



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

# Redes de Computadores

Introdução à Transmissão e Comunicação de Dados

MIEI, 3º ANO, 1º Semestre

Universidade do Minho  
Grupo de Comunicações por Computador e Redes  
Departamento de Informática

# Objectivos

## Resultados da Aprendizagem



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Discutir os conceitos fundamentais sobre comunicação de dados, protocolos de comunicação, famílias de protocolos e sua arquitectura
- Compreender o conceito de ligação de dados e funções protocolares associadas
- Ter uma visão global e crítica sobre as redes de computadores e do seu funcionamento
  - Destaque para redes locais: Ethernet e WLAN
- Compreender e explicar os protocolos de rede que sustentam o funcionamento da Internet.



# Comunicação de dados

## *Introdução: noções elementares*

- Objectivo / Requisito básico
  - cooperação entre entidades que comunicam entre si para troca de dados
- Noção de protocolo de comunicação
  - **conjunto de regras** que regem a comunicação entre intervenientes, i.e. entre entidades ao mesmo nível funcional
  - uma **entidade** é uma abstração de um ou mais processos computacionais
  - as regras ou **funções protocolares** são implementadas pelas entidades de uma camada ou nível protocolar
  - as funções protocolares são variadas e têm âmbitos ou contextos distintos, e.g. endereçamento

# Comunicação de dados

## *Funções gerais dos protocolos: exemplos*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- 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



# Comunicação de dados

## *Introdução: noções elementares*

- Noção de organização protocolar
  - agrupamento e estruturação de tarefas em **níveis ou camadas funcionais**, hierárquicas, com **funções independentes** e bem definidas -> constituição de uma **pilha de protocolos**
- Noção de **serviço de comunicação**
  - o resultado das tarefas executadas pela camada protocolar N para realização da função da camada superior (N+1), podendo envolver o recurso a serviços da camada N-1
  - cada camada protocolar oferece um serviço à camada superior e solicita um serviço à camada inferior através de **primitivas** específicas

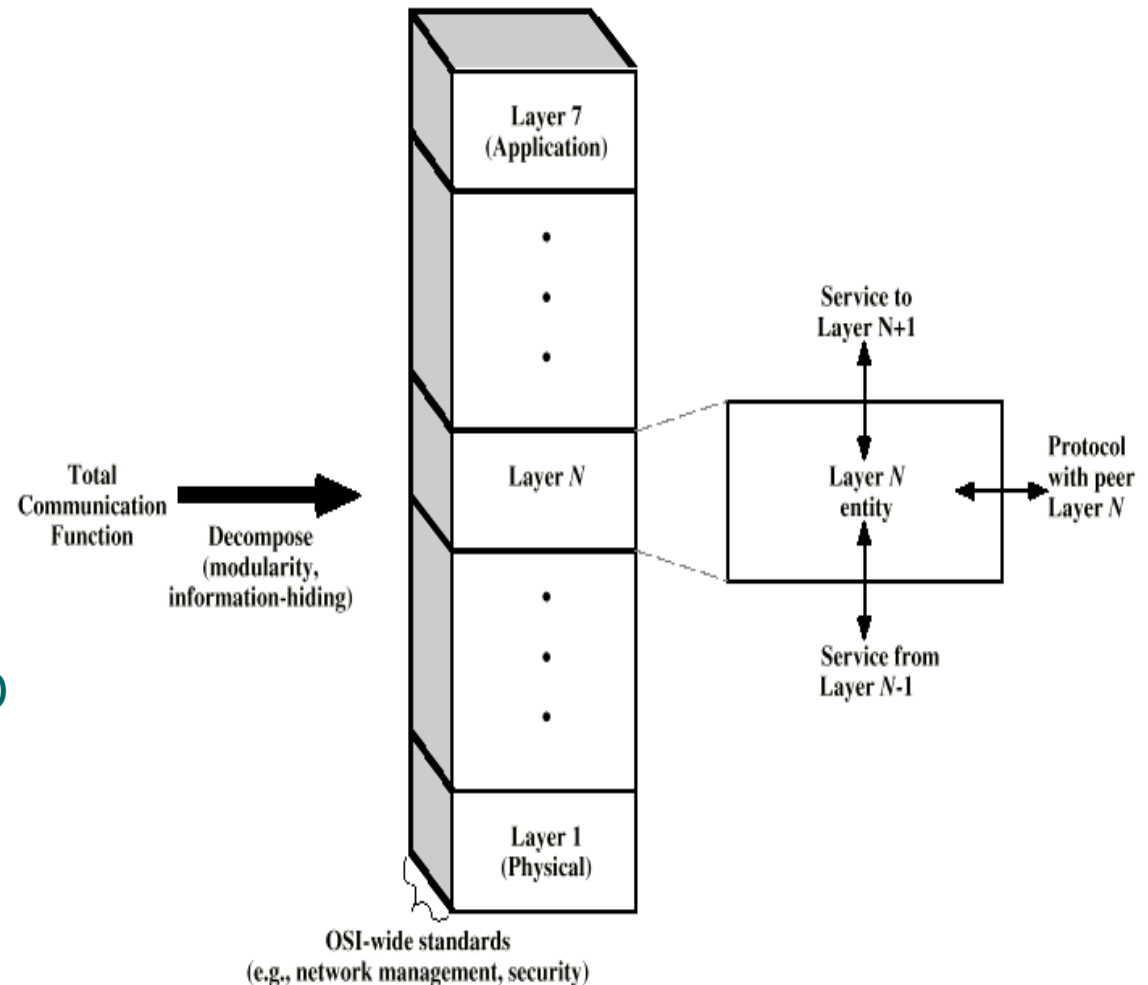
# Comunicação de dados

## *Modelos protocolares de referência*

- Modelo protocolar de referência OSI da ISO.  
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

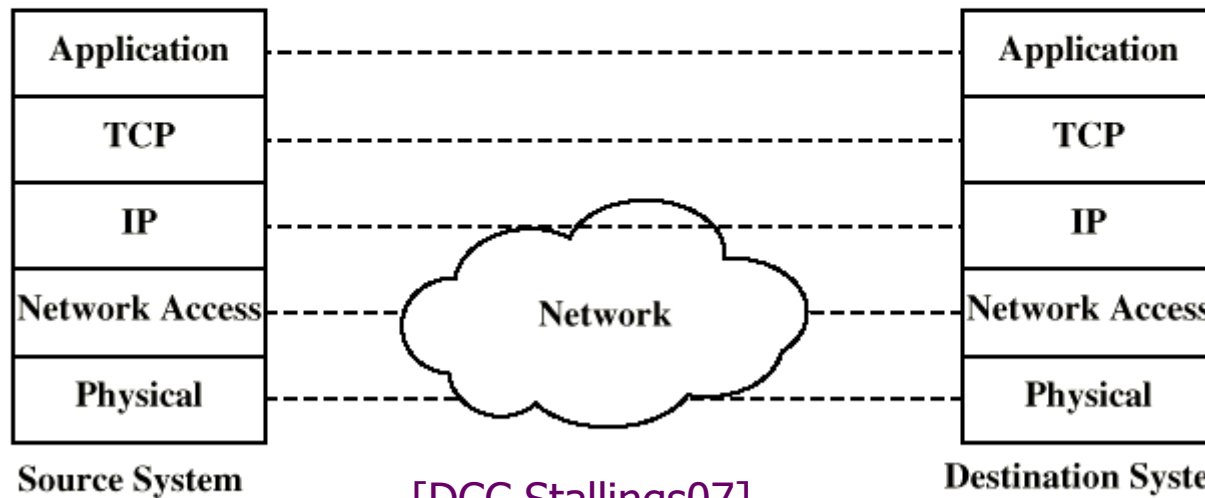
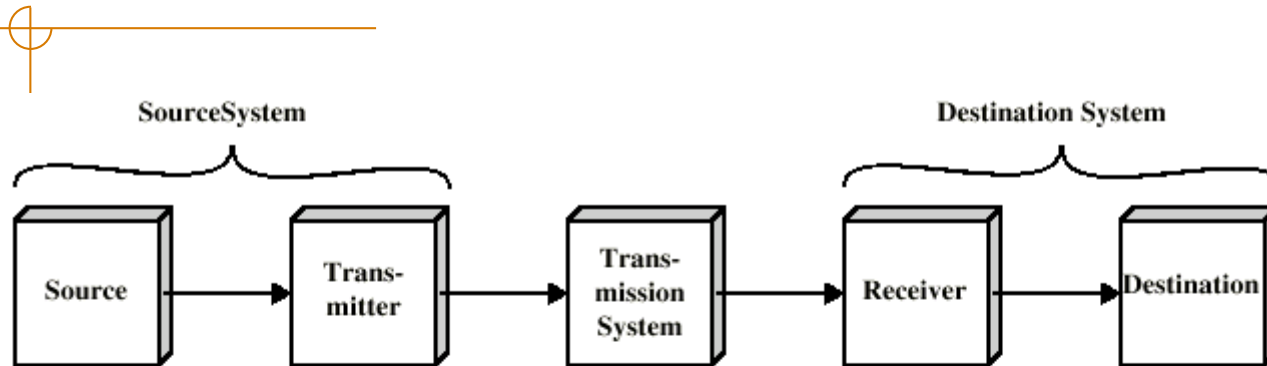


# Comunicação de dados

## Modelo TCP/IP



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



[DCC, Stallings07]

### APLICAÇÃO

- SERVIÇOS DO UTILIZADOR
- HTTP, FTP, TELNET, ...

### TRANSPORTE

- TCP: TRANSMISSÃO FIÁVEL E ORDENADA DE DADOS
- EXTREMO-A-EXTREMO

### REDE

- IP: ENCAMINHAMENTO ATRAVÉS DE MÚLTIPLAS (SUB)REDES INTERLIGADAS (INTERNETWORKING)
- IMPLEMENTADO EM COMPUTADORES (HOSTS) E NÓS INTERMÉDIOS (ROUTERS)

### LIGAÇÃO DE DADOS (ACESSO À (SUB)REDE)

- ACESSO À (SUB)REDE E COMUNICAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES (HOSTS/ ROUTERS) LIGADAS À MESMA (SUB)REDE

### FÍSICO

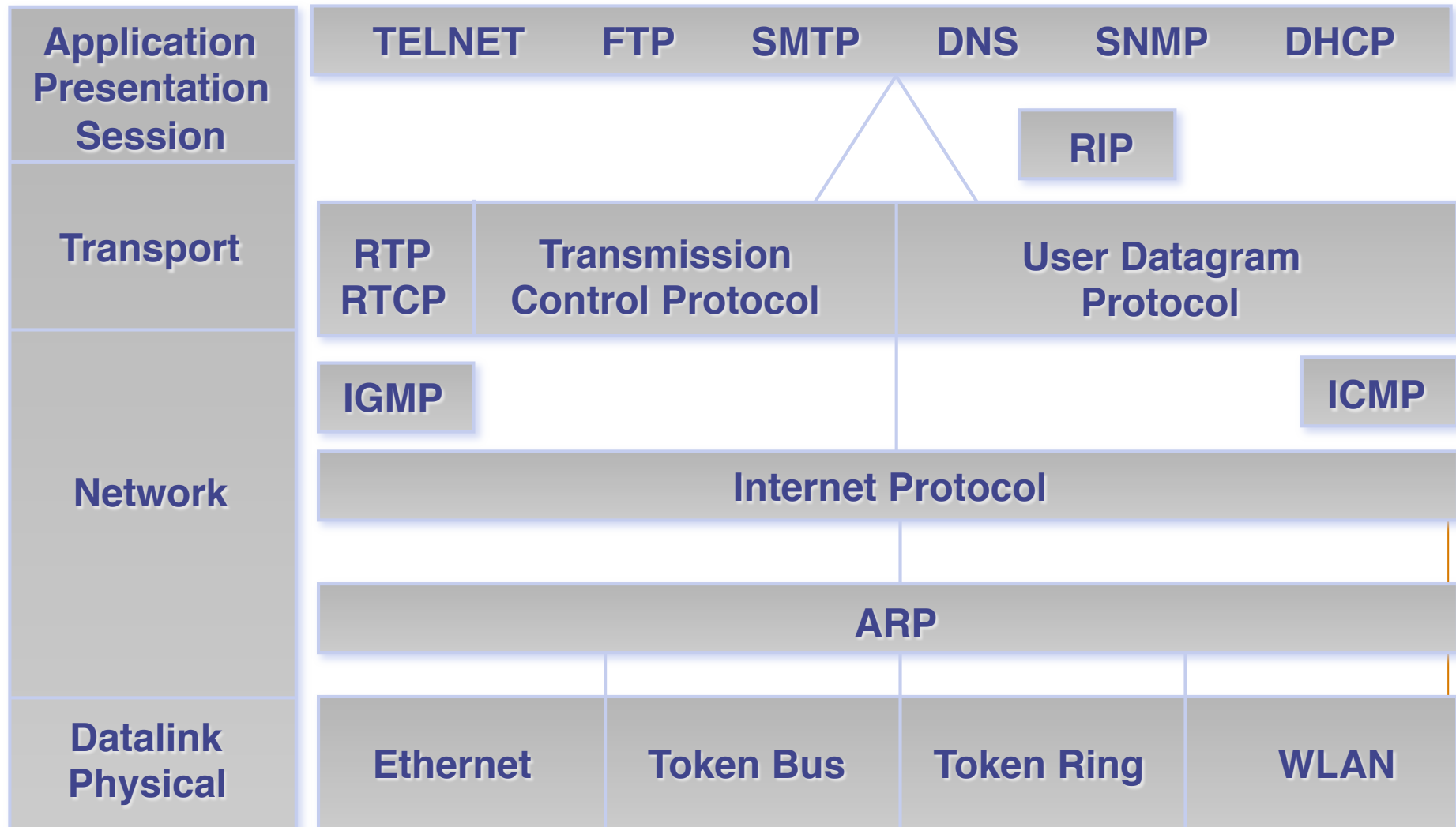
- CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS E MECÂNICAS DA LIGAÇÃO FÍSICA AO MEIO DE TRANSMISSÃO

