



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

# Sistemas de Comunicações e Redes

**Universidade do Minho**  
**Grupo de Comunicações por Computador**  
**Departamento de Informática**

# Redes de Computadores

## *conceitos gerais*

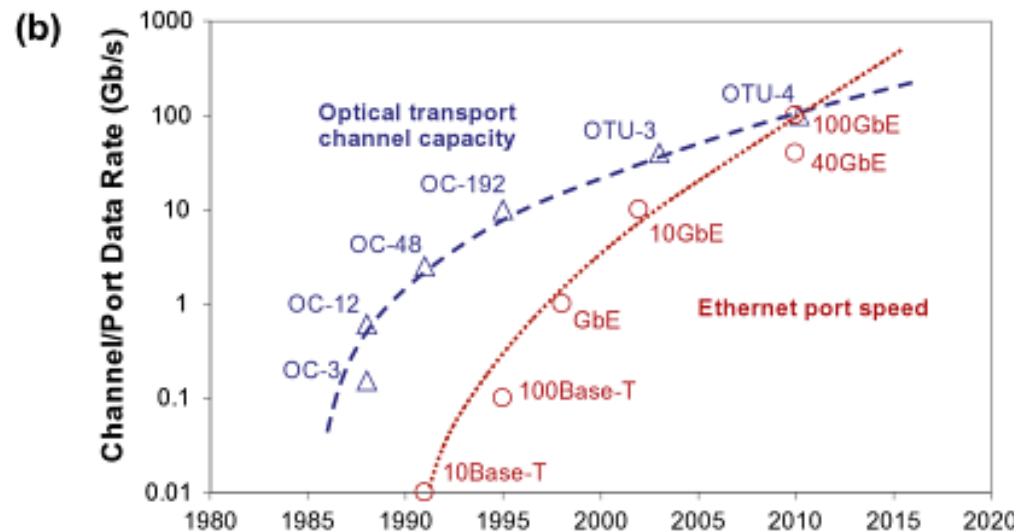


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

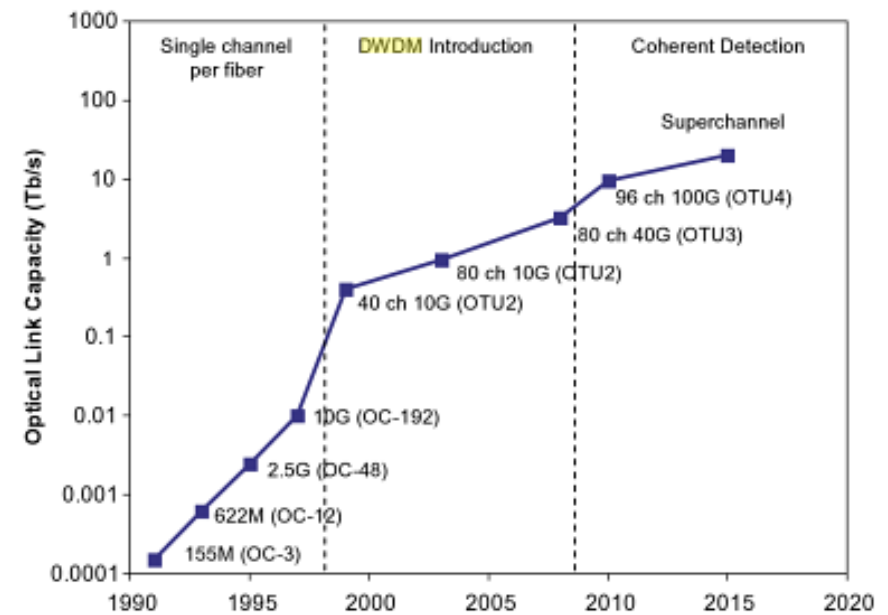
- WAN, MAN, LAN, PAN, BAN
  - designação depende da área geográfica coberta
    - WAN (wide area networks): área alargada, acima das dezenas de kilómetros
    - MAN (metropolitan area networks): cobertura de uma área metropolitana, até poucas dezenas de kilómetros
    - LAN (local areas networks): área local, até poucas centenas de metros
    - PAN (personal area networks): área pessoal, até poucas dezenas de metros
    - BAN (body area networks): até uma dezena de metros
  - condicionam o tipo de protocolos que podem ser usados



## *Evolução: Largura de Banda*



<http://www.fiber-optic-components.com>



# Redes de Computadores

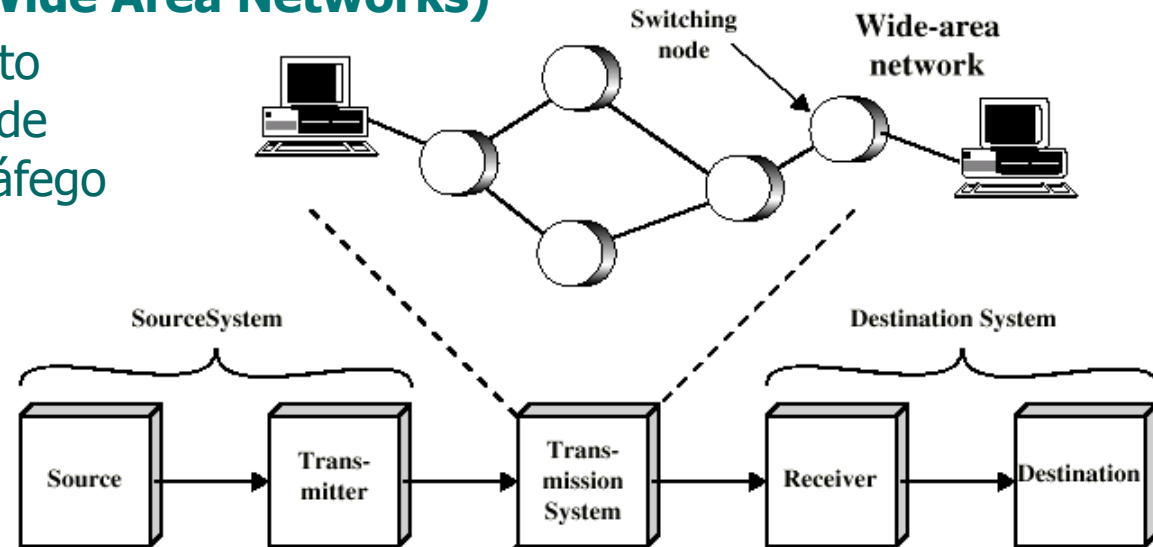
## *conceitos gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

