- pega dados da aplicação
- adiciona endereço, informação de confiabilidade p/ formar “datagrama”
- envia datagrama para seu par
- espera confirmação de recepção de seu par
- analogia: correio



Camadas: comunicação física

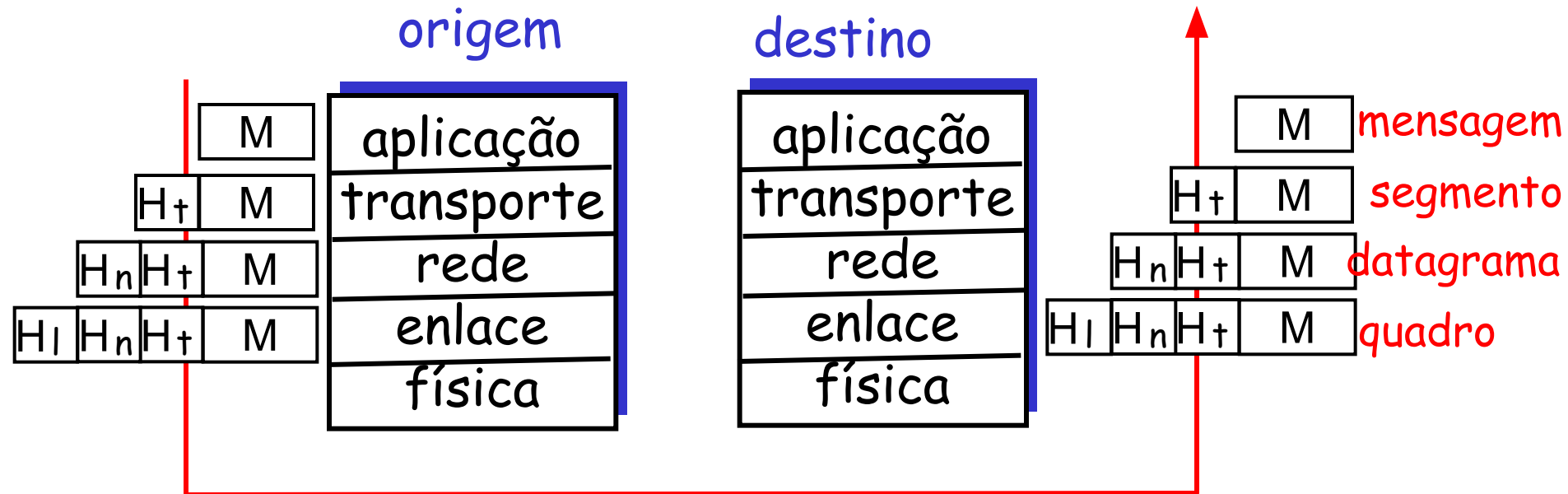


Protocolo em camadas e dados

- Cada camada recebe dados da camada acima
- adiciona cabeçalho de informação para criar nova unidade de dados
- passa nova unidade de dados para camada abaixo

origem

destino



Atividade - Wireshark

- Vimos no início da aula que aplicações em vídeo (webcam, Skype) geralmente utilizam UDP, mas considerando que o Youtube é uma aplicação web (http) ele utiliza UDP ou TCP?
- Utilize o wireshark para capturar os pacotes
 - Assista um vídeo enquanto captura
 - Identifique os protocolos das quatro camadas TCP/IP e mostre os dados de capturas de requisições e respostas.