# Comunicação de dados

## *Localização dos protocolos TCP/IP no OSI-RM*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática





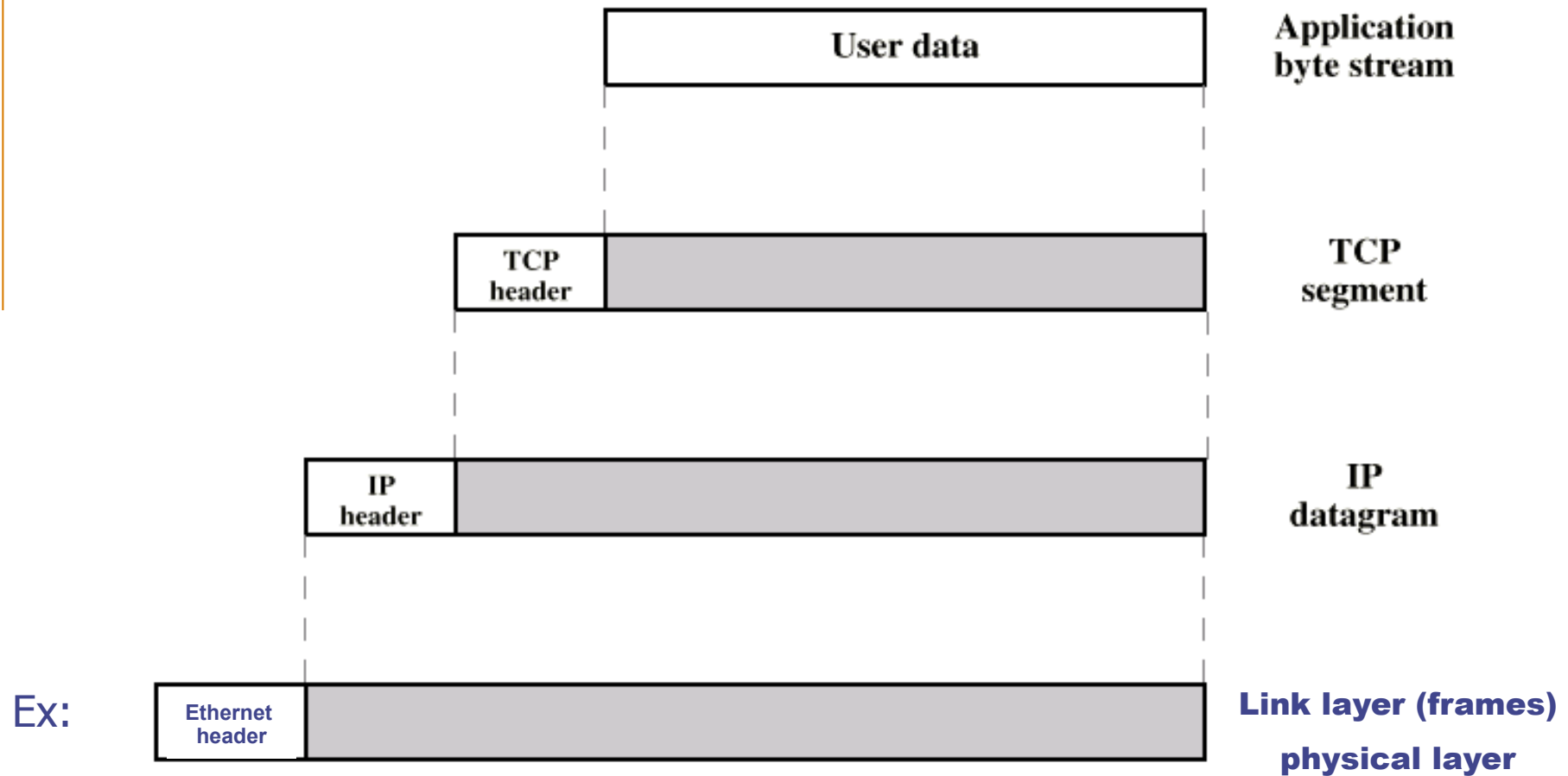
# Comunicação de dados

## *Encapsulamento protocolar*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Estratégia: encapsulamento da unidade dados na camada inferior



# Comunicação de dados

## Encapsulamento protocolar



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Exemplo: aplicação FTP

#### ----- MAC HEADER -----

Frame size is 67 (0x0043) bytes  
Destination = station 0050FC5CE9AB, pc4  
Source = station 0050FC5CE9B0, pc2  
Ethertype = 0800 (IPv4)

#### ----- IP HEADER -----

Version = 4, Header length = 20 bytes  
Diff Serv Field = 0xC0 (DSCP 0x30: Class Selector 6; ECN: 0x00)  
1 1 0 0 0 0 . . = DSCP: Class Selector 6 (0x30)  
. . . . . 0 . = ECN-Capable Transport (ECT): 0  
. . . . . 0 = ECN-CE: 0  
Total length = 53 bytes  
Identification = 5974  
Flags = 0x4  
. 1 . . . . . = don't fragment  
. . 0 . . . . . = last fragment  
Fragment offset = 0 bytes  
Time to live = 60  
Protocol = 6 (TCP)  
Header checksum = AFA0 (correct)  
Source address = [192.168.89.12], pc2.labcom.uminho.pt  
Destination address = [192.168.89.14], pc4.labcom.uminho.pt  
No options

#### ----- TCP HEADER -----

Source port = 1062  
Destination port = 21 (FTP)  
Sequence number = 532928015  
Acknowledgment number = 549440112  
Data offset = 20 bytes  
Flags = 0x18  
. . 0 . . . . . = (No urgent pointer)  
. . . 1 . . . . = Acknowledgment  
. . . . 1 . . . = Push  
. . . . . 0 . . = (No reset)  
. . . . . 0 . = (No SYN)  
. . . . . 0 = (No FIN)  
Window = 33580  
Checksum = CE68 (correct)  
No TCP options  
[13 byte(s) of data]

#### ----- FTP data -----

PASS Visita<0DOA>

# Comunicação de dados

## Encapsulamento protocolar



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Exemplo: aplicação TFTP

#### ----- MAC HEADER -----

Frame size is 60 (0x003C) bytes  
Destination = station 0050FC5CE9B0, pc2  
Source = station 0050FC5CE9B1, pc3  
Ethertype = 0800 (IPv4)

#### ----- IP HEADER -----

Version = 4, Header length = 20 bytes  
Diff Serv Field = 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00)  
0 0 0 0 0 0 . . = DSCP: Default (0x00)  
. . . . . 0 . = ECN-Capable Transport (ECT): 0  
. . . . . 0 = ECN-CE: 0  
Total length = 32 bytes  
Identification = 5827  
Flags = 0x0  
. 0 . . . . . = may fragment  
. . 0 . . . . . = last fragment  
Fragment offset = 0 bytes  
Time to live = 30  
Protocol = 17 (UDP)  
Header checksum = 0EFF (correct)  
Source address = [192.168.89.13], pc3.labcom.uminho.pt  
Destination address = [192.168.89.12], pc2.labcom.uminho.pt  
No options

#### ----- UDP HEADER -----

Source port = 1897 (TFTP)  
Destination port = 1035  
Length = 12  
Checksum = 7D51 (correct)

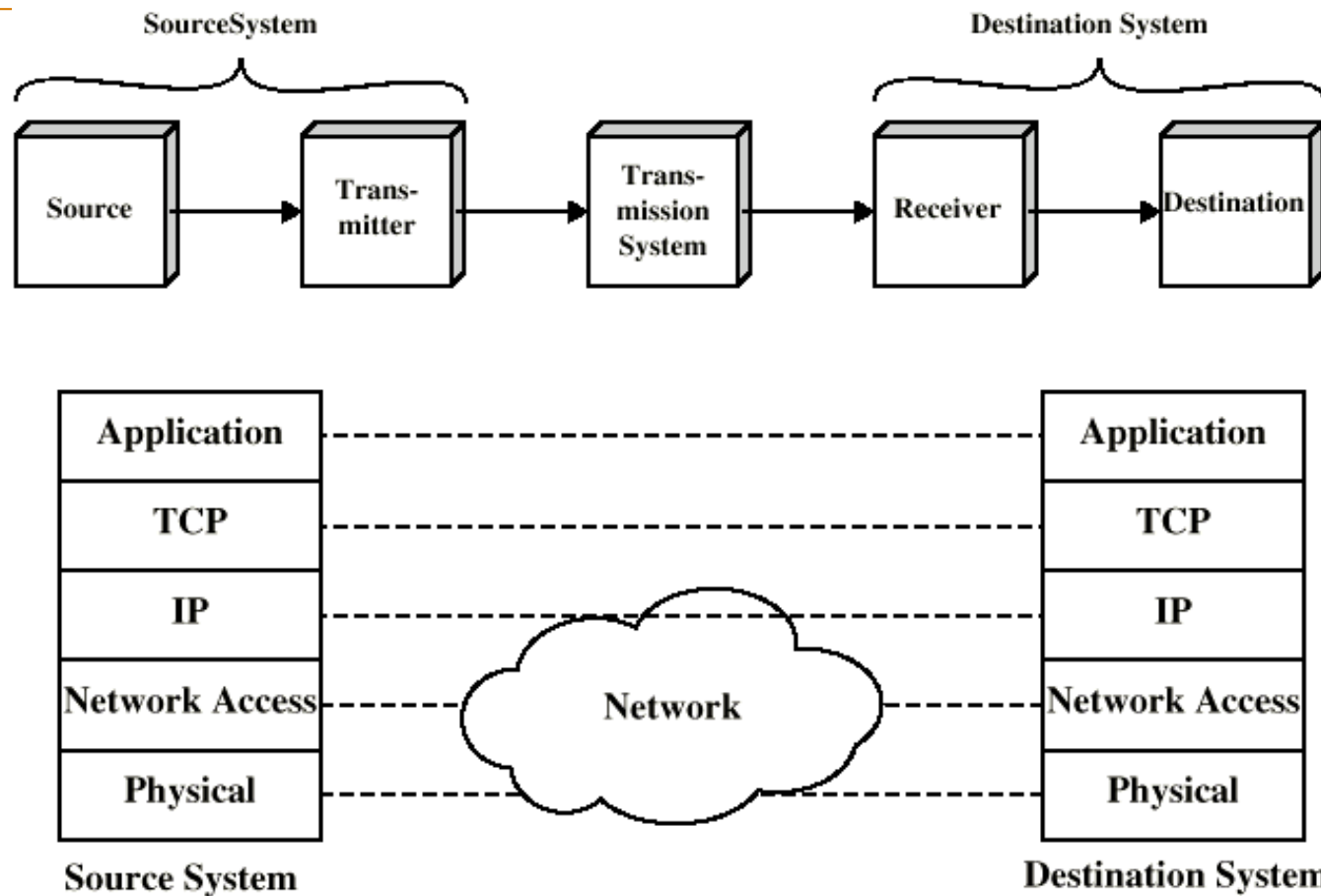
#### ----- Trivial file transfer -----

Opcode = 4 (Ack)  
Block number = 1

[Normal end of "Trivial file transfer".]