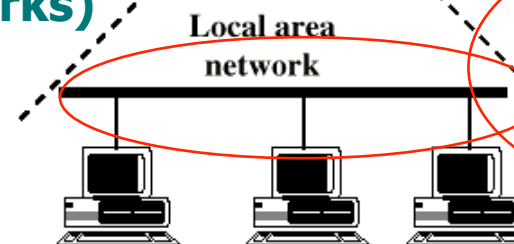
### Redes *alargadas*, **WAN (Wide Area Networks)**

- linhas ponto-a-ponto
- nós de acesso à rede
- comutadores de tráfego
- longas distâncias



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

- linhas e acessos multiponto, ponto-a-ponto / redes sem fios
- pequenas distâncias
- acesso directo à rede



#### **Mais comum:**

- Redes sem fios
- Redes cabladas com ligação ponto a ponto a switch

[DCC, Stallings07]

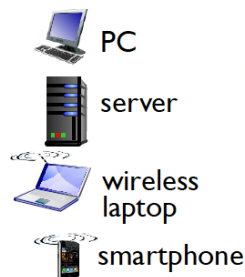
# Redes de Computadores

## *conceitos gerais*



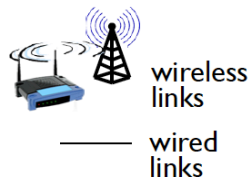
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## What's the Internet: "nuts and bolts" view



- billions of connected computing devices:

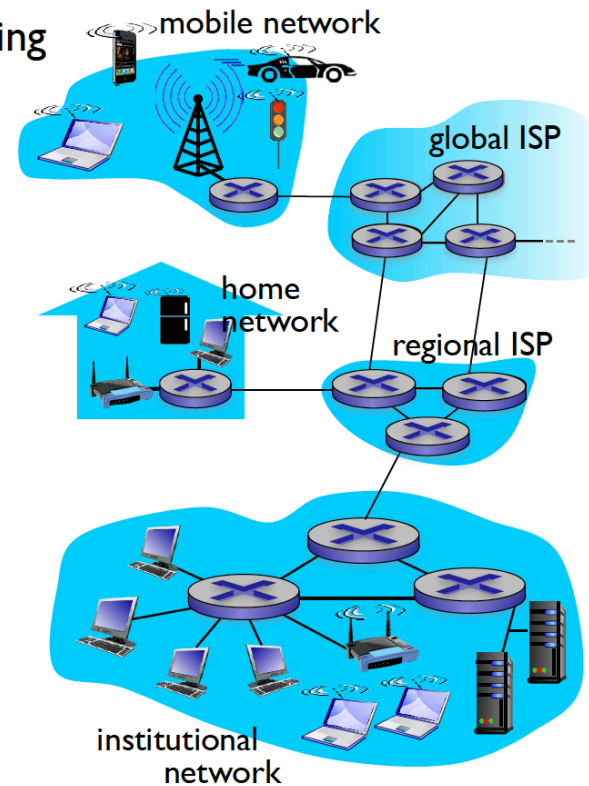
- **hosts** = **end systems**
- running **network apps**



- communication links
  - fiber, copper, radio, satellite
  - transmission rate: **bandwidth**



- packet switches**: forward packets (chunks of data)
  - **routers** and **switches**

