1 EA-074 Introdução às Redes de Computadores

- Prof. Marco Aurélio Amaral Henriques
  (Deptº de Eng. de Computação e Automação Industrial - DCA)
  - sala 305
  - marco@dca.fee.unicamp.br
  - página da disciplina disponível em:
    - http://www.dca.fee.unicamp.br/~marco
  - atendimento extra-classe:
    - agendar por e-mail

1 Avaliação

- Número de aulas previsto: 32 (64 horas-aula)
  - presença ≥ 75%
  - número máximo de faltas: 8 aulas (16 horas-aula)
- Serão realizadas 3 provas além do Exame:
  - P1: 04/04/2013 P2: 16/05/2013
  - P3: 25/06/2013 Exame: 04/07/2012

1 Prova Substitutiva

- O(A) aluno(a) que perder alguma prova (não importa o motivo da perda) deverá fazer o EXAME para substituir **uma** das provas perdidas.
- O EXAME só poderá substituir a nota de uma prova; caso alguma outra prova seja perdida pelo aluno, ela permanecerá com nota zero, pois não haverá outra prova substitutiva.
- Como o EXAME abordará todo o conteúdo da disciplina, o peso das questões do EXAME será adaptado de acordo com a prova que o mesmo estiver substituindo, havendo um peso 3 vezes maior para as questões relacionadas ao conteúdo da prova perdida. Entretanto, o(a) aluno(a) deverá fazer todas as questões, pois a mesma prova poderá ser considerada como EXAME se for necessário.
- Após a substituição da nota de uma das provas perdidas pela nota do EXAME, aplicar-se-ão todas as regras definidas para cálculo de NOTA_FINAL. Caso se constate a necessidade e o direito de se fazer EXAME, os pesos das questões do EXAME já feito serão igualados e a nova nota do mesmo EXAME entrará no cálculo da NOTA_FINAL, não se fazendo outro EXAME.
- Alunos reprovados por frequência não têm direito a fazer o EXAME.

1 Critério de avaliação

- Média: (P1 + P2 + P3) / 3
- Nota Final:
  - NOTA_FINAL = MÉDIA, se MÉDIA $\geq$ 5,0 **E** Pi $\geq$ 3,0 ;
  - NOTA_FINAL = 0,6 x MÉDIA + 0,4 x EXAME,
    - se 2,5 $\leq$ MÉDIA < 5,0
    - OU se Pi < 3,0, i =1, 2, 3
  - NOTA_FINAL = MÉDIA, se MÉDIA < 2,5
    - (aluno se reprova sem direito a EXAME).
- Para aprovação:
  - NOTA_FINAL $\geq$ 5,0 **E** FREQUÊNCIA $\geq$ 75%

Referências

- Computer Networking: A Top-down Approach – James F. Kurose; Keith W. Ross – 5ª. Edição – 2009 - Addison Wesley
- Computer Networks - Andrew S. Tanenbaum- 4ª. Edição - Prentice-Hall
- Computer Networks: A Systems Approach - Larry L. Peterson; Bruce S. Davie - 4ª. edição - 2007 - Morgan Kaufmann
- Listas de exercícios disponíveis na página da disciplina

Capítulo 1 – Introdução

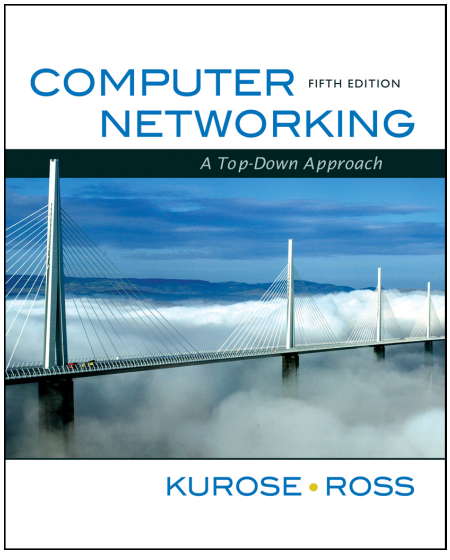
Nota do editor para uso dos slides .ppt:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) in substantially unaltered form, that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides in substantially unaltered form on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2009
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



Computer Networking: A Top Down Approach ,
5th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, April 2009.

1 Introdução

Objetivos:

- Obter contexto, terminologia, “sentimento” sobre redes
- Detalhes serão vistos com maior profundidade mais adiante
- Abordagem:
  - usar a Internet como exemplo principal

Visão geral:

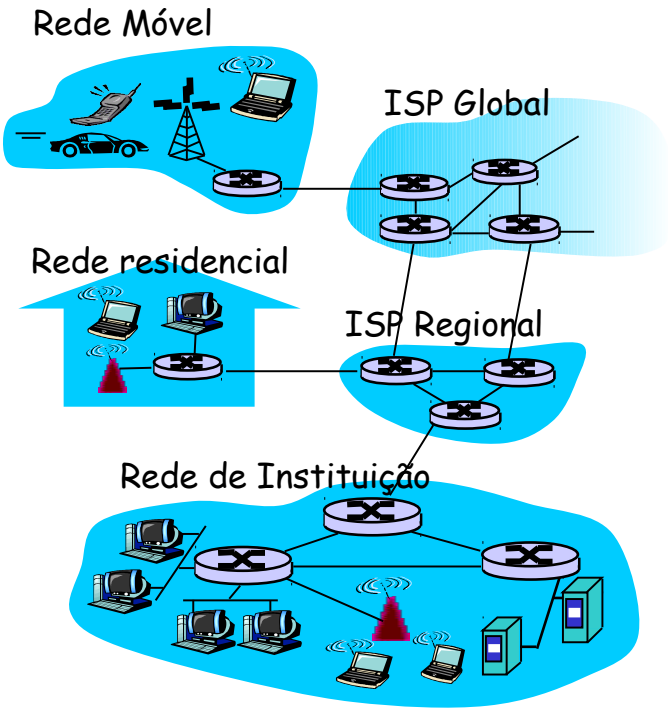
- O que é a Internet?
- O que é um protocolo?
- Bordas da rede (*network edge*)
- Núcleo da rede
- Rede de acesso e meio físico
- Estrutura da Internet/ISP
- Desempenho: perda, atraso
- Arquitetura em camadas
- Modelagem de redes

1 Redes de computadores e a Internet

- **1.1 O que é Internet?**
- **1.2 Borda da rede**
- **1.3 Núcleo da rede**
- **1.4 Acesso à rede e meio físico**
- **1.5 Estrutura da Internet e ISPs**
- **1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes**
- **1.7 Arquitetura em camadas**
- **1.8 História**

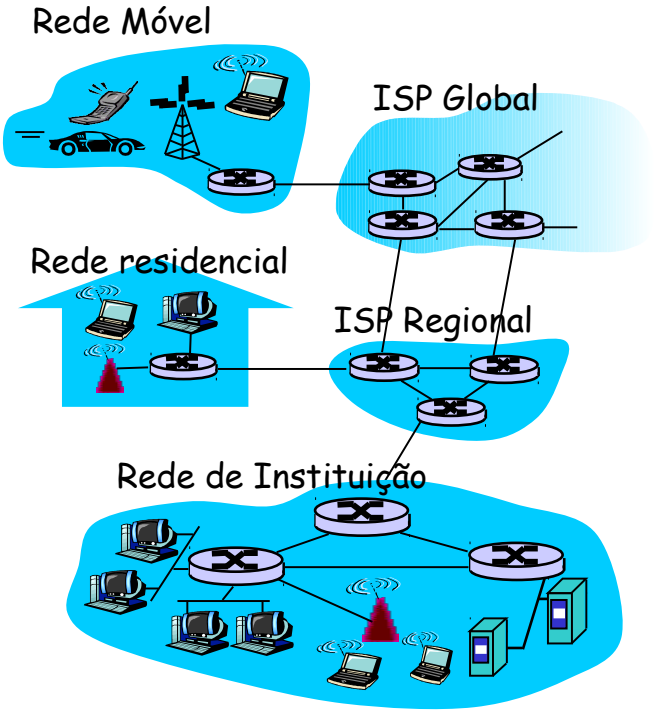
1 O que é a Internet?

- Milhões de elementos de computação interligados: hospedeiros = *hosts* = *end systems*
- Executando aplicações distribuídas
- Enlaces de comunicação fibra, cobre, rádio, satélite
- taxa de transmissão = largura de banda
- Roteadores: encaminham pacotes (blocos de dados)



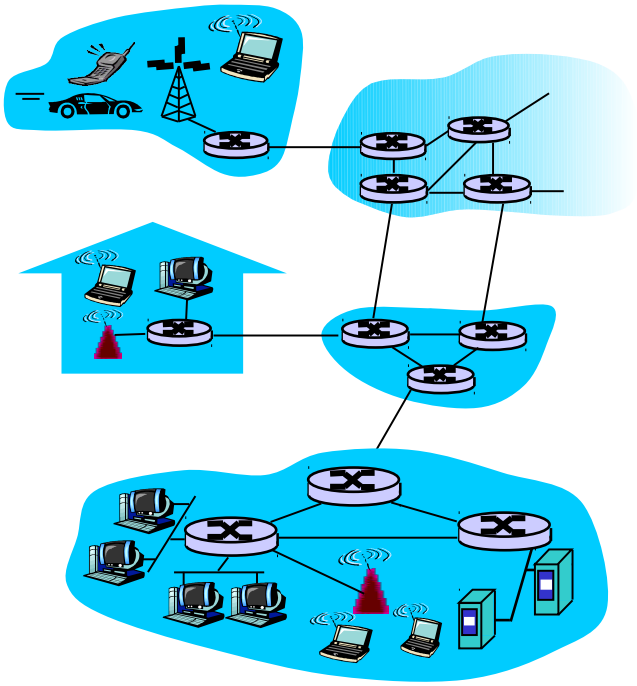
1 O que é a Internet?