# Comunicação de dados

*Protocolo: regras de associação entre camadas homónimas*



[DCC,Stallings07]

# Redes de Computadores

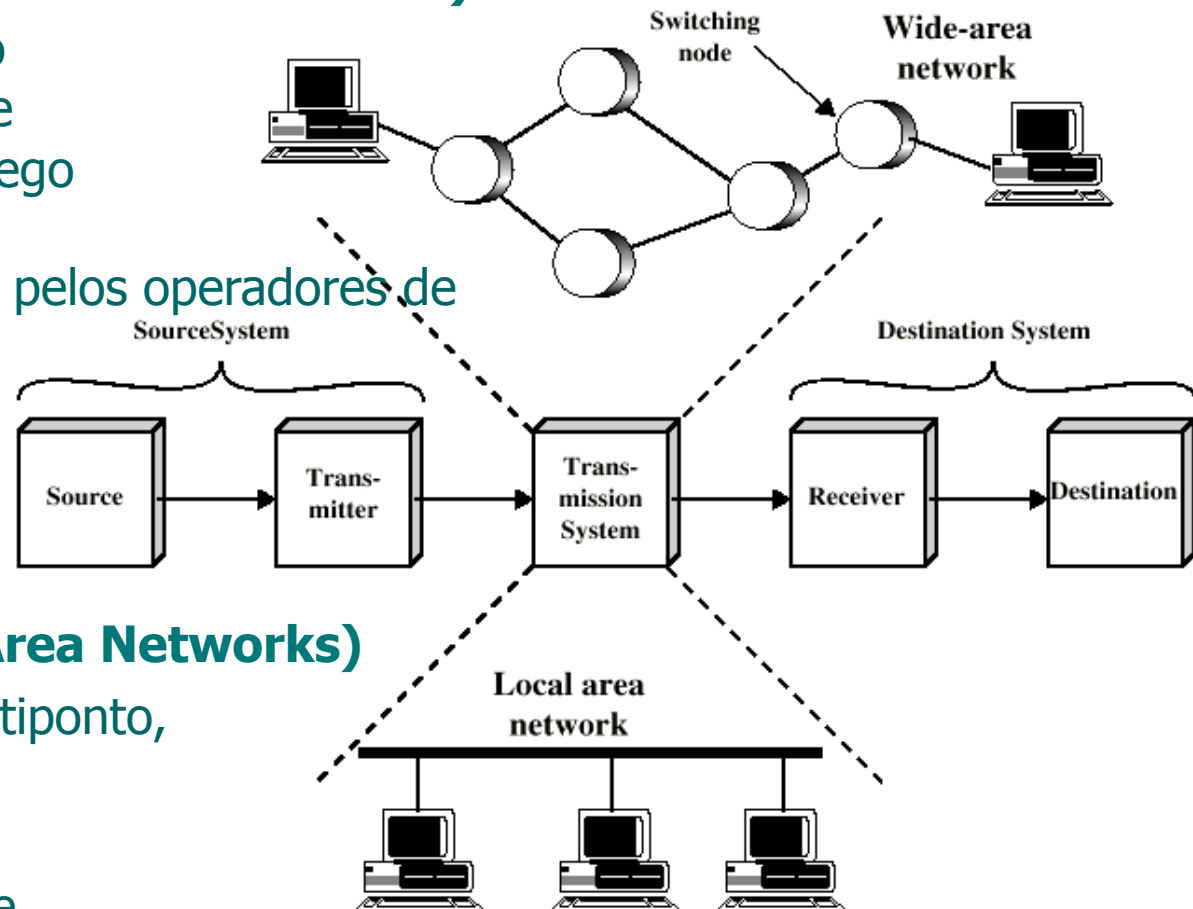
## *conceitos gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Redes *alargadas*, **WAN (Wide Area Networks)**

- linhas ponto-a-ponto
- nós de acesso à rede
- comutadores de tráfego
- longas distâncias
- *backbones* mantidos pelos operadores de comunicações.



### Redes *locais*, **LAN (Local Area Networks)**

- linhas e acessos multiponto, ponto-a-ponto
- pequenas distâncias
- acesso directo à rede
- gestão local

[DCC,Stallings07]

# Redes de Computadores

## *conceitos gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- WAN, MAN, LAN, PAN, BAN
  - designação depende da área geográfica coberta
    - WAN (wide area networks): área alargada, acima das dezenas de quilómetros
    - MAN (metropolitan area networks): cobertura de uma área metropolitana, até poucas dezenas de quilómetros
    - LAN (local areas networks): área local, até poucas centenas ou dezenas de metros
    - PAN (personal area networks): área pessoal, até poucos metros
    - BAN (body area networks): até cerca de um metro
  - condicionam o tipo de protocolos e tecnologias a usar

# Redes de Computadores

## *conceitos gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- WAN, MAN, LAN, PAN, BAN: exemplos de tecnologias
  - WANs: Metro/Carrier Ethernet (IEEE 802.1), (Ethernet over) MPLS, ATM
  - MANs: WiMAX (IEEE 802.16); DQDB (IEEE 802.6); MPLS
  - LANs: Ethernet (IEEE 802.3); Wi-Fi (IEEE 802.11)
  - PANs: Infravermelhos, Bluetooth (IEEE 802.15), Wi-Fi
  - BANs: ZigBee, IEEE 802.15.4

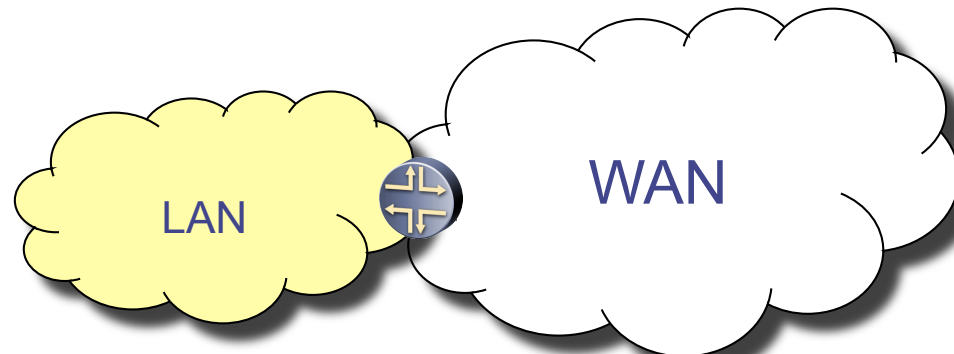
# Redes de Computadores

## *Objectivo das LANs*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Acesso e partilha de recursos locais:
  - servidores, equipamentos especializados, etc.
- Comunicação para cooperação entre processos
  - computação distribuída
- Acesso a redes alargadas (WAN ou MAN)
  - interface partilhada para ligação a redes externas, e.g. Internet
  - e.g. UMinho (2013) – acesso com ligação a 10Gbps





# Redes Locais de Computadores

## *Características das LANs*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Elevadas velocidades de transmissão
  - mega ( $10^6$ ), giga ( $10^9$ ) bps ...
- Protocolo de controlo de acesso ao meio (MAC)
  - específico da tecnologia; acesso garantido ou em contencioso
- Utilização dos recursos
  - baixo factor de utilização conduz a melhor desempenho
- Desempenho "*aceitável*" para tráfego distinto
  - tempo real, transaccional, regular, etc...
- Acesso *democrático* oferecido a todos os sistemas
- Fácil instalação, configuração e interligação

• nem sempre...  
• tendência para  
diferenciação e  
priorização de  
tráfego

# Redes de Computadores

## *Características das LANs*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Utilização generalizada:
  - permitem a interligação de um elevado número de sistemas terminais (computadores, sistemas de voz e vídeo) em áreas limitadas
  - **topologias** mais frequentes:
    - barramento, anel, estrela e árvore, malha
    - em geral, constituem redes privadas
- Tecnologia normalizada e de baixo custo (normas IEEE 802)
- Elementos de uma rede:
  - estações possuem interfaces de rede [NIC, Network Interface Cards]
  - rede possui equipamentos de interligação
    - repetidores, bridges, switches, routers, etc.
  - equipamento interligado por cablagem ou meio sem fios.

características ?

diferenças ?

# Redes Locais de Computadores

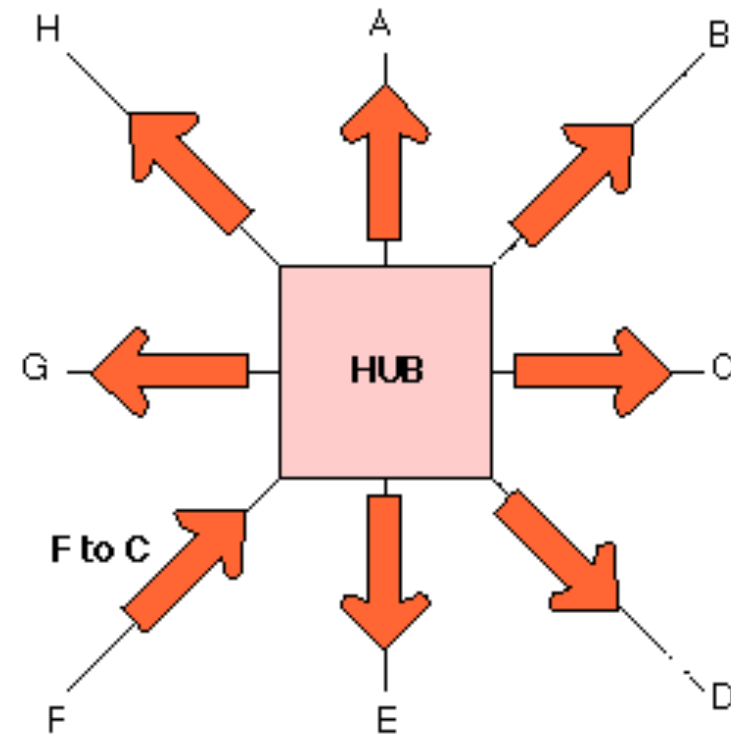
## *Equipamentos de Interligação: Repetidor ou HUB*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Repetidor

- opera ao nível físico (OSI), equipamento passivo
- não interpreta as tramas
- monitorização contínua de sinais e sua regeneração
- repete tudo o que "ouve"
- permite cobrir maiores distâncias
- permite maior flexibilidade no desenho da rede
- usado LANs, MANs, WANs



**Ex. HUB Ethernet**

# Redes Locais de Computadores

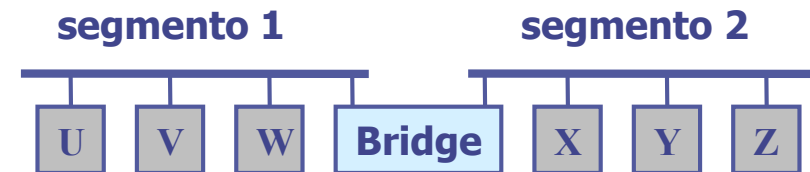
## *Equipamentos de Interligação: Bridge*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Bridge**

- opera ao nível da ligação lógica (OSI)
- ligação por interface de rede; tem endereço físico
- interpreta o formato das tramas; faz aprendizagem
- permite isolar tráfego
- divide o domínio de colisão
- configuração transparente
- em configuração múltipla, evita ciclos infinitos (Algoritmo Spanning Tree)



