

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA INFORMÁTICA E DE COMPUTADORES**  
**COMUNICAÇÃO DIGITAL**

**Verão 2023/2024 - Trabalho Prático (Módulo 2)**

**Data de publicação: 29 de abril de 2024**

**Data de entrega: 3 de junho de 2024**

**Objetivos:**

- Desenvolvimento de programas e aplicações em linguagem 'C' e 'Python'.
- Estudo e aplicação de conceitos sobre SCD e sobre códigos de controlo de erros.
- Realização de comunicação entre dispositivos.

*O código desenvolvido e o respetivo relatório deverão ser entregues em formato eletrónico no sistema Moodle.  
A apresentação da resolução dos vários exercícios decorrerá em aula a definir em cada turma.*

1. Considere a implementação do exercício 6 do Módulo 1 do Trabalho Prático, sobre o modelo de canal binário simétrico (BSC - *Binary Symmetric Channel*) para simulação da transmissão de ficheiros, tal como se apresenta na Figura 1.

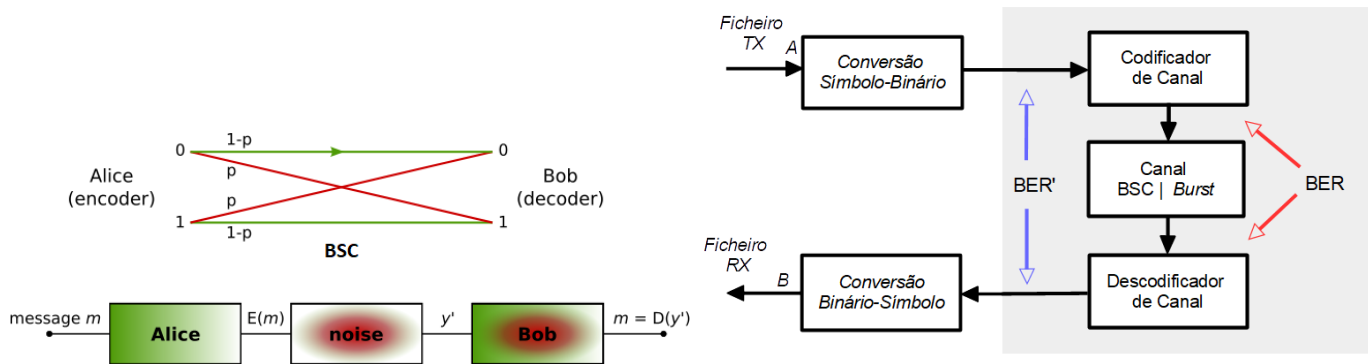


Figura 1 - Modelo de canal binário simétrico (esquerda) e sua aplicação sobre ficheiros (direita).

- (a) Seja  $p$  a probabilidade de troca de bit no BSC. Realize a simulação da transmissão de ficheiros sobre o BSC, com quatro valores de  $p$  à sua escolha, para cada uma das seguintes configurações:
- (i) Ausência de códigos de controlo de erros.
  - (ii) Código de repetição (3,1), em modo correção.
  - (iii) Código de Hamming (7,4), em modo correção.
- (b) Para cada configuração ((i) a (iii)), indique o ficheiro utilizado e o valor de  $p$ . Apresente os valores de: BER; BER'; número de símbolos diferentes entre o ficheiro recebido (ponto B) e o transmitido (ponto A). Apresente exemplos de ficheiros originais e ficheiros recebidos. Comente os resultados obtidos.
2. Considere agora que o modelo BSC da Figura 1 é substituído pelo modelo *Burst*, o qual introduz erros em rajada (*burst* de erros), cuja dimensão é  $L$ .
- (a) Implemente o modelo de canal que introduz erros em rajada, com dimensão  $L$ . Apresente resultados comprovativos do seu funcionamento, para diferentes valores de  $L$ .
  - (b) Sobre o modelo da alínea anterior, com diferentes valores de  $L$ , realize deteção de erros com *Cyclic Redundancy Check* (CRC)\*, sobre blocos de  $k = 1024$  bit, usando polinómio gerador,  $g(X)$ , à sua escolha. Apresente resultados que comprovem a deteção de erros de rajada através do uso do CRC, indicando os valores de  $L$  e o polinómio gerador considerado.
  - (c) Nos testes realizados no âmbito da alínea anterior, identifica-se alguma situação em que os erros introduzidos são indetetáveis? Em caso afirmativo, indique em que situação tal ocorre.

