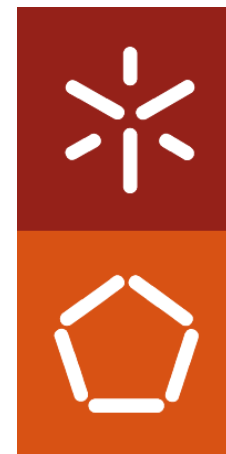


# Introdução

## **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



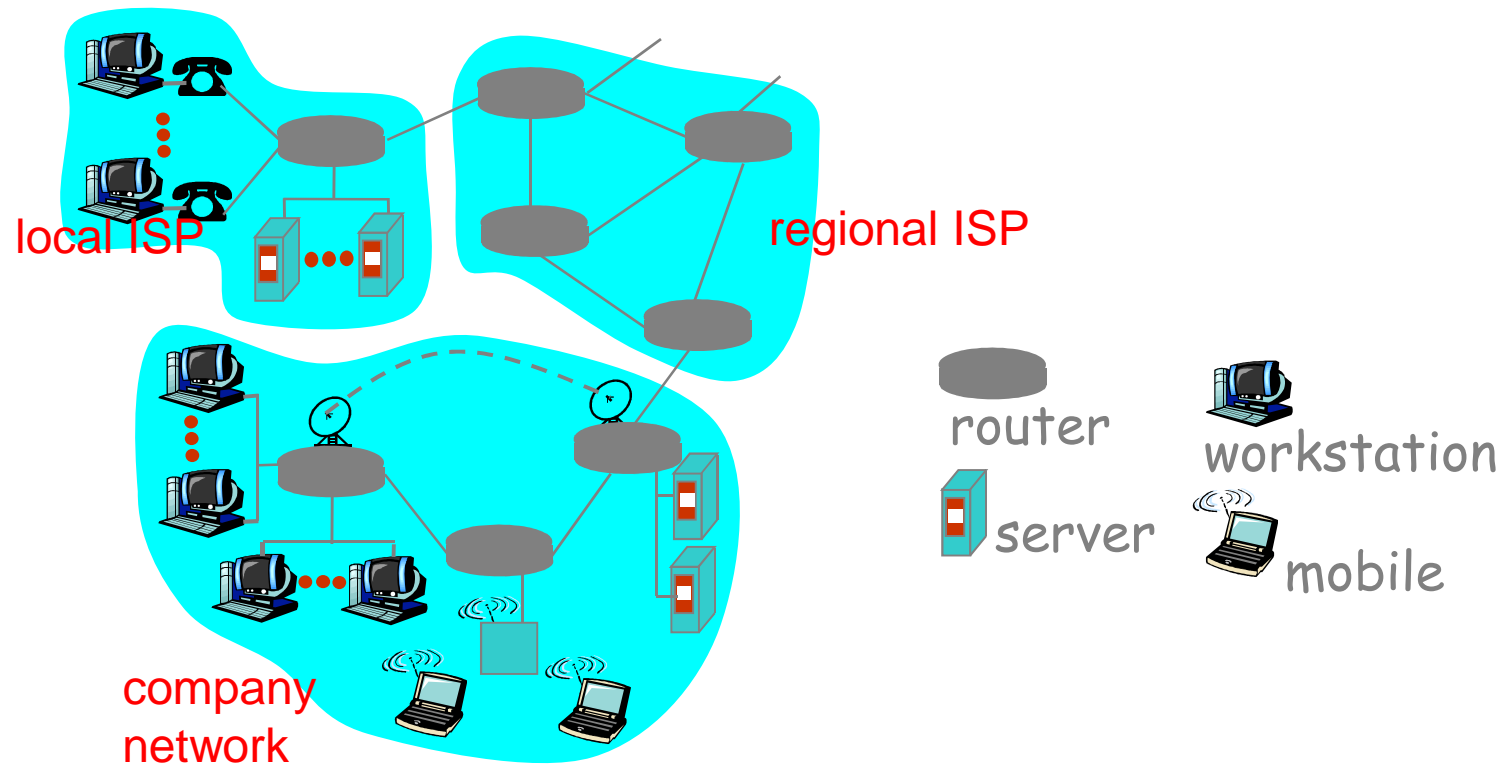
- **Rede à escala mundial que liga milhões de dispositivos computacionais (PCs, workstations, servidores, e mais recentemente computadores portáteis, computadores de bolso, televisões, e até torradeiras ;-))), que se designam por Sistemas Terminais (*hosts*).**
- **Os Sistemas Terminais executam um conjunto 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

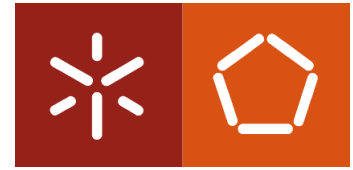


# O que é a Internet



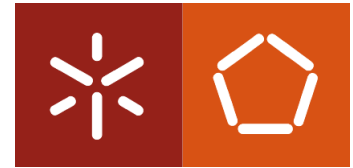
- **A internet usa uma técnica designada por** comutação de pacotes, **ou seja, em vez de estabelecer caminhos dedicados entre os sistemas terminais permite que múltiplos sistemas terminais partilhem os mesmos caminhos ou partes de caminhos simultaneamente.**
- **Os sistemas terminais acedem à Internet 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.**

## Para pensar (agora):

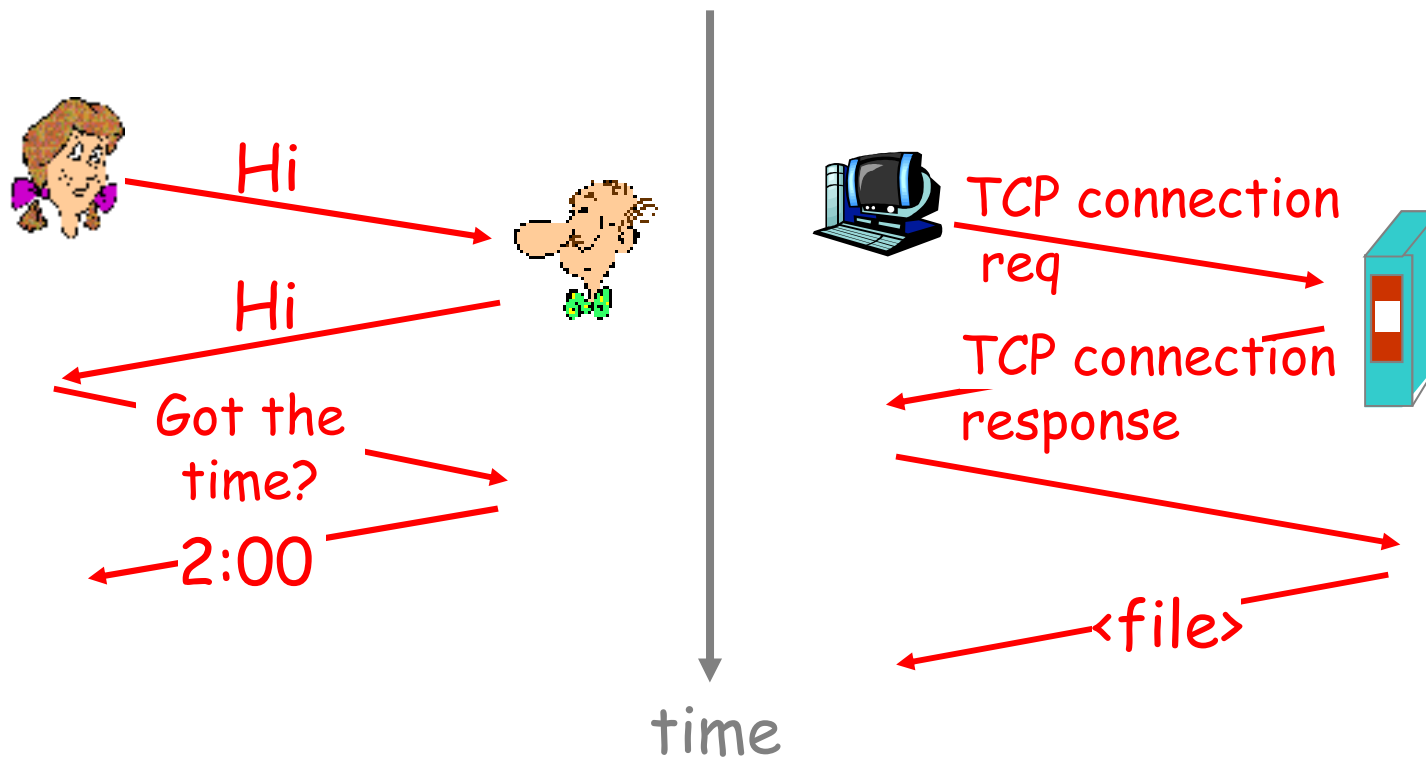


- **Identificar nomes de ISPs nacionais**
- **Que redes de acesso suportam?**
- **Que parâmetros levamos em conta na escolha de um ISP?**

# O que é um Protocolo

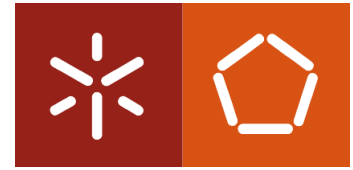


## *Analogia com seres humanos*





# 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).

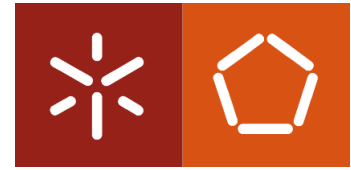
- **Tanto os sistemas terminais, como os encaminhadores utilizam Protocolos *que são responsáveis por controlar o envio e a recepção da informação.***
- **O TCP e o IP são os protocolos mais importantes na Internet, daí a sua designação (TCP/IP) ter sido escolhida para** designar o conjunto de protocolos **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



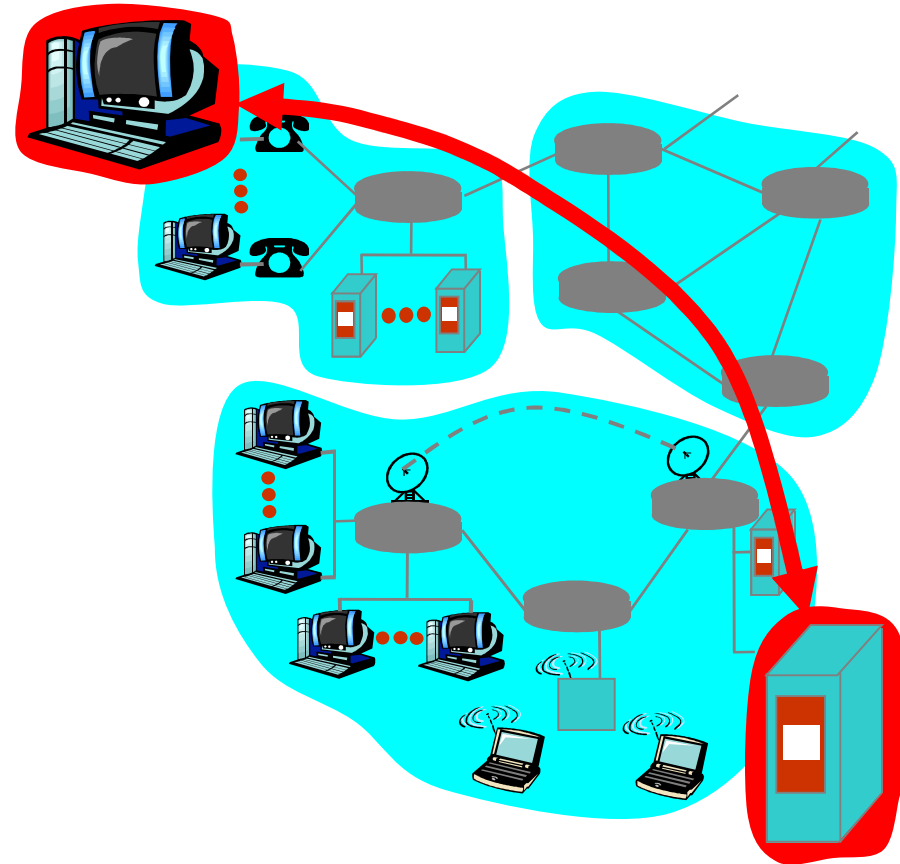
- **A maioria dos protocolos utilizados na Internet são desenvolvidos pelo IETF (Internet Engineering Task Force) e estão organizados em documentos designados por RFCs (Request for Comments).**
- **As RFCs especificam assim protocolos como o TCP, o IP, o HTTP, o SMTP, etc. Existem mais de 5000 RFCs!!!**
- **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 **controle de fluxo, controle 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):

