

# Introdução

## Mestrado Integrado em Engenharia de Comunicações

3º ano, 1º semestre  
2012/2013



## Sumário



### *Sumário*

- O que é a Internet?
- O que é um Protocolo?
- Os extremos da rede
- O núcleo da rede
- Desempenho: perdas e atrasos
- Redes de Acesso
- Estrutura da Internet: a Rede das Redes
- Camadas protocolares
- Modelos de Serviço

Estes slides são maioritariamente baseados no livro:  
**Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet,**  
**J. Kurose, Addison-Wesley, 2009**

## O que é a Internet



- Rede à escala mundial que liga milhões de dispositivos computacionais (PCs, workstations, servidores, e mais recentemente computadores portáteis, computadores de bolso, televisões, e até torradeiras ;-)), que se designam por Sistemas Terminais (*hosts*).
- Os Sistemas Terminais executam um conjunto de aplicações distribuídas, designadas por Aplicações de Rede, de que são exemplo, o correio electrónico, o Web, etc.
- Os Sistemas Terminais estão ligados entre si através de Ligações que usam diferentes tecnologias e diferentes Meios de Transmissão (fios de cobre, cabos coaxiais, fibras ópticas, espaço rádio-eléctrico, etc).
  - As diferentes Ligações transmitem os dados a diferentes taxas, com a taxa de transmissão medida em bits/segundo (bps).

## O que é a Internet



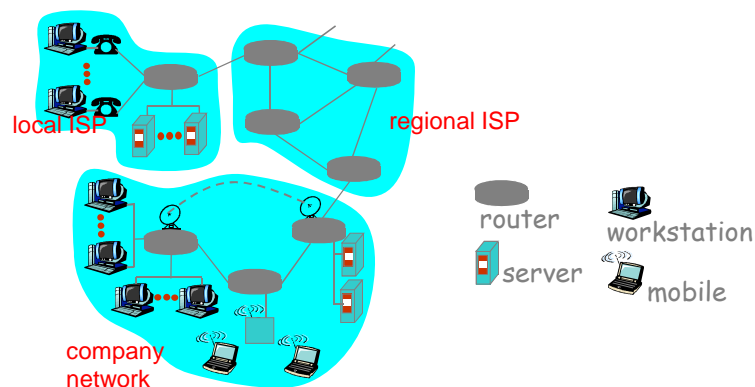
- Os Sistemas terminais **estão ligados indirectamente através de dispositivos de comutação que se designam por Encaminhadores** (*packet switches*).
- Os Encaminhadores **possuem no mínimo duas Ligações, e reenviam os dados (organizados em pacotes) que recebem de uma ligação de entrada para uma ligação de saída.**
  - Existem vários tipos de encaminhadores mas os dois tipos principais hoje em dia são os *routers* (nível 3) e os *switches* (nível 2).
- O caminho efectuado por um pacote desde o sistema terminal de origem, passando por uma série de ligações e encaminhadores até ao sistema terminal de destino designa-se por caminho ou rota.

## O que é a Internet



- A internet usa uma técnica designada por comutação de pacotes, ou seja, em vez de estabelecer caminhos dedicados entre os sistemas terminais permite que múltiplos sistemas terminais partilhem os mesmos caminhos ou partes de caminhos simultaneamente.
- Os sistemas terminais acedem à Internet através de ISPs (Internet Service Providers). Cada ISP tem normalmente uma rede constituída por encaminhadores e ligações, e disponibiliza diferentes tipos de Redes de Acesso aos Sistemas Terminais (linha telefónica comutada, ADSL e cabo para utilizadores residenciais, redes locais de alta velocidade para empresas, e recentemente também redes sem fios).
- Existe uma hierarquia de ISPs que possibilita que as diferentes redes dos diferentes ISPs estejam todas ligadas entre si.

## O que é a Internet



## Para pensar (agora):

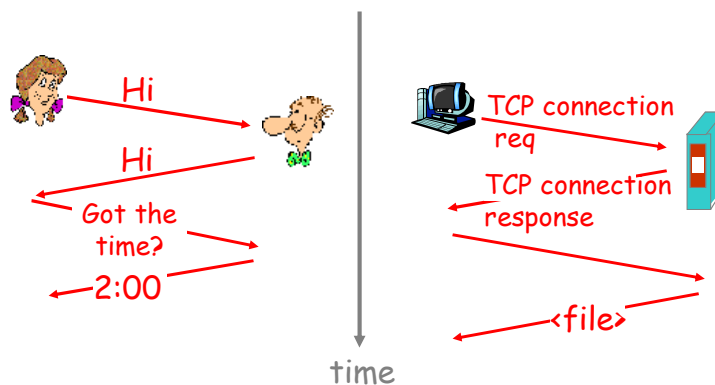


- Identificar nomes de ISPs nacionais
- Que redes de acesso suportam?
- Que parâmetros levamos em conta na escolha de um ISP?

## O que é um Protocolo



### *Analogia com seres humanos*



## O que é um Protocolo



Conjunto de regras (*sintáticas, semânticas e temporais*) ou convenções que regulam a comunicação entre duas entidades. Surgem normalmente agrupados em famílias de protocolos (ex: família TCP/IP).