Acção	ListaSeg1	ListaSeg2
boot	-	-
U-V	U	-
V-U	U,V	-
Z-all	U,V	Z
Y-V	U,V	Z,Y
Y-X	U,V	Z,Y
X-W	U,V	Z,Y,X
W-Z	U,V,W	Z,Y,X

Processo de Aprendizagem  
em **bridging transparente**

[CNI,Comer98]

# Redes Locais de Computadores

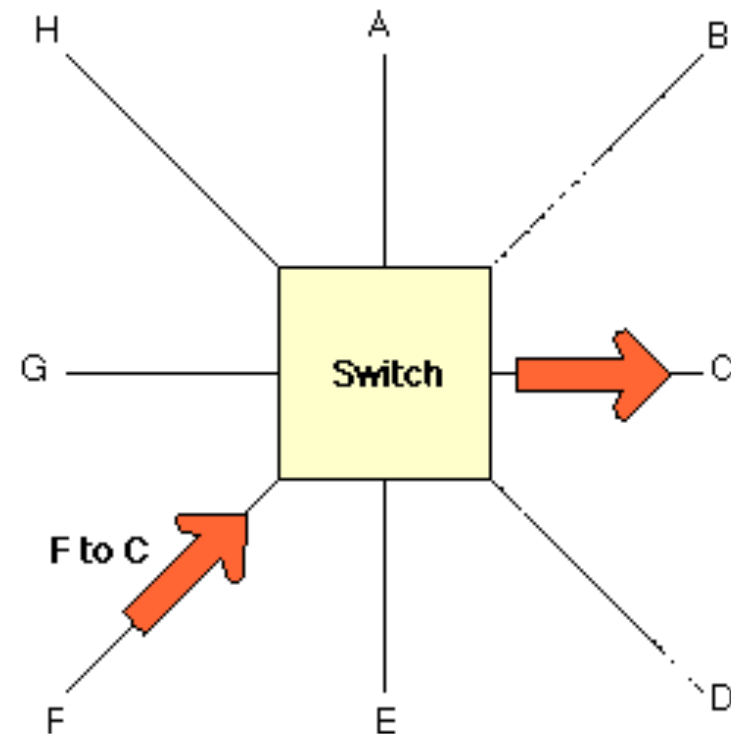
## *Equipamentos de Interligação: Switch*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Switch**

- mais de 2 interfaces
- capacidade aprendizagem como as *bridges*
- permite paralelismo
- requer *buffering* adequado
- reduz carga na rede
- aumenta desempenho
- pode validar endereços MAC
- permite criar LANs virtuais
- usado em LAN, MAN e WAN



# Redes de Computadores

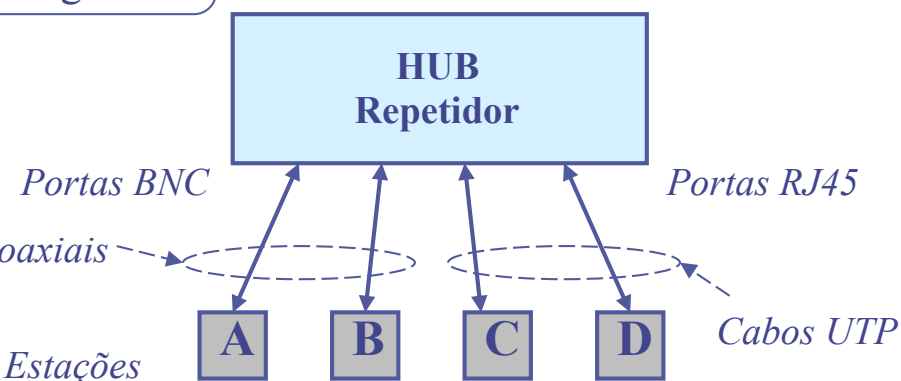
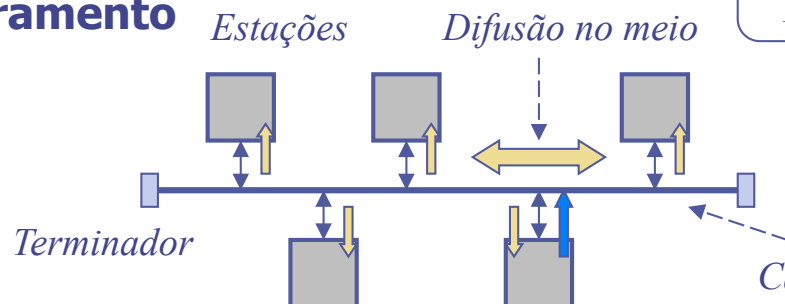
## Topologias LAN



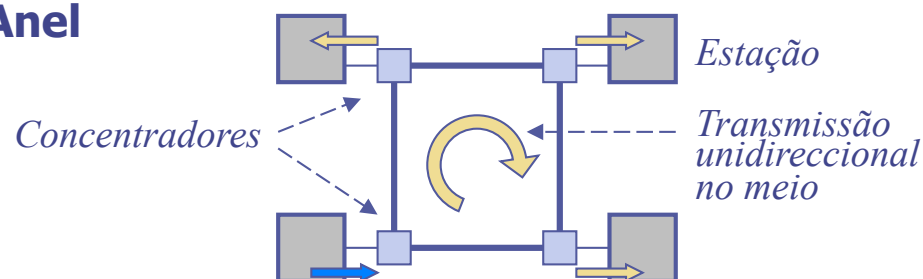
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Vantagens ?  
Desvantagens ?

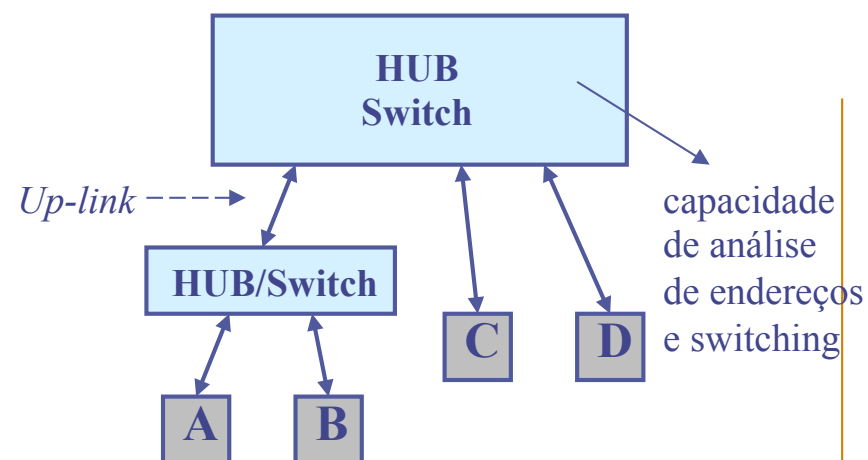
### Barramento



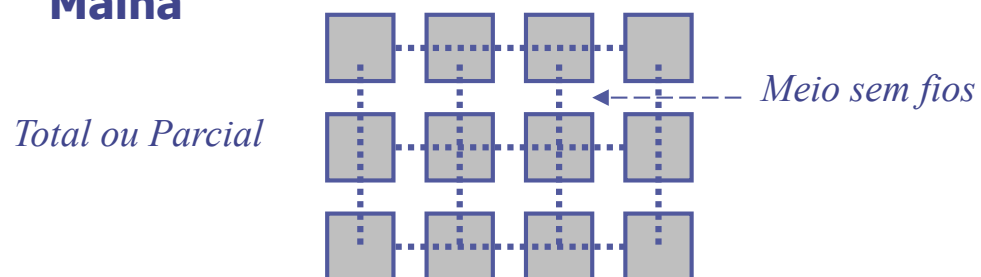
### Anel



### Estrela



### Malha



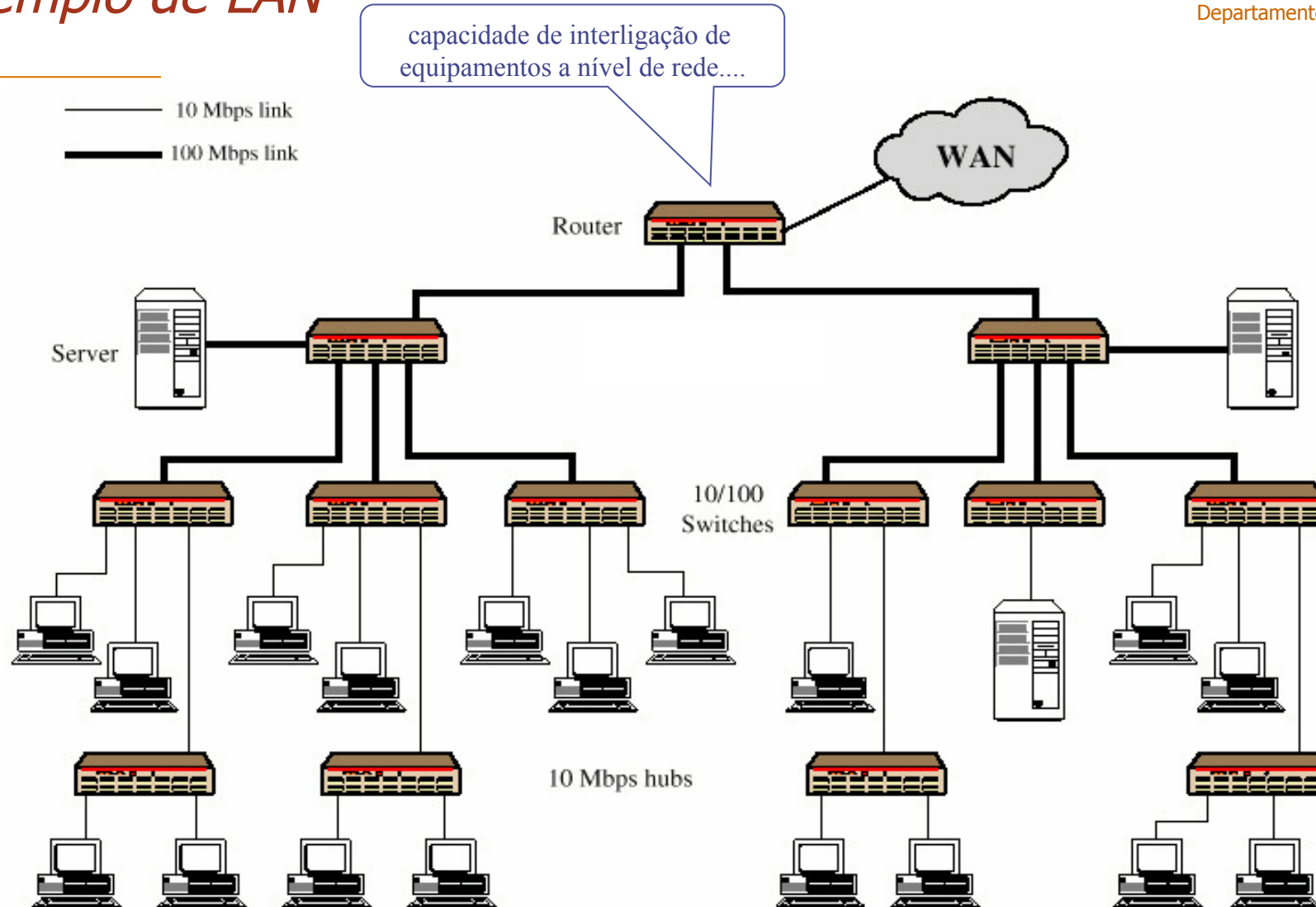
### Árvore

# Redes Locais de Computadores

## Exemplo de LAN



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# Redes de Computadores

## *Tópicos de estudo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

### Abordagem *Bottom-Up*:

- **Nível Físico**
  - Transmissão vs comunicação de dados
- **Nível Lógico**
  - Protocolos de ligação de dados
  - Controlo de fluxo e controlo de erros
  - Destaque nas redes locais de computadores para o protocolo Ethernet e suas variantes
- **Nível de Rede**
  - Interligação de redes
  - Destaque para as redes IP