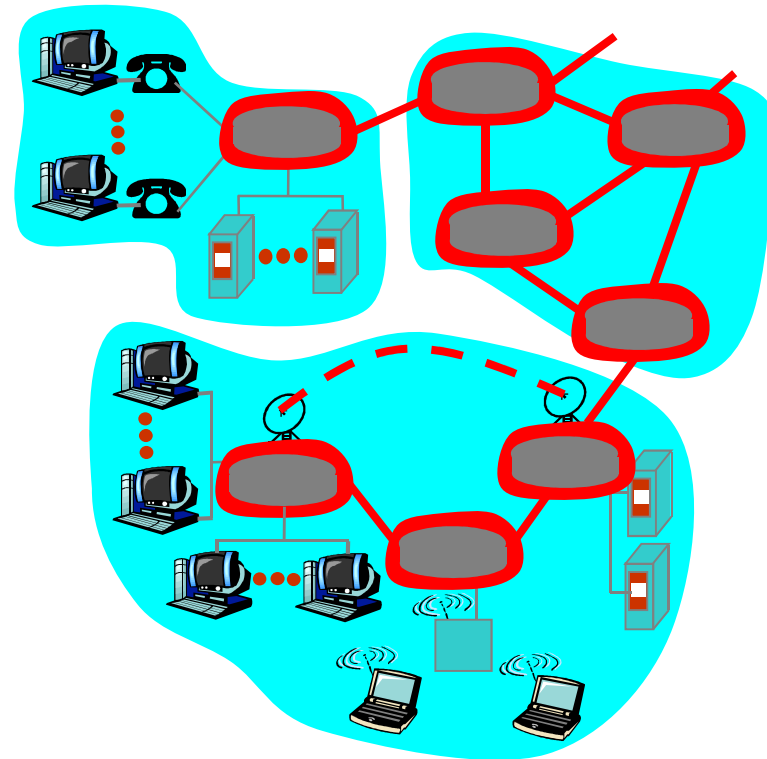


- **Analogia:**
  - Enviar uma carta pelo correio é semelhante a um serviço **Orientado à Conexão** ou **Não Orientado à Conexão**?

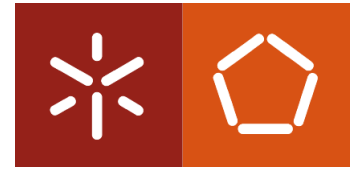
# O núcleo da Rede



- **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.



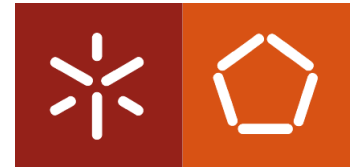
# Comutação de Circuitos



- **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

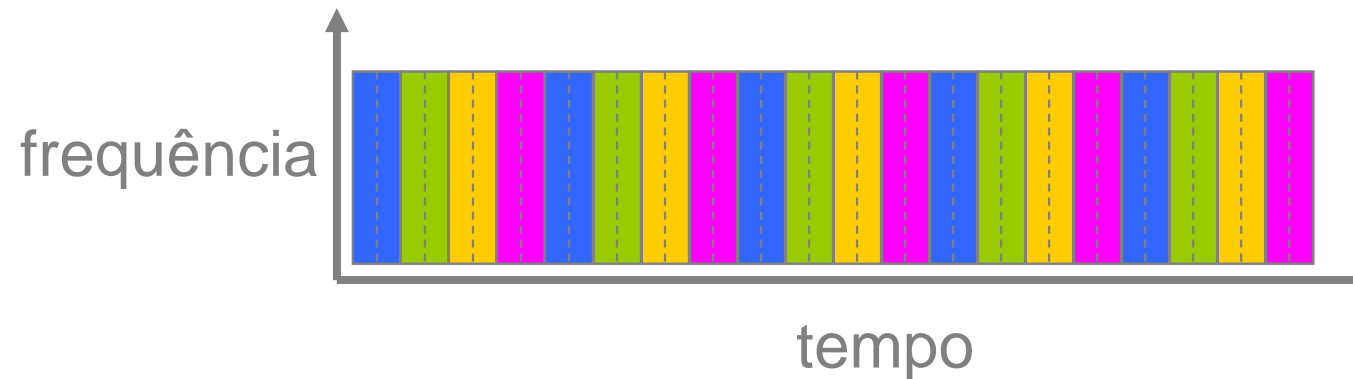
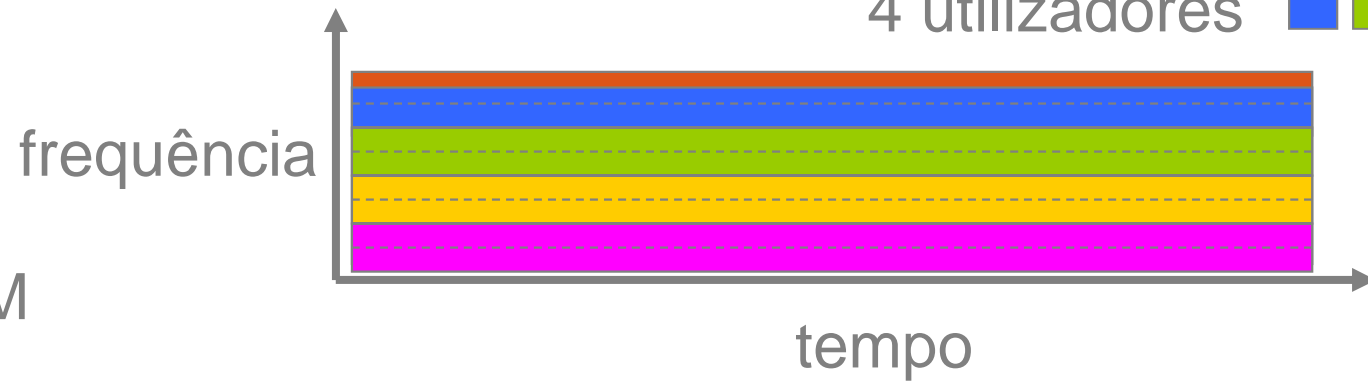


FDM

Exemplo:

4 utilizadores 

TDM

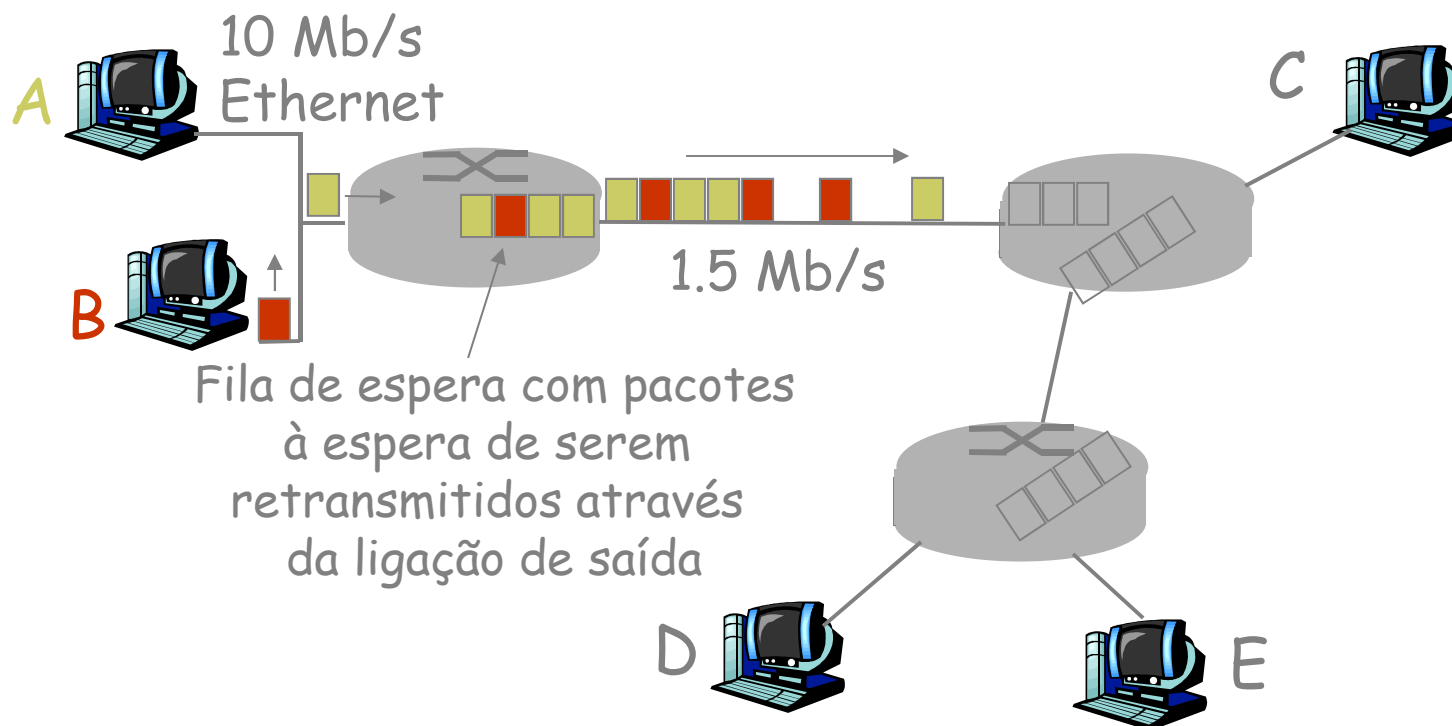


# Comutação de Pacotes



- **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



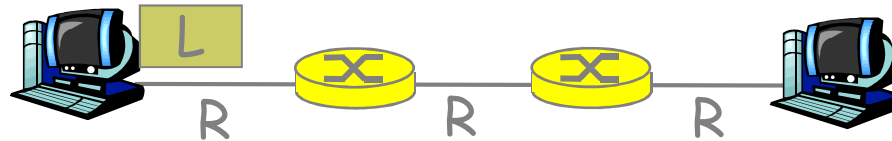
Ao contrário do TDM, a sequência de pacotes à saída do router não tem um padrão fixo!