- Protocolos: controlam o envio e a recepção de mensagens ex.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- Internet: "rede de redes" fracamente hierárquica Internet pública e Internets privadas (intranets)
- Padrões Internet RFC: Request for comments IETF: Internet Engineering Task Force



1 Serviços de Internet

- Infra-estrutura de comunicação
  permite aplicações distribuídas:
  Web, e-mail, jogos, e-commerce, compartilhamento de arquivos
- Serviços de comunicação oferecidos:
  sem conexão
  orientado à conexão



1 O que é um protocolo?

Protocolos humanos:

- "Que horas são?"
- "Eu tenho uma pergunta."
- Apresentações
- … msgs específicas enviadas
- … ações específicas tomadas quando msgs são recebidas ou outros eventos

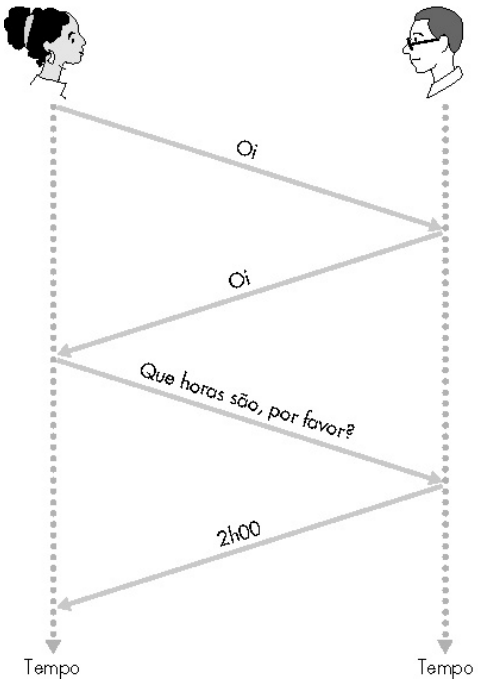
Protocolos de rede:

- Máquinas em vez de humanos
- Toda atividade de comunicação na Internet é governada por protocolos

PROTOCOLOS DEFINEM OS FORMATOS, A ORDEM DAS MSGS ENVIADAS E RECEBIDAS PELAS ENTIDADES DE REDE E AS AÇÕES A SEREM TOMADAS NA TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE MENSAGENS

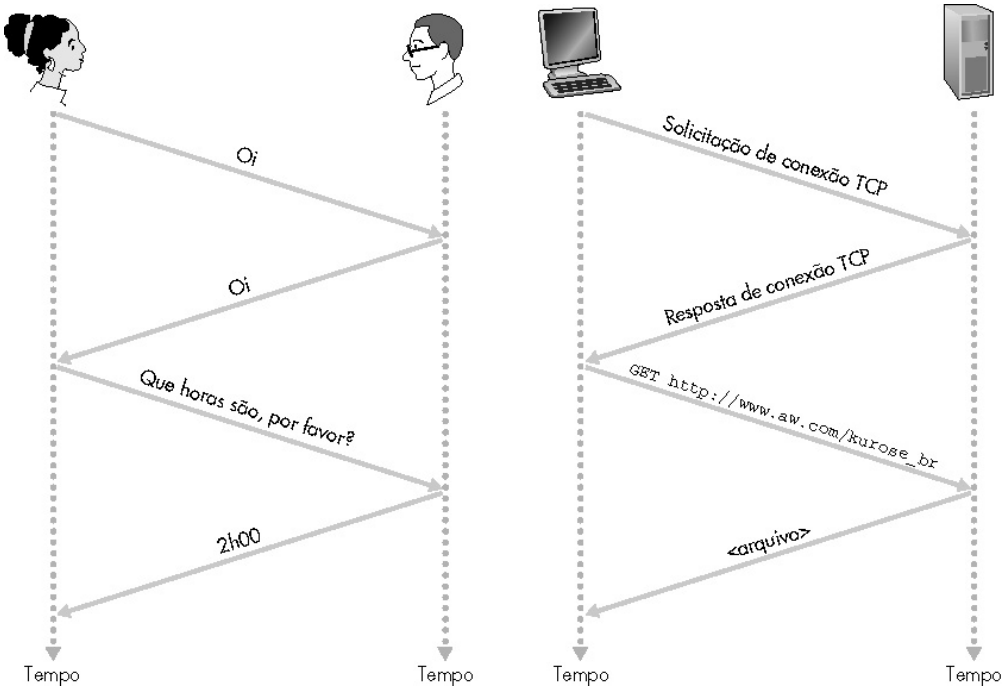
1 O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:



1 O que é um protocolo?

Um protocolo humano e um protocolo de rede de computadores:

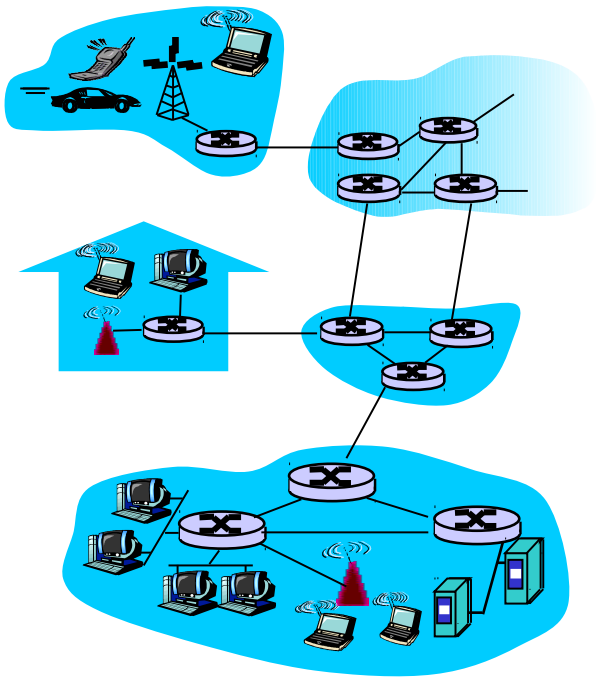


1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que é Internet?
- **1.2 Borda da rede (Network Edge)**
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Arquitetura em camadas
- 1.8 História

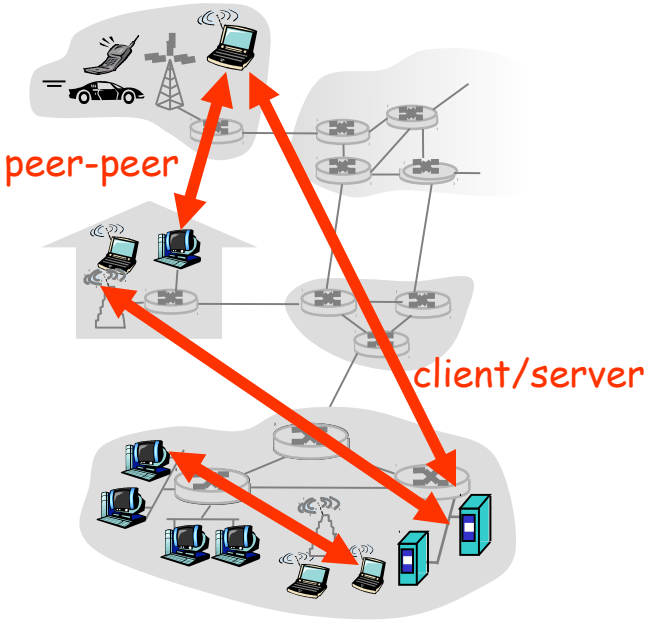
1 Uma visão mais de perto da estrutura da rede:

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



1 As bordas da rede

- Sistemas finais (hospedeiros):
  - Executam programas de aplicação
  - Ex.: Web, e-mail
  - Localizam-se nas extremidades da rede
- Modelo cliente/servidor
  - O cliente toma a iniciativa enviando pedidos que são respondidos por servidores
  - Ex.: Web client (browser)/ server; e-mail client/server
- Modelo *peer-to-peer*:
  - Mínimo (ou nenhum) uso de servidores dedicados
  - Ex.: Gnutella, KaZaA, Skype



1 Borda da rede: serviço orientado à conexão

Meta: transferência de dados entre sistemas finais.

- **Handshaking:** estabelece as condições para o envio de dados antes de enviá-los
  - Alô: protocolo humano
  - Estados de "conexão" controlam a troca de mensagens entre dois hospedeiros
- TCP - Transmission Control Protocol
  - Realiza o serviço orientado à conexão da Internet

Serviço TCP [RFC 793]

- **Transferência de dados confiável e seqüencial, orientada à cadeia de bytes**
  - Perdas: reconhecimentos e retransmissões
- **Controle de fluxo:**
  - Evita que o transmissor sobrecarregue o receptor
- **Controle de congestionamento:**
  - Transmissor reduz sua taxa quando a rede fica congestionada

1 Borda da rede: serviço sem conexão

Meta: transferência de dados entre sistemas finais

- O mesmo de antes!

- UDP - User Datagram Protocol [RFC 768]: oferece o serviço sem conexão da Internet
  - Transferência de dados não confiável
  - Sem controle de fluxo
  - Sem controle de congestionamento

App's usando TCP:

- HTTP (Web), FTP (transferência de arquivo), Telnet (login remoto), SMTP (e-mail)

App's usando UDP:

- Streaming media, teleconferência, DNS, telefonia IP

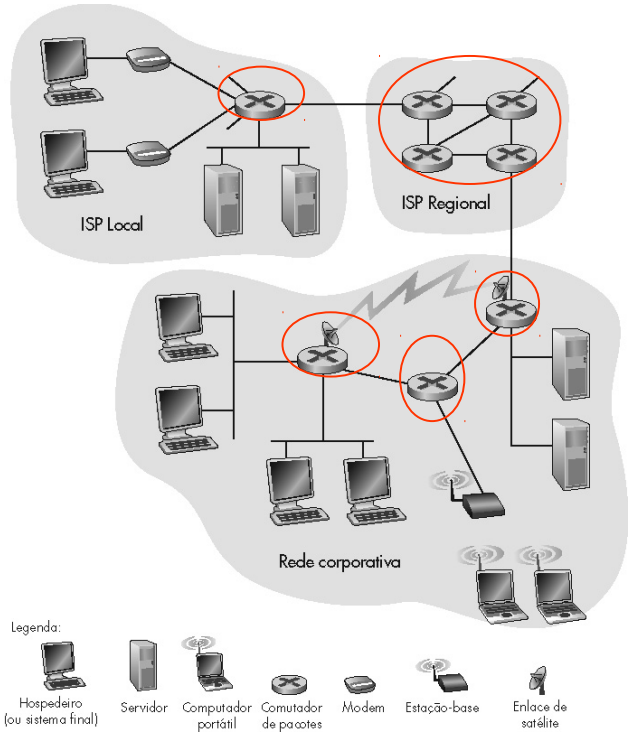
1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que é Internet?
- 1.2 Borda da rede
- **1.3 Núcleo da rede (Network Core)**
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Arquitetura em camadas
- 1.8 História

1 O núcleo da rede

- Malha (mesh) de roteadores interconectados
- **A questão fundamental:** como os dados são transferidos através da rede?
  - **Comutação de circuitos:** usa um canal dedicado para cada conexão.