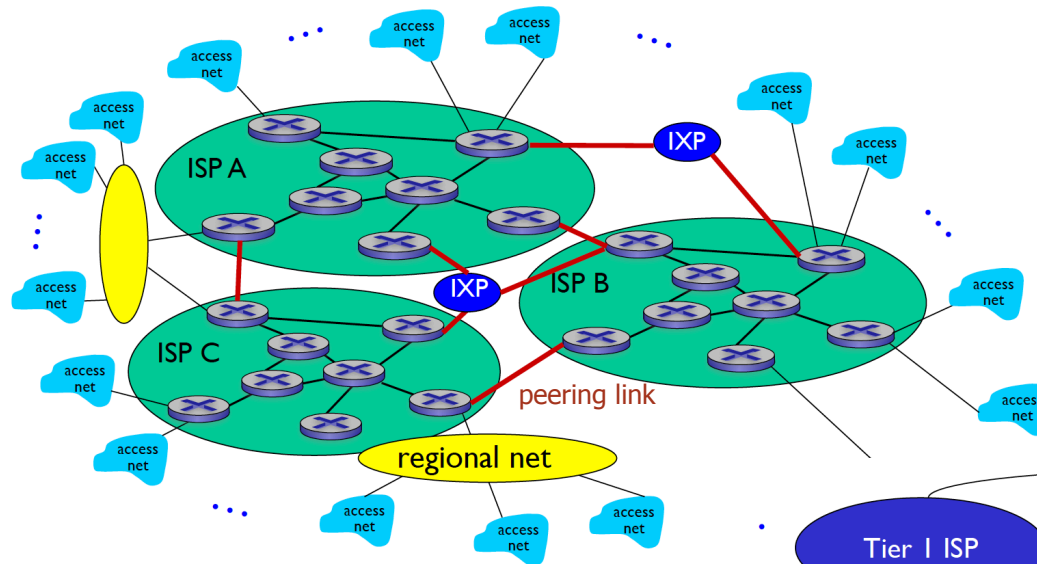


# Redes de Computadores

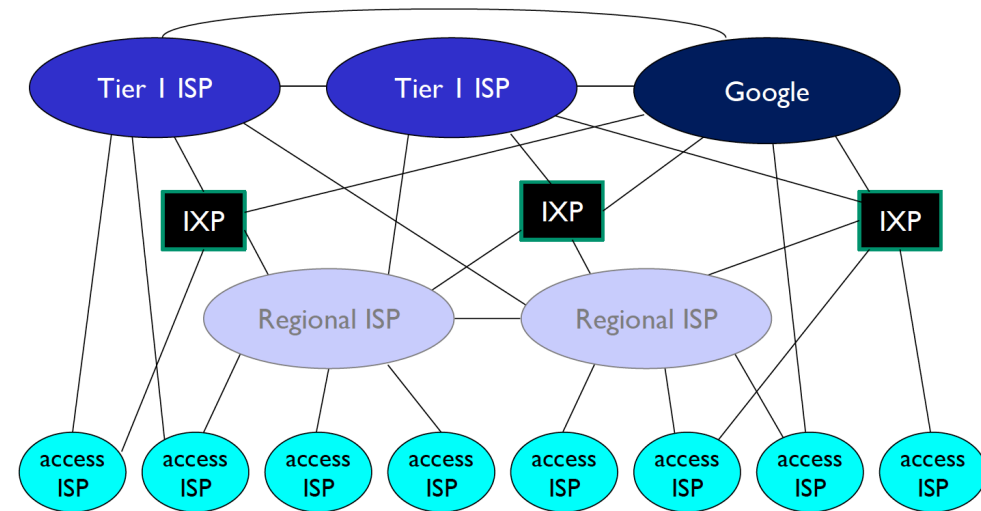
## *conceitos gerais*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Copyright 1996-2016 (Edited msl, UMinho)  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



# Redes Locais de Computadores

## *características das LAN*



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 Lan** mais frequentes:
    - barramento, anel, estrela e árvore
  - em geral constituem redes privadas
- Tecnologia normalizada e de baixo custo. Elementos duma 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 wireless**
    - cabo coaxial, UTP, fibra óptica, etc.

características ?

diferenças ?

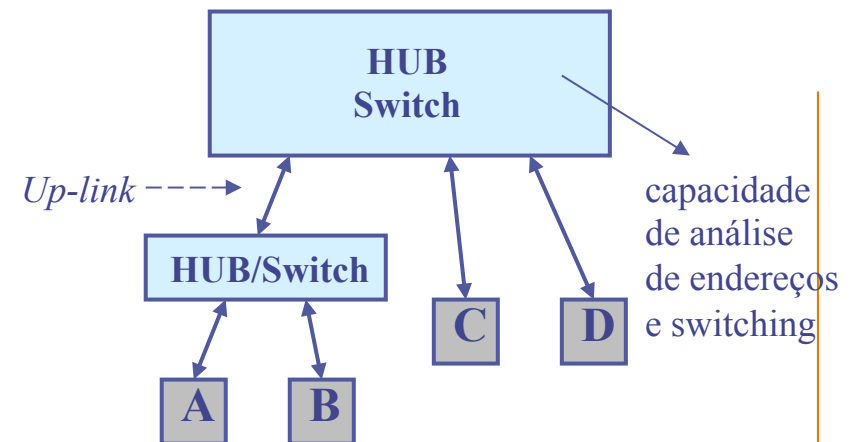
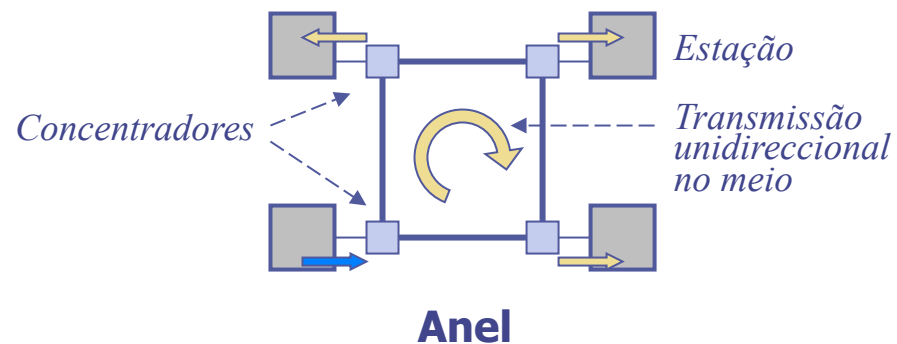
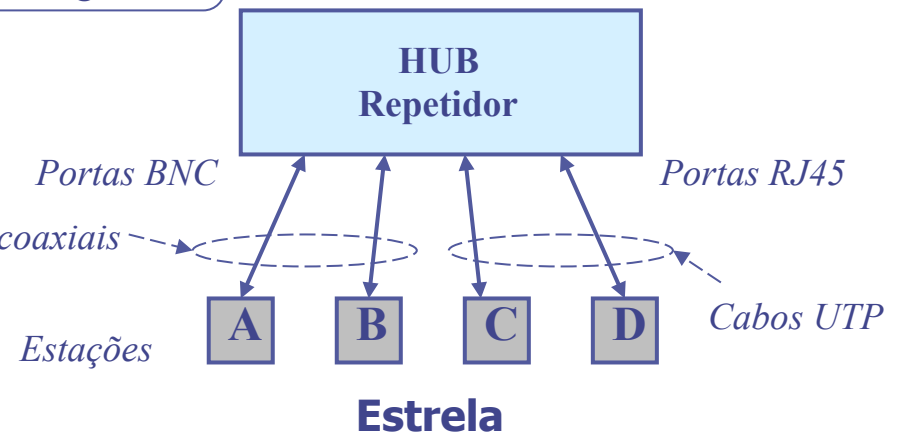
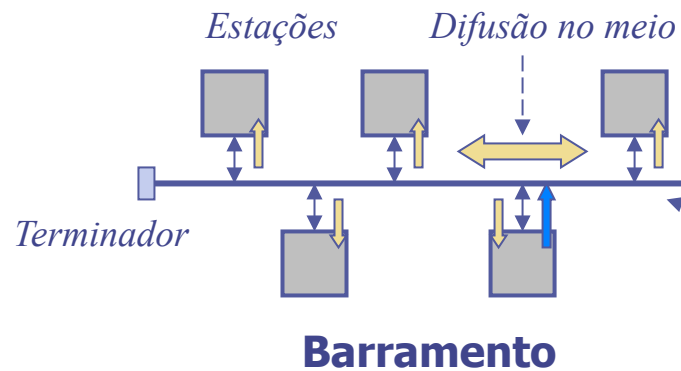
# Redes Locais de Computadores