# 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

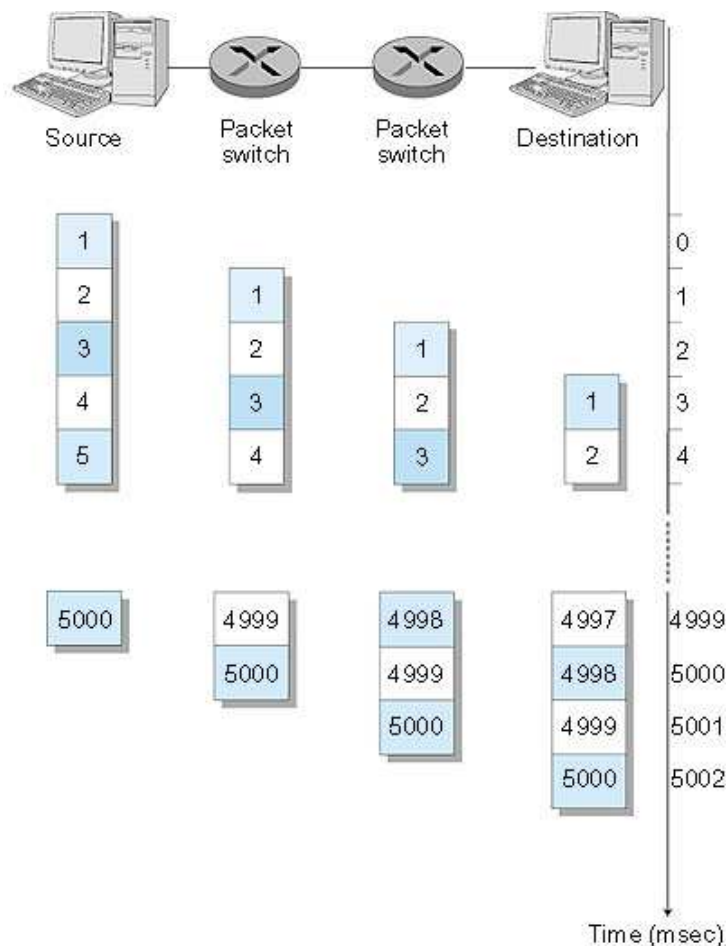


- Considerando só o atraso de transmissão
- São necessários  **$L/R$  segundos** para transmitir um pacote de  **$L$  bits** numa ligação de  **$R$  bps**
- O pacote tem de ser recebido na totalidade antes de ser reenviado:  
***store and forward***
- ***atraso* =  $3L/R$**

## Exemplo:

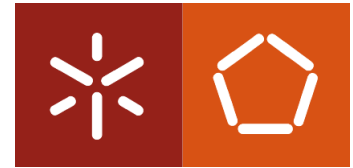
- **$L = 7.5$  Mbits**
- **$R = 1.5$  Mbps**
- **atraso = 15 segundos**

# Comutação de Pacotes



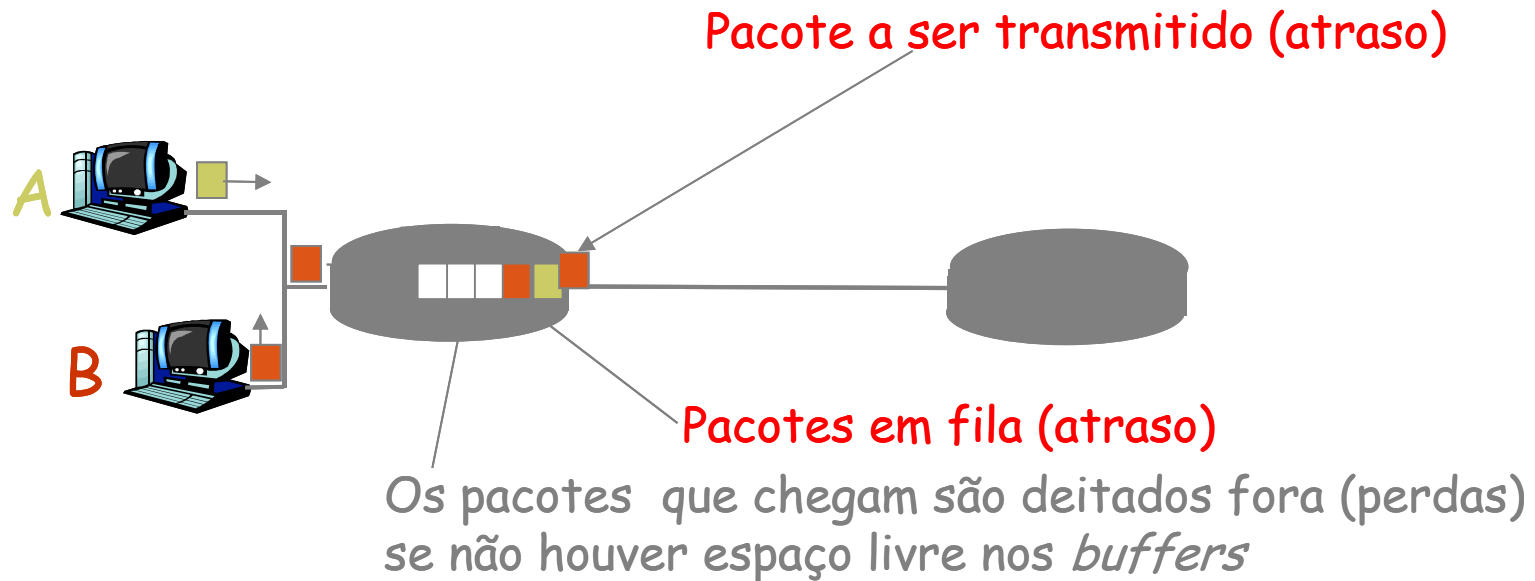
- **E se fragmentarmos em 5000 pacotes?**
  - Cada pacote são 1500 bits...
  - Demora 1 ms em cada ligação!
  - *pipelining*: cada ligação trabalha em paralelo
  - Reduz-se o atraso total de 15 s para 5.002 s

# 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

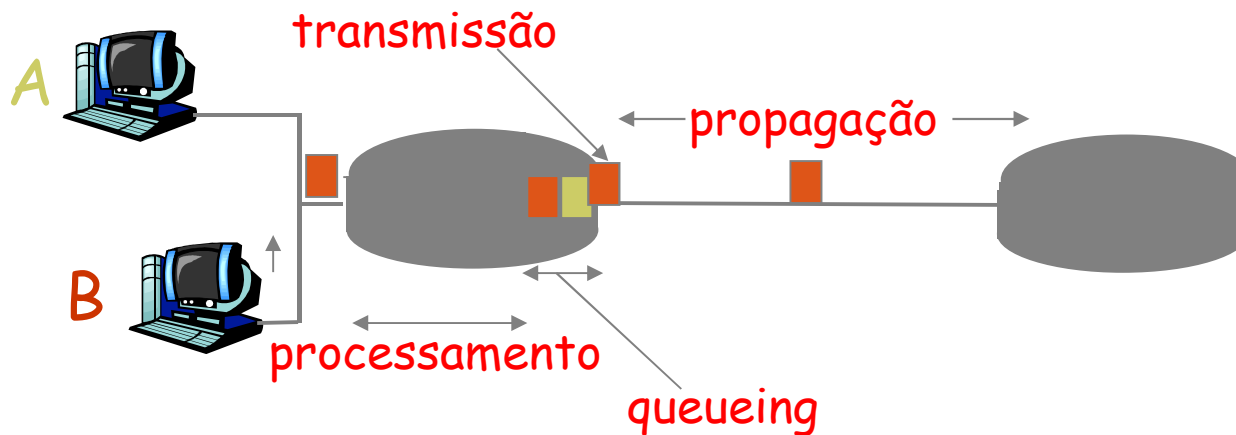


# Comutação de Pacotes



## *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



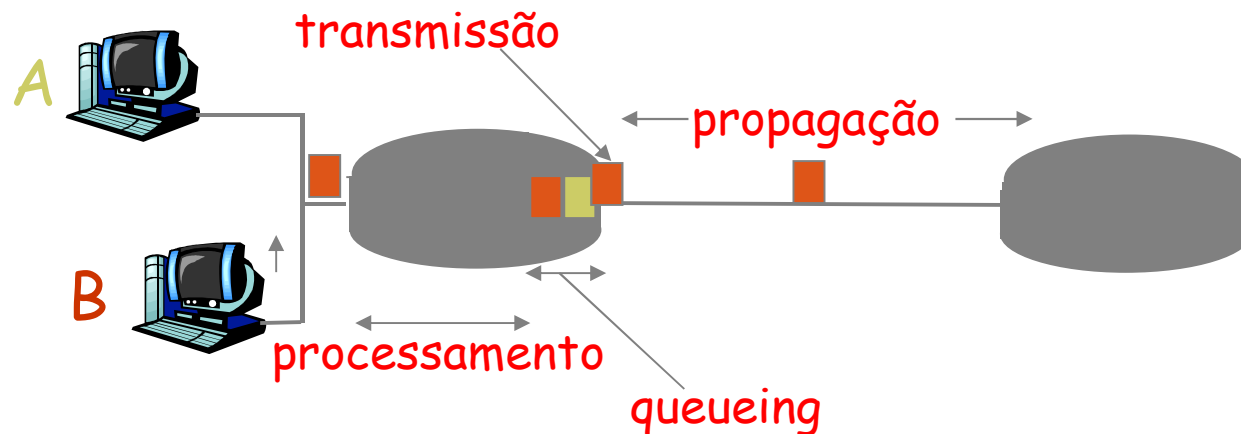
## 4 tipos de atraso

### 3. Tempo de transmissão

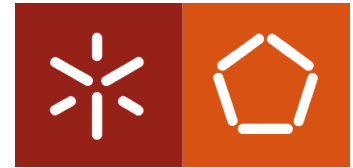
- $R$  = largura de banda da ligação (bps)
- $L$  = comprimento do pacote (bits)
- Tempo necessário para enviar um pacote para a ligação =  $L/R$

### 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



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

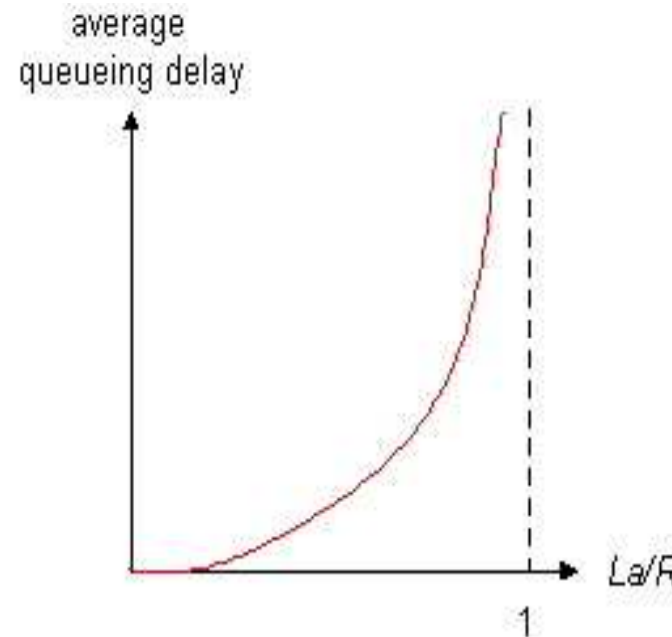
- **$t_{\text{proc}}$  = tempo de processamento**
  - Tipicamente na ordem dos microsegundos ou menos
- **$t_{\text{queue}}$  = tempo na fila de espera**
  - Depende do nível de congestão da rede
- **$t_{\text{trans}}$  = tempo de transmissão**
  - $= L/R$ , significativo para ligações de baixa taxa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



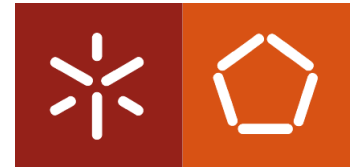
- $La/R \sim 0$ : atraso médio na fila muito baixo
- $La/R < 1$ : atraso aumenta, à medida que tende para 1
- $La/R > 1$ : chegam mais bits que os que podem ser despachados: atraso médio infinito!