# Redes de Computadores

## *Tópicos de estudo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Nível Físico

- Funções
- Meios de transmissão
- Equipamento

# Transmissão de dados

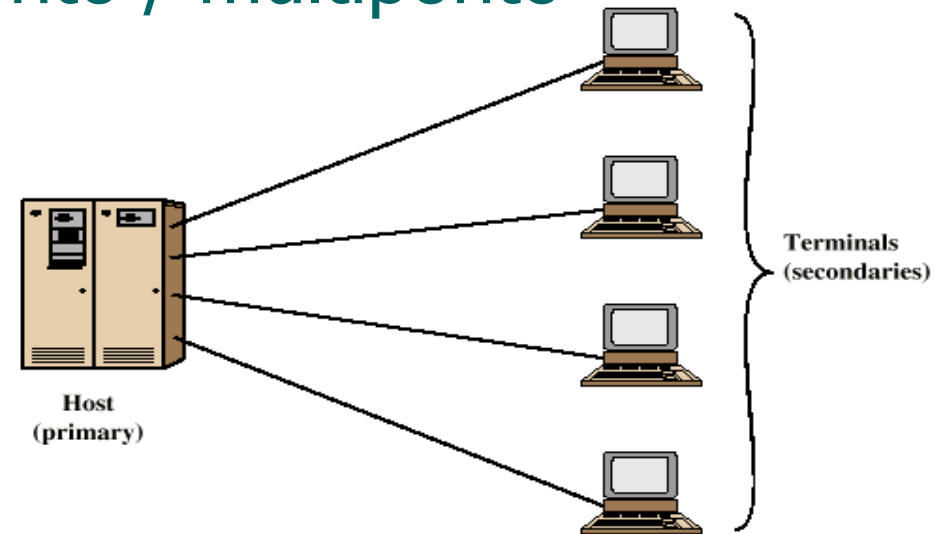
## *Conceitos básicos*



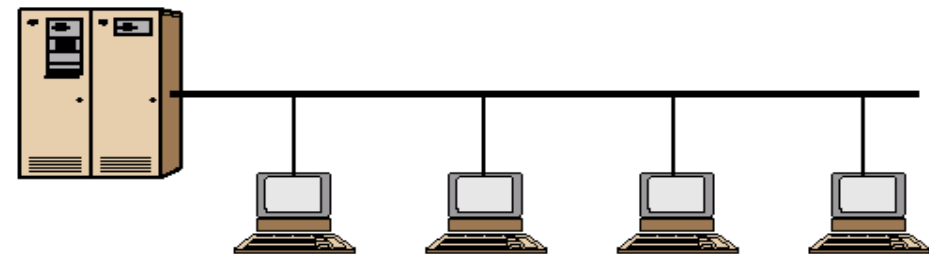
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Transmissão ponto-a-ponto / multiponto

- simplex
  - unidireccional
- half-duplex
  - bidireccional, alternado
- full-duplex
  - bidireccional, simultâneo



**a) Ligações ponto a ponto (PP)**



**b) Ligações multiponto (MP)**

# Transmissão de dados

## *Meios de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Efeitos indesejáveis

- atenuação
- distorção [ruído, interferência (cross-talk)]

Os sinais a transmitir são atenuados ou corrompidos nos meios de transmissão [erros nos dados]

- A atenuação e/ou distorção são influenciadas por:

- distância entre o transmissor e o receptor; alta temperatura
- ritmo de transmissão (*bps*)
- tipo de meio de transmissão

- Tipos de meios:

- não guiados: atmosfera, água do mar...  
(propagação omnidireccional vs. direccional)
- guiados: par entrançado (xTP), cabo coaxial, fibra óptica

# Transmissão de dados

## *Meios de transmissão não guiados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

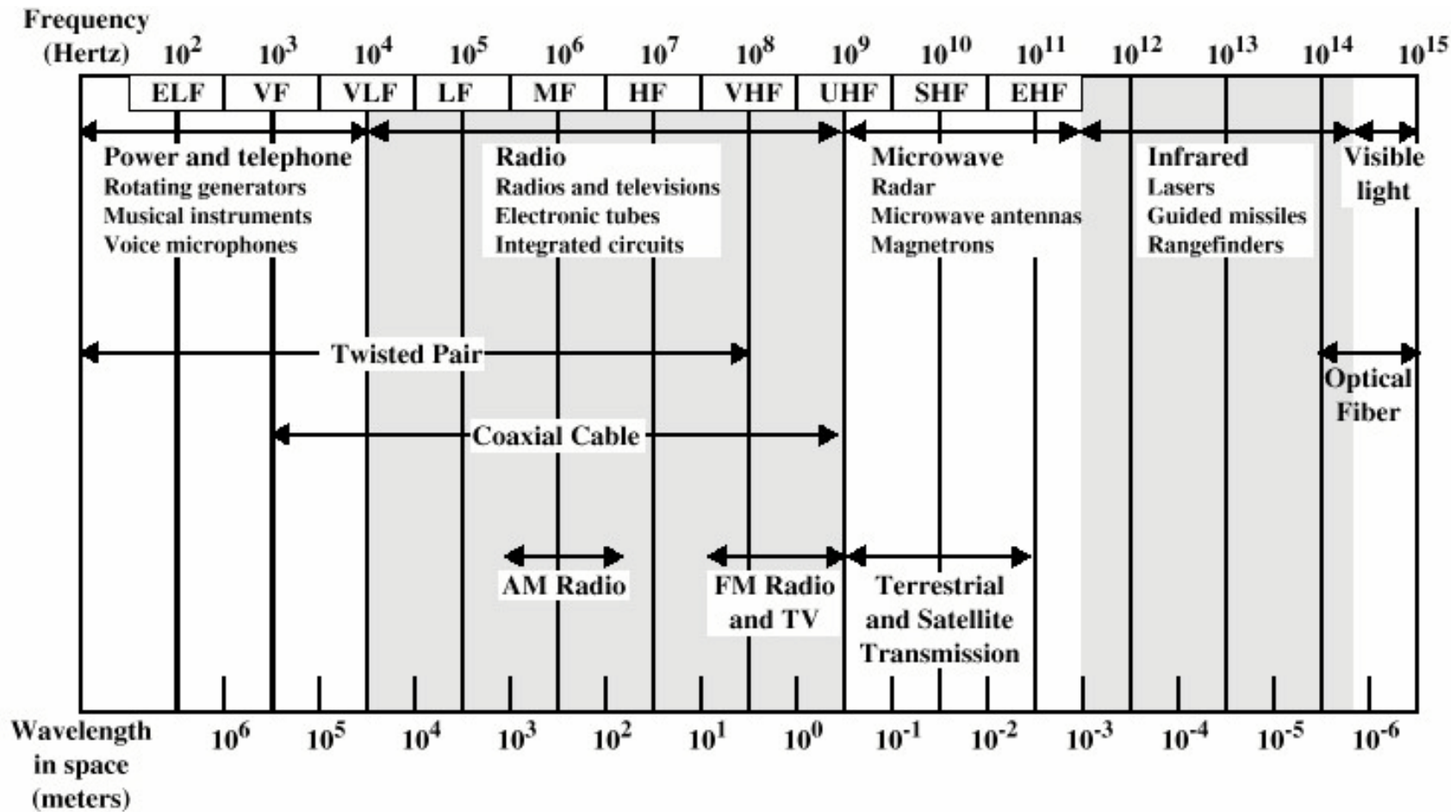
- Propagação omnidireccional vs. direccional
- Principais aplicações:
  - radio - FM, VHF e parte de UHF, redes de dados
  - micro-ondas terrestres - comunicações de longa distância (TV e voz), ligações ponto-a-ponto, comunicação de dados em pequenas áreas (wireless)
  - micro-ondas por satélite- distribuição de TV, voz a longa distância, redes de dados

# Transmissão de dados

## *Espectro de frequências*



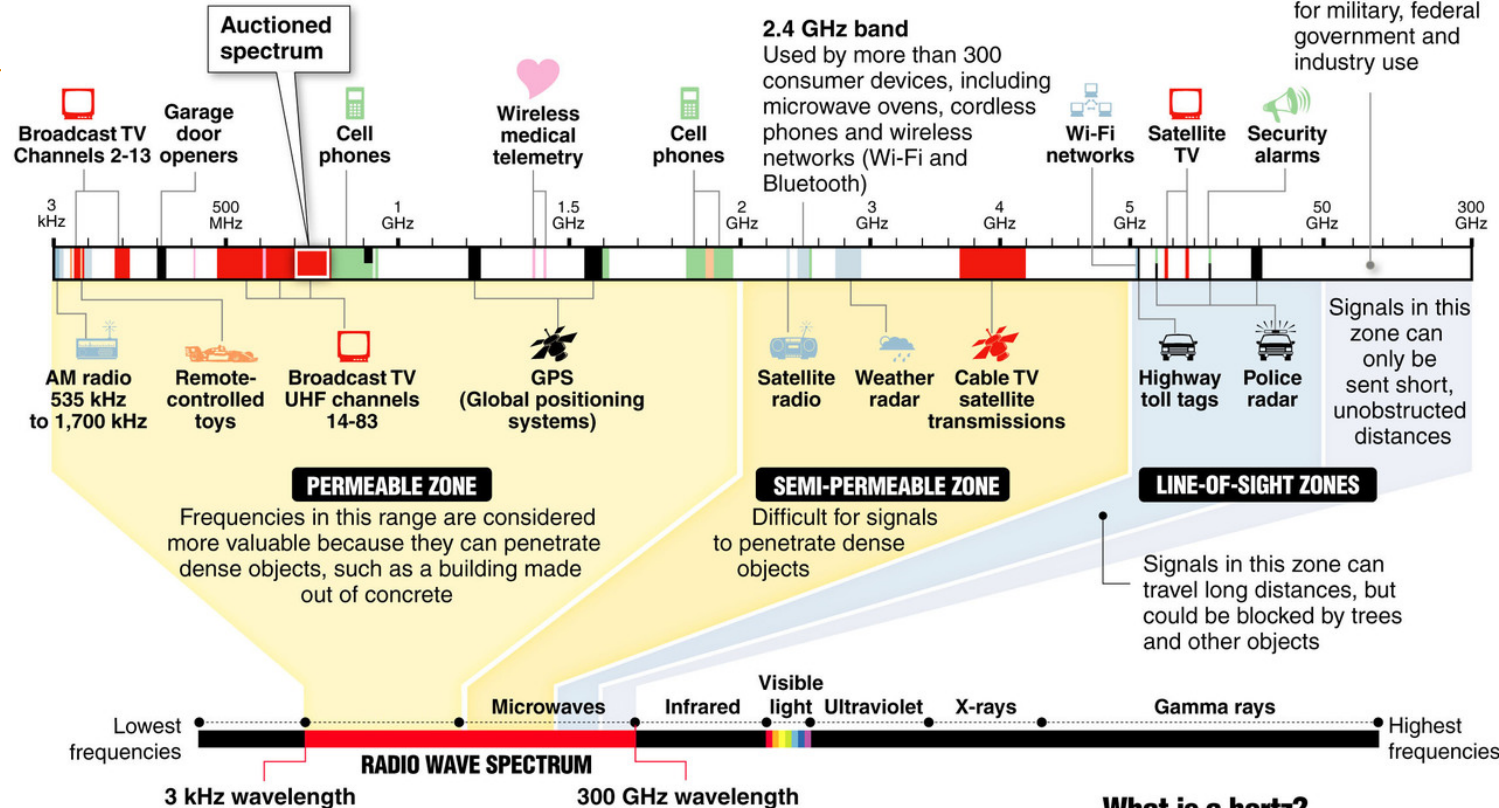
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



[DCC,Stallings07]

# Inside the radio wave spectrum

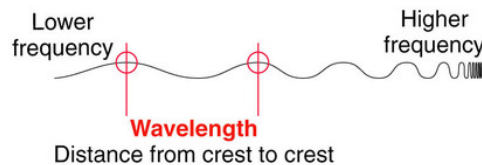
Almost every wireless technology – from cell phones to garage door openers – uses radio waves to communicate. Some services, such as TV and radio broadcasts, have exclusive use of their frequency within a geographic area. But many devices share frequencies, which can cause interference. Examples of radio waves used by everyday devices:



## The electromagnetic spectrum

Radio waves occupy part of the electromagnetic spectrum, a range of electric and magnetic waves of different lengths that travel at the speed of light; other parts of the spectrum include visible light and x-rays; the shortest wavelengths have the highest frequency, measured in hertz

Source: New America Foundation, MCT, Howstuffworks.com  
Graphic: Nathaniel Levine, Sacramento Bee



## What is a hertz?

One hertz is one cycle per second. For radio waves, a cycle is the distance from wave crest to crest

1 kilohertz (kHz) = 1,000 hertz  
1 megahertz (MHz) = 1 million hertz  
1 gigahertz (GHz) = 1 billion hertz

© 2008 MCT

# Transmissão de dados

## *Meios de transmissão guiados*



Universidade do Minho  
Engenharia  
Informática

- Par entrançado

- Unshielded Twisted Pair (UTP)

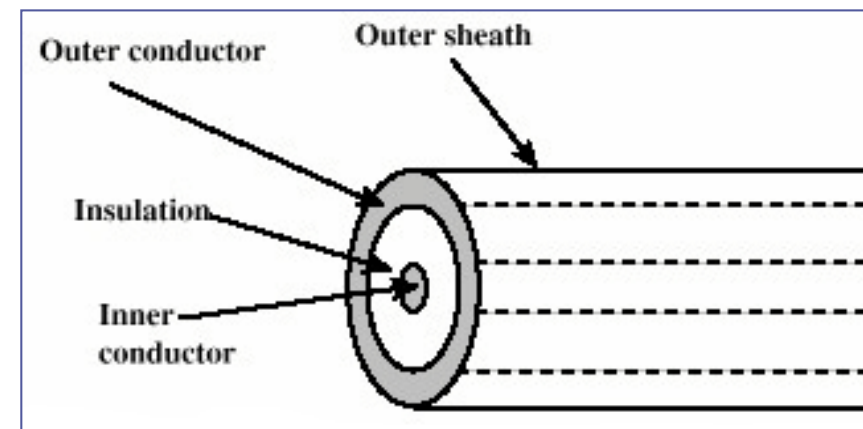
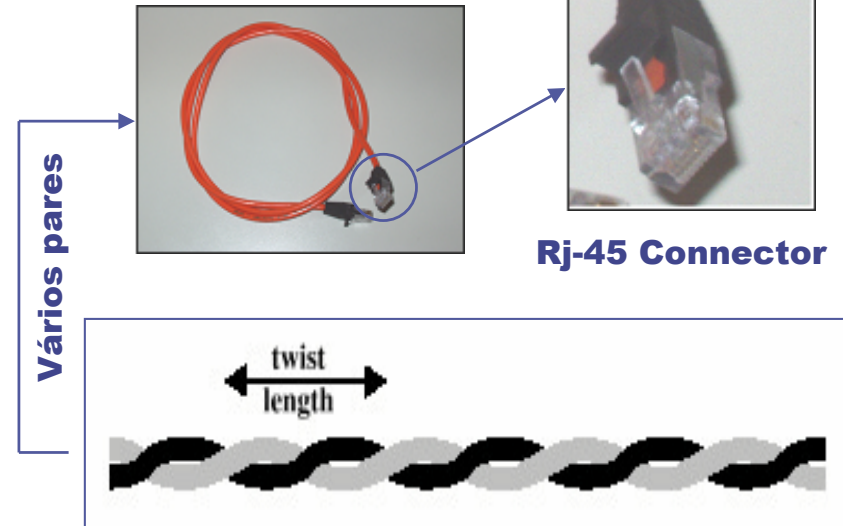
- cat3 (16MHz, até 10Mbps);
    - cat4 (20MHz, até 16Mbps);
    - **cat5,5e (100MHz, até 1Gbps)**
    - cat6 (over 1Gbps)

- Shielded Twisted Pair (STP)

- cada par protegido por écran
  - usado: redes telefónicas, redes locais actuais

- Cabo coaxial

- usado: transmissão de tv, redes locais



[DCC, Stallings07]



# Transmissão de dados

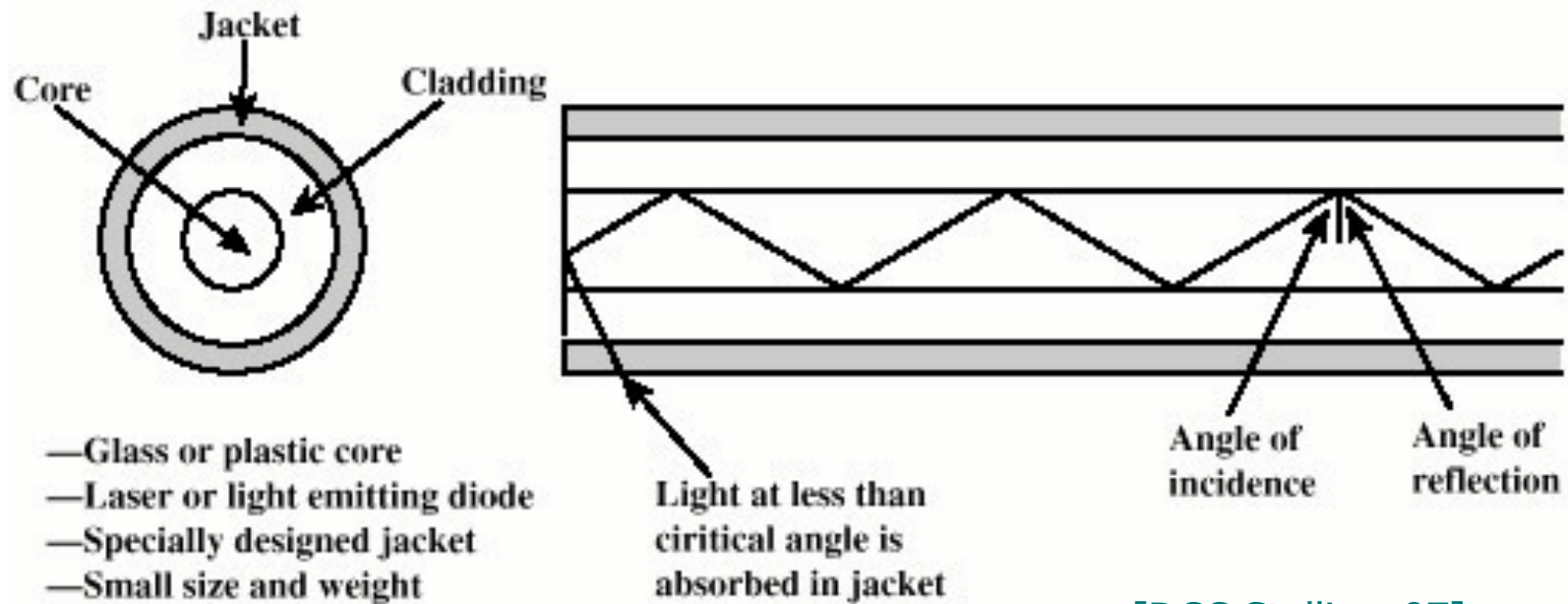
## *Meios de transmissão guiados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Fibra óptica**

- Monomodo: usado em longa distância
- Multimodo: curta distância (maior dispersão)
- elevada largura de banda, tamanho e peso reduzidos, baixa atenuação, isolamento electromagnético



[DCC,Stallings07]



# Comunicação de dados

## *camada física: funções*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

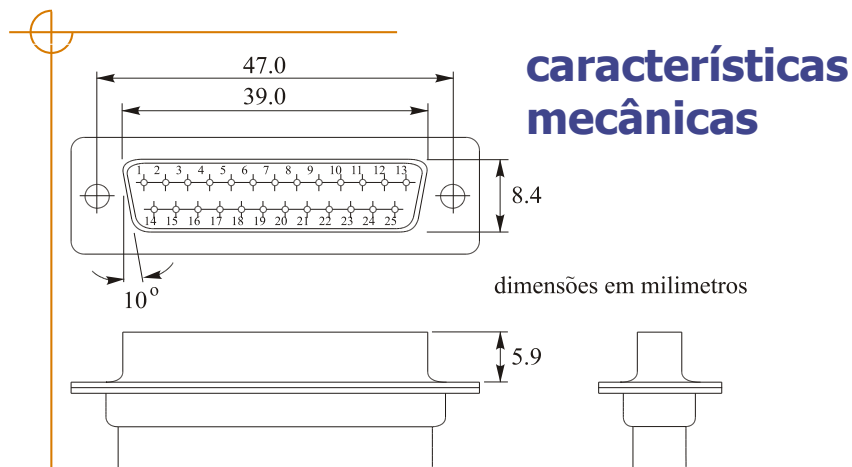
- Funções da camada física:
  - transmissão de bits sobre um canal de transmissão
  - codificação de linha, modulação, multiplexagem física, acesso ao meio, controlo de erros.
  - definição e normalização das características das interfaces físicas:
    - mecânicas (conectores, nº de pinos e funções)
    - eléctricas (níveis eléctricos)
    - funcionais (controlo, dados, temporização)
    - procedimentais (sequência de acções entre circuitos)

# Comunicação de dados

*camada física: interface com o meio físico de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Conector DB25 para DTE V.24/EIA-232-D

## características funcionais

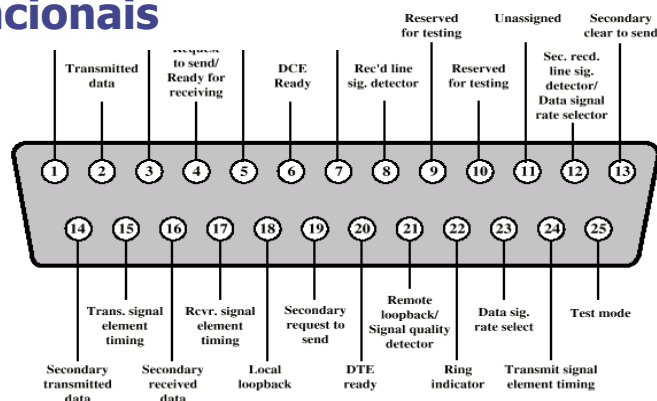
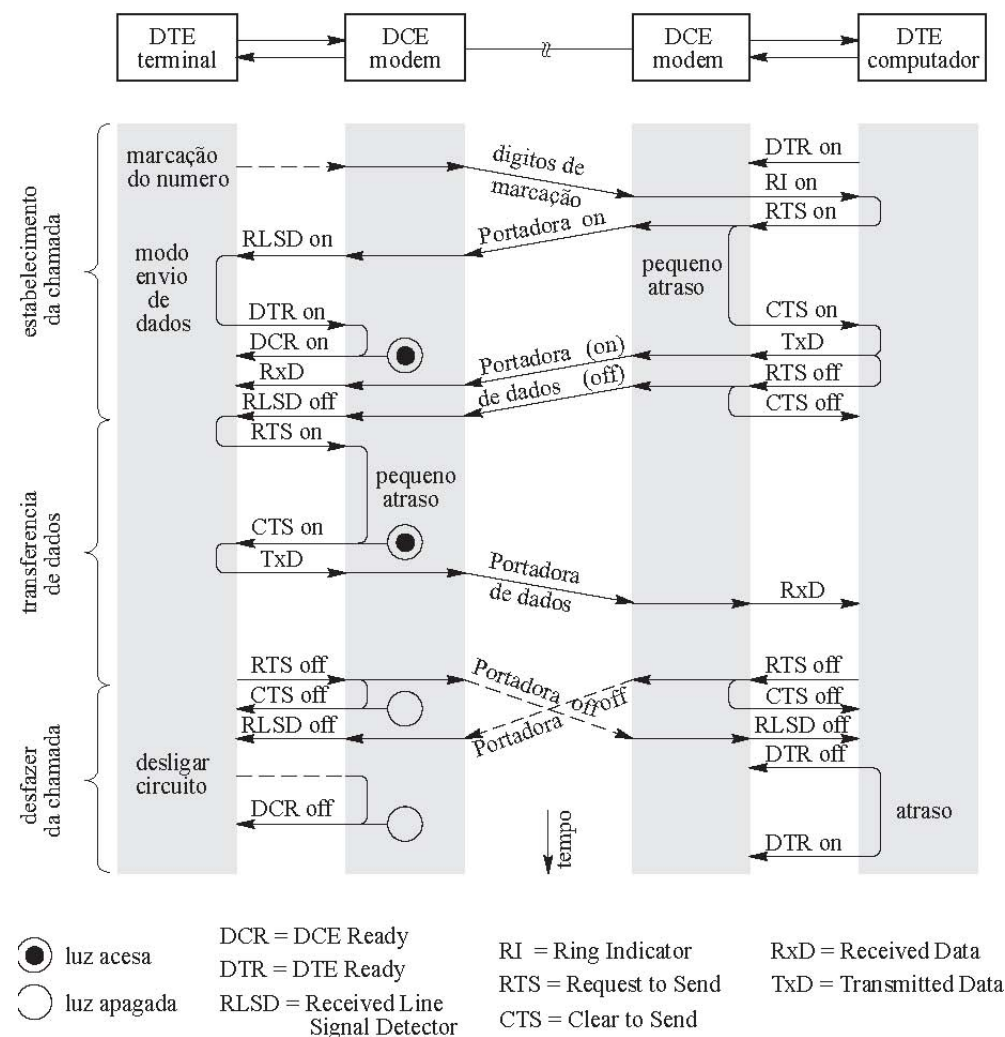