- **Tanto os sistemas terminais, como os encaminhadores utilizam Protocolos que são responsáveis por controlar o envio e a recepção da informação.**
- **O TCP e o IP são os protocolos mais importantes na Internet, daí a sua designação (TCP/IP) ter sido escolhida para** designar o conjunto de protocolos **usados na Internet.**
- **O IP especifica o formato da informação que é enviada e recebida através de encaminhadores e sistemas terminais na Internet, bem como as regras para processar essa informação.**

## O que é um Protocolo



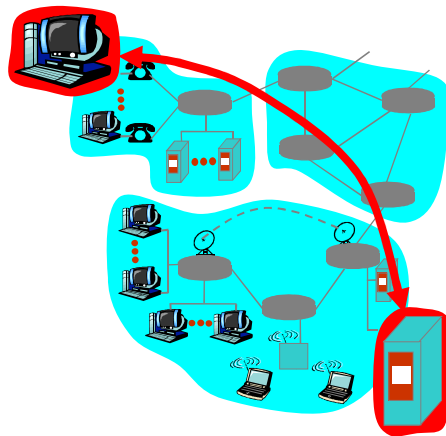
- **A maioria dos protocolos utilizados na Internet são desenvolvidos pelo IETF (Internet Engineering Task Force) e estão organizados em documentos designados por RFCs (Request for Comments).**
- **As RFCs especificam assim protocolos como o TCP, o IP, o HTTP, o SMTP, etc. Existem mais de 5000 RFCs!!!**
- **Além do IETF, existem outras organizações, por exemplo o IEEE e a ISO, que também desenvolvem protocolos (IEEE 802, modelo de referência OSI, etc).**

## Os extremos da Rede



### Modelo Cliente-Servidor

- Os **sistemas terminais** são frequentemente classificados em duas categorias distintas: **clientes** ou **servidores**. Os clientes são normalmente PCs ou Workstations e os servidores máquinas mais poderosas. Os sistemas terminais clientes executam normalmente os programas ditos clientes, e os servidores os programas servidor.
- O **programa cliente** envia pedidos e recebe respostas do **programa servidor**. Aplicações como o correio electrónico, WWW, transferência de ficheiros, news, etc, utilizam este modelo de funcionamento que se designa por **modelo cliente-servidor**.
- Como, tipicamente, cliente e servidor residem em máquinas distintas, necessitam de uma infra-estrutura de comunicações para comunicarem.



## Os extremos da Rede



### Sistemas Terminais

- A Internet disponibiliza dois tipos de serviços aos Sistemas Terminais: o serviço orientado à conexão e o serviço não orientado à conexão**
  - Na Internet o serviço **orientado à conexão** é implementado pelo protocolo TCP (Transmission Control Protocol) [RFC 793].
    - Existe uma fase em que é estabelecida a conexão entre os dois sistemas terminais, anterior à transferência de dados propriamente dita, e uma fase posterior em que a conexão é desfeita.
    - No caso do TCP, na fase de estabelecimento da conexão os Sistemas Terminais alocam *buffers* e variáveis de estado que lhes permite implementar **controlo de fluxo, controlo de congestão e transmissão de dados fiável**
    - O protocolo TCP é implementado apenas pelos Sistemas Terminais, e não pelos encaminhadores que implementam apenas o protocolo IP.

## Os extremos da Rede



### *Sistemas Terminais*

- O serviço **não orientado à conexão** é implementado, na Internet, pelo protocolo UDP (User Datagram Protocol) [RFC 768].
- Não existe uma fase em que é estabelecida a conexão, ou seja, quando um Sistema Terminal deseja comunicar com outro, simplesmente envia a informação
- Como não se perde tempo a estabelecer a conexão, os dados são entregues (potencialmente) mais depressa, mas por outro lado a transmissão não é fiável, ou seja a fonte nunca chega a saber se os dados foram entregues ou não.
- O UDP não implementa controlo de fluxo, nem de congestão.
- Dependendo da natureza das aplicações, justifica-se a utilização de um ou outro protocolo de transporte (TCP ou UDP).

## Para pensar (agora):

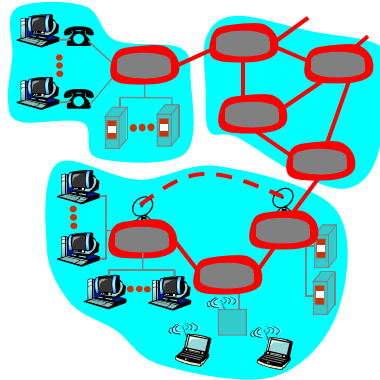


- **Analogia:**
  - Enviar uma carta pelo correio é semelhante a um serviço **Orientado à Conexão** ou **Não Orientado à Conexão**?

## O núcleo da Rede



- Os encaminhadores e as ligações formam uma malha de encaminhadores interligados
- Duas alternativas:
  - **Comutação de circuitos:** antes de se iniciar a comunicação é estabelecido um caminho entre os sistemas terminais. Os recursos necessários à comunicação são reservados ao longo do caminho estabelecido e permanecem reservados enquanto durar a sessão. Exemplo: a rede telefónica.
  - **Comutação de pacotes:** não há reserva de recursos, a informação a transmitir é dividida em pacotes que atravessam de forma independente as ligações e os encaminhadores sem que seja efectuada qualquer reserva de recursos. Exemplo: a Internet.



## Comutação de Circuitos



- Nas redes de comutação de circuitos os recursos da rede (por exemplo a largura de banda) são divididos “em partes” e cada uma dessas partes é atribuída a uma conexão (chamada)
  - Desvantagem: as “partes” atribuídas e não usadas são desperdiçadas
- Duas alternativas possíveis:
  - TDM (*Time Division Multiplexing*)
  - FDM (*Frequency Division Multiplexing*)



## Comutação de Circuitos



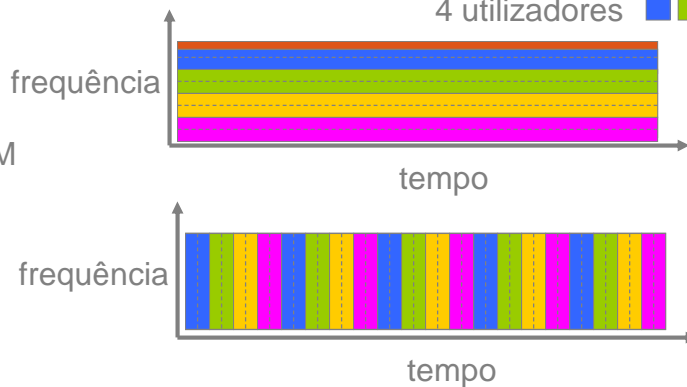
FDM

Exemplo:

4 utilizadores



TDM

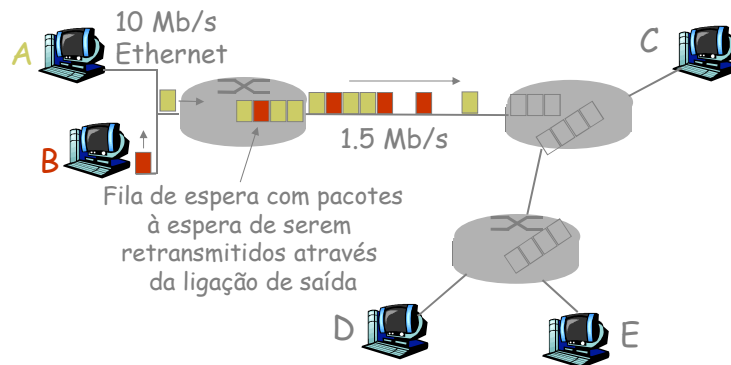


## Comutação de Pacotes



- Nas redes de comutação de pacotes, as fontes dividem as mensagens a transmitir em unidades mais pequenas: os pacotes.
- Os pacotes atravessam as ligações de rede e os encaminhadores num caminho que os conduz desde a fonte até ao destino.
- A maioria dos encaminhadores recebe o pacote inteiro antes de o começar a transmitir através de uma das suas ligações de saída. Este método de transmissão designa-se por store and forward.

## Comutação de Pacotes



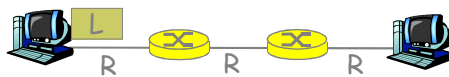
Ao contrário do TDM, a sequência de pacotes à saída do router não tem um padrão fixo!

## Comutação de Pacotes



- Para implementarem o mecanismo *store and forward* os encaminhadores têm que possuir:
  - *Buffers* de entrada (também designados por *input queues*) para armazenar os pacotes que acabam de chegar e *buffers* de saída (*output queues*) para armazenar os pacotes que estão à espera de ser reenviados.
  - Estes *buffers* têm um tamanho limitado o que pode levar a que os pacotes sejam “descartados” em situações de congestão da rede
  - Este modo de funcionamento introduz atrasos fixos (*store and forward delays*) e atrasos variáveis que dependem do nível de congestão da rede (*queuing delays*)

## Comutação de Pacotes

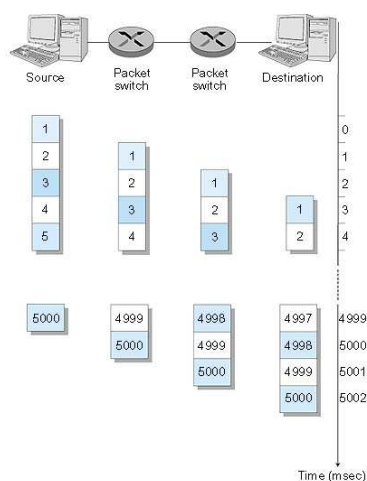


- Considerando só o atraso de transmissão
- São necessários  $L/R$  segundos para transmitir um pacote de  $L$  bits numa ligação de  $R$  bps
- O pacote tem de ser recebido na totalidade antes de ser reenviado:  
*store and forward*
- $atraso = 3L/R$

### Exemplo:

- $L = 7.5$  Mbits
- $R = 1.5$  Mbps
- $atraso = 15$  segundos

## Comutação de Pacotes



### • E se fragmentarmos em 5000 pacotes?

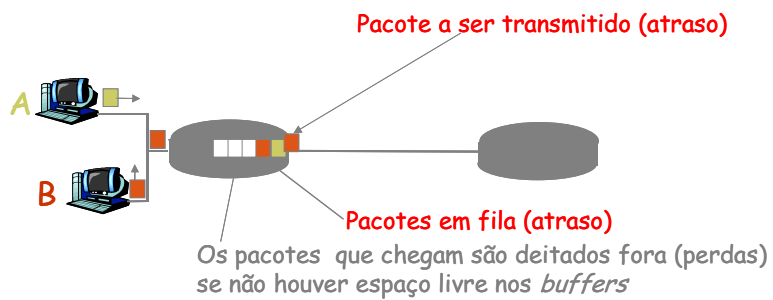
- Cada pacote são 1500 bits...
- Demora 1 ms em cada ligação!
- *pipelining*: cada ligação trabalha em paralelo
- Reduz-se o atraso total de 15 s para 5.002 s

## Comutação de Pacotes



### *perdas e atrasos*

- **Sempre que a taxa de chegada ultrapassa a capacidade da ligação de saída**
  - Os pacotes esperam numa fila pela sua vez

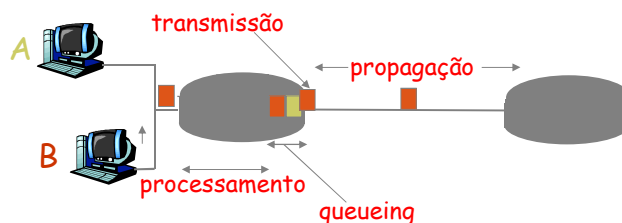


## Comutação de Pacotes



### *4 tipos de atraso*

- **1. Tempo de processamento**
  - Verificar erros
  - Determinar ligação de saída
- **2. Tempo gasto nas filas de espera**
  - Tempo de espera na ligação de saída pela sua vez
  - Depende do grau de congestão do encaminhador



## Comutação de Pacotes



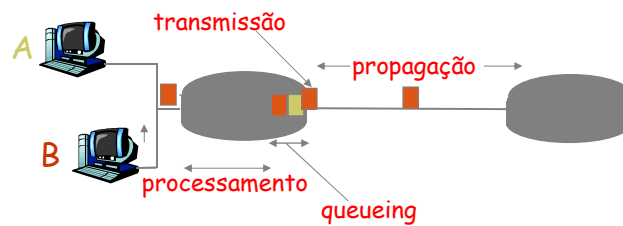
### 4 tipos de atraso

#### 3. Tempo de transmissão

- $R$  = largura de banda da ligação (bps)
- $L$  = comprimento do pacote (bits)
- Tempo necessário para enviar um pacote para a ligação =  $L/R$