# 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?

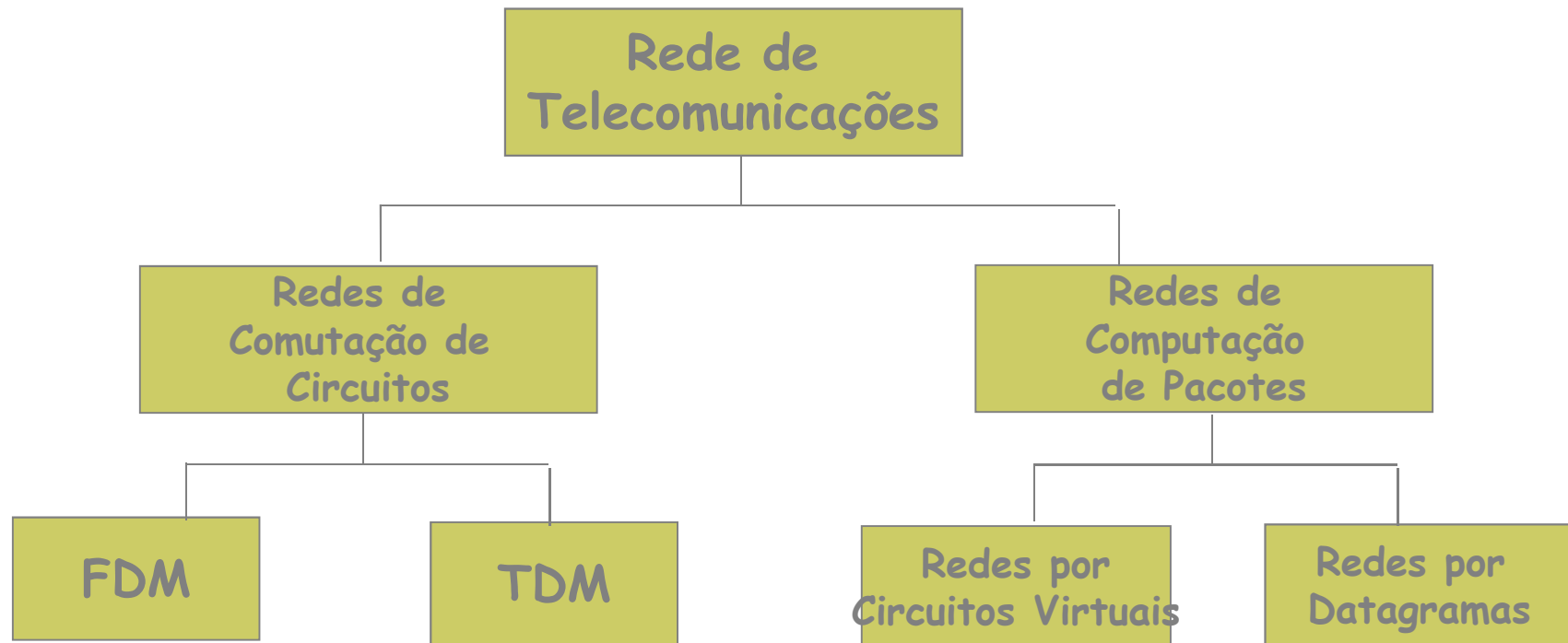
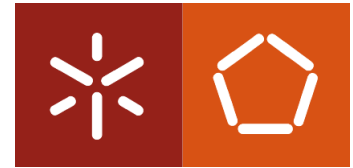
# Comutação de Pacotes



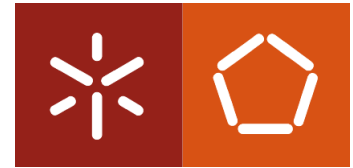
## *Encaminhamento do Tráfego*

- **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



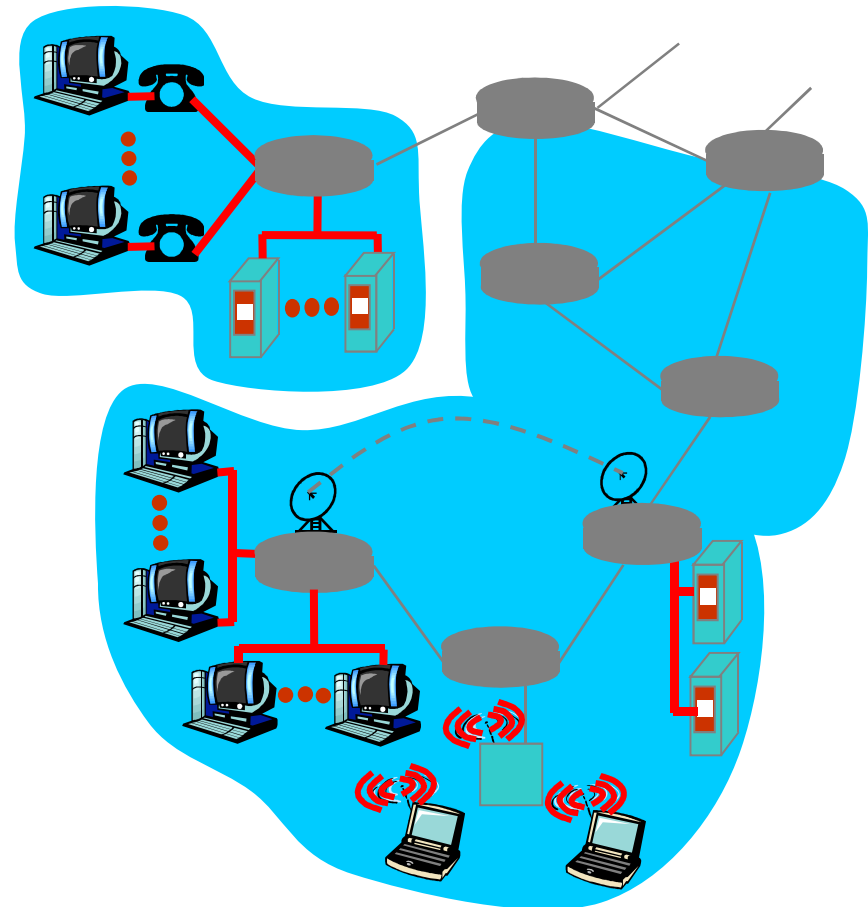
# Redes de Acesso



- 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?



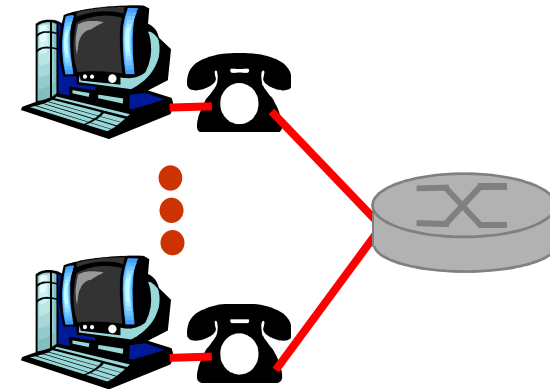


# Redes de acesso residenciais



- **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

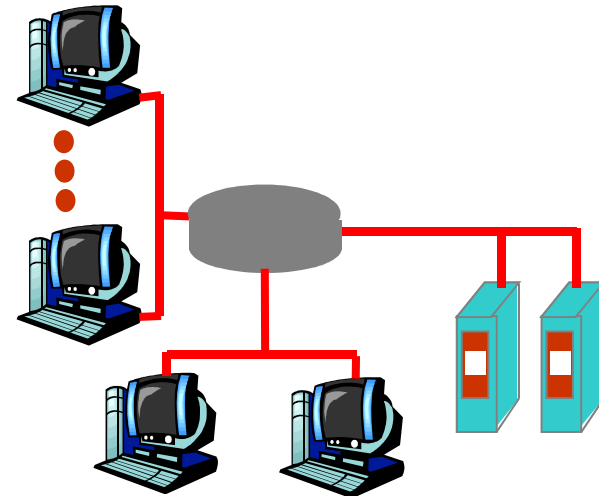


- **Rede de cabo (de distribuição de sinais de televisão)**
  - A infra-estrutura de cabos coaxiais e fibras ópticas usada para difundir sinais de televisão, é usada em simultâneo para a transmissão de dados (acesso à Internet)
  - Tem como principal vantagem o permitir aproveitar uma infra-estrutura 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



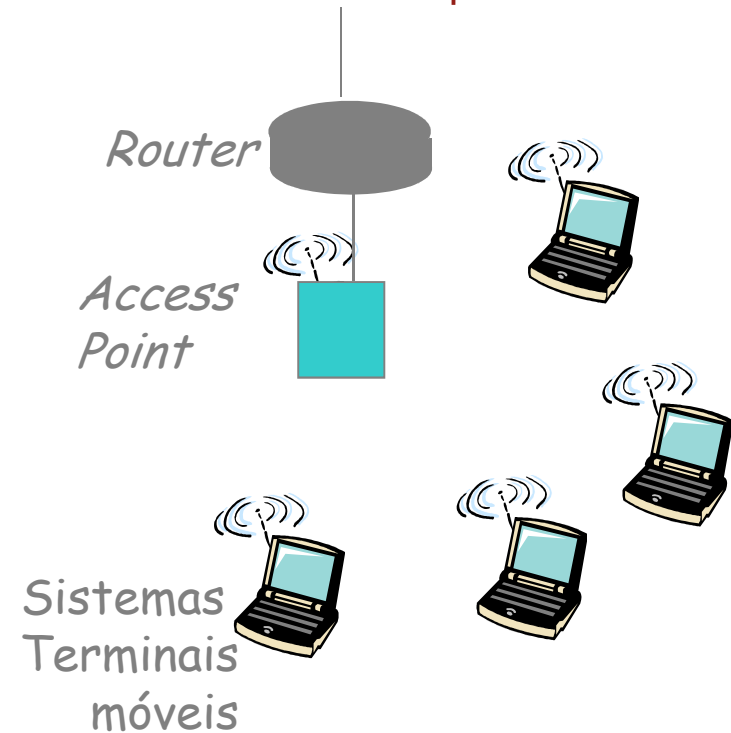
- A rede local (LAN) da organização liga os sistemas terminais a um *router* da organização que está por sua vez ligado à Internet
- **Ethernet:**
  - Ligação partilhada ou dedicada que liga os sistemas terminais entre si e ao *router*
  - 10 Mbps, 100Mbps, Gigabit Ethernet