Figure 6.5 Pin Assignments for V.24/EIA-232 (DTE Connector Face)

## características procedimentais

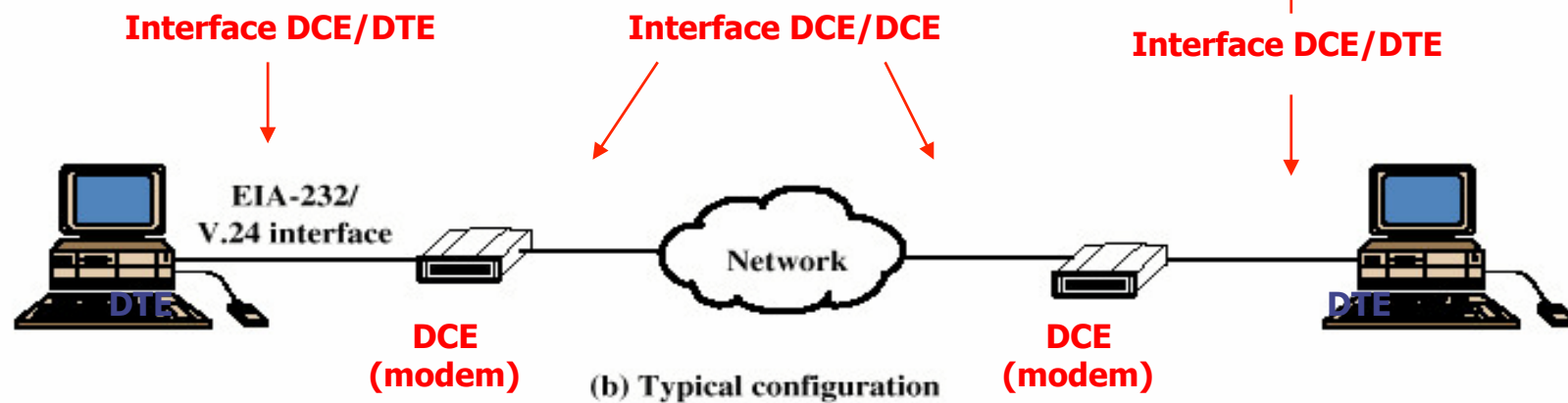
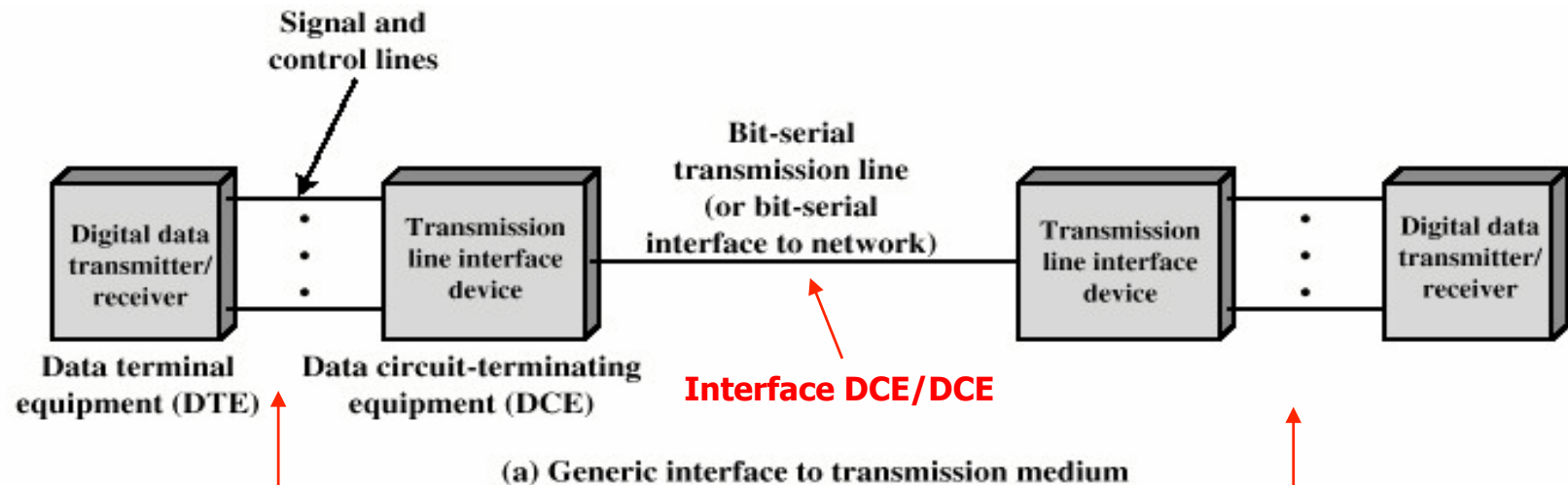


# Comunicação de dados

*camada física: interface com o meio físico de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



[DCC,Stallings07]

# Comunicação de dados

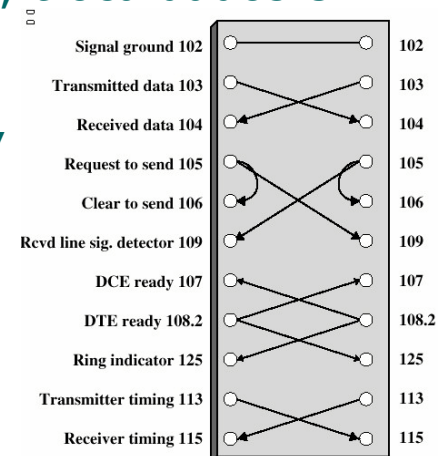
*camada física: interface com o meio físico de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- DTE (Data Terminal Equipment) é a designação genérica das normas para qualquer equipamento de dados (computador, impressora, etc)
- DCE (Data Circuit-terminating Equipment) é a designação genérica das normas para qualquer equipamento de comunicações (modems, bridges, multiplexadores, routers, etc)
  - Os DTE têm capacidade de transmissão limitada, ligando-se aos sistemas de transmissão através de um DCE
  - Um DCE transmite e recebe bits do meio de transmissão; troca dados e informação de controlo com o DTE.
  - A ligação directa de dois DTE necessita um modem nulo, que pode ser realizado no cabo de interligação então designado cabo *cross-over* (troca apropriadas de fios)

modem nulo para interface V.24/V.28 ou EIA-232 [DCC, Stallings07]



# Comunicação de dados

*camada física: interface com o meio físico de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Exemplo: Modem ADSL [Asymmetrical Digital Subscriber Line]
  - possui interface(s) de dados (DTE/DCE) segundo as normas industriais USB (Universal Serial Bus) e/ou ATM Forum 25.6 com conector RJ45.
  - possui interface de linha (DCE/DCE) segundo a norma G.992 da ITU-T
  - o interface de linha é constituído por dois canais assimétricos operando sobre a linha telefónica. Na versão ADSL2+ (ITU-T G.922.5):
    - um canal downstream (sentido rede -> terminal) até 24 Mbps
    - um canal upstream (sentido terminal -> rede) até 1.4 Mbps
    - conector RJ11 de 4/6 pinos para ligação à linha telefónica (DCE/DCE)
  - corrige erros com um código de 63 bits (47 de dados e 16 de protecção)

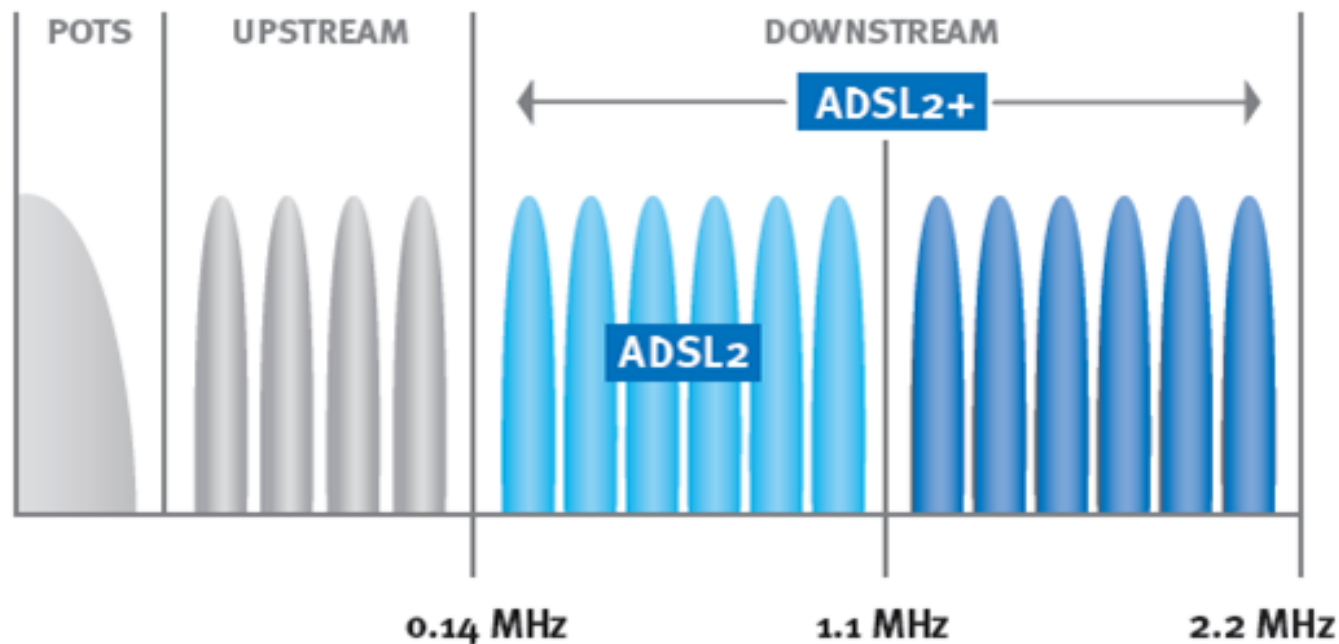
# Comunicação de dados

*camada física: interface com o meio físico de transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Exemplo da utilização espectral dum Modem ADSL2+ [Asymetrical Digital Subscriber Line]



# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Transmissão em série ou em paralelo?
  - Por regra, em telecomunicações, a transmissão faz-se em série por bit
- Transmissão, o que interessa conhecer?
  - ritmo binário (bits/s), kbps, Mbps, Gbps ...
  - potência do sinal (em *mW* ou em *dBm*)
  - código de linha utilizado (forma do sinal que representa os bits)
  - probabilidade de erro do código ou probabilidade de erro total na linha de transmissão ( $P_e$ , também designado *BER=bit error ratio*)
- Técnicas de transmissão de dados em *série*:
  - transmissão assíncrona
  - transmissão síncrona

**cuidado com as unidades !**

# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Estratégia:**
  - enviar dados em pequenas unidades (*character*)
  - os caracteres ocorrem assincronamente
  - muito usada para configuração de equipamento de comunicações e controlo de outro equipamento (micro-controladores)
  - envia código de caractere (5 a 8 bits) de cada vez