#### 4. Tempo de propagação:

- $d$  = comprimento do meio físico de transmissão
- $s$  = velocidade de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/seg)
- Tempo de Propagação =  $d/s$



## Tempo de atraso num nó



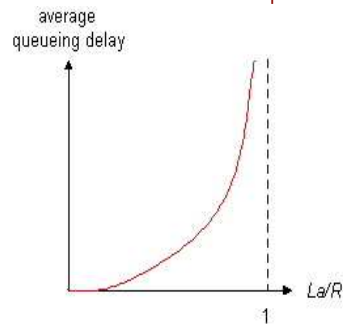
$$t_{\text{nó}} = t_{\text{proc}} + t_{\text{queue}} + t_{\text{trans}} + t_{\text{prop}}$$

- $t_{\text{proc}}$  = **tempo de processamento**
  - Tipicamente na ordem dos microsegundos ou menos
- $t_{\text{queue}}$  = **tempo na fila de espera**
  - Depende do nível de congestão da rede
- $t_{\text{trans}}$  = **tempo de transmissão**
  - $= L/R$ , significativo para ligações de baixa taxa de transmissão
- $t_{\text{prop}}$  = **tempo de propagação**
  - $= d/s$ , depende do meio de transmissão e, principalmente, da distância

## Tempo médio gasto nas filas



- **R=Largura de Banda do link (bps)**
- **L=Tamanho do pacote (bits)**
- **a=taxa de chegada de pacotes**



**Intensidade de tráfego =  $La/R$**

- $La/R \sim 0$ : atraso médio na fila muito baixo
- $La/R < 1$ : atraso aumenta, à medida que tende para 1
- $La/R > 1$ : chegam mais bits que os que podem ser despachados: atraso médio infinito!

## Perdas



- Os *buffers (queues)* dos *routers* têm uma capacidade limitada
- Quando um pacote chega a um *router* as *queues* podem estar cheias
- Nesse caso o pacote é descartado, ou é escolhido um pacote na fila que é descartado para dar lugar ao pacote recém chegado
- O pacote que foi descartado pode ou não ser retransmitido. Se for, pode sê-lo pelo nó imediatamente anterior no caminho, ou pela fonte

## C. de pacotes *versus* C. de circuitos



- **Comutação de pacotes? Indiscutivelmente?**

- Muito bom para dados em rajada
  - partilha de recursos, mais simples
- Congestão excessiva implica perda de pacotes e atrasos
  - Necessidade de protocolos para transferências fiáveis, controlo de congestão
- E se tivermos comportamentos típicos de circuito?
  - Por exemplo chamadas de voz!...
  - Como arranjar garantias de qualidade de serviço?

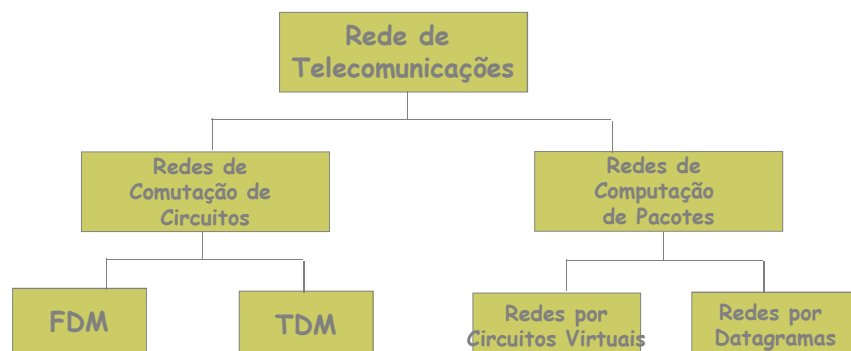
## Comutação de Pacotes



### *Encaminhamento do Tráfego*

- **Objectivo**
  - Mover os pacotes de encaminhador para encaminhador, desde a origem até ao destino
- **Redes por Datagramas (ex: Internet)**
  - O próximo nó no caminho até ao destino é determinado pelo campo destino contido no pacote
  - Os caminhos variam ao longo de uma sessão
- **Redes por Circuitos Virtuais (ex: X.25, ATM)**
  - O caminho é estabelecido antes da transferência dos dados e mantido até ao fim da sessão
  - Os pacotes incluem um identificador do caminho estabelecido que permite identificar o próximo nó
  - Existe informação de estado por cada conexão estabelecida.

## Taxonomia das Redes



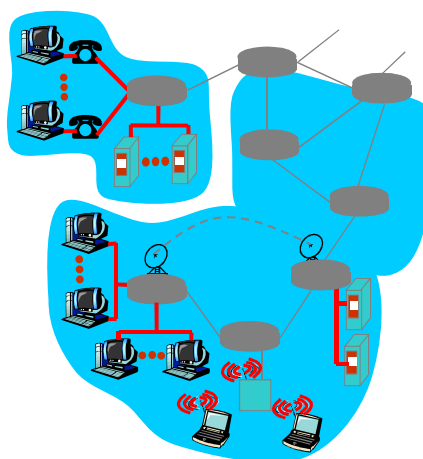
## Redes de Acesso



- Residenciais (em casa)
- Institucionais (escolas, universidades, organizações)
- Sem fios (utilizadores móveis)

### *Aspectos a ter em conta:*

- Largura de banda (bits por segundo) da rede de acesso?
- Ligação de acesso partilhada ou dedicada?