# 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

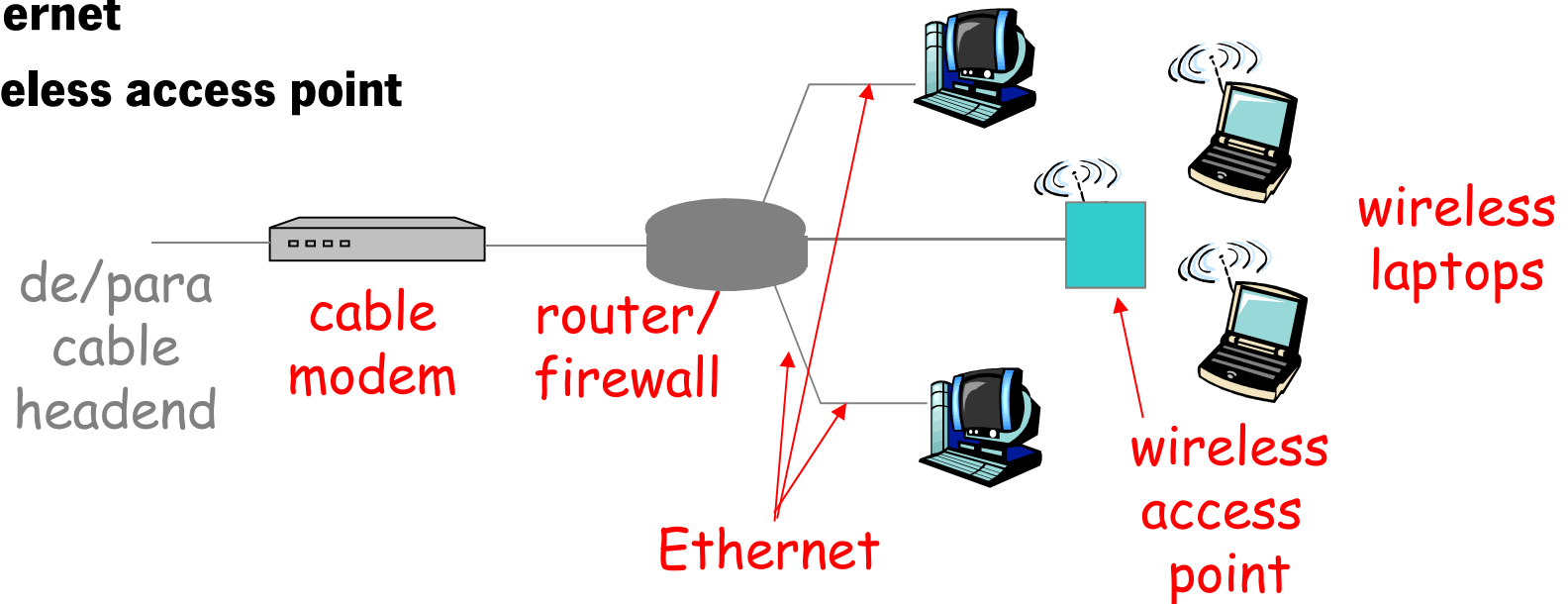


# Redes residenciais

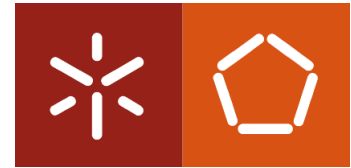


## Componentes típicos de uma rede residencial:

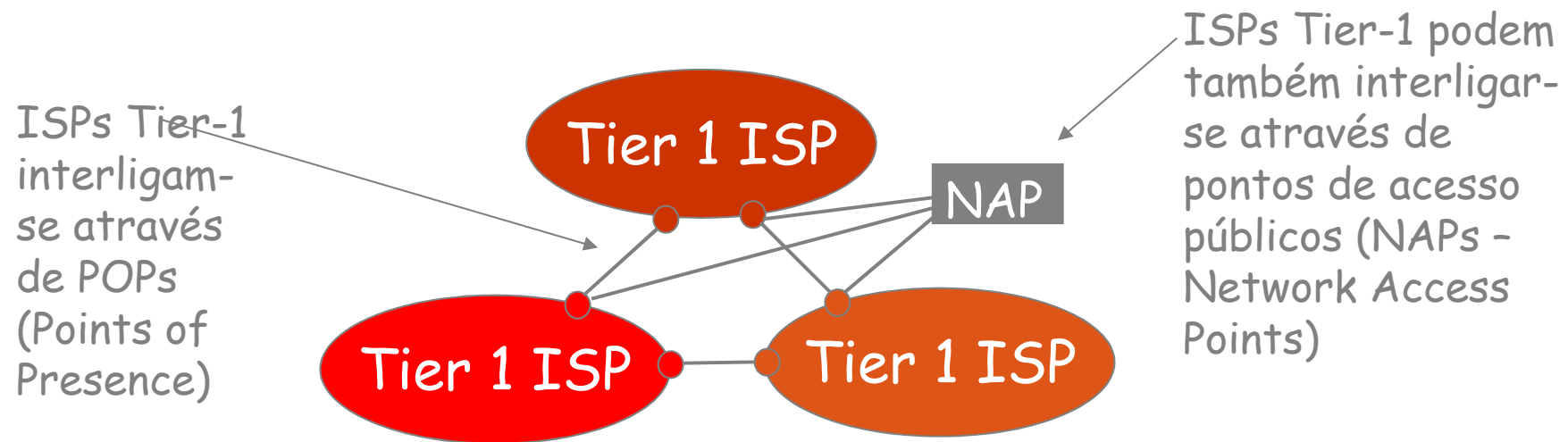
- **ADSL ou cabo**
- **router/firewall/NAT**
- **Ethernet**
- **wireless access point**



# Estrutura da Internet: a Rede das Redes



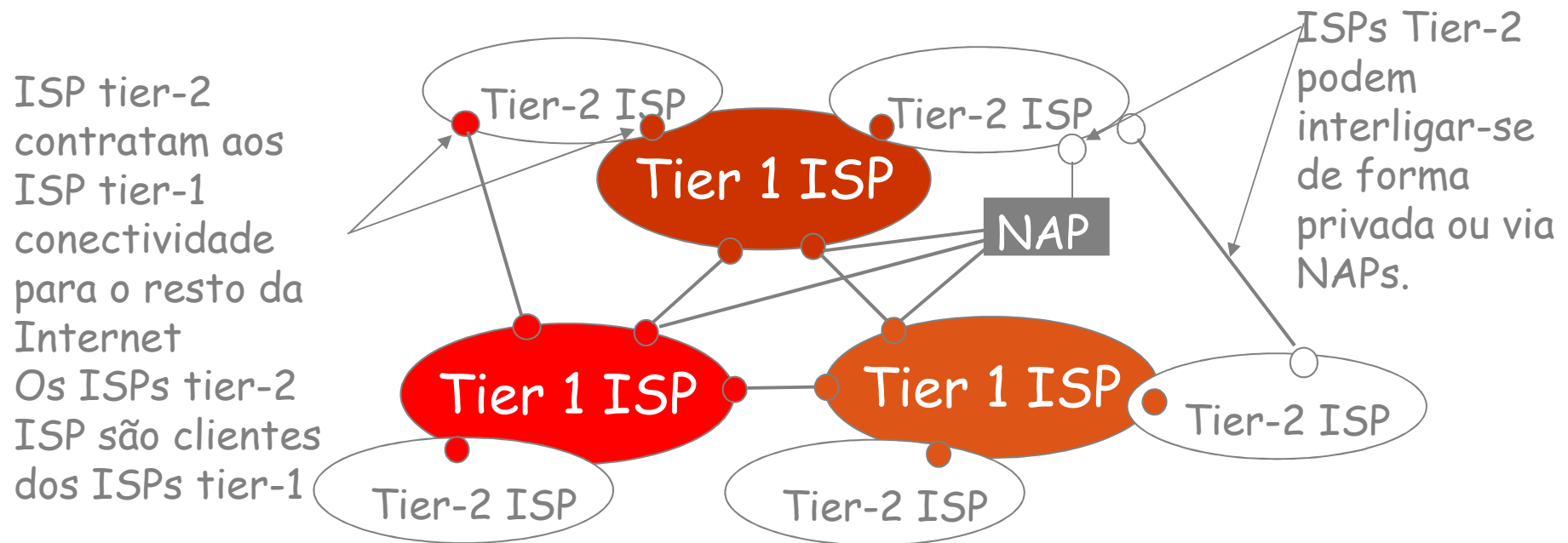
- **Estrutura hierárquica**
- **No nível mais alto estão os ISPs “tier-1” (e.g., MCI, Sprint, AT&T, Cable and Wireless) com cobertura internacional**
  - Cada ISP “tier-1” tem ligações para todos os outros ISPs “tier-1” e várias ligações para ISPs “tier-2”



# 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

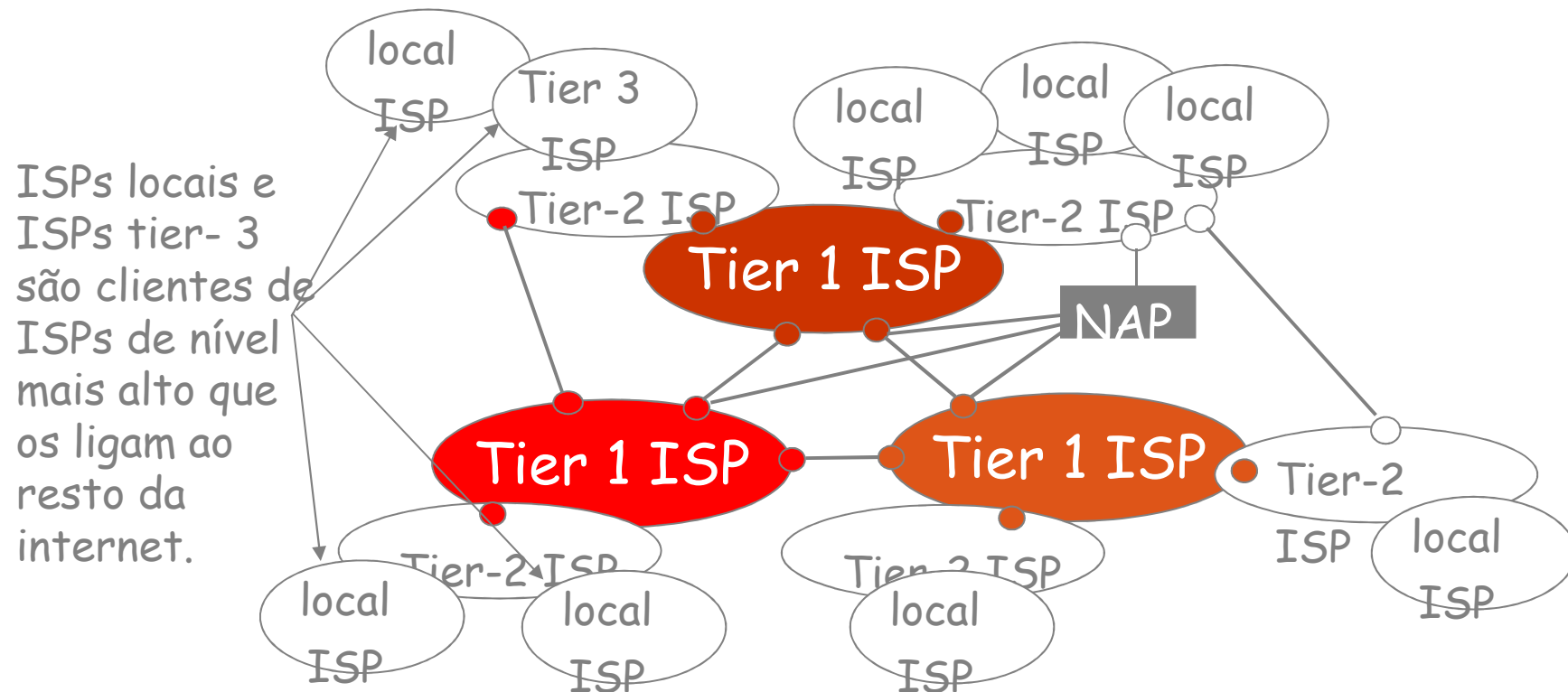


# Estrutura da Internet: a Rede das Redes



- **ISPs “Tier-3” e ISPs locais**

- Último “salto”. A rede mais próxima dos sistemas terminais.

