



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Secção de Telecomunicações

## **Introdução às Telecomunicações**

**Relatório da Disciplina**

**Julho 2006**

**Prof. Paulo da Costa Luis da Fonseca Pinto**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de  
Computadores

I Semestre do 2º Ano



# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. Introdução .....</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1 Introdução .....   | 5         |
| 1.2 Estrutura do Relatório .....   | 6         |
| <b>II. Definição.....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1 Enquadramento e Objectivos .....                                       | 7         |
| 2.1.1. Objectivos Estratégicos.....  | 8         |
| 2.1.2. Objectivos Concretos .....  | 8         |
| 2.1.3. Enquadramento em Bolonha.....                                       | 9         |
| 2.2 Programa .....   | 10        |
| 2.2.1. Considerações Gerais sobre o Programa.....                          | 10        |
| 2.2.2. Programa .....  | 12        |
| 2.2.3. Programa das Aulas teórico-práticas .....                           | 13        |
| 2.2.4. Programas das Aulas de Laboratório .....                            | 14        |
| 2.2.5. Bibliografia .....  | 15        |
| 2.3 Normas Gerais de Funcionamento .....                                   | 16        |
| 2.3.1. Métodos de Ensino teórico-prático .....                             | 16        |
| 2.3.2. Métodos de Ensino Laboratorial .....                                | 17        |
| 2.3.3. Avaliação de Conhecimentos.....                                     | 17        |
| <b>III. Execução .....</b>   | <b>19</b> |
| 3.1 Execução das Aulas teórico-práticas .....                              | 21        |
| 3.2 Execução das Aulas de Laboratório.....                                 | 27        |
| <b>IV. Avaliação.....</b>  | <b>31</b> |
| 4.1 Enunciados dos Problemas e Mini-testes das Aulas teórico-práticas ..31 |           |
| 4.2 Enunciados dos Trabalhos de Laboratório.....                           | 55        |
| 4.3 Enunciados dos Testes e Exames.....                                    | 57        |
| <b>V. Resultados – Relatório da Frequência da Disciplina.....</b>          | <b>73</b> |
| 5.1 Identificação da Disciplina .....                                      | 73        |
| 5.2 Corpo Docente .....  | 73        |
| 5.3 Descrição Geral.....   | 73        |
| 5.4 Observações Gerais.....  | 74        |
| 5.5 Aulas .....  | 75        |
| 5.5.1. Aulas teórico-práticas .....  | 75        |
| 5.5.2. Aulas de Laboratório.....   | 75        |
| 5.6 Informação Consolidada .....   | 76        |
| 5.7 Avaliação .....  | 76        |
| 5.7.1. A Importância dos Mini-testes.....                                  | 78        |
| 5.7.2. Porque é que se reprovou? .....                                     | 78        |
| 5.8 Resumo Geral.....  | 79        |



# I. Introdução

## 1.1 Introdução

A disciplina de *Introdução às Telecomunicações* (IT) é uma disciplina do 1º semestre do 2º ano da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (LEEC)<sup>1</sup>.

Neste relatório é feita uma descrição dos objectivos, do programa e das normas gerais de funcionamento, que foram definidas para a disciplina, assim como uma análise crítica da execução da disciplina no presente ano lectivo.

Quando a disciplina foi criada, ela estava colocada no 2º semestre do 1º ano. A ideia na altura foi a de servir como uma apresentação genérica a vários temas da Engenharia Electrotécnica, um pouco à semelhança de outras Licenciaturas em Portugal, e pelo Mundo, que têm uma disciplina designada por “*Introdução à Engenharia Electrotécnica*”. A vantagem de IT é permitir que esta introdução seja muito mais focada seguindo as necessidades das Telecomunicações. Felizmente, Telecomunicações ao nível de Processamento de Sinal necessita de muitos equipamentos de outras áreas científicas (sinais e sistemas, filtros, *sample-and-hold*, multiplicadores, PLLs, etc.) permitindo até dar um enquadramento e utilidade a equipamentos que os alunos depois estudarão em outras disciplinas de Electrónica, Sistemas Digitais, etc. Uma grande crítica que se faz às disciplinas actuais de “*Introdução à Engenharia Electrotécnica*” é exactamente a sua falta de coerência nas várias áreas científicas e, muitas vezes, a área científica dominante está muito dependente do docente que é responsável pela disciplina nesse ano.

Na avaliação da Licenciatura executada pela Fundação das Universidades Portuguesas IT mereceu os seguintes comentários:

No ponto 3. Ensino

O DEE procurou mostrar-se aos alunos logo no 1º semestre do 1º ano. As disciplinas de Sistemas Digitais, Desenho e Introdução às Telecomunicações tentam exactamente ganhar os alunos desde o início. A disciplina “Introdução às Telecomunicações” (no 2º semestre do 1º ano) é uma aposta arriscada que o Corpo Docente se esforça por ganhar. Trata-se de assunto que deverá ser acompanhado de perto para se avaliar a sua eficácia.