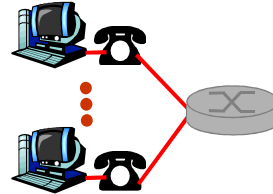


## Redes de acesso residenciais



- **Dialup via modem** (já quase não se usa, na rede fixa)

- Ligação ponto a ponto entre a casa do assinante e o *router* do ISP (com um modem de cada lado) via linha telefónica comutada
- Até um máximo de 56Kbps (quase sempre menos)
- Impossível telefonar enquanto se está ligado à Internet e vice-versa



- **ADSL: ligação assimétrica sobre a linha telefónica, usando uma banda não ocupada pelo serviço telefónico.**

- Ligação assimétrica sobre a linha telefónica entre o assinante e o router do ISP
- Baixa taxa de transmissão do assinante para o ISP (*uplink*): tipicamente  $\leq 1$  Mbps
- Elevada taxa de transmissão do ISP para o assinante (*downlink*): tipicamente  $\leq 24$  Mbps
- Permite a utilização simultânea do serviço telefónico e do acesso à Internet Tecnologia em evolução constante

## Redes de acesso residenciais



- **Rede de cabo (de distribuição de sinais de televisão)**

- A infra-estrutura de cabos coaxiais e fibras ópticas usada para difundir sinais de televisão, é usada em simultâneo para a transmissão de dados (acesso à Internet)
- Tem como principal vantagem o permitir aproveitar uma infra-estrutura já instalada e com elevada largura de banda

- **Satélite**

- O acesso à Internet por satélite é apenas usado em locais em que não existe uma infra-estrutura de cabos e em que a instalação de cabos é muito difícil ou dispendiosa

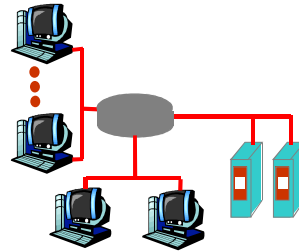
- **FTTH (ou FTH): fiber to the home**

- Ligação integralmente em fibra óptica, desde o ISP até à casa do assinante
- Potencial para suportar taxas de transmissão muito elevadas
- Actualmente usada para distribuição de TV por cabo e para acesso à Internet com larguras de banda de cerca de 100 Mbps

## Redes de acesso organizacionais



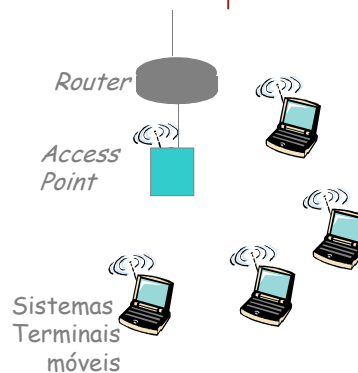
- **A rede local (LAN) da organização** liga os sistemas terminais a um *router* da organização que está por sua vez ligado à Internet
- **Ethernet:**
  - Ligação partilhada ou dedicada que liga os sistemas terminais entre si e ao *router*
  - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet



## Redes de acesso sem fios



- **Rede sem fios partilhada que liga os sistemas terminais ao *router* via "access point"**
- **Redes locais sem fios:**
  - 802.11 (WiFi): 1 a 54 Mbps
- **Redes de longa distância sem fios**
  - Disponibilizadas pelos operadores de telecomunicações móveis
  - WAP/GPRS na Europa
  - 3G ~ 384 kbps
  - HSPA ~ 7.2 Mbps
  - WiMAX

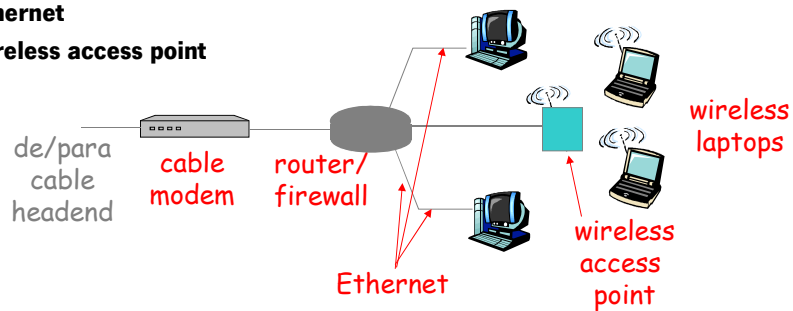


## Redes residenciais



### Componentes típicos de uma rede residencial:

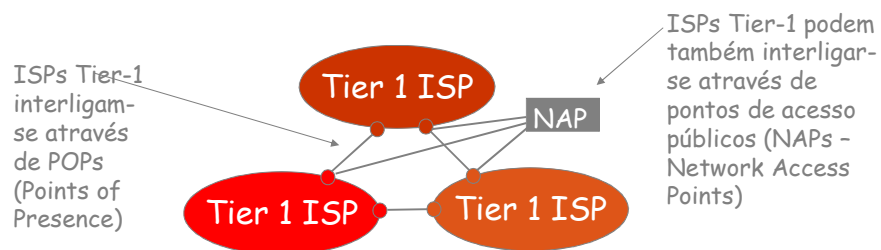
- ADSL ou cabo
- router/firewall/NAT
- Ethernet
- wireless access point



## Estrutura da Internet: a Rede das Redes



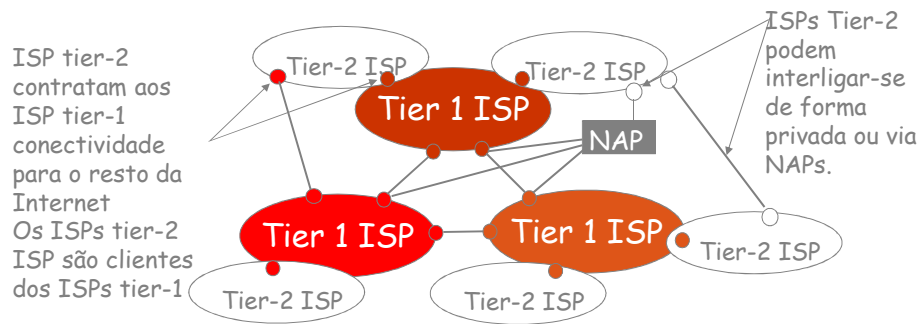
- **Estrutura hierárquica**
- **No nível mais alto estão os ISPs "tier-1" (e.g., MCI, Sprint, AT&T, Cable and Wireless) com cobertura internacional**
  - Cada ISP "tier-1" tem ligações para todos os outros ISPs "tier-1" e várias ligações para ISPs "tier-2"