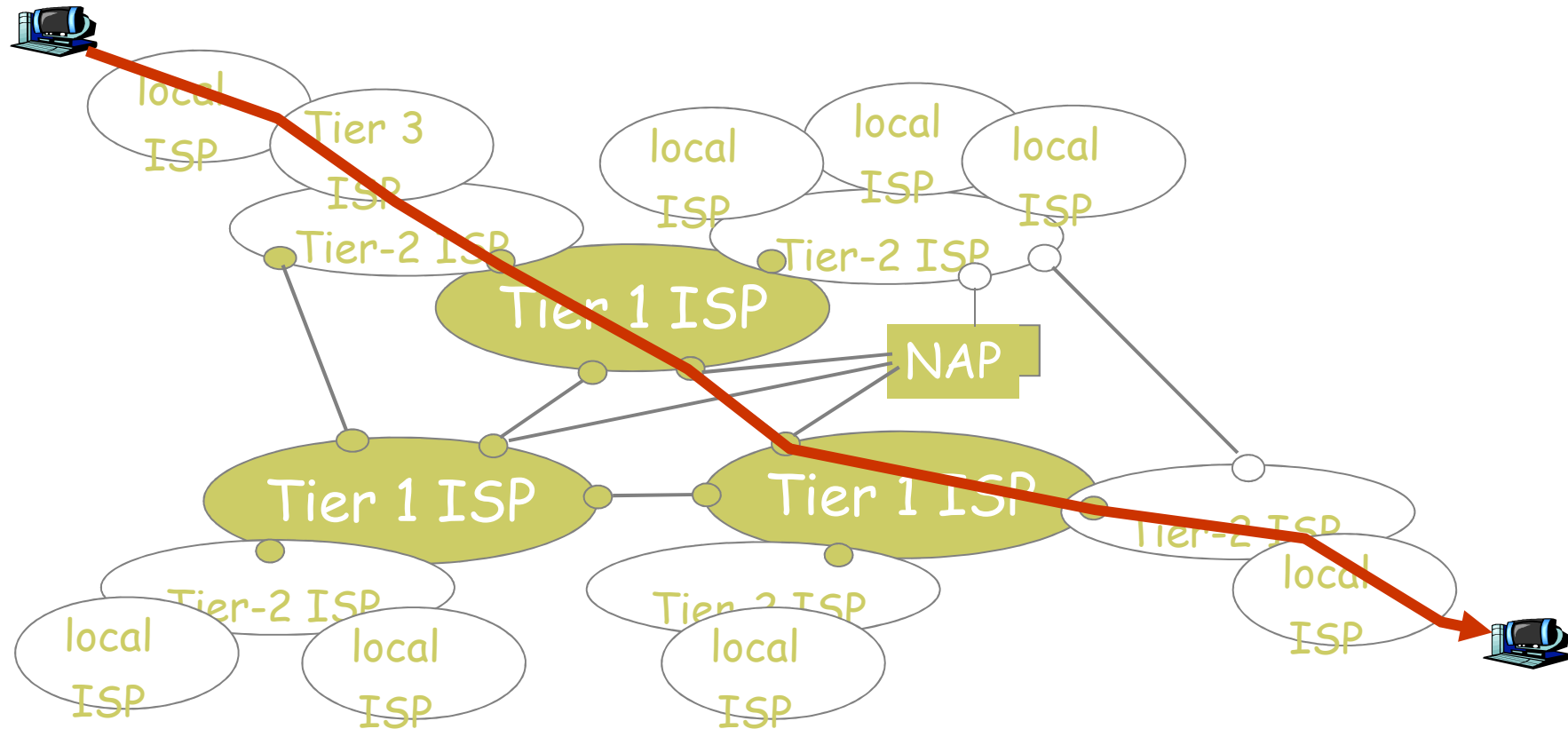




# Estrutura da Internet: a Rede das Redes



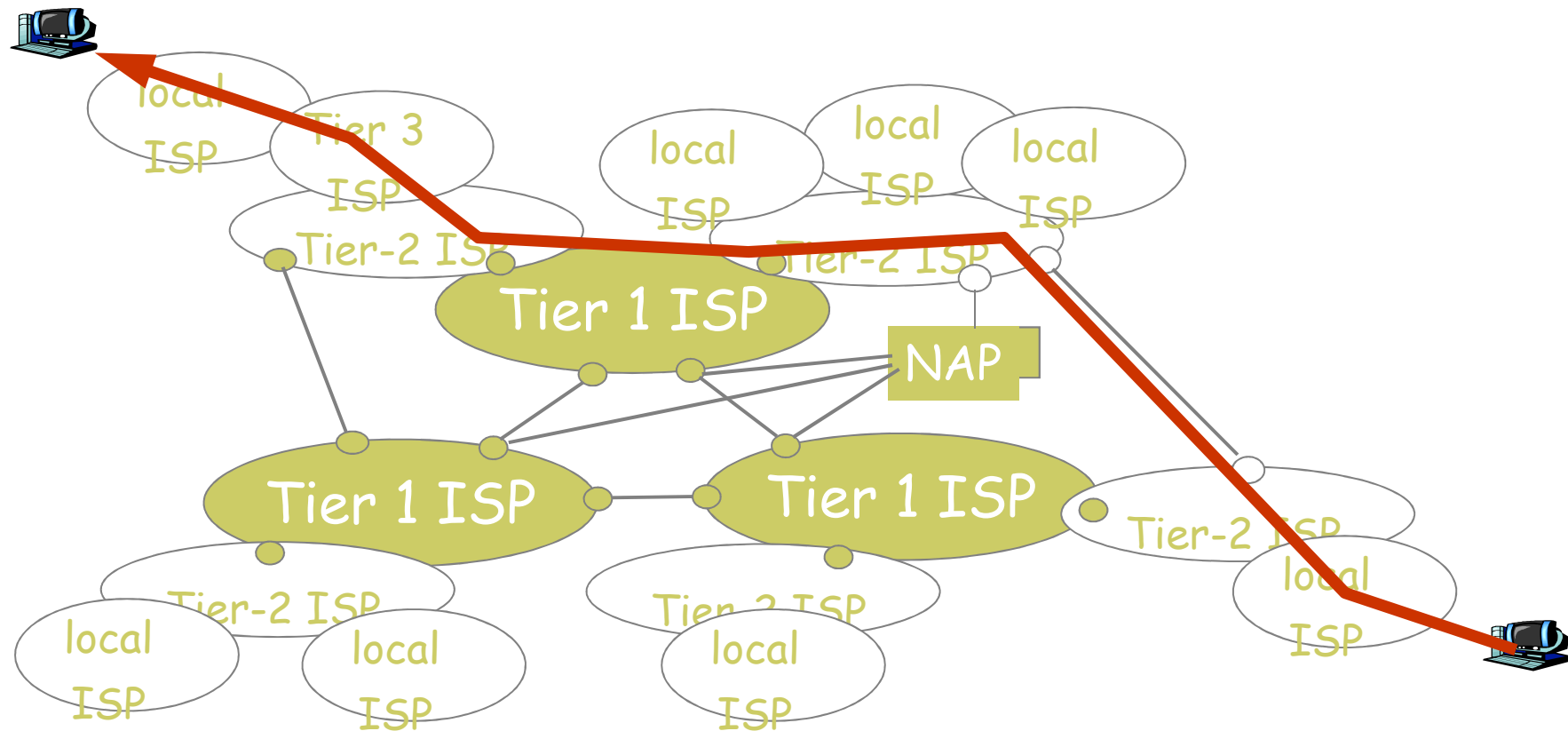
- Um pacote passa por diferentes redes desde a origem até ao destino



# Estrutura da Internet: a Rede das Redes



- O percurso inverso pode ser completamente diferente...



# Comunicação de Dados



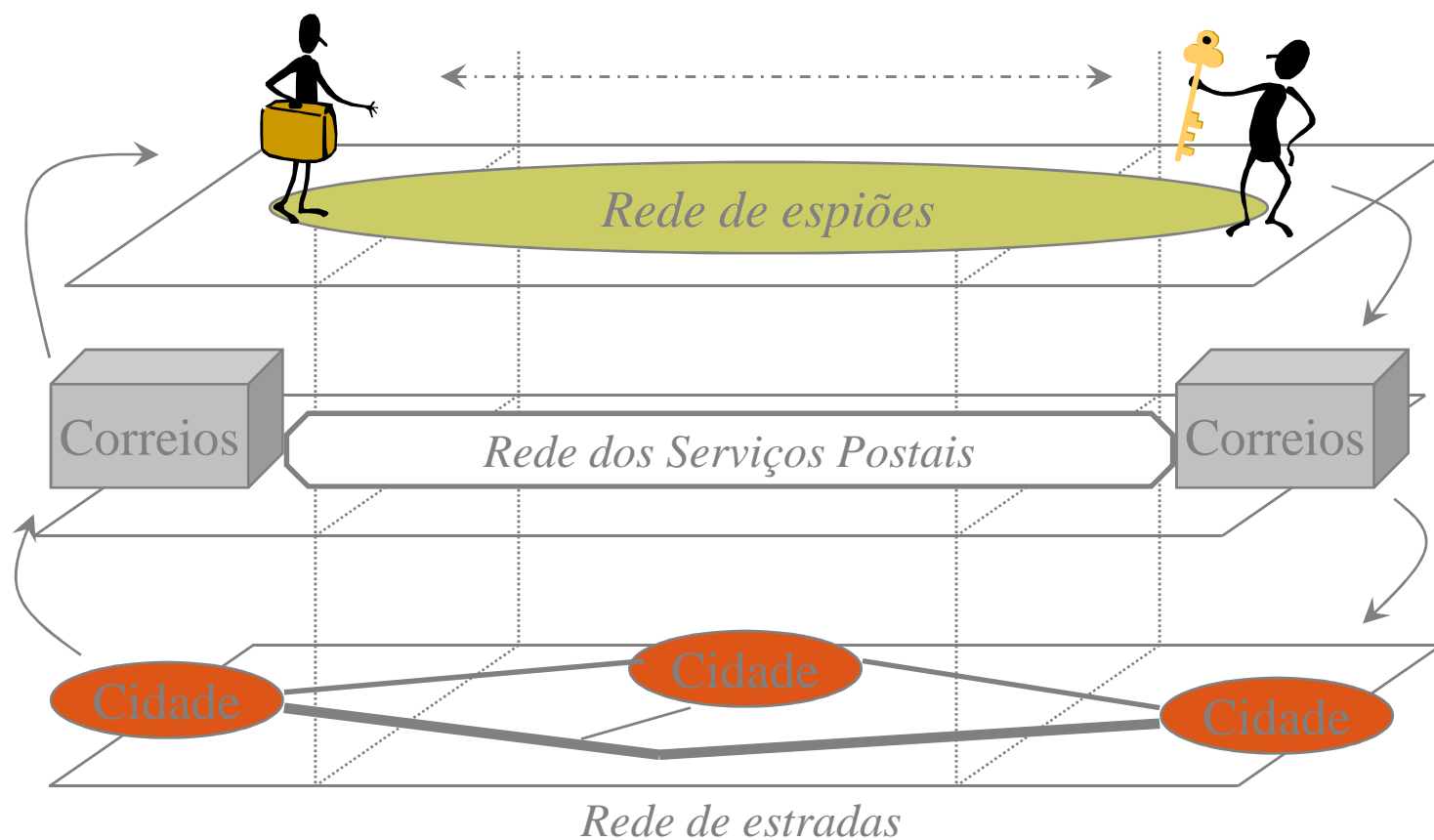
## *Tarefas*

- **geração de sinais**
- **definição interfaces**
- **sincronização**
- **formatação dados**
- **endereçamento**
- **detecção de erros**
- **correção 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