No ponto 10. Capacidade para inovar e procedimentos para a inovação

O programa e os métodos utilizados na disciplina de Introdução às Telecomunicações sobre a qual, por ser muito recente, não se conhecem ainda os resultados,

No ponto 11. Conclusões e Recomendações:

15. Acompanhar de perto os resultados da disciplina “Introdução às Telecomunicações”, para avaliar a sua eficácia.

---

<sup>1</sup> Presentemente, em 2006/07, a LEEC deixou de existir e IT é ministrada no mesmo sítio do plano de estudos ao Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MIEEC). Este relatório diz respeito ao funcionamento da disciplina no ano lectivo de 2005/06 pelo que se vai fazer sempre referência à LEEC. IT é também oferecida à Licenciatura em Engenharia Informática como disciplina de opção.

Na reformulação da Licenciatura efectuada em 2004, que consistiu numa grande alteração para a preparar para o Processo de Bolonha<sup>2</sup>, IT passou para o 1º semestre do 2º ano, um pouco também em resposta aos comentários efectuados pela avaliação.

## 1.2 Estrutura do Relatório

O relatório divide-se em quatro partes:

- A definição, que descreve os objectivos e enquadramento da disciplina na licenciatura. São enumerados os objectivos estratégicos gerais, e os objectivos concretos baseados nos propósitos de cada capítulo. Esta parte termina com a descrição das normas gerais de funcionamento pretendidas para cada execução;
- A execução, que lista a execução das aulas teóricas e laboratoriais realmente dadas no semestre em causa;
- A avaliação, que contém os enunciados dos problemas das aulas teórico-práticas e mini-testes, os enunciados dos trabalhos de laboratório, e os enunciados das provas teóricas efectuadas no semestre de execução;
- Os resultados, que fazem uma análise crítica ao funcionamento da disciplina, quantificando os resultados de aproveitamento dos alunos.

Faz parte integrante do relatório da disciplina, para efeito das provas públicas de Agregação, outro documento com as folhas teóricas que são distribuídas aos alunos. Como é evidente, este outro documento não faz parte do relatório da disciplina efectuado anualmente.

Foi também decidido fazer um caderno independente com os enunciados dos trabalhos de laboratório devido à grande dimensão que têm. Tal como no caso anterior, para efeitos das provas públicas de Agregação, esse caderno faz parte integrante do relatório da disciplina.

A última parte, resultados, forma um “caderno” destacável que é distribuído a todos os alunos no início do semestre em que a disciplina volta a funcionar de modo a dar uma perspectiva do funcionamento geral da disciplina. A acompanhar esta parte são dados também cópias dos testes e exames para permitir que os alunos tenham consciência do grau de exigência pedido nas perguntas.

Nos últimos anos, devido à utilização da Internet para colocar informação, as páginas electrónicas da disciplina contêm esta última parte e, portanto, não é distribuída em papel aos alunos. O endereço das páginas electrónicas é <http://tele1.dee.fct.unl.pt/it>.

---

<sup>2</sup> Houve depois a reformulação final para Bolonha com a constituição do Mestrado Integrado, mas as modificações desta reformulação final já foram pontuais.

## II. Definição

### 2.1 Enquadramento e Objectivos

A disciplina de Introdução às Telecomunicações encontra-se situada no 1º semestre do 2º ano. Os requisitos necessários para a execução com sucesso da disciplina são o conhecimento do Cálculo Integral, de Cálculo Complexo, de Representações de Funções e os assuntos de Matemática e Física ministrados ao nível do Ensino Secundário.

Muito embora estes conhecimentos já estejam disponíveis no 2º semestre do 1º ano<sup>3</sup>, verificou-se que existe uma grande retenção de alunos na disciplina de Análise Matemática I. A mudança de IT para o 1º semestre do 2º ano contribui para que haja uma maior preparação dos alunos para os assuntos ministrados.

Introdução à Telecomunicações é a primeira disciplina da área científica de Telecomunicações do curso. Existem depois mais duas disciplinas obrigatórias: Sistemas de Telecomunicações e Propagação e Radiação. A primeira cobre as áreas de nível Físico, nível Lógico (incluindo MAC – *Medium Access Control*) debruçando-se sobre redes locais com fios e redes sem fios (locais e geograficamente distribuídas). A segunda cobre aspectos de propagação e de antenas. Deste modo, na parte obrigatória da Licenciatura os alunos são expostos aos três grandes temas das Telecomunicações: Processamento de Sinal, Redes, e Propagação e Radiação.