## topologias LAN



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Vantagens ?  
Desvantagens ?







# Nível Físico

- Funções do nível físico (nível 1)
- Meios de transmissão
- Equipamento

# Transmissão de dados

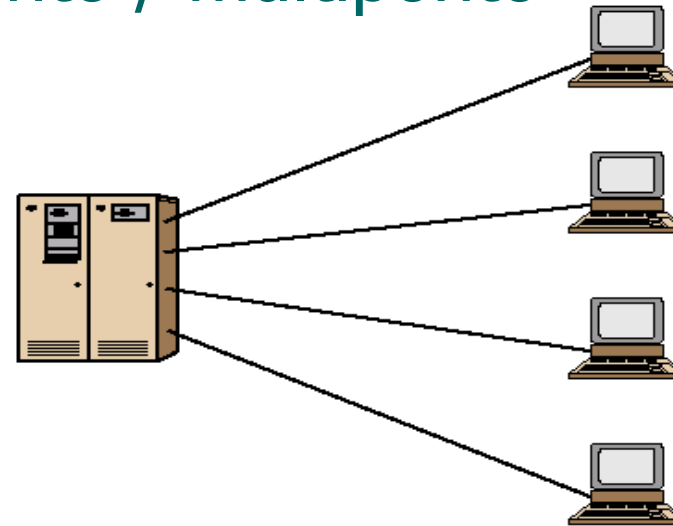
## *Conceitos básicos*



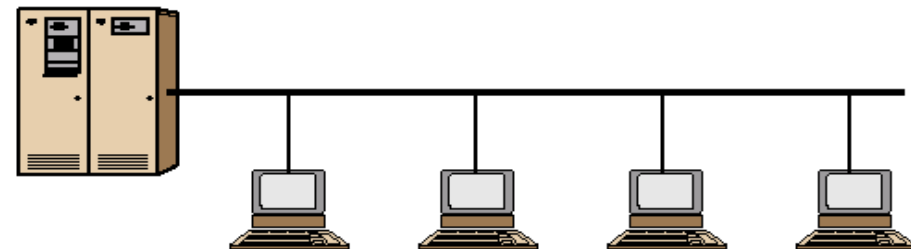
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- 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
- **ritmo de transmissão bps (bits/s), Kbps, Mbps, Gbps**
- tipo de meio de transmissão

**cuidado com as  
unidades !**

- Tipos de meios:

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

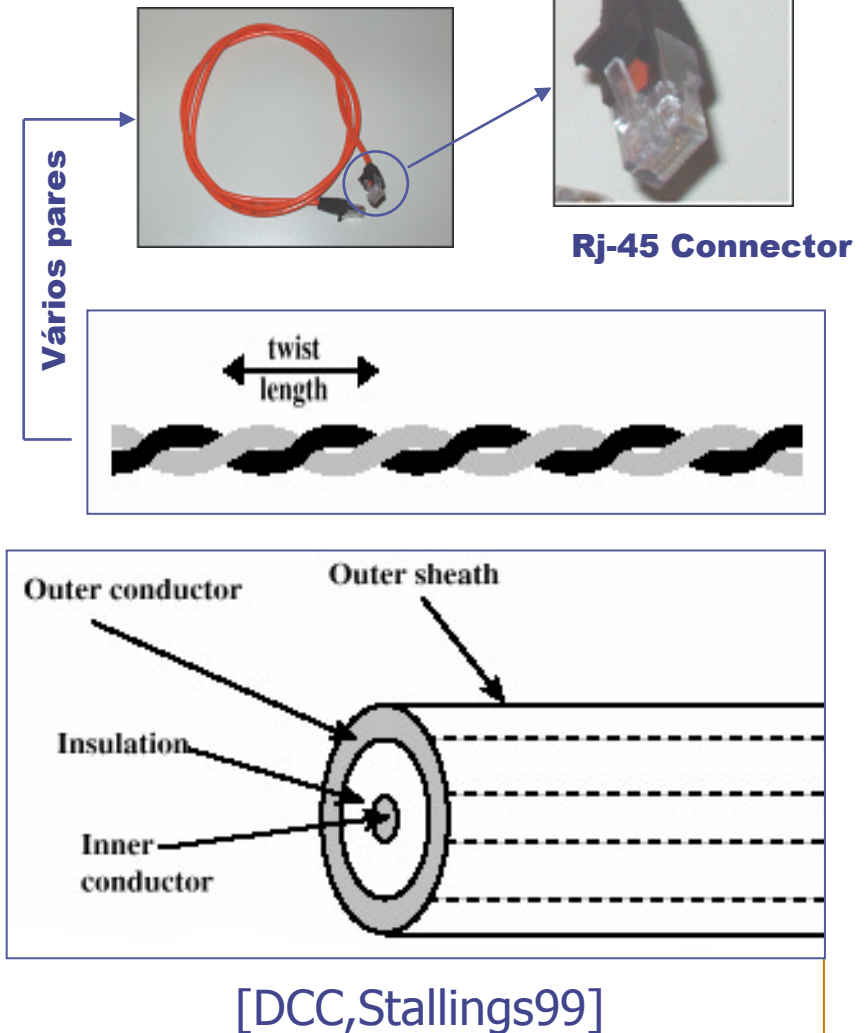
# Transmissão de dados

## *Meios de transmissão guiados*



Universidade do Minho  
Engenharia  
Informática

- **Par entrançado**
  - Unshielded Twisted Pair (UTP)
  - Shielded Twisted Pair (STP)
    - **cada par protegido por écran**
  - usado: redes telefónicas, redes locais
- **Cabo coaxial**
  - usado: transmissão de tv, redes locais



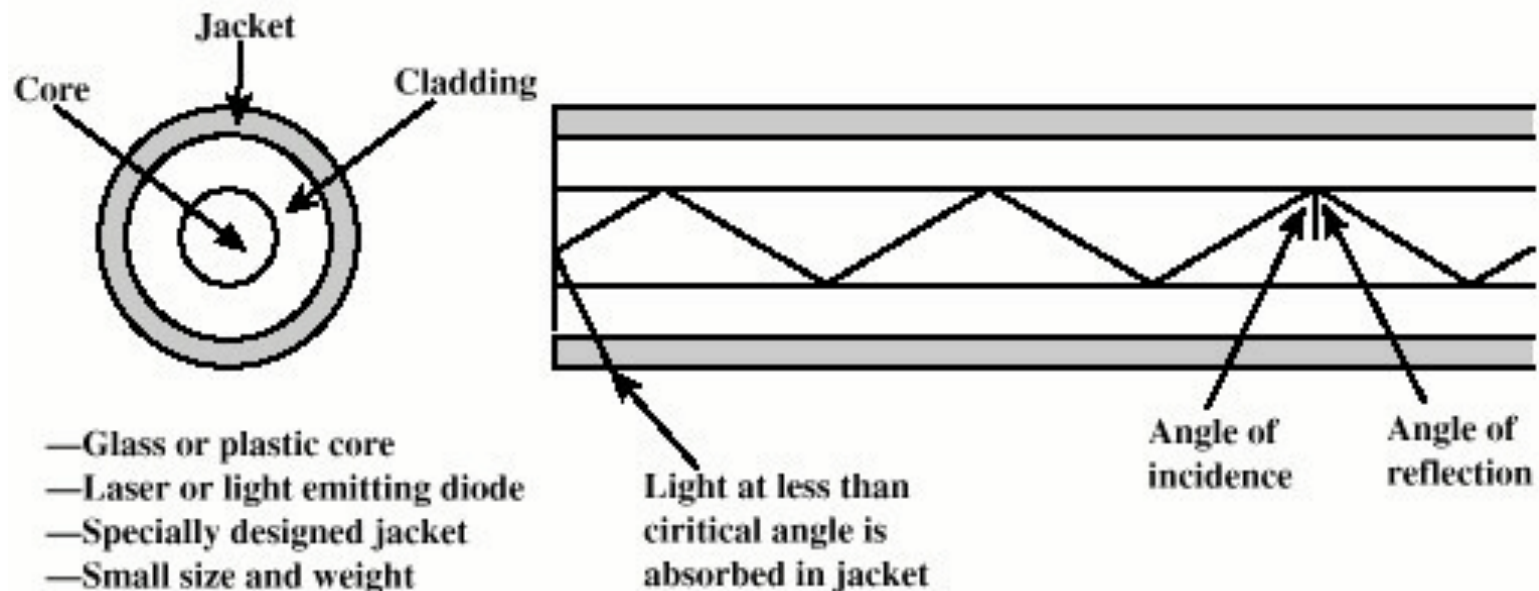
# Transmissão de dados

## *Meios de transmissão guiados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Fibra óptica: multimodo e monomodo (single mode)**
  - Monomodo: usado em longa distância, Multimodo: curta distância
  - elevada largura de banda, tamanho e peso reduzidos, baixa atenuação, isolamento electromagnético



[DCC,Stallings99]