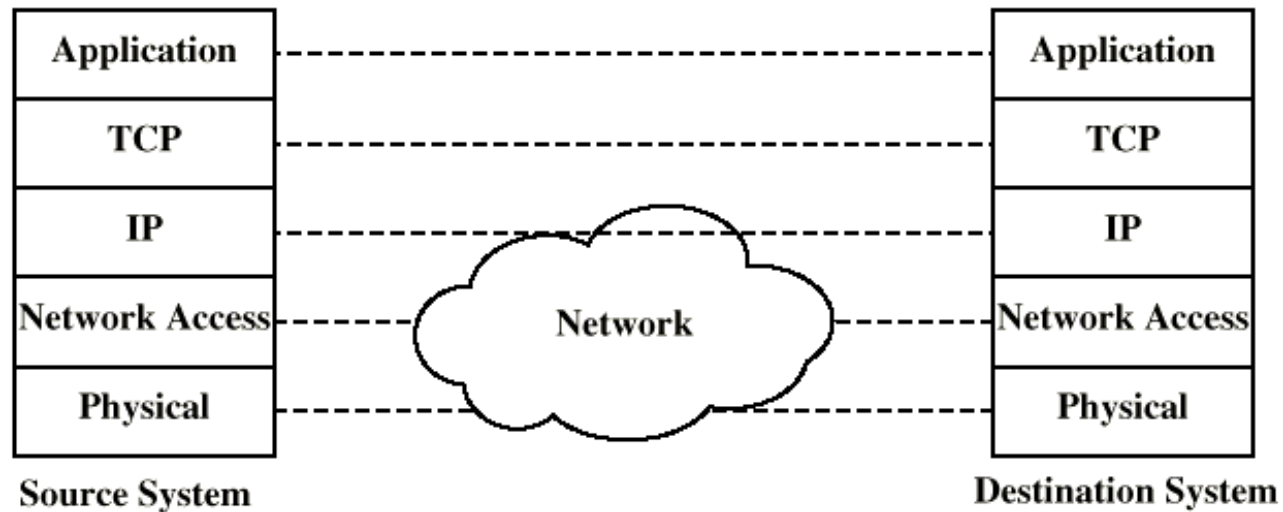
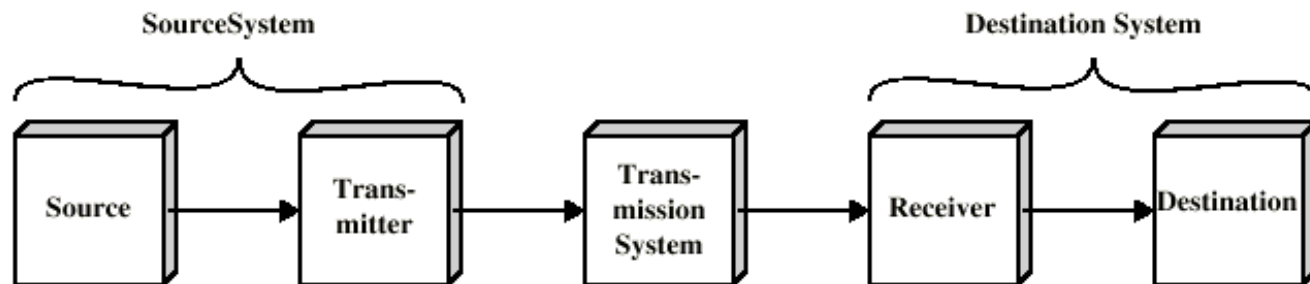


Exemplo do livro “Understanding Networked Multimedia”  
François Fluckiger, Prentice Hall, 1995



# Comunicação de dados

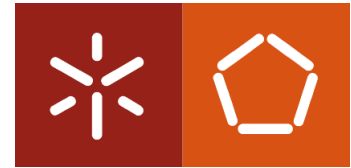
*Protocolo: regras de associação entre camadas homónimas*



[DCC,Stallings99]

# Comunicação de dados

## *Modelos protocolares de referência*

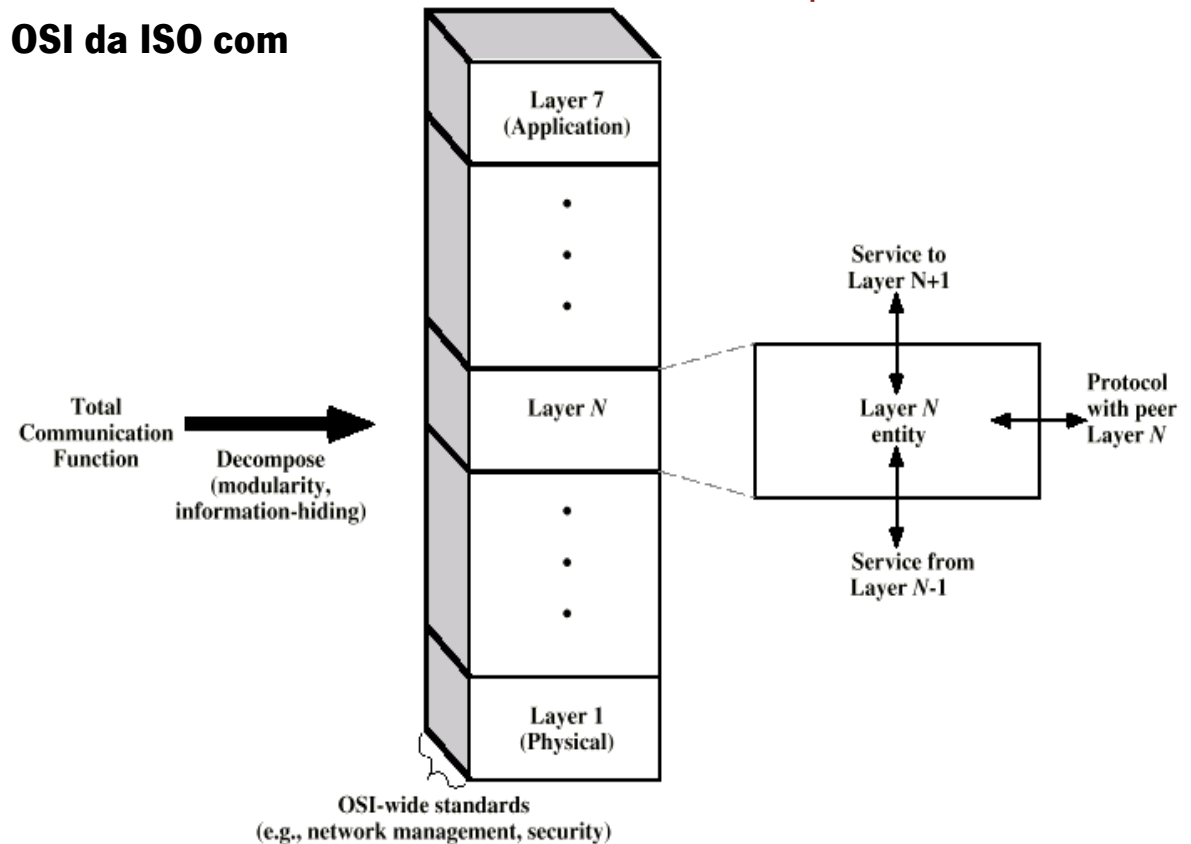


- **Modelo protocolar de referência OSI da ISO com 7 camadas funcionais:**

- 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

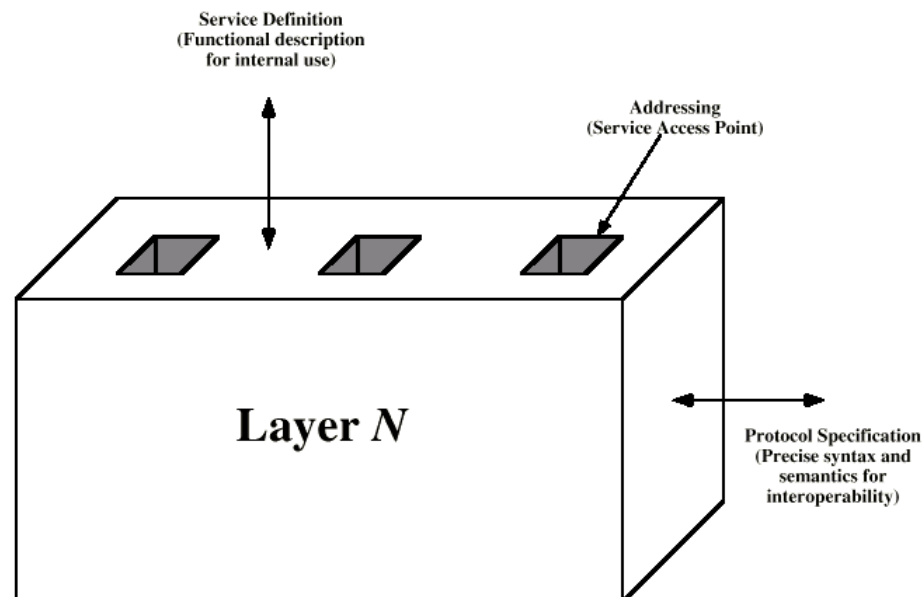


# Comunicação de dados

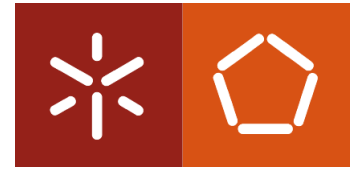
## *Modelos protocolares de referência*



- 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**

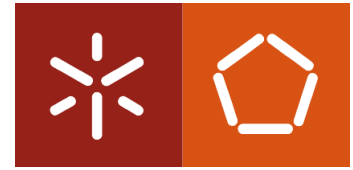
- Activar, manter e desactivar uma ligação fiável sobre uma ligação física
- Envia blocos de bits (*frames*) com a necessária sincronização
- Detecção e controlo de erros ao nível de uma ligação

- **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



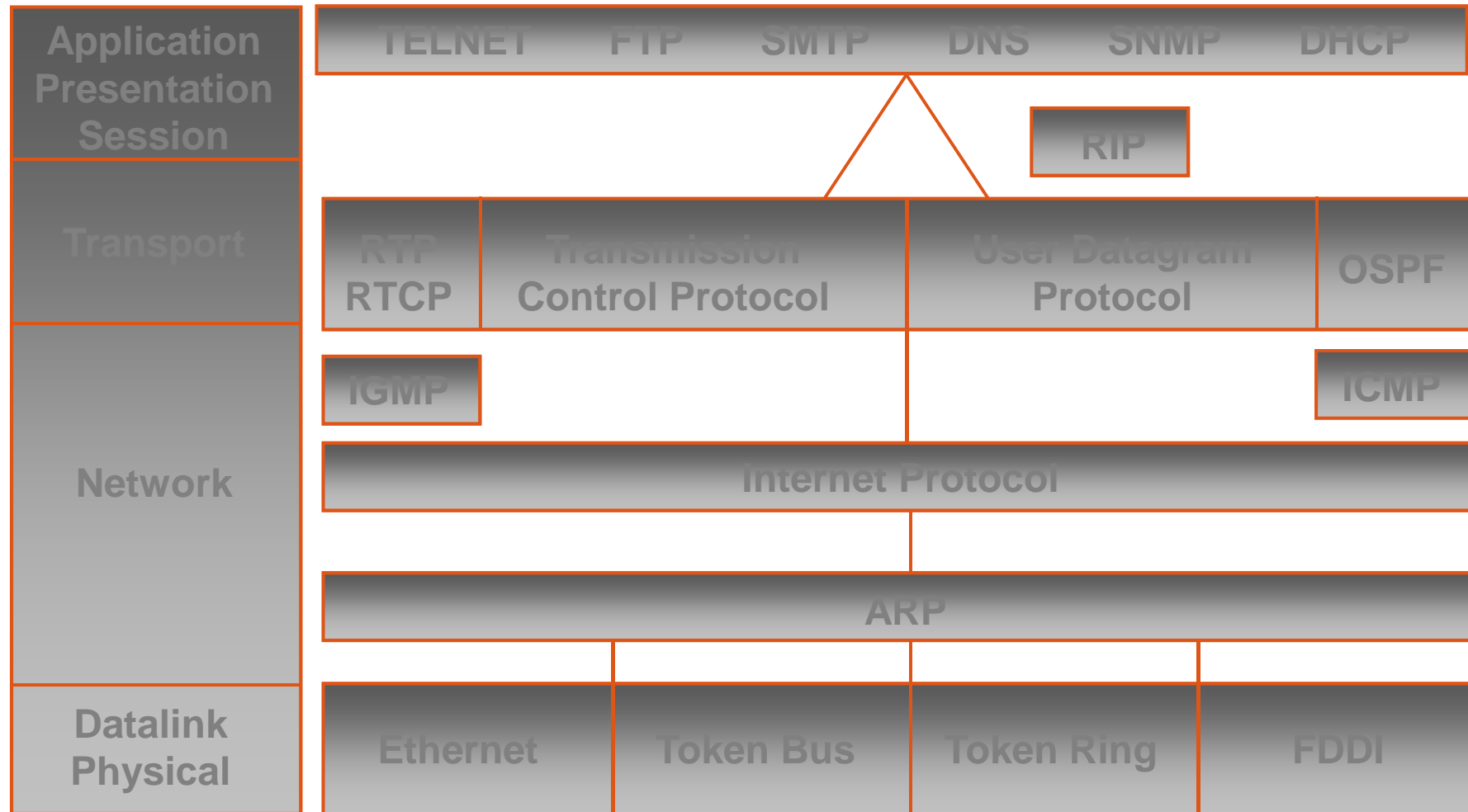
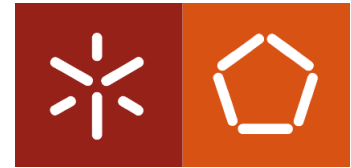
# Modelo OSI