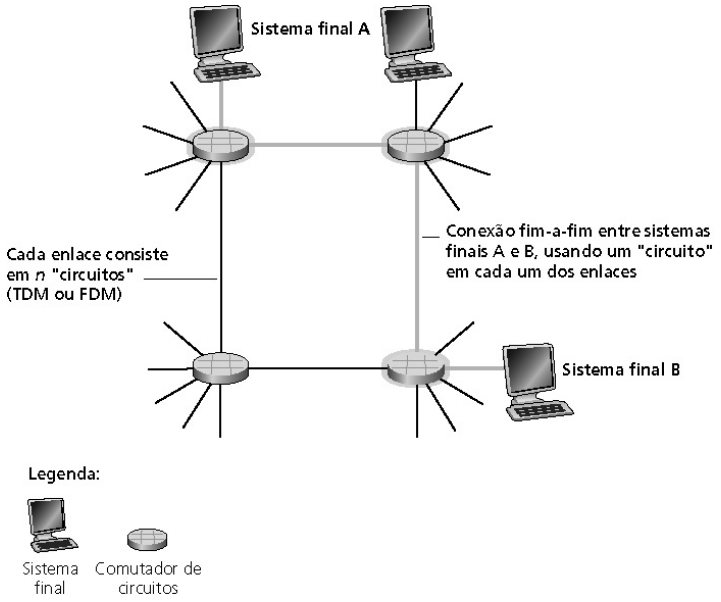
  Ex.: rede telefônica
  - **Comutação de pacotes:** dados são enviados em "blocos" discretos



1 O núcleo da rede: comutação de circuitos

Recursos fim-a-fim são reservados por "chamada"

- Taxa de transmissão, capacidade dos comutadores
- Recursos dedicados: não há compartilhamento
- Desempenho análogo aos circuitos físicos (QoS garantido)
- Exige estabelecimento de conexão

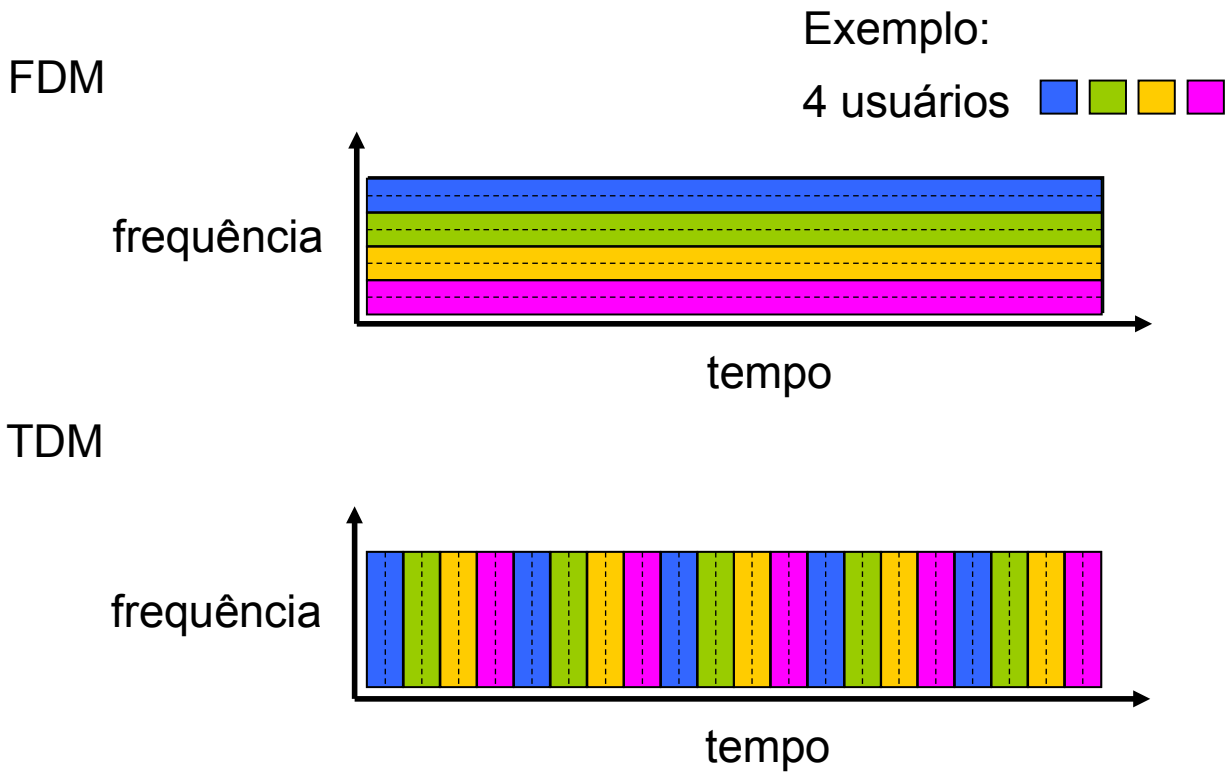


1 O núcleo da rede: comutação de circuitos

Recursos da rede (ex.: capacidade de transmissão) dividida em “pedaços”

- “Pedaços” alocados às chamadas
- “Pedaço” do recurso desperdiçado se não for usado pelo dono da chamada **(sem compartilhamento)**
- Formas de divisão da capacidade de transmissão em “pedaços”
  - Divisão em freqüência
  - Divisão temporal

1 Comutação de circuitos: FDMA e TDMA



1 Exemplo numérico

- Quanto tempo leva para enviar um arquivo de 640.000 bits do hospedeiro A para o hospedeiro B numa rede de comutação de circuitos?
  - Todos os links transmitem 1.536 Mbps
  - Cada link utiliza TDM com 24 slots
  - 500 mseg para estabelecar um circuito fim-a-fim.

Calcule!

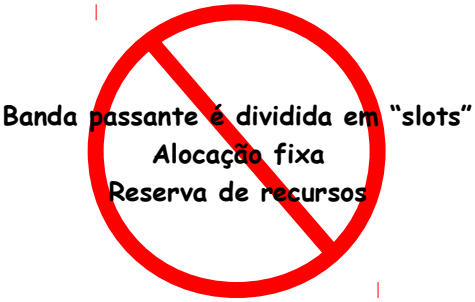
1 Núcleo da rede: comutação de pacotes

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

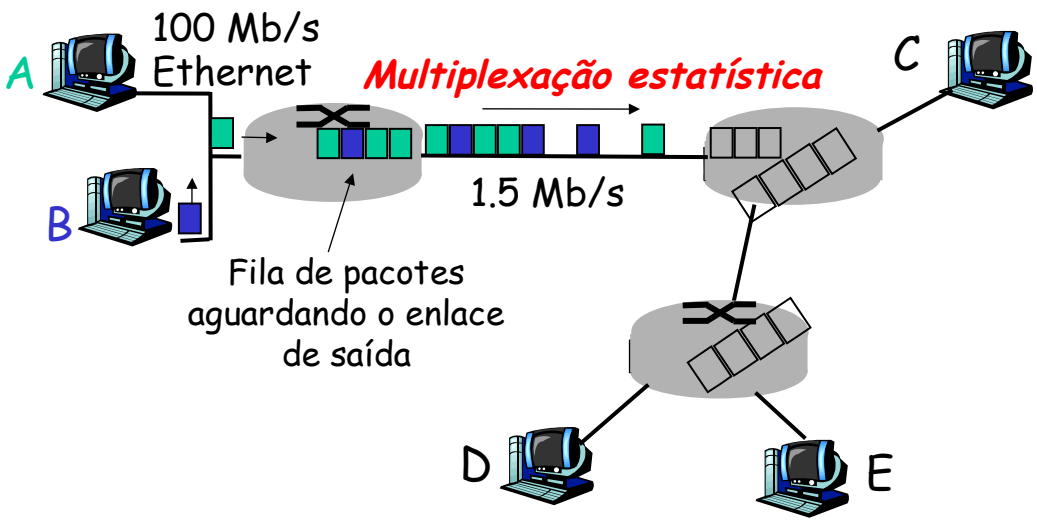
- Os recursos da rede são compartilhados em bases estatísticas
- Cada pacote usa toda a banda disponível ao ser transmitido
- Recursos são usados na medida do necessário

Contenção de recursos:

- A demanda agregada por recursos pode exceder a capacidade disponível
- Congestionamento: filas de pacotes, espera para uso do link
- Armazena e reenvia: pacotes se movem um "salto" por vez
  - O nó recebe o pacote completo antes de encaminhá-lo



1 Comutação de pacotes: multiplexação estatística

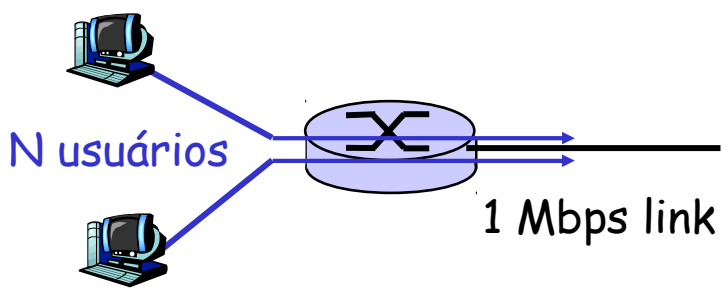


A seqüência de pacotes A e B não possui padrão específico
→ **multiplexação estatística**
No TDM, cada hospedeiro adquire o mesmo slot dentro do frame TDM

1 Comutação de pacotes **x** comutação de circuitos

Comutação de pacotes permite que mais usuários usem a mesma rede!

- Enlace de 1 Mbit/s
- Cada usuário:
  - 100 Kbits/s quando "ativo"
  - Ativo 10% do tempo
- Comutação de circuitos:
  - 10 usuários
- Comutação de pacotes:
  - Com 35 usuários, probabilidade de haver mais de 10 ativos < 0,0004

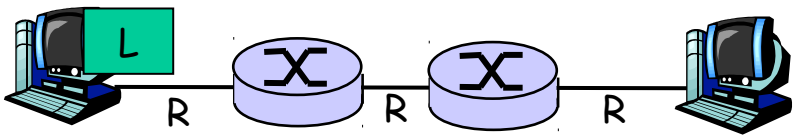


1 Comutação de pacotes **x** comutação de circuitos

A comutação de pacotes é melhor sempre?