# 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)

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

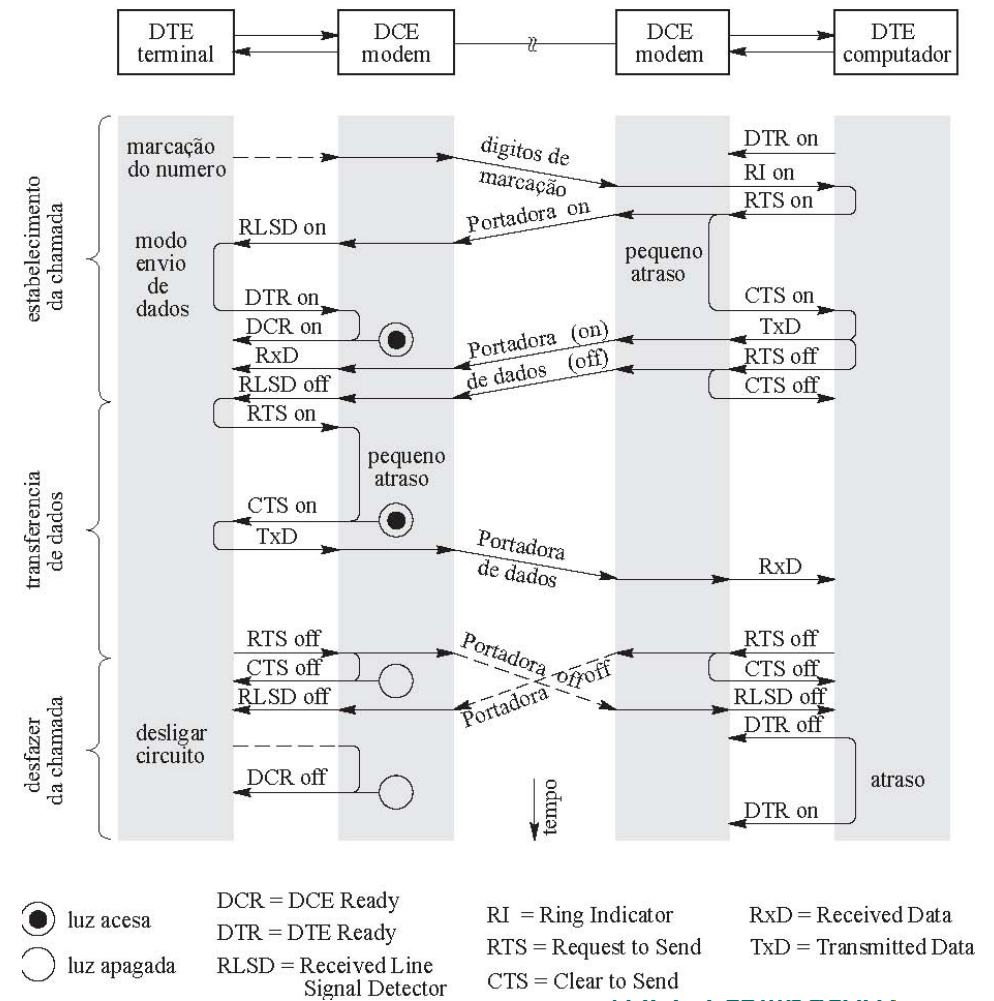


The diagram illustrates the structure of the 25-bit HDLC flag field. The bits are numbered 1 through 25. The field is divided into several functional sections:

- Transmitted data:** Bits 1, 2, and 3.
- Request to send/Ready for receiving:** Bit 4.
- DCF Ready:** Bit 6.
- Rec'd line sig. detector:** Bit 8.
- Reserved for testing:** Bits 9 and 10.
- Sec. recd. line sig. detector/Data signal rate selector:** Bit 12.
- Secondary clear to send:** Bit 13.
- Trans. signal element timing:** Bit 15.
- Rcvr. signal element timing:** Bit 17.
- Secondary request to send:** Bit 19.
- Remote loopback/Signal quality detector:** Bit 21.
- Data sig. rate select:** Bit 23.
- Test mode:** Bit 25.
- Secondary transmitted data:** Bit 14.
- Secondary received data:** Bit 16.
- Local loopback:** Bit 18.
- DTE ready:** Bit 20.
- Ring indicator:** Bit 22.
- Transmit signal element timing:** Bit 24.

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

## características procedimentais



# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Transmissão, série ou 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 rate*)
- Técnicas de transmissão de dados em *série*:
  - transmissão assíncrona e
  - transmissão síncrona



Noção de  
Overhead



# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Técnicas usuais de transmissão de dados em *série*:
  - transmissão assíncrona
  - transmissão síncrona

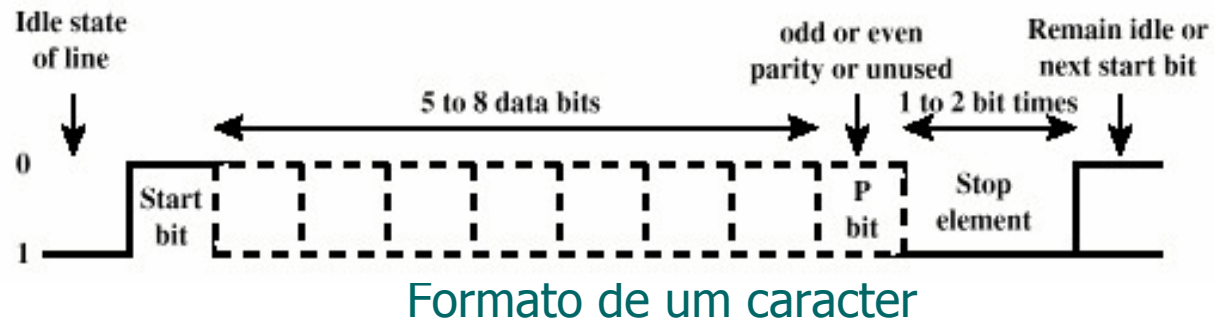
# Comunicação de dados

## *camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Estratégia:**
  - enviar dados em pequenas unidades (caracter)
  - envia código de caracter (5 a 8 bits) de cada vez
  - os caracteres ocorrem assincronamente