## Estrutura da Internet: a Rede das Redes



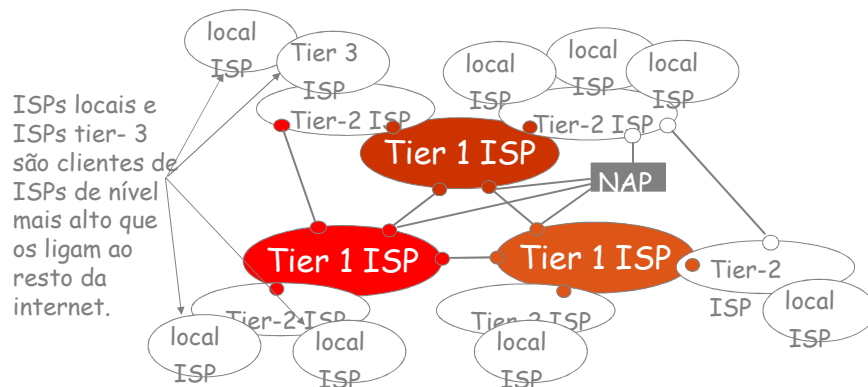
- **ISPs “Tier-2”: ISPs mais pequenos (cobertura nacional)**
  - Ligam-se a um ou mais ISPs tier-1 e possivelmente a outros ISPs tier-2



## Estrutura da Internet: a Rede das Redes



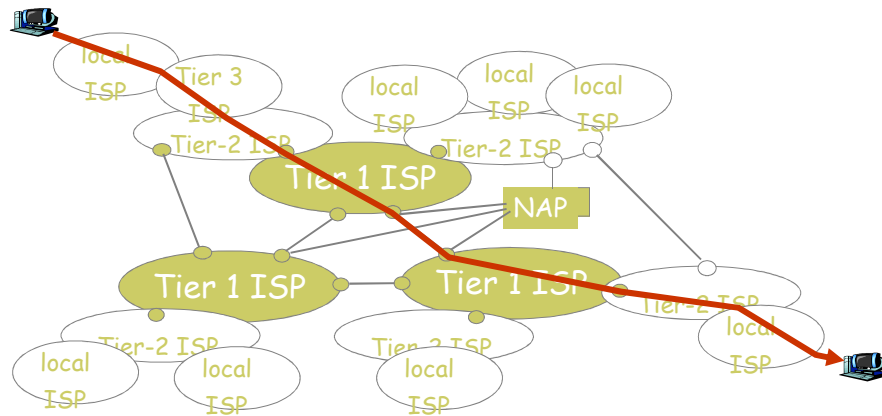
- **ISPs “Tier-3” e ISPs locais**
  - Último “salto”. A rede mais próxima dos sistemas terminais.



## Estrutura da Internet: a Rede das Redes



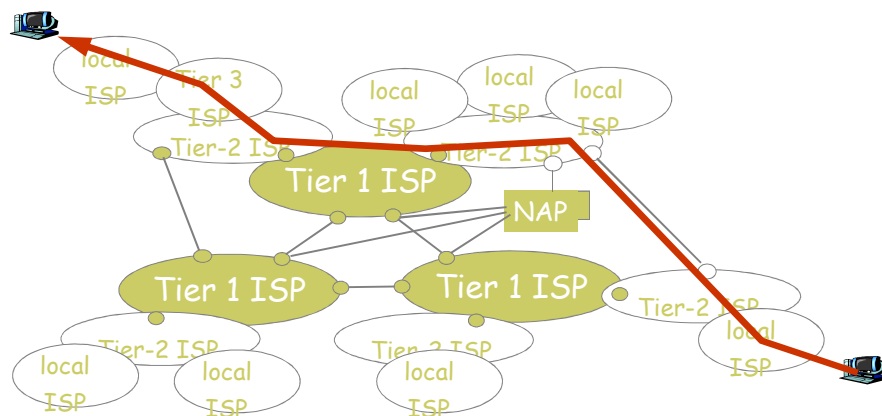
- Um pacote passa por diferentes redes desde a origem até ao destino



## Estrutura da Internet: a Rede das Redes



- O percurso inverso pode ser completamente diferente...



## Comunicação de Dados



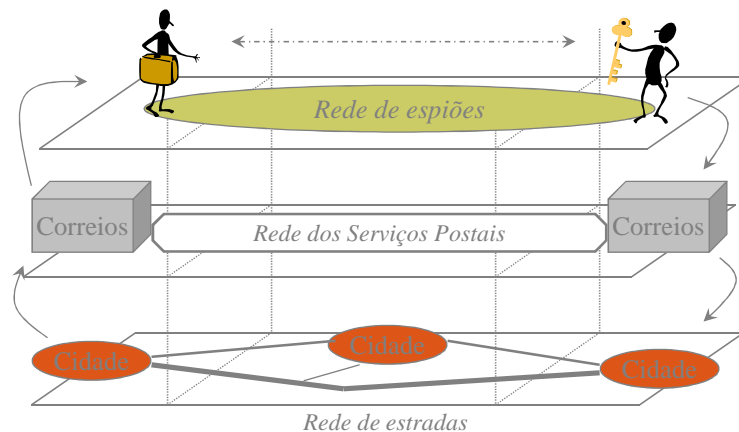
### Tarefas

- geração de sinais
- definição interfaces
- sincronização
- formatação dados
- endereçamento
- detecção de erros
- correcção de erros
- controlo de fluxo
- formatação de msgs
- encaminhamento msgs
- transporte de msgs
- verificação de msgs
- recuperação de msgs
- independência dados
- protecção/segurança
- gestão da comunicação