- Ótima para dados em rajada (bursty)
  - Melhor compartilhamento de recursos
  - Não há estabelecimento de chamada (setup)
- Se houver congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes
  - Protocolos são necessários para transferência confiável, controle de congestionamento
- Como obter um comportamento semelhante ao de um circuito físico?
  - Garantias de taxa de transmissão são necessárias para aplicações de áudio/vídeo
  - Problema ainda sem solução (capítulo 6)

1 Comutação de pacotes: armazena e reenvia



- Leva L/R segundos para enviar pacotes de L bits para o link a R bps
- O pacote todo deve chegar no roteador antes que seja transmitido para o próximo link: *armazena e reenvia*
- Atraso = 3L/R

Exemplo:

L = 7,5 Mbits

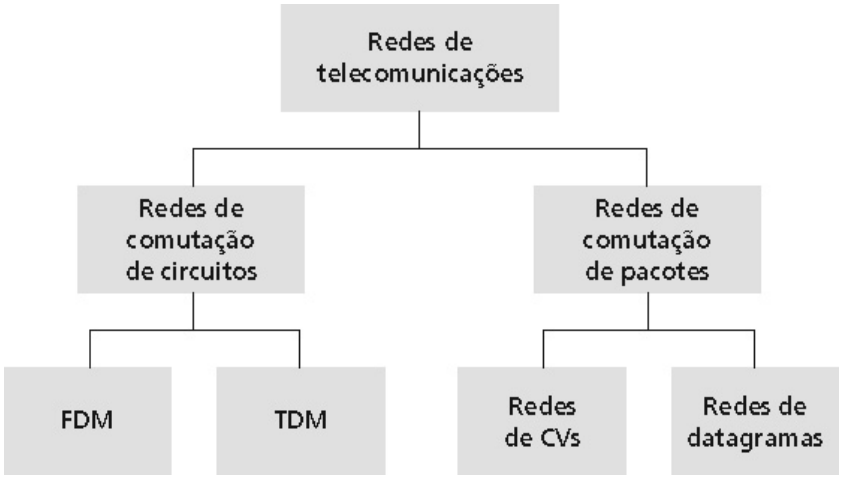
R = 1,5 Mbps

atraso = 15 s

1 Redes de comutação de pacotes: roteamento

- **Objetivo:** mover pacotes entre roteadores da origem ao destino
  - Iremos estudar vários algoritmos de seleção de caminhos (capítulo 4)
- **Redes datagrama:**
  - *O endereço de destino* determina o próximo salto
  - Rotas podem mudar durante uma sessão
  - Analogia: dirigir perguntando o caminho
- **Rede de circuitos virtuais:**
  - Cada pacote leva um número (virtual circuit ID), o número determina o próximo salto
  - O caminho é fixo e escolhido no *instante de estabelecimento da conexão*, permanece fixo durante toda a conexão
  - **Roteadores mantêm estado *por conexão***

1 Taxonomia da rede



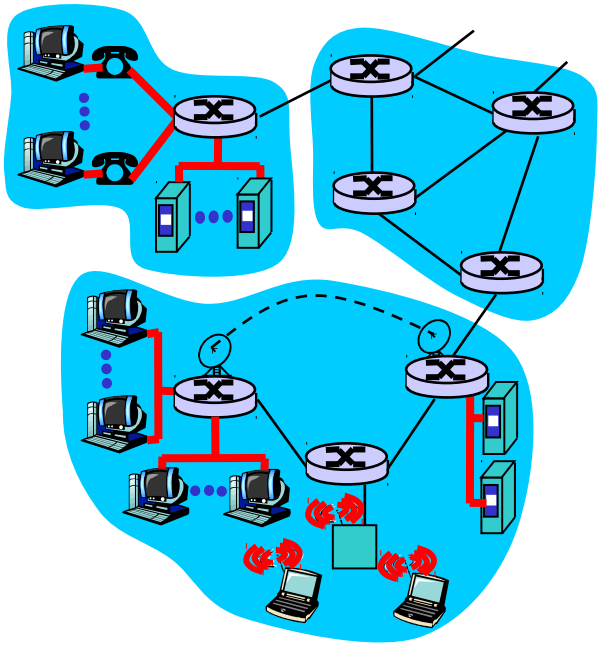
1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que *é* Internet?
- 1.2 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- **1.4 Acesso à rede e meio físico**
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Arquitetura em camadas
- 1.8 História

1 Redes de acesso e meios físicos

P.: Como conectar o sistema final ao roteador de borda?

- Redes de acesso residencial
- Redes de acesso institucionais (escolas, bancos, empresas)
- Redes de acesso móveis

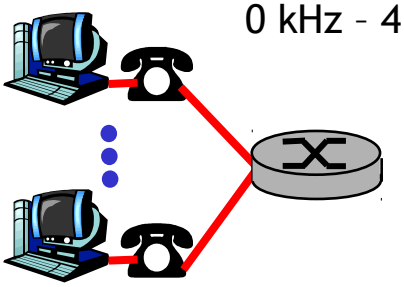


1 Acesso residencial: redes ponto-a-ponto

- Modem discado
  - Até 56 kbps com acesso direto ao roteador (mais lento na prática!)
  - Não é possível navegar e telefonar ao mesmo tempo: custa muito caro ficar "sempre on-line" (==> circuito dedicado)

ADSL: asymmetric digital subscriber line

- Até 1 Mbps de upstream (hoje tipicamente < 256 kbps)
  - Até 8 Mbps de downstream (hoje tipicamente < 1 Mbps)
  - FDM: 50 kHz – 1 MHz para downstream
    4 kHz – 50 kHz para upstream
    0 kHz – 4 kHz para telefonia comum



1 Acesso residencial: cable modems

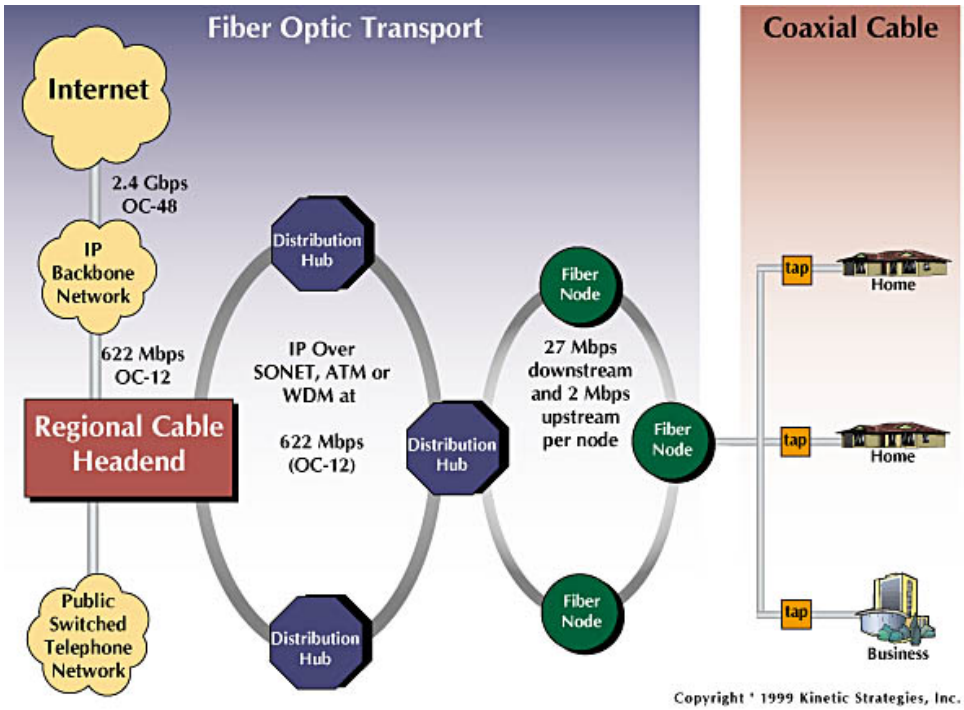
- HFC: híbrido fibra e coaxial
  - Assimétrico: até 30 Mbps downstream, 2 Mbps upstream

Rede de cabo e fibra liga residências ao roteador do ISP

- Acesso compartilhado das casas de um condomínio ou de um bairro

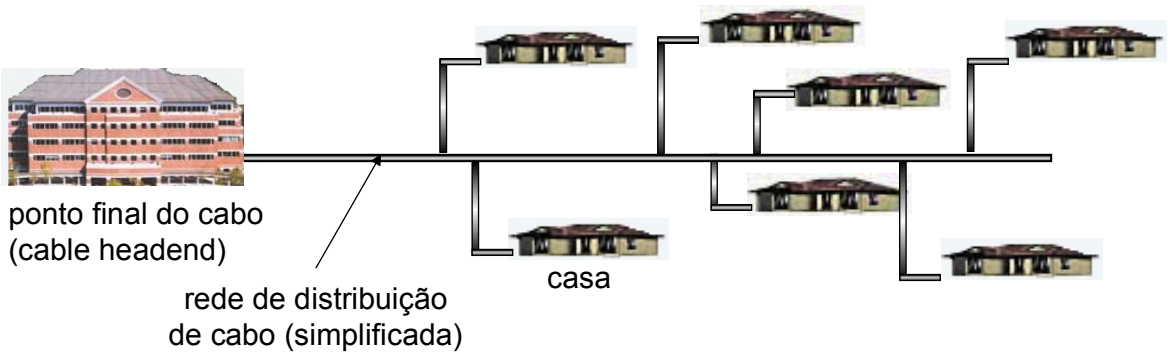
Operacionalização: disponível via companhias de TV a cabo