Para os alunos que pretendem seguir a área de Telecomunicações existem depois mais disciplinas de opção. Actualmente decorrem mais três: Redes Integradas de Telecomunicações I, Redes Integradas de Telecomunicações II, e Comunicação Sem Fios. Existem ainda outras disciplinas que foram incluídas no plano de estudos e que começarão a ser ministradas assim que a Secção de Telecomunicações consiga admitir os docentes necessários.

O objectivo mais genérico de IT é:

*Dar o conhecimento ao aluno de como um sinal pode ser transmitido do emissor ao receptor usando gamas de frequência apropriadas, o tipo de equipamentos que se pode usar para executar esta tarefa, e finalmente algumas dificuldades que têm de ser vencidas em todo este processo.*

Para esta tarefa decidiu-se centrar o programa e o ensino num número relativamente pequeno de conceitos que se pretende que os alunos fiquem a dominar. Se esse número fosse muito elevado, a experiência tem mostrado que na prática quase nenhum conceito fica suficientemente compreendido (especialmente nesta fase do curso).

Os grandes temas da disciplina são a modulação do sinal nas suas várias vertentes (analógica, digital e por pulsos). Certos assuntos típicos de disciplinas análogas, mas ministradas no 3º ano, incluem conceitos como a análise de ruído, interferência inter-simbólica e receptores adaptados. Estes temas estão ausentes por os alunos ainda não possuírem conhecimentos avançados de Probabilidade e Estatística e para haver um maior enfoque nos temas ministrados. Nas disciplinas de opção que ainda não são oferecidas existe uma que vai começar a ser ministrada no ano lectivo

---

<sup>3</sup> A parte de Representação de Funções é ministrada em Análise Matemática II, mas não é tão relevante como as outras para o sucesso em IT, em virtude do modo como é tratada.

de 2007/08 designada de “*Comunicação Digital*” que vai cobrir estes assuntos, assim como modulações por espalhamento espectral e códigos. Está planeada outra disciplina nesta área, mas ao nível de Mestrado.

A disciplina de Sistemas de Telecomunicações, que se segue no plano de estudos, embora seja independente de IT, permite analisar como um conjunto de bits transmitidos formam um agregado de informação, a trama, que tem um significado preciso para o objectivo de transmissão de informação.

### **2.1.1. Objectivos Estratégicos**

Podem ser identificados os seguintes seis objectivos estratégicos a alcançar pelos alunos que obtenham aprovação na disciplina:

1. Aquisição dos conceitos fundamentais da transmissão e recepção de sinais em Telecomunicações, cobrindo a área de representação do sinal, modulação e recuperação usando várias técnicas. Esta aproximação enquadra-se numa introdução às Telecomunicações numa perspectiva de baixo para cima (“*bottom up*”);
2. Ministrando o conceito de frequência e de espectro segundo uma perspectiva de Telecomunicações, mas tão importante em outras sub-áreas científicas como electrónica, sinais e sistemas, e controlo. Simultaneamente, introduzir-lhes a possibilidade de pensamento sobre um sinal em termos do tempo e da frequência e terem consciência da inter-relação;
3. Consciencializar os alunos da importância da Matemática como ferramenta para modelar processos físicos com um lapso de tempo muito pequeno relativamente à sua aprendizagem nas disciplinas de Matemática;
4. Introduzir os alunos em certos componentes electrónicos gerais, percebendo a sua utilidade antes de os aprender em “vazio” – como os filtros, *sample-and-hold*, multiplicadores, PLLs, etc. Os alunos constroem modelos no SIMULINK (versão 4), usando esses elementos como “caixas negras” e vão-se apercebendo da sua utilidade em termos de frequência, sem ainda perceberem como os constroem;
5. Exposição dos alunos a sistemas de telecomunicações no laboratório que executam os assuntos estudados, com a possibilidade de analisar os sinais nos seus vários estágios para uma compreensão real dos processos, em vez de apenas expressões matemáticas, ou equipamentos de teste completamente simulados em computador;
6. Percepção da utilidade da matéria ministrada e da sua aplicação a sistemas reais. Sempre que conveniente são dados exemplos concretos de utilização das modulações estudadas.

### **2.1.2. Objectivos Concretos**

Após a frequência, com êxito, da disciplina de Introdução às Telecomunicações os alunos devem estar aptos a executar ou compreender os seguintes conceitos dos vários temas a abordar.

#### **Sistemas e Sinais**

Noção de frequência. Pensamento sobre uma realidade indistinto do ângulo de visão: o tempo ou a frequência. Existência de dois tipos de sinais: de potência e de



energia. Consciência de que a energia/potência de um sinal pode existir em grandezas diferentes ao longo da frequência.