## Estruturação em camadas

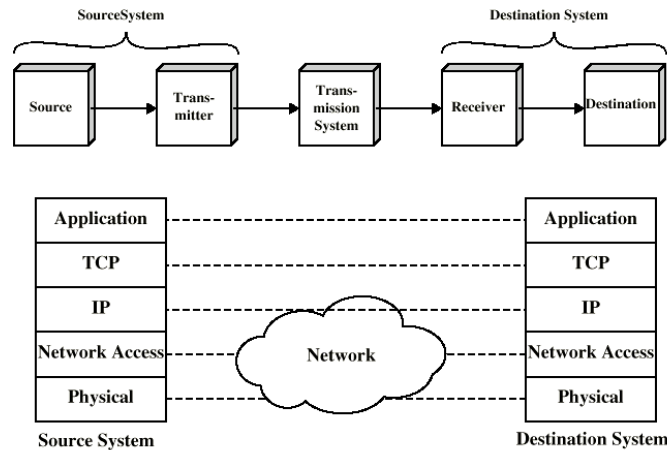


Exemplo do livro "Understanding Networked Multimedia"  
François Fluckiger, Prentice Hall, 1995



## Comunicação de dados

*Protocolo: regras de associação entre camadas homónimas*



[DCC, Stallings99]

## Comunicação de dados

*Modelos protocolares de referência*

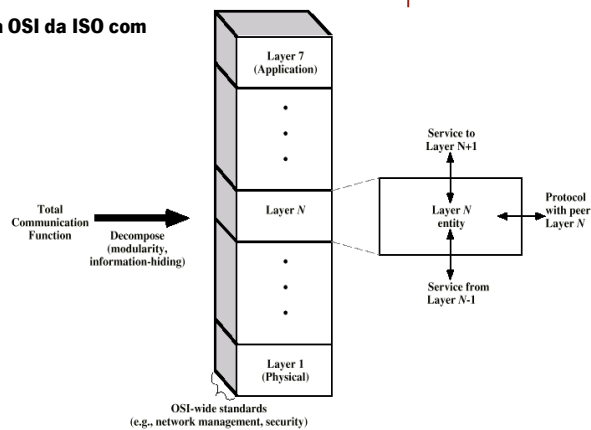


- **Modelo protocolar de referência OSI da ISO com 7 camadas funcionais:**

- camada de aplicação
- camada de apresentação
- camada de sessão
- camada de transporte
- camada de rede
- camada de ligação lógica
- camada física

**Designado ISO OSI-RM (ISO Reference Model for Open Systems Interconnection)**

- **Modelo protocolar TCP/IP:**  
tem 4 camadas funcionais

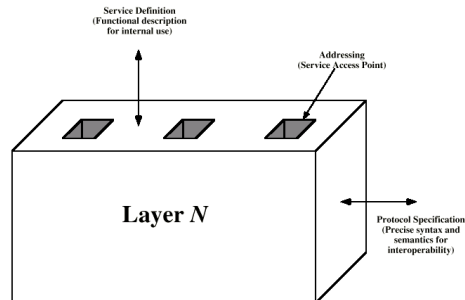


## Comunicação de dados

### Modelos protocolares de referência



- Cada camada implementa um subconjunto das funcionalidades de comunicação
- Usa os serviços da camada imediatamente inferior
- Presta serviços à camada imediatamente superior
- Alterações numa camada não afectam as restantes



## Modelo OSI



- **Nível físico**
  - Interface físico entre dispositivos
  - Características mecânicas, eléctricas, funcionais e procedimentais de acesso ao meio físico
  - Lida com a transmissão não estruturada de sequências de bits
- **Nível de ligação lógica**
  - Activar, manter e desactivar uma ligação fiável sobre uma ligação física
  - Envia blocos de bits (*frames*) com a necessária sincronização
  - Detecção e controlo de erros ao nível de uma ligação
- **Nível de Rede**
  - Encaminhamento dos dados através da rede, entre dois sistemas finais
  - Esconde todas as particularidades das tecnologias de transmissão dos níveis inferiores
  - Os níveis superiores podem lidar apenas com a comunicação fim a fim
  - Não faz falta em ligações directas



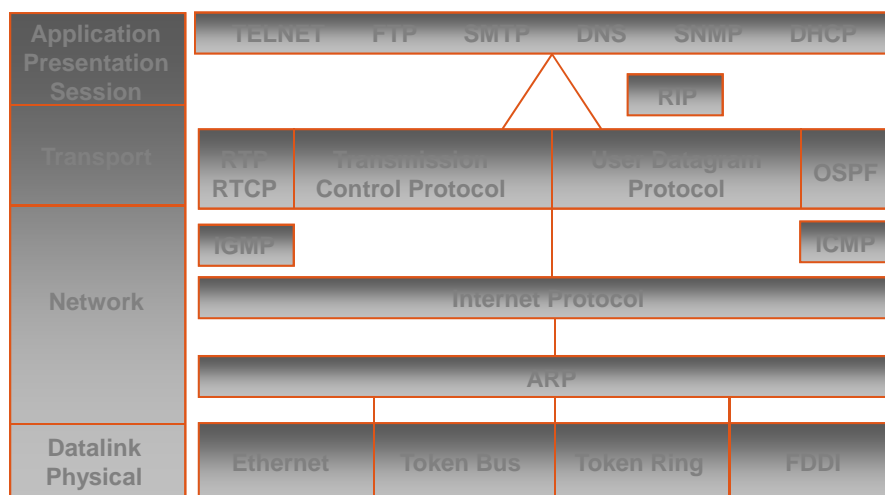
## Modelo OSI



- **Nível de transporte**
  - Troca de dados entre sistemas finais
  - Controlo de fluxo fim a fim, ordem e fiabilidade (sem perdas nem duplicados), quando orientado à conexão
- **Nível de sessão**
  - Controlo dos diálogos entre as aplicações (checkpoints para recuperação, suporte para transacções, interromper e recuperar o diálogo no ponto certo)
  - Disciplina de diálogo, agrupamento de fluxos e recuperação
- **Nível de apresentação**
  - Formato e codificação dos dados
  - Representação abstracta de dados e sintaxe de transferência
  - Serviços de transformação de dados entre formatos e representações heterogéneas
- **Nível de aplicação**
  - Operações remotas para facilitar o desenvolvimento de aplicações distribuídas
  - Aplicações genéricas: e-mail, transferência de ficheiros, acesso remoto