1 Acesso residencial: *cable modems*

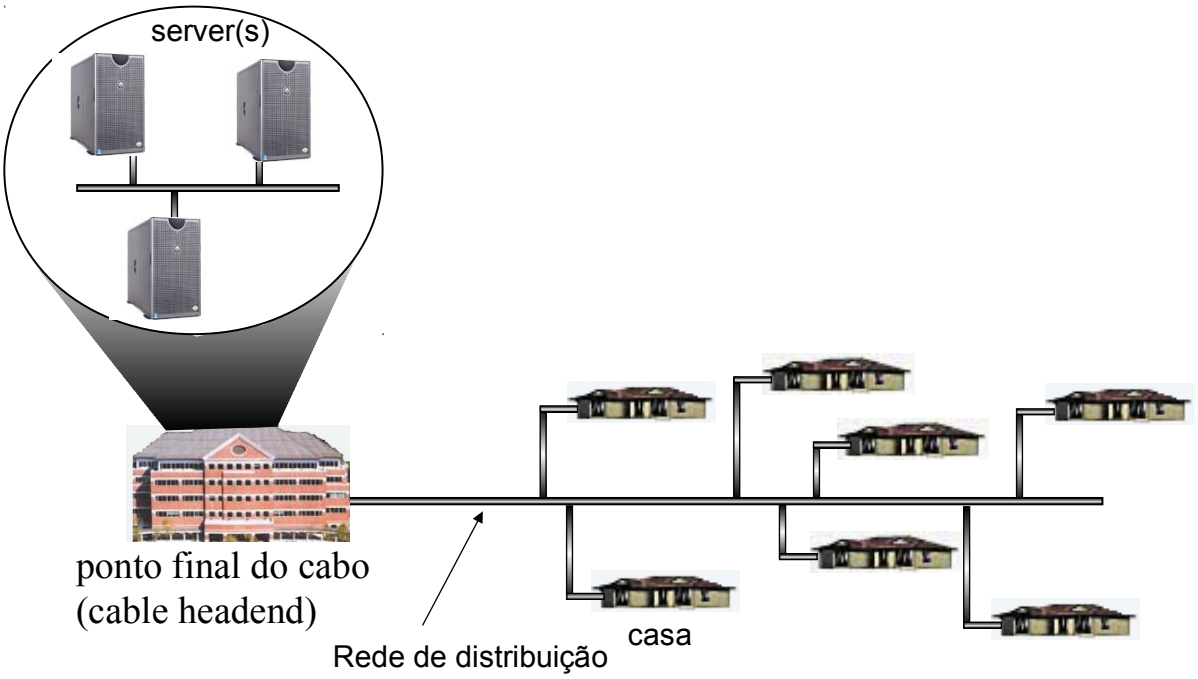


1 Arquiteturas de redes a cabo: visão geral

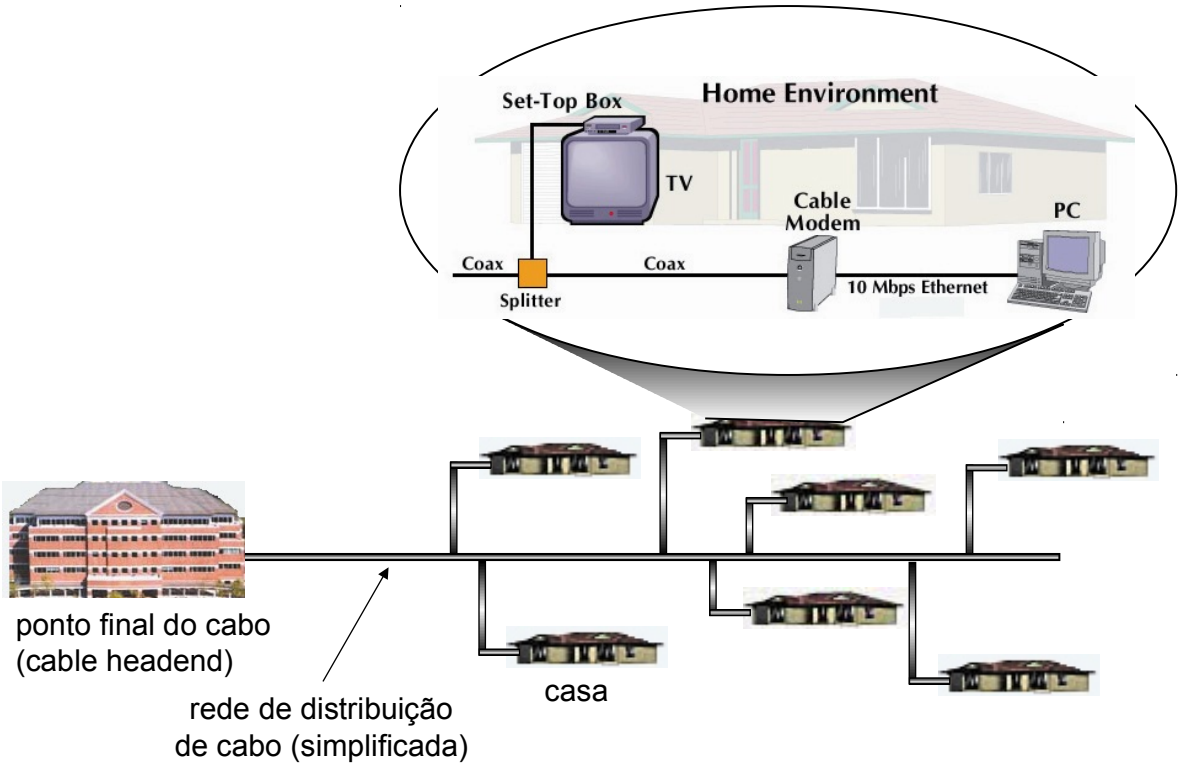
Tipicamente 500 a 5.000 casas



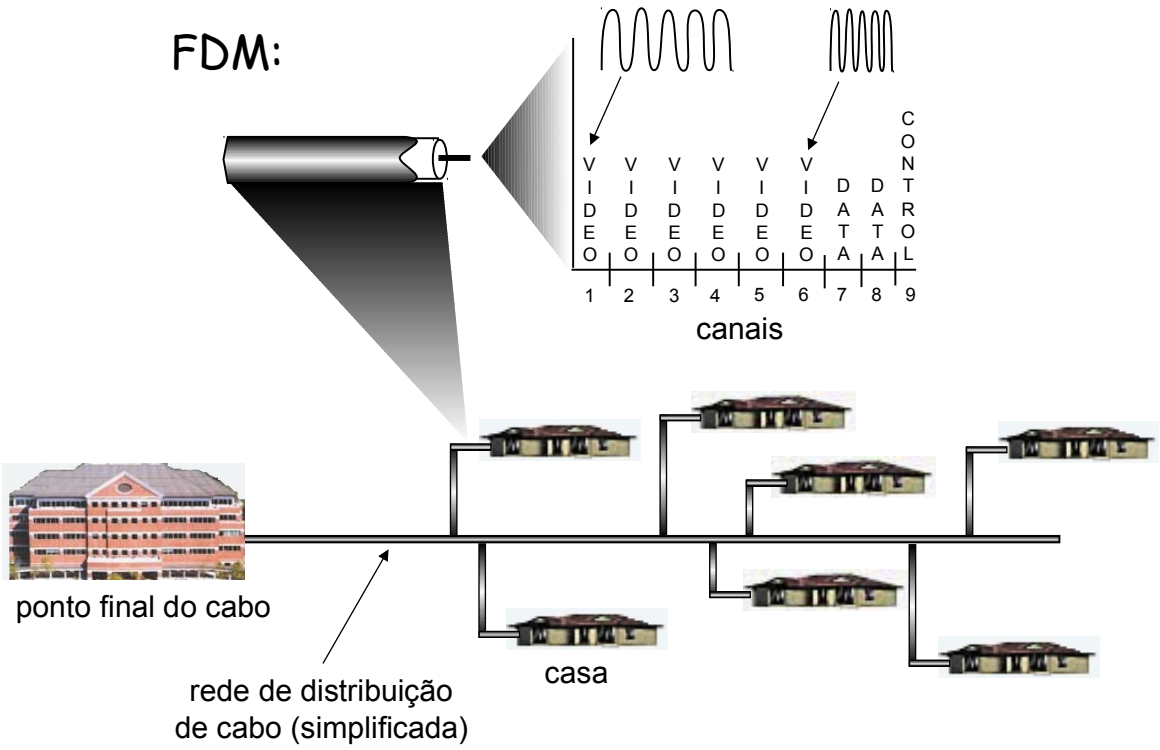
1 Cable Network Architecture: Overview



1 Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



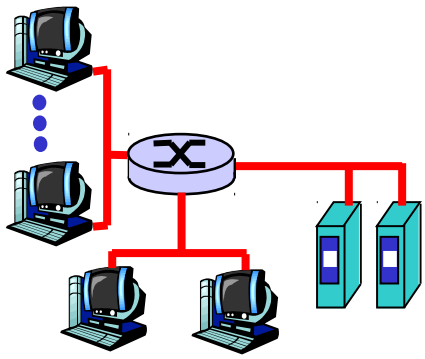
1 Arquiteturas de redes a cabo: visão geral



1 Acesso institucional: redes de área

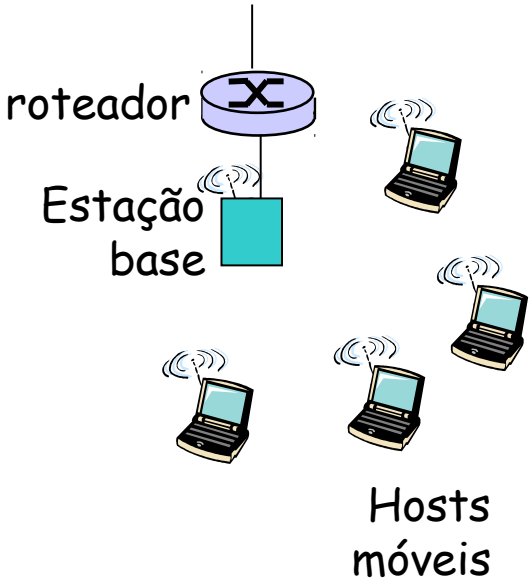
- A rede local (LAN) da empresa/univ conecta sistemas finais ao roteador de acesso
- Ethernet:
  - Cabo compartilhado ou dedicado conecta sistemas finais e o roteador
  - 10 Mbs, 100 Mbps, Gigabit Ethernet

LANs: capítulo 5



1 Redes de acesso sem fio

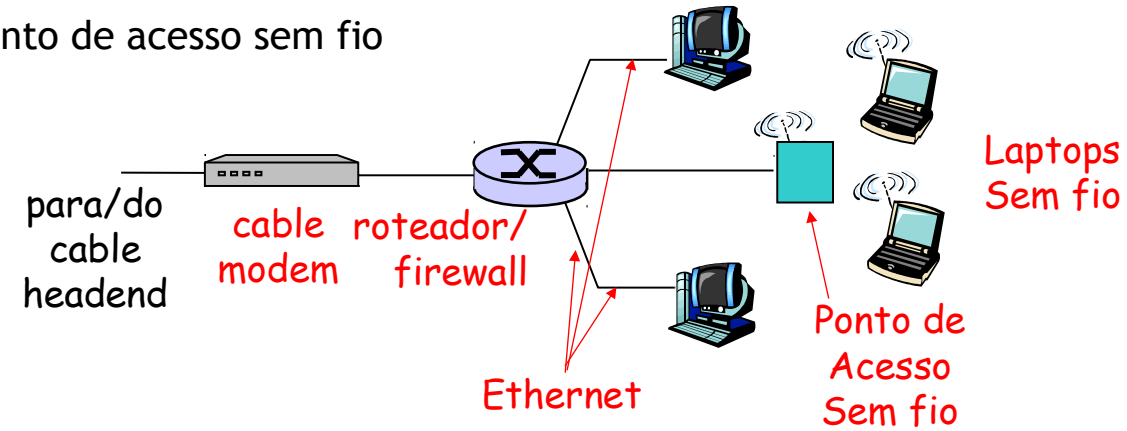
- Rede de acesso sem fio compartilhada conecta sistemas finais ao roteador
  - Através de “ponto de acesso” da estação base
- LANs sem fio:
  - 802.11 (WiFi): 11/54 Mbps
- Wide-area de acesso sem fio
  - Provido pelo operador telco
  - 3G : até 3 Mbps
    ~1 Mbps na prática
  - 4G: até 100 Mbps
    ~10 a 40 Mbps na prática



1 Redes residenciais

Componentes típicos de uma rede residencial:

- ADSL ou cable modem
- Roteador/firewall
- Ethernet
- Ponto de acesso sem fio



1 Meios físicos

- Bit: propaga-se entre os pares transmissor/ receptor
- Enlace físico: meio que fica entre o transmissor e o receptor
- Meios guiados:
  - Os sinais se propagam em meios sólidos com caminho fixo: cobre, fibra
- Meios não guiados:
  - Propagação livre, ex.: rádio

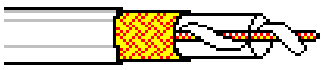
Twisted Pair (TP)

- Par de fios trançados de cobre isolados
  - Categoria 3: taxas de transmissão até 10 Mbps
  - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet

1 Meio físico: coaxial, fibra

Cabo coaxial:

- Dois condutores de cobre concêntricos
- Bidirecional
  banda base:
  - Um único sinal presente no cabo
  - Legado da Ethernet
- Banda larga:
  - Canais múltiplos no cabo
  - HFC