Formato de um caractere



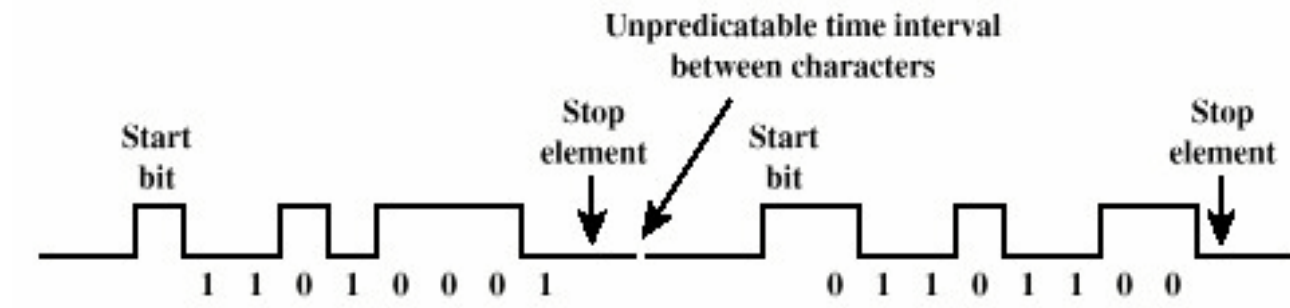
# Comunicação de dados

*camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Vantagens:
  - sincronização no início e dentro de cada caractere
  - esquema simples e económico



Assincronismo entre caracteres

[DCC,Stallings07]

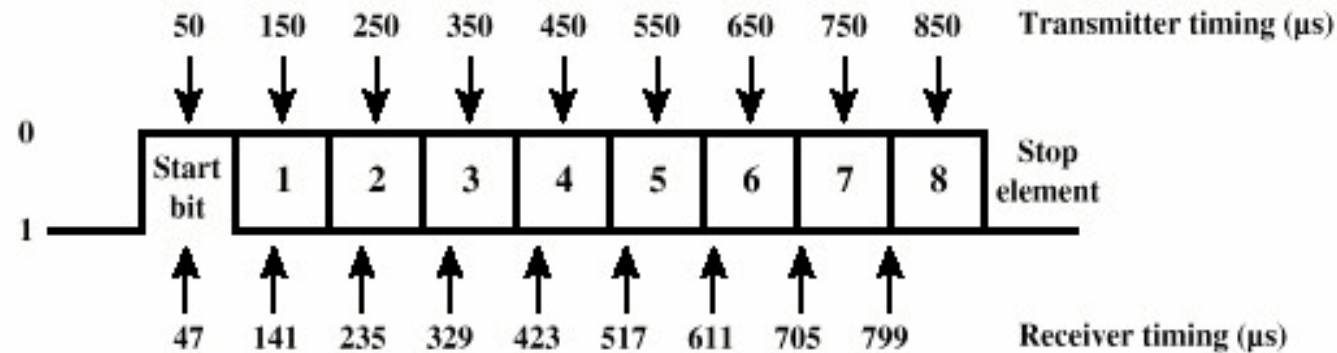
# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Desvantagens:
  - *overhead* elevado (em geral  $> 20\%$ )
  - erros resultantes de assimetrias



Timing error

[DCC, Stallings07]

# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Exemplo

*Quanto tempo demora a transmissão de um volume de dados 80 kbytes, através de uma interface série RS-232c com uma codificação em 8 bits de dados, sem paridade, e 1 stop bit, com um débito de 112 kbps?*

- *quantos caracteres vão ser transmitidos ( $n_{char}$ )?*
- *quanto tempo demora a transmitir um caracter ( $t_{char}$ )?*
- *tempo total =  $n_{char} \times t_{char}$*
- *qual o "overhead" na transmissão (em percentagem)?*
- *qual a taxa de transmissão real a que os dados são transmitidos?*

# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão síncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Usada para transmitir unidades de dados maiores
- Sincronização transmissor (Tx) com receptor (Rx):
  - não são usados *start/stop* bits
  - ou existe um canal separado de sincronização  
[chamada *sincronização fora da banda*]
  - ou a sincronização faz-se no canal dos dados  
[chamada *sincronização dentro da banda*]
- O formato de cada trama depende do tipo de transmissão ser orientado ao *caractere* ou ao *bit*.

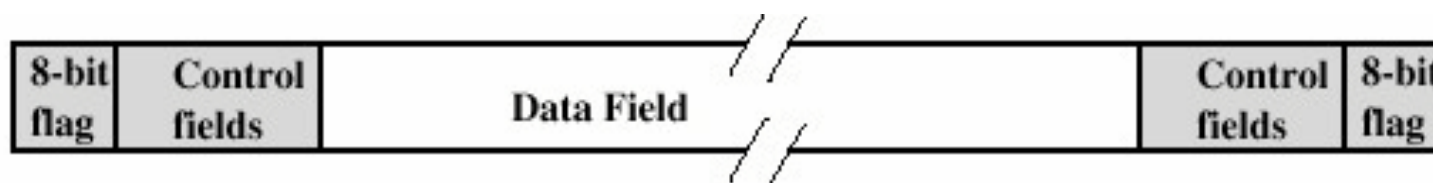
# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão síncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Trama = campo de controlo + campo de dados
  - ex: campo de controlo = endereço(s) destino/origem, comprimento da trama, número de sequência, tipo dos dados  
(*Trama* é a designação dada à *unidade de dados* ao nível físico)
- Detecção de início e fim de trama:
  - caracteres especiais ou padrão de bits de alinhamento (*flag*).  
Exemplo: <flag><trama><flag>



[DCC, Stallings07]

# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão síncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Dec	Hx	Oct	Char	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr	Dec	Hx	Oct	Html	Chr
0	0	000	NUL (null)	32	20	040	&#32;	Space	64	40	100	&#64;	@	96	60	140	&#96;	`
1	1	001	SOH (start of heading)	33	21	041	&#33;	!	65	41	101	&#65;	A	97	61	141	&#97;	a
2	2	002	STX (start of text)	34	22	042	&#34;	"	66	42	102	&#66;	B	98	62	142	&#98;	b
3	3	003	ETX (end of text)	35	23	043	&#35;	#	67	43	103	&#67;	C	99	63	143	&#99;	c
4	4	004	EOT (end of transmission)	36	24	044	&#36;	\$	68	44	104	&#68;	D	100	64	144	&#100;	d
5	5	005	ENQ (enquiry)	37	25	045	&#37;	%	69	45	105	&#69;	E	101	65	145	&#101;	e
6	6	006	ACK (acknowledge)	38	26	046	&#38;	&	70	46	106	&#70;	F	102	66	146	&#102;	f
7	7	007	BEL (bell)	39	27	047	&#39;	'	71	47	107	&#71;	G	103	67	147	&#103;	g
8	8	010	BS (backspace)	40	28	050	&#40;	(	72	48	110	&#72;	H	104	68	150	&#104;	h
9	9	011	TAB (horizontal tab)	41	29	051	&#41;	)	73	49	111	&#73;	I	105	69	151	&#105;	i
10	A	012	LF (NL line feed, new line)	42	2A	052	&#42;	*	74	4A	112	&#74;	J	106	6A	152	&#106;	j
11	B	013	VT (vertical tab)	43	2B	053	&#43;	+	75	4B	113	&#75;	K	107	6B	153	&#107;	k
12	C	014	FF (NP form feed, new page)	44	2C	054	&#44;	,	76	4C	114	&#76;	L	108	6C	154	&#108;	l
13	D	015	CR (carriage return)	45	2D	055	&#45;	-	77	4D	115	&#77;	M	109	6D	155	&#109;	m
14	E	016	SO (shift out)	46	2E	056	&#46;	.	78	4E	116	&#78;	N	110	6E	156	&#110;	n
15	F	017	SI (shift in)	47	2F	057	&#47;	/	79	4F	117	&#79;	O	111	6F	157	&#111;	o
16	10	020	DLE (data link escape)	48	30	060	&#48;	0	80	50	120	&#80;	P	112	70	160	&#112;	p
17	11	021	DC1 (device control 1)	49	31	061	&#49;	1	81	51	121	&#81;	Q	113	71	161	&#113;	q
18	12	022	DC2 (device control 2)	50	32	062	&#50;	2	82	52	122	&#82;	R	114	72	162	&#114;	r
19	13	023	DC3 (device control 3)	51	33	063	&#51;	3	83	53	123	&#83;	S	115	73	163	&#115;	s
20	14	024	DC4 (device control 4)	52	34	064	&#52;	4	84	54	124	&#84;	T	116	74	164	&#116;	t
21	15	025	NAK (negative acknowledge)	53	35	065	&#53;	5	85	55	125	&#85;	U	117	75	165	&#117;	u
22	16	026	SYN (synchronous idle)	54	36	066	&#54;	6	86	56	126	&#86;	V	118	76	166	&#118;	v
23	17	027	ETB (end of trans. block)	55	37	067	&#55;	7	87	57	127	&#87;	W	119	77	167	&#119;	w
24	18	030	CAN (cancel)	56	38	070	&#56;	8	88	58	130	&#88;	X	120	78	170	&#120;	x
25	19	031	EM (end of medium)	57	39	071	&#57;	9	89	59	131	&#89;	Y	121	79	171	&#121;	y
26	1A	032	SUB (substitute)	58	3A	072	&#58;	:	90	5A	132	&#90;	Z	122	7A	172	&#122;	z
27	1B	033	ESC (escape)	59	3B	073	&#59;	;	91	5B	133	&#91;	[	123	7B	173	&#123;	{
28	1C	034	FS (file separator)	60	3C	074	&#60;	<	92	5C	134	&#92;	\	124	7C	174	&#124;	
29	1D	035	GS (group separator)	61	3D	075	&#61;	=	93	5D	135	&#93;	]	125	7D	175	&#125;	}
30	1E	036	RS (record separator)	62	3E	076	&#62;	>	94	5E	136	&#94;	^	126	7E	176	&#126;	~
31	1F	037	US (unit separator)	63	3F	077	&#63;	?	95	5F	137	&#95;	_	127	7F	177	&#127;	DEL

Source: [www.LookupTables.com](http://www.LookupTables.com)

- Exemplo de um código de caracteres (ASCII)

# Comunicação de dados

## *detecção de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- A cada trama, o Tx adiciona um número de bits que será usado pelo Rx para detecção de erros.
- Em caso de erro, ou o Rx corrige o erro, ou o Tx deve ser notificado.
- Técnicas:
  - utilização de bit e de caractere de paridade
  - verificação de redundância cíclica (CRC)

# Comunicação de dados

## detecção de erros - CRC



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Cyclic Redundancy Check

Dada uma mensagem inicial de  $k$  bits, o transmissor gera uma sequência de  $n-k$  bits [CRC ou FCS *Frame Check Sequence*] tal que, os  $n$  bits da trama resultante sejam divisíveis por um número pré-determinado  $G$ .





# Comunicação de dados

## *detecção de erros - CRC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Detecção de erros na recepção
  - dividir a trama recebida por  $G(x)$
  - se Resto = 0 conclui que não há erro, senão ....
- Exemplo de um polinómio gerador  $G(x)$ :  
**CRC-32:**  
$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$
  
normalizado para transmissão síncrona ponto-a-ponto (IEEE-802.x)

# Comunicação de dados

## *correção de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Técnica de ***Forward Error Correction (FEC)***
  - é o receptor que corrige o erro
  - probabilidades de erro aceitáveis exigem que o código seja gerado por polinómio com grau da mesma ordem de grandeza do dos dados.
  - técnica pouco usada em comunicação de dados
  - apenas usada em situações onde é impraticável a retransmissão (e.g. Bluetooth usa FEC para aumentar a imunidade a erros)
  - em geral, é preferível retransmitir

# Comunicação de dados

## *correção de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Técnica de ***Automatic Repeat Request (ARQ)***
  - o receptor não tenta corrigir os erros
  - o código de controlo de erros é usado no receptor apenas como detector erros
  - detectados erros, o receptor pede a retransmissão da unidade de dados
  - probabilidades de erro aceitáveis podem ser obtidas com polinómios de menor grau
  - técnica mais usada em comunicação de dados