\*A técnica CRC está descrita no Capítulo 12, secção 10, página 157 do livro

Carlos Meneses Ribeiro, *Sistemas de Comunicação Digital*, Instituto Politécnico de Lisboa, 2023, ISBN 978-989-53678-8-7

<https://2324moodle.isel.pt/mod/resource/view.php?id=157339>

3. Recorrendo à plataforma Arduino (ou equivalente), <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino> e ao PC, usando o módulo `pyserial` da linguagem Python, <https://pypi.org/project/pyserial>, estabeleça um SCD com ligação via USB em modo *simplex*, tal como apresentado na Figura 2.

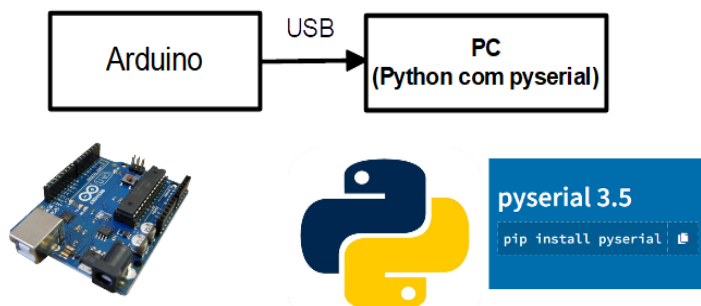


Figura 2 - Ilustração de SCD a funcionar em modo *simplex* com comunicação do Arduino (emissor) para o PC (recetor).

A especificação do SCD é a seguinte:

- O Arduino será emissor e o PC será recetor, numa ligação *simplex*.
  - A informação a transmitir são os números primos de 1 a  $N$ , em que  $N$  é um parâmetro indicado pelo utilizador.
  - Realiza (ou não) deteção de erros usando a técnica IP Checksum, mediante um parâmetro de entrada.
  - A informação recebida pelo PC será escrita na consola ou em ficheiro.
- (a) Sem realizar deteção de erros, apresente resultados experimentais que comprovem o correto funcionamento do SCD. Em alternativa ao Arduino, poderá ser considerado outro dispositivo equivalente, com a concordância do docente.
- (b) Apresente resultados experimentais da deteção de bits em erro isolados e em rajada, recorrendo à técnica IP Checksum\*. Os padrões de erro, à sua escolha, são introduzidos posteriormente no PC após a receção da sequência de símbolos (em memória ou no ficheiro). Comente os resultados obtidos.

\*A técnica IP Checksum está descrita no Capítulo 12, secção 11, página 163 do livro

Carlos Meneses Ribeiro, *Sistemas de Comunicação Digital*, Instituto Politécnico de Lisboa, 2023, ISBN 978-989-53678-8-7  
<https://2324moodle.isel.pt/mod/resource/view.php?id=157339>

Seguem-se alguns aspetos relevantes sobre o relatório pretendido para este trabalho prático:

- (1) O relatório deve ser sucinto e organizado em três secções, uma por cada exercício.
- (2) Cada secção deve estar organizada em sub-secções, uma por cada alínea de cada exercício.
- (3) Para cada alínea, o relatório deve ter a descrição clara da resposta aos aspetos solicitados no enunciado. Também deve conter todos os resultados experimentais solicitados e os respetivos comentários, análise e explicações consideradas essenciais.
- (4) Nos exercícios em que se solicita a escrita de uma função ou o desenvolvimento de uma aplicação, o relatório deverá apresentar os principais critérios e escolhas efetuadas nesse desenvolvimento.
- (5) O relatório não deve conter o código. Este deverá ser entregue em formato eletrónico em separado, devidamente comentado e organizado.
- (6) Na avaliação do trabalho e do relatório, os docentes darão particular importância aos resultados experimentais obtidos e aos comentários sobre os mesmos.