- **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

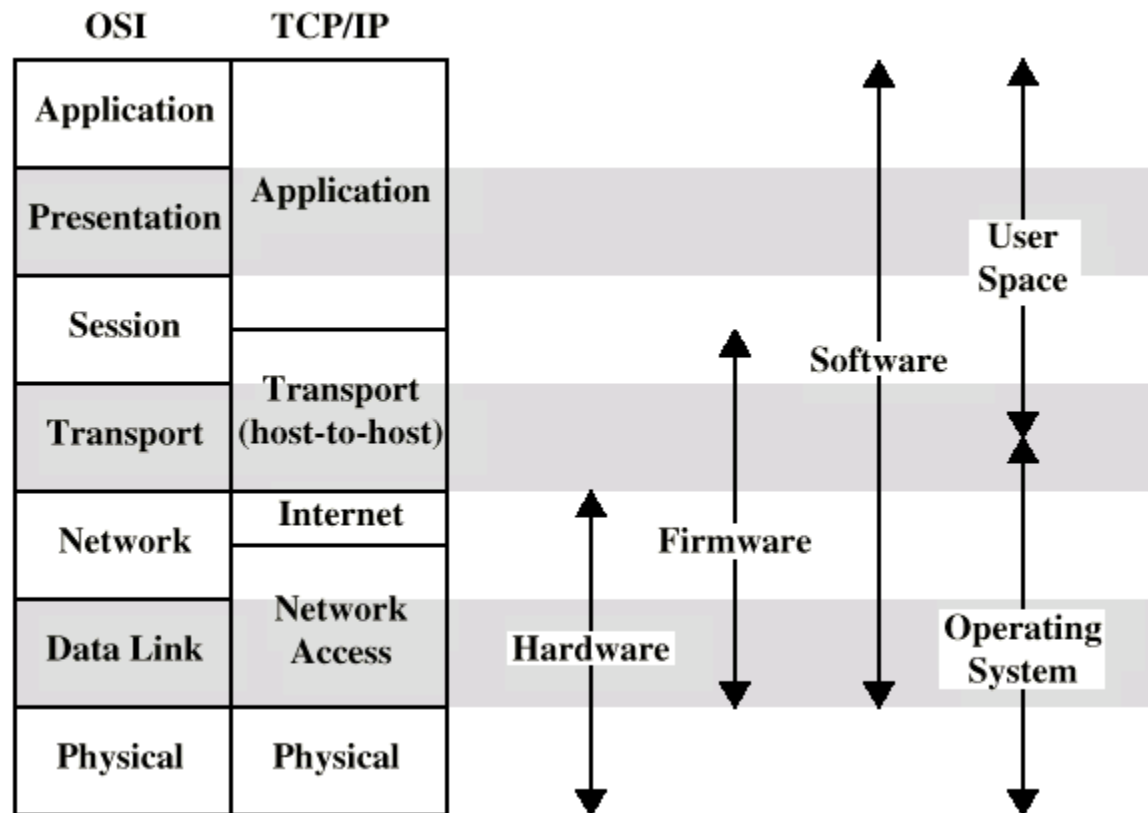
# Comunicação de dados

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



# Comunicação de dados

## *Modelos protocolares de referência*

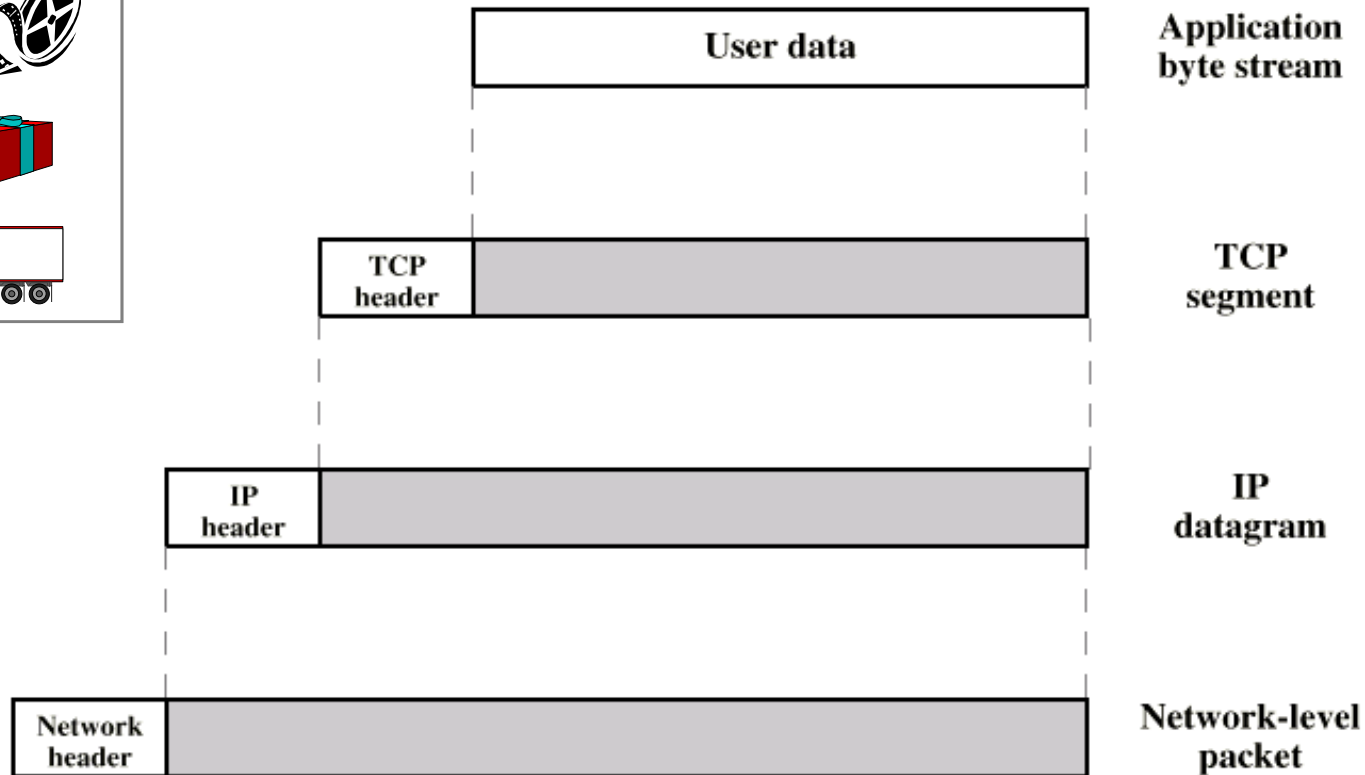
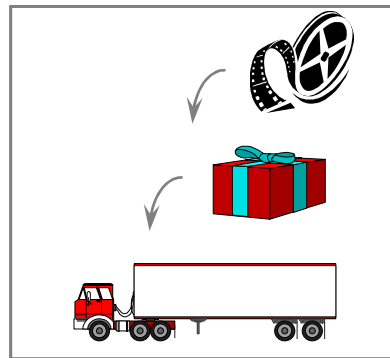


# Comunicação de dados

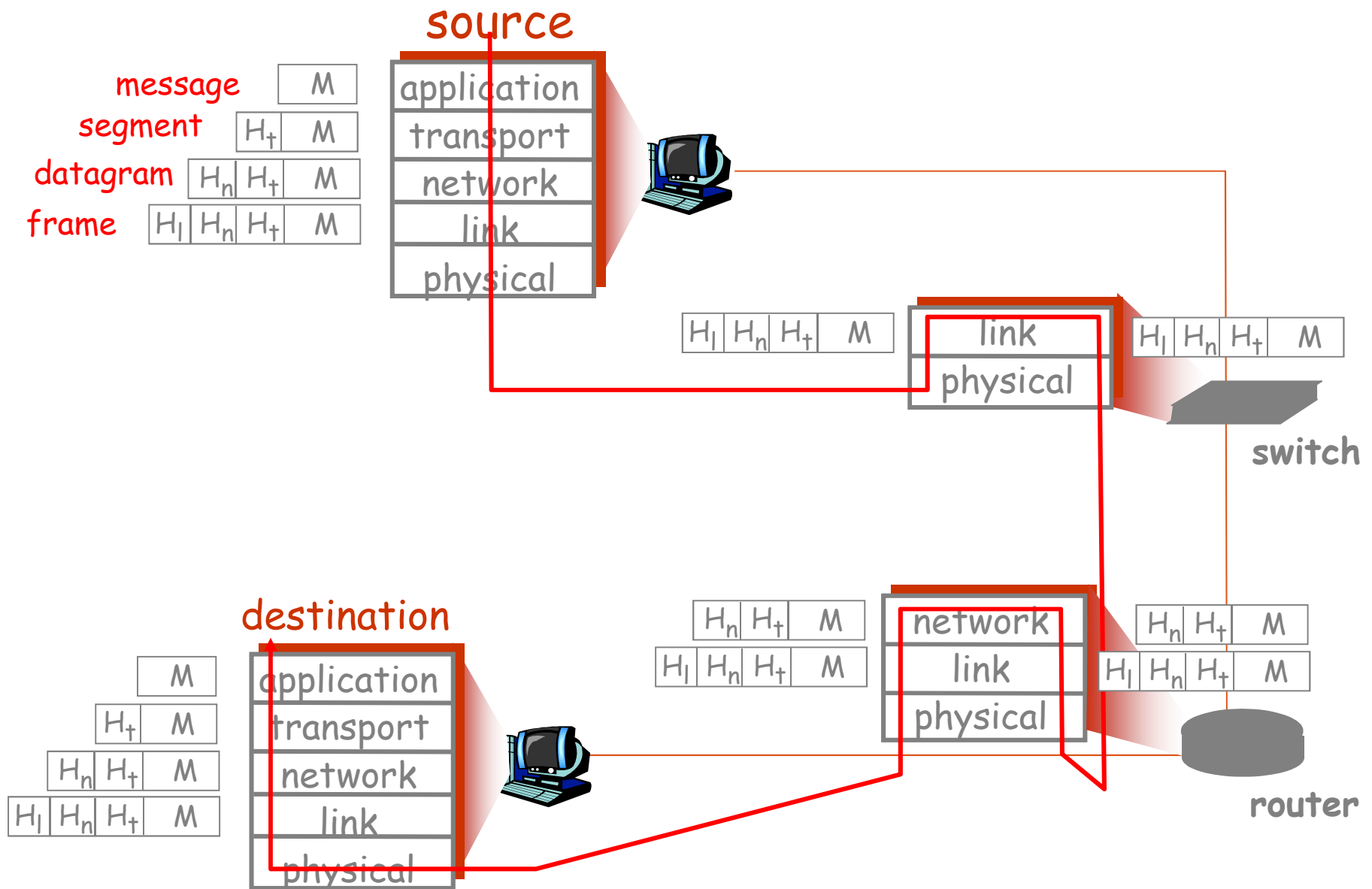
*Serviço: fornecido/prestado por camadas adjacentes*



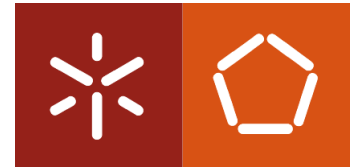
Mecanismo: *encapsulamento* da unidade dados na camada inferior



[DCC,Stallings99]



## 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**