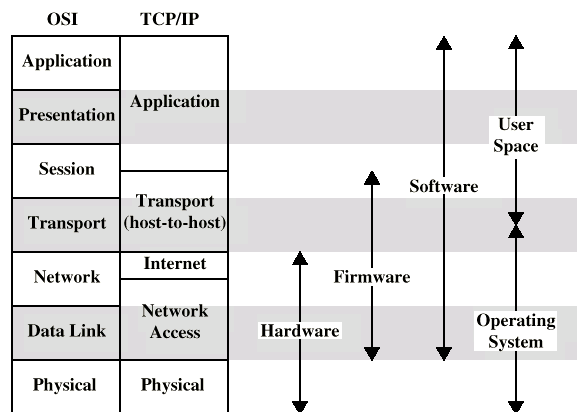
## Comunicação de dados

*Localização dos protocolos TCP/IP no Modelo de Referência OSI*



## Comunicação de dados

### Modelos protocolares de referência

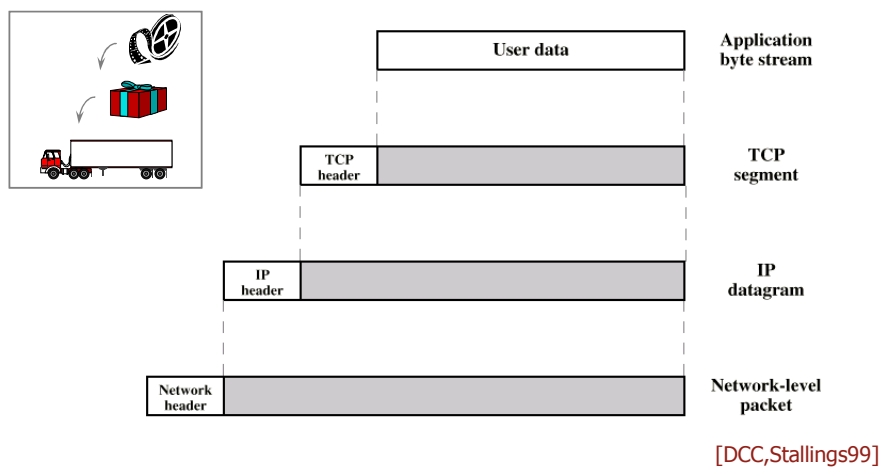


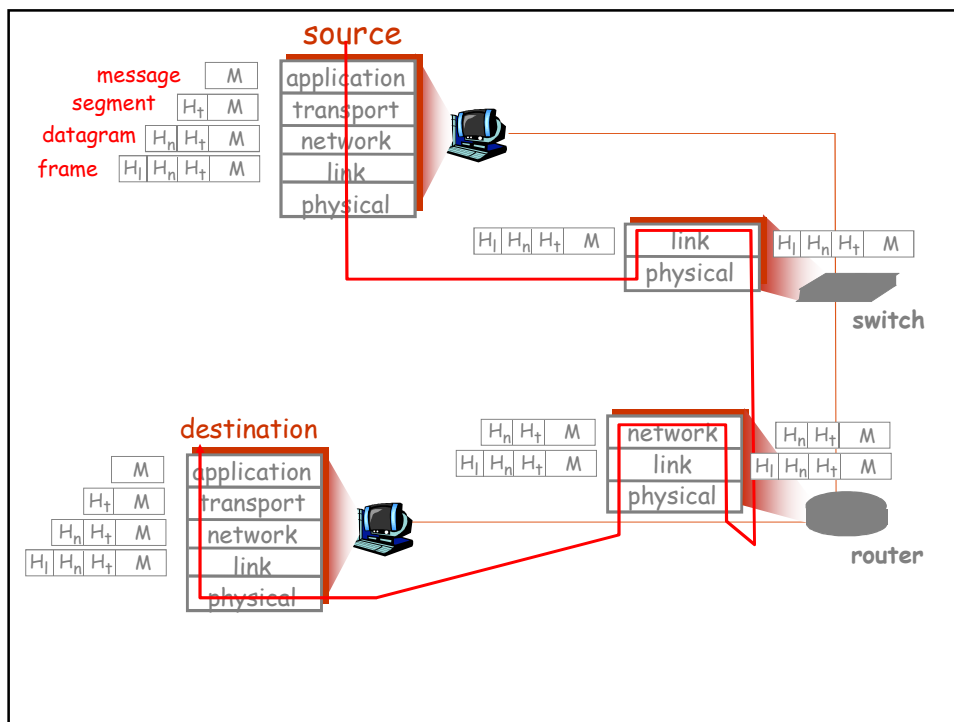
## Comunicação de dados

*Serviço: fornecido/prestado por camadas adjacentes*



Mecanismo: *encapsulamento* da unidade dados na camada inferior





## Para pensar (em casa):



- [www.wireshark.org](http://www.wireshark.org)
  - Capturar todos os pacotes trocados numa descarga da página da disciplina
    - Executar o Wireshark e activar a captura no interface de rede
    - Com o browser, digitar o URL e descarregar a página
    - Parar a captura no Wireshark
    - Filtrar apenas os pacotes HTTP
    - Examinar um deles (ou mais do que um!) com detalhe
- **Qual o tamanho dos cabeçalhos de cada camada?**
- **Calcule a taxa efectiva para esta transmissão**