[DCC,Stallings99]

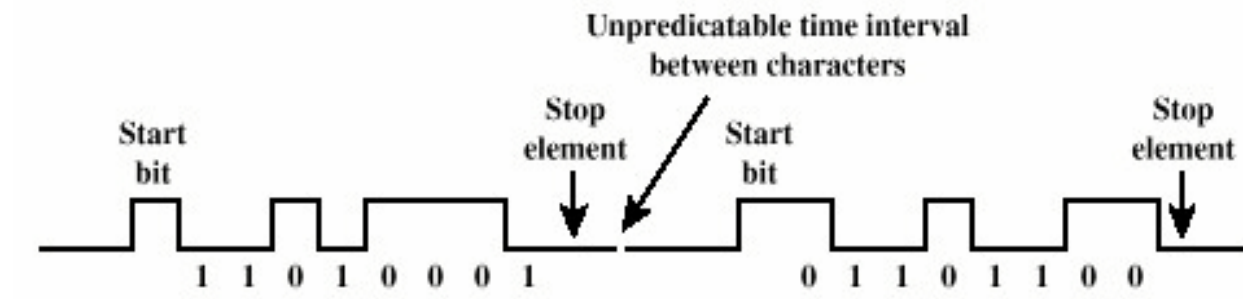
# Comunicação de dados

*camada física: transmissão assíncrona*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

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



Assincronismo entre caracteres

[DCC,Stallings99]

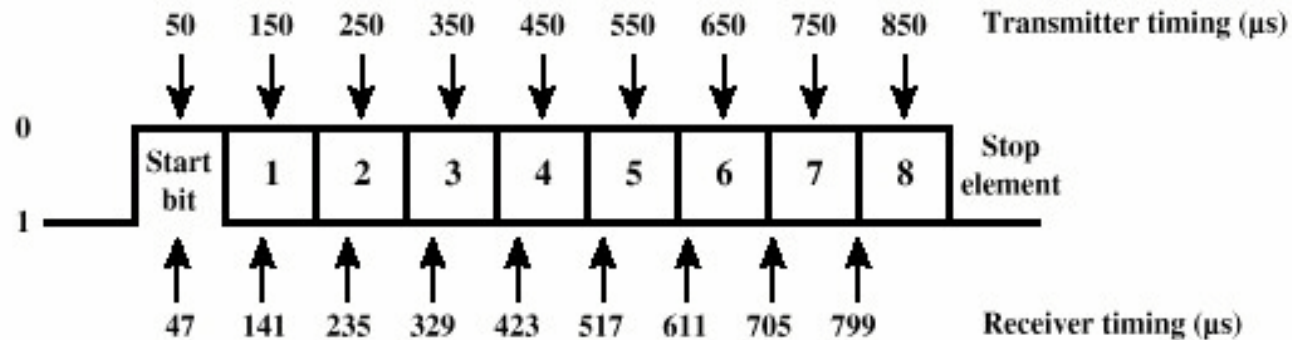
# Comunicação de dados

## *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, Stallings99]

# Comunicação de dados digitais

## *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*]

# Comunicação de dados

*camada física: transmissão síncrona*



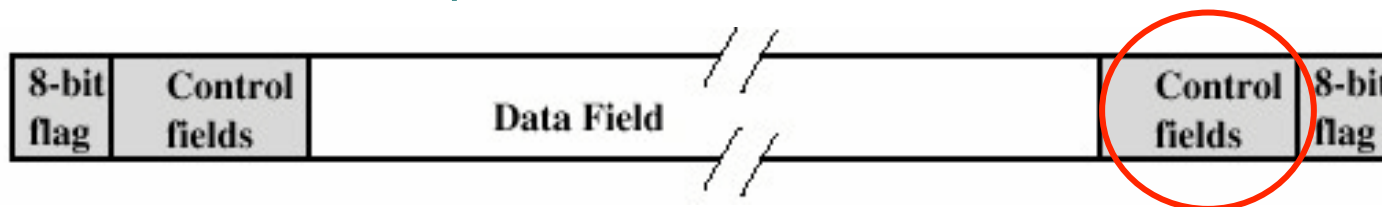
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

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

Exemplos:

<flag><trama><flag>

<preambulo>>trama>



Formato geral de uma trama

[DCC,Stallings99]

# 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 -> ver ações no nível 2.
- Técnicas:
  - utilização de bit e de caracter de paridade
    - processo simples que reduz a probabilidade de aceitação de tramas erradas; a taxas de transmissão elevadas podem ocorrer erros em bits consecutivos (erros residuais...); não detecta alguns pares de erros
  - verificação de redundância cíclica (CRC)
- Probabilidade de erro residual - probabilidade de existirem erros em número superior aos que é possível detectar pelo mecanismo utilizado para o efeito.