Cabo de fibra óptica:

- Fibra de vidro transportando pulsos de luz, cada pulso é um bit
- Alta velocidade de operação:
  - Alta velocidade com transmissão ponto-a-ponto (ex.: 10 Gps)
- Baixa taxa de erros:
- Repetidores bem espaçados; imunidade a ruídos eletromagnéticos

1 Meio físico: rádio

- Sinal transportado como campo eletromagnético
- Não há fios físicos
- Bidirecional
- O ambiente afeta a propagação:
  - Reflexão
  - Obstrução por objetos
  - Interferência

1 Meio físico: rádio

Tipos de canais de rádio:

- Microondas terrestre
  - Canais que superam os 200 Mbps

LAN (ex.: WiFi)
  - 2 Mbps, 11 Mbps, 54 Mbps , 150 Mbps

Wide-area (ex.: celular)
  - Ex., 3G: centenas de kbps a 1 Mbps em geral

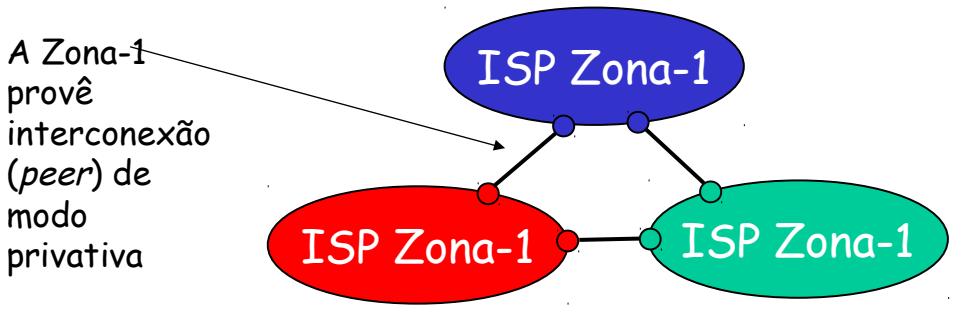
- Satélite
  - Canal de até 50 Mbps (ou vários canais menores)
  - 270 ms de atraso fim-a-fim
  - Geossíncrono *versus* LEOS

1 Redes de computadores e a Internet

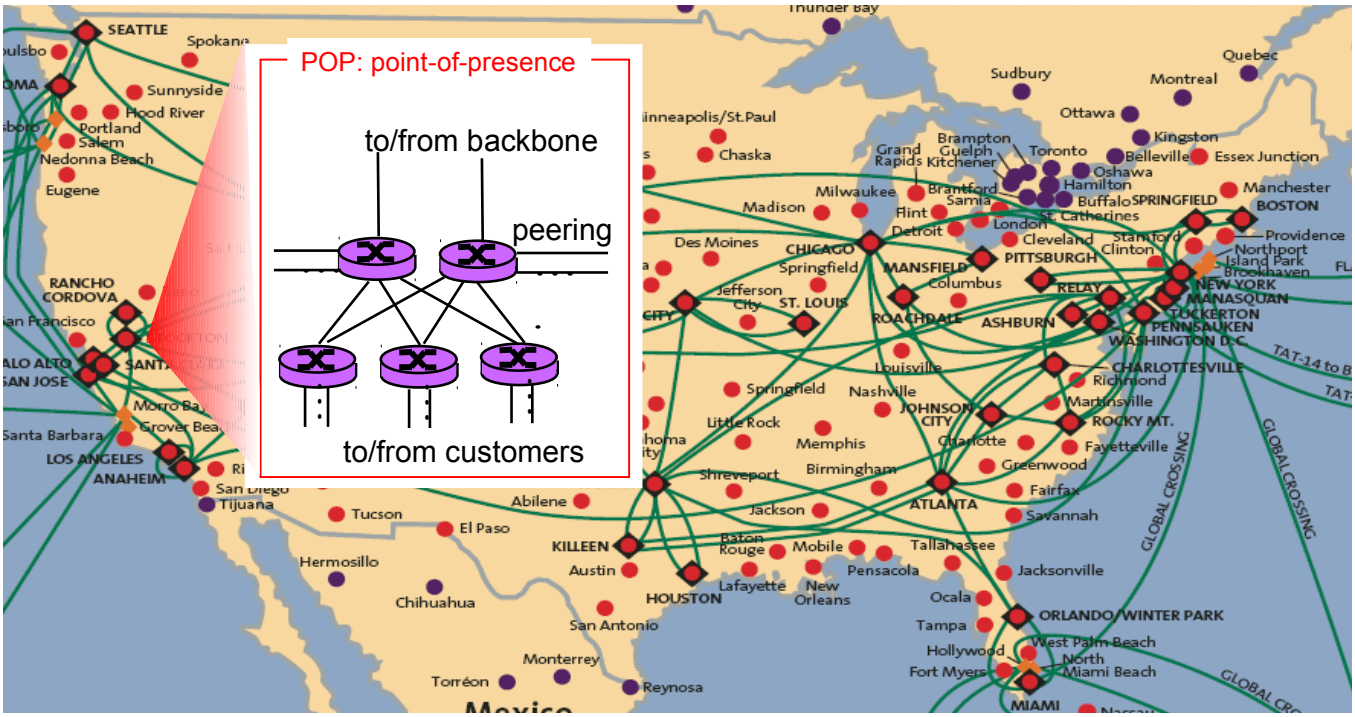
- 1.1 O que *é* Internet?
- 1.2 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- **1.5 Estrutura da Internet e ISPs**
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Arquitetura em camadas
- 1.8 História

1 Estrutura da Internet: rede de redes

- Grosseiramente hierárquica
- No centro: ISPs de "zona-1" (ex.: UUNet, BBN/Genuity, Sprint, AT&T), cobertura national/international
  - Os outros são igualmente tratados



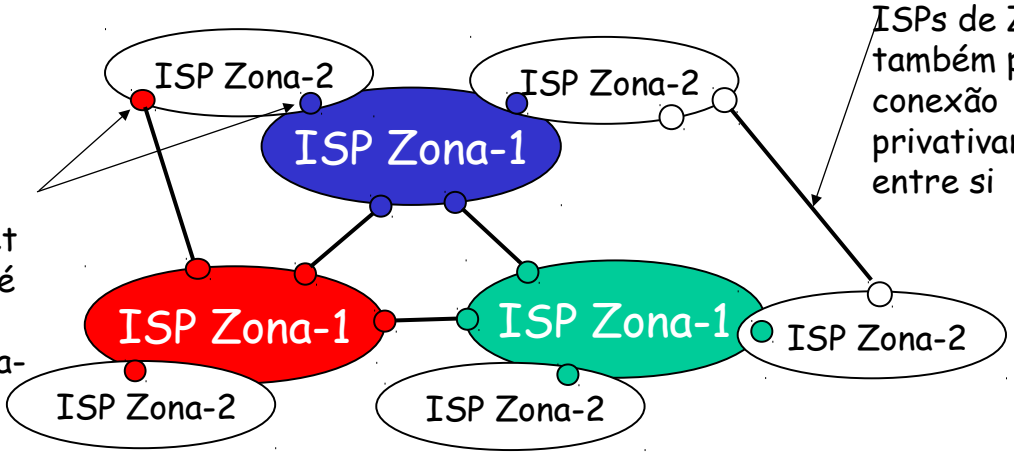
1 ISP de Zona-1 – ex.: Sprint



1 Estrutura da Internet: rede de redes

- ISPs de ”Zona-2”: ISPs menores (freqüentemente regionais)
  - Conectam-se a um ou mais ISPs de Zona-1, possivelmente a outros ISPs de Zona-2

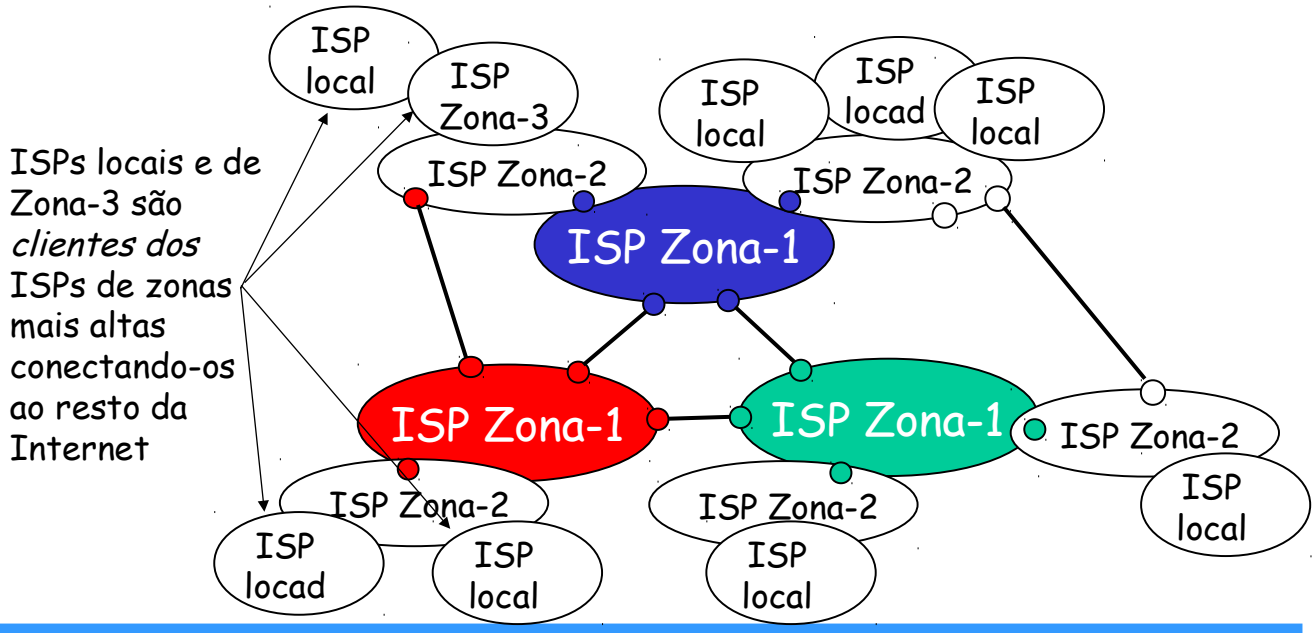
ISP de Zona-2 paga ao ISP de Zona-1 pela conectividade ao resto da Internet · ISP de Zona-2 é *cliente* do provedor de Zona-1