# Comunicação de dados digitais

## *detecção de erros - CRC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Cyclic Redundancy Check

Dada uma mensagem inicial  $k$  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 digitais

## *detecção de erros - CRC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Detecção de erros na recepção
  - dividir a trama recebida por  $G$
  - se Resto = 0 decidir que não há erro, senão ....
- Pode falhar se o número de erros for superior à capacidade de detecção do código  $C(n,k)$

# Comunicação de dados digitais

## *detecção de erros - CRC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O processo CRC é, em geral, expresso através de polinómios de uma variável, com coeficientes binários.

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 digitais

## *detecção de erros – CRC*



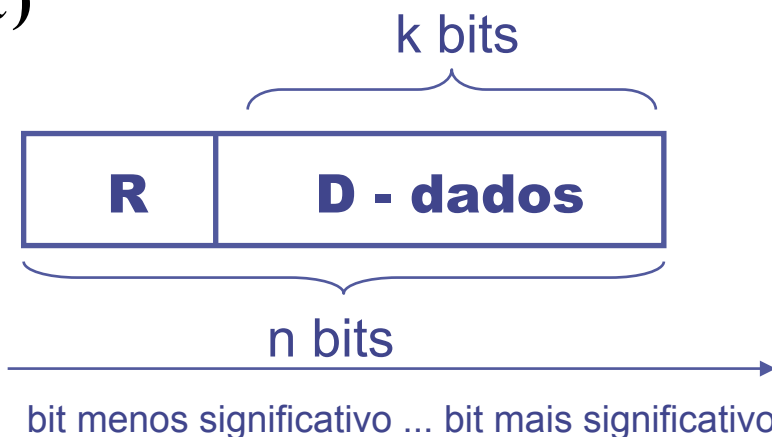
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

**(usando aritmética módulo 2)**

- Seja  $G(x)$  o polinómio de grau  $n-k$  gerador de um código sistemático  $(n,k)$  e  $D(x)$  o polinómio correspondente aos dados da mensagem
- Seja  $R(x)$  (digitos de verificação) o resto da divisão de  $x^{n-k}D(x)$  por  $G(x)$
- $C(x)$  é o polinómio correspondente à palavra de código gerada -

$$C(x) = R(x) + x^{n-k} * D(x)$$

Palavra de Código  $(n,k)$  :





# Comunicação de dados digitais

## *detecção de erros - CRC*

- **Exercício:** Seja  $g(x) = 1 + x + x^3$  um polinómio gerador de um código sistemático (7,4).
  - Determinar as palavras de código correspondentes aos seguintes dados:
    - A)  $D_1 = (1010) \sim 1 + x^2$  R = (001)
    - B)  $D_2 = (1100) \sim 1 + x$  R = (101)
  - Se o receptor receber a palavra de código  $C = (0110101)$  será esta válida no contexto do código referido ? Justifique. Inválida -> Erro
  - E se a palavra recebida for  $C = (0011010)$  ? Válida

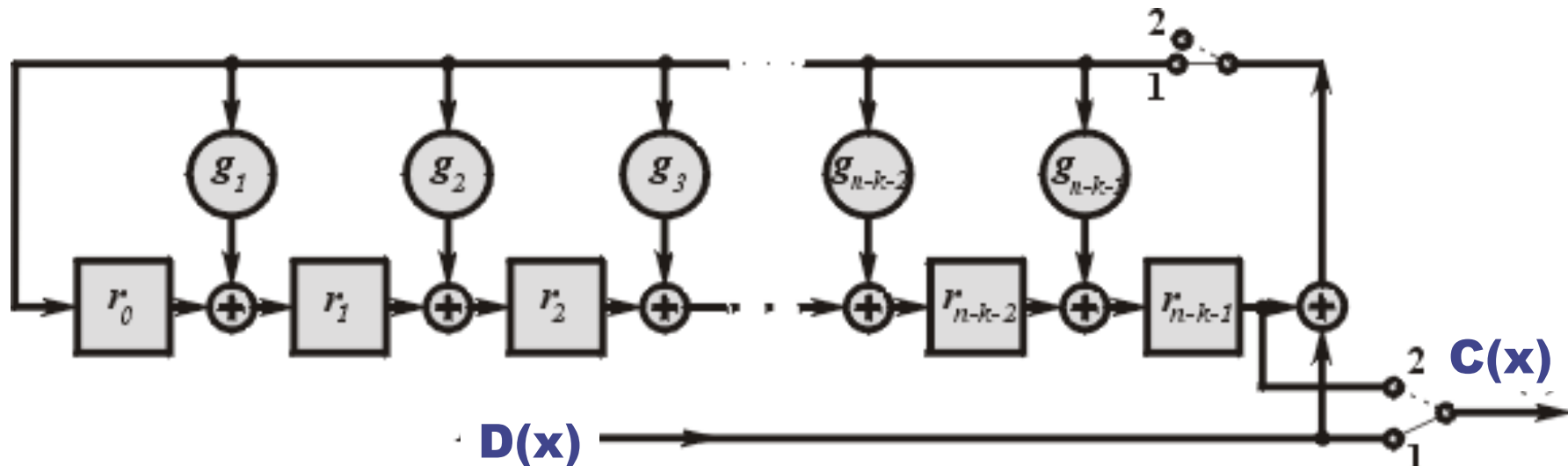
# Comunicação de dados

## detecção de erros - CRC



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Circuito codificador genérico para código com polinómio gerador  $G(x) = x^{n-k} + g_{n-k-1}x^{n-k-1} + \dots + g_1x + 1$



- O circuito contém:
  - registo para  $n-k$  bits (comprimento do FCS)
  - $n-k$  ou-exclusivos [dependem dos coeficientes de  $G(x)$ ]

# 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
  - 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