ISPs de Zona-2 também provêm conexão privativamente entre si

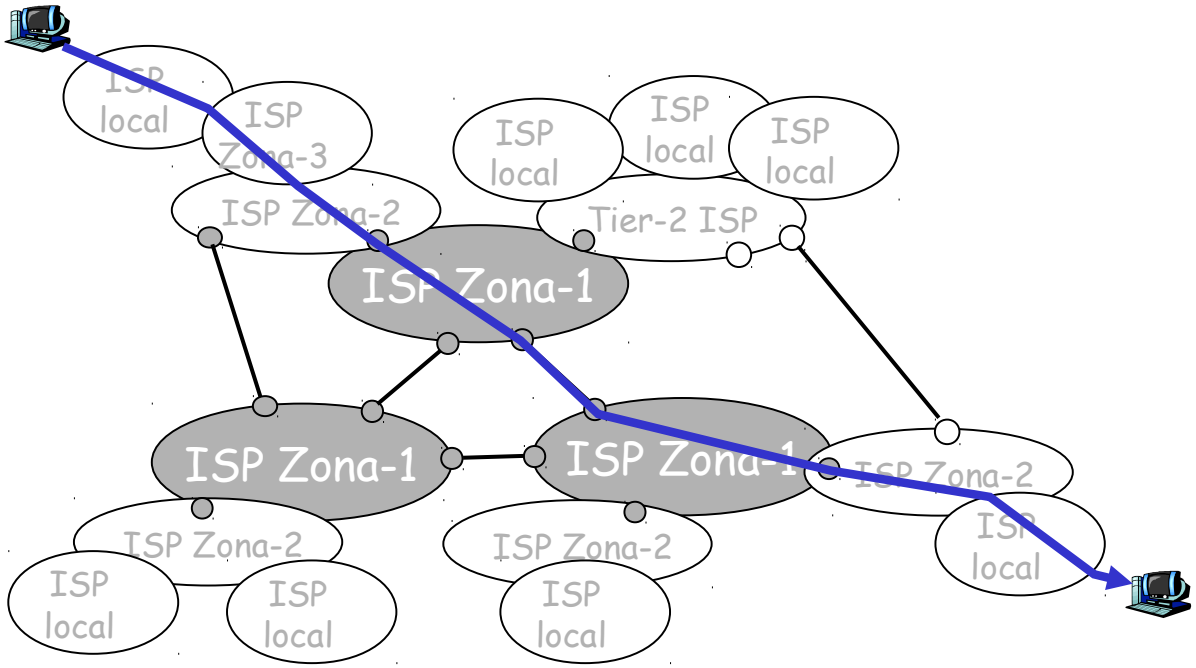
1 Estrutura da Internet: rede de redes

- ISPs de "Zona-3" e ISPs locais
  - Última rede de acesso ("hop") (mais próxima dos sistemas finais)



1 Estrutura da Internet: rede de redes

- Um pacote passa através de muitas redes



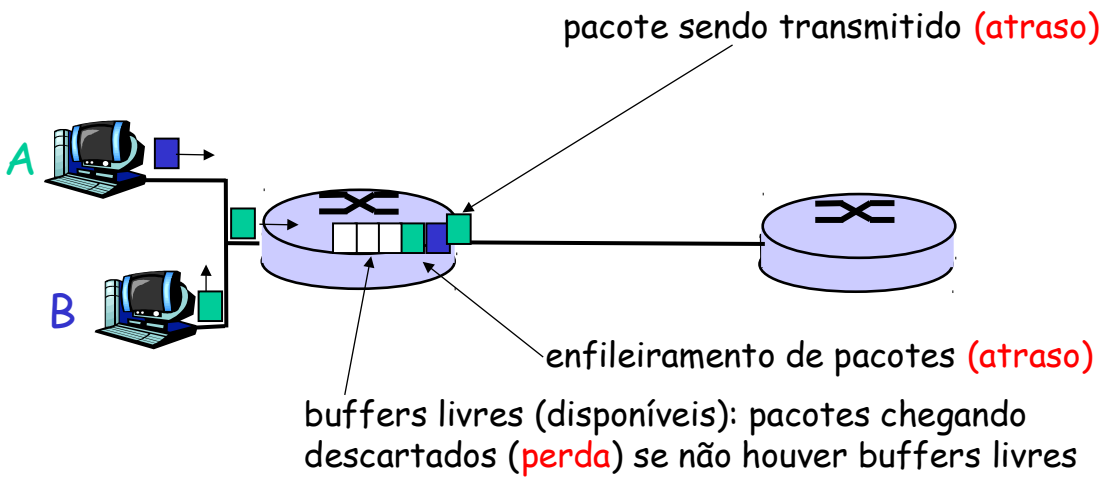
1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que *é* Internet?
- 1.2 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Camadas de protocolo, modelos de serviço
- 1.8 História

1 Como perdas e atrasos ocorrem?

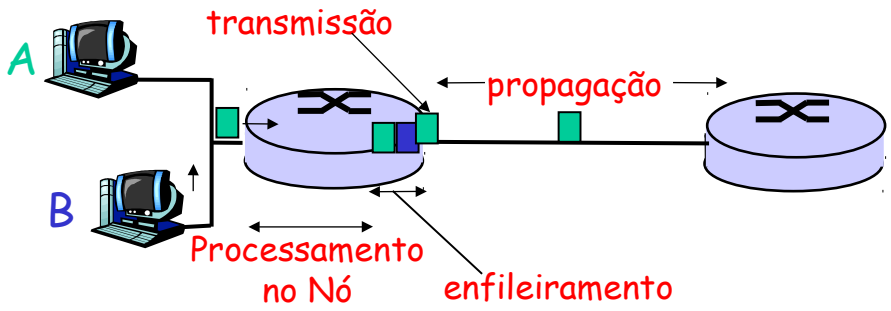
Filas de pacotes em buffers de roteadores

- Taxa de chegada de pacotes ao link ultrapassa a capacidade do link de saída
- Fila de pacotes esperam por sua vez



1 Quatro fontes de atraso de pacotes

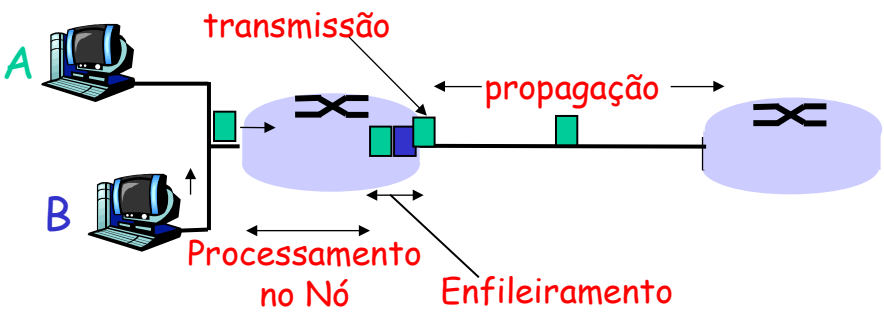
1. Processamento nos nós:
   - Verifica erros de bit
   - Determina link de saída
2. Enfileiramento
   - Tempo de espera no link de saída para transmissão
   - Depende do nível de congestionamento do roteador



1 Atraso em redes de comutação de pacotes

3. Atraso de transmissão:
- R= largura de banda do link (bps)
- L= tamanho do pacote (bits)
- Tempo para enviar bits ao link = L/R

4. Atraso de propagação:
- d = comprimento do link físico
- s = velocidade de propagação no meio (~$2x10^8$ m/s)
- Atraso de propagação = d/s



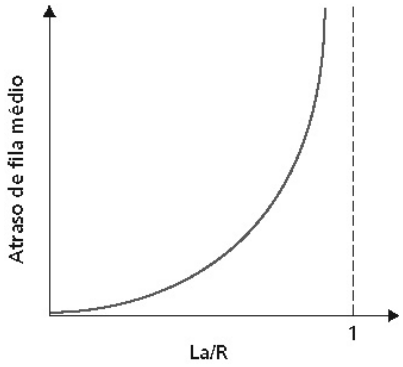
Nota: "s" e "R" são medidas **muito** diferentes!

1 Atraso nodal

$$d_{no} = d_{proc} + d_{fila} + d_{trans} + d_{prop}$$

- d_{proc} = atraso de processamento
  - Tipicamente uns poucos microssegundos ou menos
- d_{fila} = atraso de fila
  - Depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
  - = L/R, significante para links de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
  - Uns poucos microssegundos a centenas de milissegundos

1 Atraso de filas



- R = largura de banda do link (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- a = taxa média de chegada de pacotes

Intensidade de tráfego = La/R

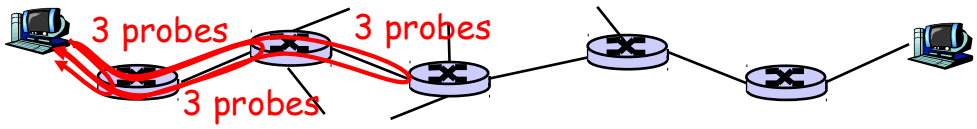
- La/R ~ 0: atraso médio de fila pequeno
- La/R -> 1: atraso se torna grande
- La/R > 1: mais trabalho chega do que a capacidade de transmissão.
  O atraso médio cresce indefinidamente!

1 Atrasos e rotas da Internet “real”

- Como são os atrasos e perdas na Internet “real”?

Programa **Traceroute:** fornece medidas do atraso da fonte para o roteador ao longo de caminhos fim-a-fim da Internet até o destino. Para todo *i:*

- Envia três pacotes que alcançarão o roteador *i* no caminho até o destino
- O roteador *i* retornará pacotes ao emissor
- O emissor cronometra o intervalo entre transmissão e resposta.



1 Atrasos e rotas da Internet “real”

Traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

Três medidas de atraso de gaia.cs.umass.edu para cs-gw.cs.umass.edu

```
1  cs-gw (128.119.240.254)  1 ms  1 ms  2 ms
2  border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)  1 ms  1 ms  2 ms
3  cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)  6 ms 5 ms 5 ms
4  jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)  16 ms 11 ms 13 ms
5  jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)  21 ms 18 ms 18 ms
6  abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)  22 ms  18 ms  22 ms
7  nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)  22 ms  22 ms  22 ms
8  62.40.103.253 (62.40.103.253)  104 ms 109 ms 106 ms
9  de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)  109 ms 102 ms 104 ms
10  de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)  113 ms 121 ms 114 ms
11  renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)  112 ms  114 ms  112 ms
12  nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)  111 ms  114 ms  116 ms
13  nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)  123 ms  125 ms  124 ms
14  r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)  126 ms  126 ms  124 ms
15  eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)  135 ms  128 ms  133 ms
16  194.214.211.25 (194.214.211.25)  126 ms  128 ms  126 ms
17  * * *
18  * * *
19  fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)  132 ms  128 ms  136  ms
```

link transoceânico

* sem resposta (perda de probe, roteador não responde)

1 Perda de pacotes

- A fila no buffer que precede o link possui capacidade finita
- Quando um pacote chega a uma fila cheia, ele é descartado (isto é, perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema final do emissor, ou não ser retransmitido

1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que *é* Internet?
- 1.2 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Arquitetura em camadas, modelos de serviço
- 1.8 História

1 Camadas de protocolos

Redes são complexas

- Muitos componentes:
  - Hospedeiros
  - Roteadores
  - Enlaces de vários tipos
  - Aplicações
  - Protocolos
  - Hardware, software

QUESTÃO:

Há alguma esperança de **organizar** a arquitetura de uma rede?

Ou pelo menos nossa discussão sobre redes?

1 Por que as camadas?

Convivendo com sistemas complexos:

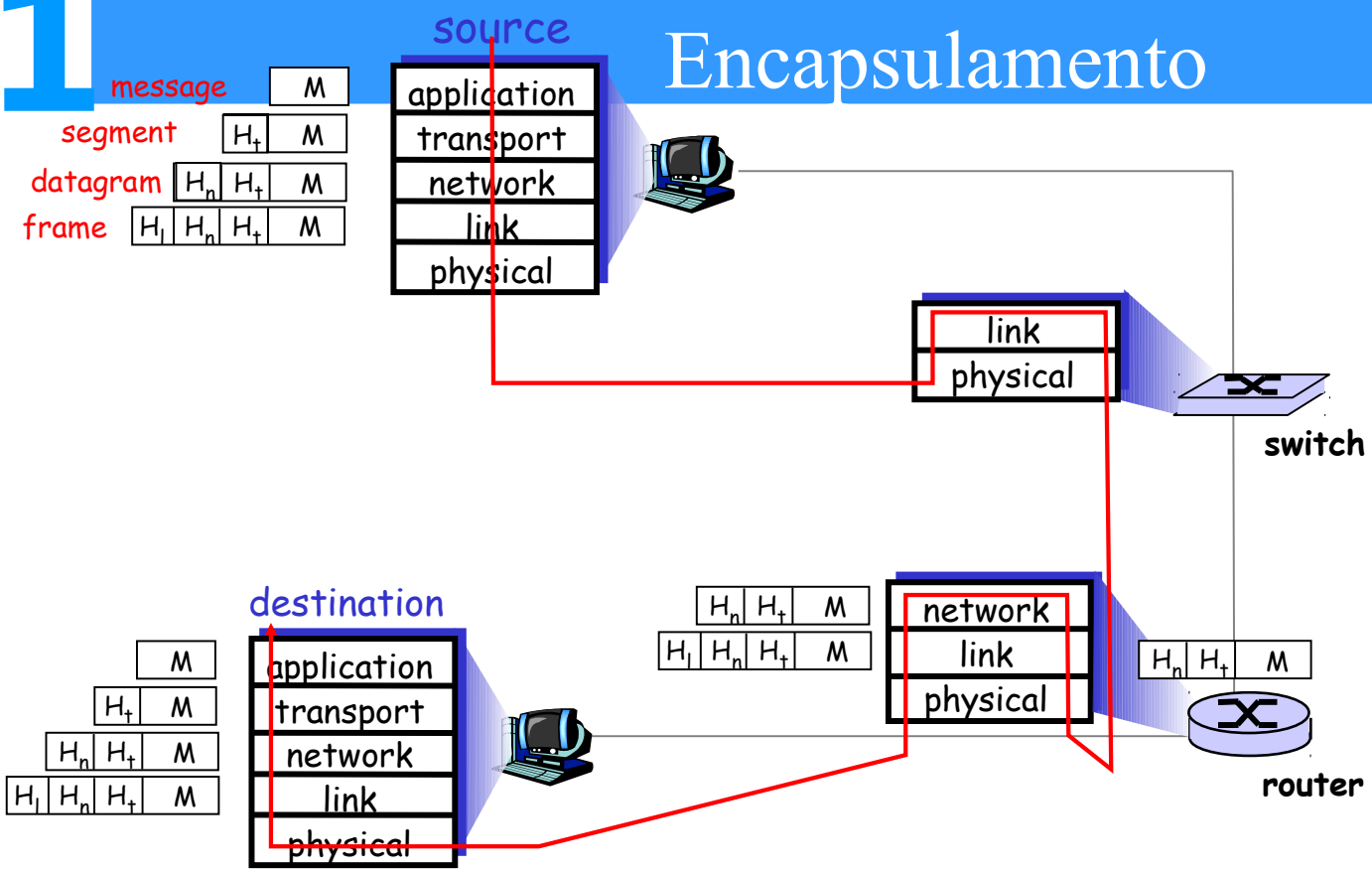
- Um modelo de referência em camadas permite uma estruturação da arquitetura

- Modularização facilita a manutenção, atualização do sistema
  - As mudanças na implementação de uma camada são transparentes para o resto do sistema

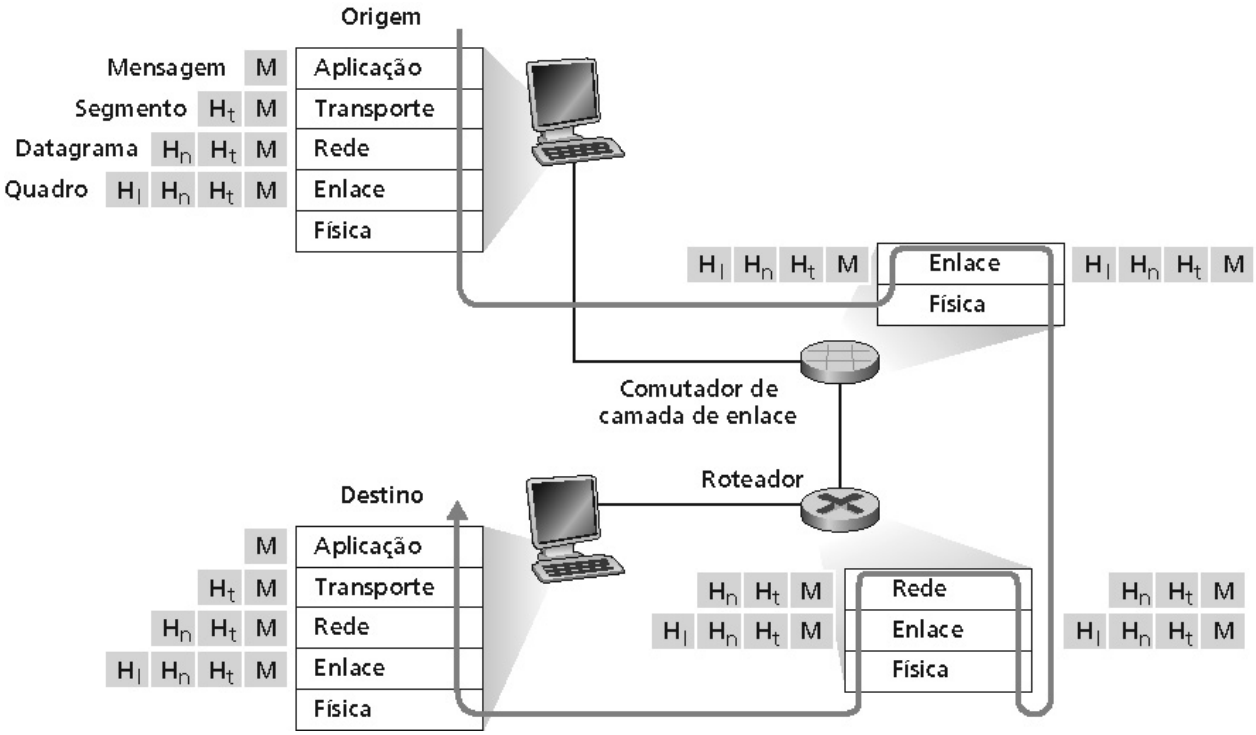
1 Pilha de protocolos da Internet

- Aplicação: suporta as aplicações de rede
  FTP, SMTP, HTTP
- Transporte: transferência de dados hospedeiro-hospedeiro
  - TCP, UDP
- Rede: roteamento de datagramas da origem ao destino
  - IP, protocolos de roteamento
- Enlace: transferência de dados entre elementos vizinhos da rede
  - PPP, Ethernet
- Física: bits "nos fios dos canais"

1 Encapsulamento



1 Encapsulamento



1 Redes de computadores e a Internet

- 1.1 O que *é* Internet?
- 1.2 Borda da rede
- 1.3 Núcleo da rede
- 1.4 Acesso à rede e meio físico
- 1.5 Estrutura da Internet e ISPs
- 1.6 Atraso e perda em redes de comutação de pacotes
- 1.7 Camadas de protocolo, modelos de serviço
- 1.8 História

1 História da Internet

1961-1972: primeiros princípios da comutação de pacotes

- 1961: Kleinrock - teoria das filas mostra a efetividade da comutação de pacotes
- 1964: Baran - comutação de pacotes em redes militares
- 1967: ARPAnet concebida pela Advanced Research Projects Agency
- 1969: primeiro nó da ARPAnet operacional
- 1972:
  - ARPAnet é demonstrada publicamente
  - NCP (Network Control Protocol) primeiro protocolo hospedeiro-hospedeiro
  - Primeiro programa de e-mail
  - ARPAnet cresce para 15 nós

1 História da Internet

1972-1980: Inter-redes, redes novas e proprietárias

- 1970: ALOHAnet rede via satélite no Havaí
- 1973: tese de PhD de Metcalfe propõe a rede Ethernet
- 1974: Cerf e Kahn - arquitetura para interconexão de redes
- Final dos anos 70: arquiteturas proprietárias: DECnet, SNA, XNA
- Final dos anos 70: comutação com pacotes de tamanho fixo (precursor do ATM)
- 1979: ARPAnet cresce para 200 nós

Princípios de interconexão de redes de Cerf e Kahn :

- Minimalismo, autonomia - não se exigem mudanças internas para interconexão de redes
- Modelo de serviço: melhor esforço
- Roteadores “stateless”
- Controle descentralizado

Define a arquitetura da Internet de hoje

1 História da Internet

1990-2000: comercialização, a Web, novas aplicações

- **Início dos anos 90:** ARPAnet descomissionada
- **1991:** NSF retira restrições sobre o uso comercial da NSFnet (descomissionada em 1995)
- **Início dos anos 90:** WWW
  - Hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
  - HTML, HTTP: Berners-Lee
  - 1994: Mosaic, depois Netscape
  - Final dos anos 90: comercialização da Web

Final dos anos 90-2000:

- Mais aplicações "killer": instant messaging, P2P file sharing segurança de redes à dianteira
- Est. 50 milhões de hospedeiros, 100 milhões de usuários
- Enlaces de backbone operando a Gbps

1 Introdução: resumo

Cobriu uma "tonelada" de material!

- Internet overview
- O que é um protocolo?
- Borda da rede, núcleo, rede de accesso
  - Comutação de pacotes versus comutação de circuitos
- Estrutura da Internet/ISP
- Desempenho: perda, atraso
- Camadas e modelos de serviços
- História

Você agora tem:

- Contexto, visão geral, sentimento das redes
- Mais profundidade e detalhes virão mais tarde no curso