Noção de largura de banda de um sinal como a zona onde a energia/potência desse sinal mais informação contém.

Conhecimento do teorema de amostragem e da sua importância para a revolução que permitiu nas Telecomunicações modernas.

### **Modulação por pulsos**

Possibilidade de transmitir um sinal, não o enviando propriamente, mas enviando códigos que o representem. Percepção da realidade das Telecomunicações actuais no uso de sistemas de transmissão por multiplexagem no tempo (TDM – *Time Division Multiplexing*), e do modo como eles se organizam para atingir ritmos muito elevados.

Percepção da importância dos códigos de linha para a transmissão a grandes distâncias. Este aspecto é muito importante devido ao confronto com as disciplinas de Sistemas Digitais onde a ênfase é colocada nos símbolos e são usados códigos de linha muito rudimentares devido às distâncias serem pequenas.

### **Modulação Analógica**

Possibilidade de transmissão de um sinal modificando uma (ou mais) característica de uma onda monótona (sinusóidal). Consciência dos procedimentos necessários para executar tais modificações e para recuperar o sinal a partir dessas modificações.

### **Modulação Digital**

Percepção do carácter limitado das várias possibilidades que o valor do sinal pode ter se vista como um caso particular da modulação analógica. Percepção da importância deste tipo de modulações nas Telecomunicações modernas.

### **2.1.3. Enquadramento em Bolonha**

No esforço Europeu designado por Acordo de Bolonha, foram definidas várias competências genéricas e específicas que devem ser cobertas pelos ciclos de estudos. Uma referência são os chamados descritores de Dublin. Uma breve apresentação desses descritores é feita no sítio web da Direcção Geral do Ensino Superior<sup>4</sup>: São considerados os cinco descritores seguintes:

- (1) Conhecimento e capacidade de compreensão;
- (2) Aplicação de conhecimentos e compreensão;
- (3) Realização de julgamento/tomada de decisões;
- (4) Comunicação;
- (5) Competências de auto-aprendizagem.

No caso da disciplina de Introdução às Telecomunicações, ela contribui para as competências (1), (2), (4) e (5).

No que respeita ao conhecimento e capacidade de compreensão destaca-se o facto da disciplina não ser de pendor tecnológico nem do programa ser do tipo superficial e enciclopédico. Existe uma focalização muito grande num número reduzido de conceitos de modo a possibilitar ao aluno que a faça com sucesso, de se

---

<sup>4</sup> <http://www.dges.mctes.pt/Bolonha/Objectivos+e+Linhas+de+Acção/Descritores+Dublin/>

sentir confiante com o que aprendeu e consiga aplicá-lo (descriptor (2)) a outras áreas científicas (são especialmente relevantes neste tema os sinais e sistemas e o teorema da amostragem, por exemplo, embora existam muitos outros assuntos).

A competência de realização de julgamento/tomada de decisões, embora se possa admitir que exista em IT (como em qualquer actividade na vida), ela não é tão valorizada pois a disciplina ainda versa matérias de carácter de ciências básicas. A continuação destes temas noutra disciplina (como está previsto) terá esta competência mais apurada.

A competência de Comunicação é testada nos testes onde é pedido aos alunos que expliquem um certo fenómeno ou conceito e aceita-se que a explicação seja feita considerando que se está a falar para especialistas ou para não especialistas. No laboratório exige-se também pequenos textos explicativos dos fenómenos a que os alunos são expostos.

A competência de auto-aprendizagem é das que tem mais atenção em IT. Por um lado, em virtude do carácter de ciências básicas da disciplina que fornece as ferramentas mentais para aplicação futura na mesma, ou em outras áreas. Por outro lado, pela atitude do corpo docente: a não existência de aulas típicas de problemas serve para que o aluno tenha de se organizar a reunir um conjunto de problemas e a tentar resolvê-los antes de vir tirar dúvidas ao corpo docente; a atitude nos laboratórios onde há uma grande ajuda inicial, mas depois de se perceber que a dúvida do aluno não está na capacidade de manipular os instrumentos essa ajuda é muito selectiva para obrigar o aluno a percursos mentais de evolução; o tirar dúvidas no geral em que se exige que o aluno já tenha tentado percorrer o caminho antes de se dirigir ao corpo docente, etc.

Realça-se ainda de outras competências, como as abordadas no Decreto-Lei n.º 74/2006, de 24 de Março, a do trabalho em equipa. Nas aulas laboratoriais os alunos formam grupos de dois e existe uma grande atenção do corpo docente para perceber se o trabalho está a ser seguido, feito e compreendido pelos dois elementos.

## **2.2 Programa**

### **2.2.1. Considerações Gerais sobre o Programa**

A disciplina tem a sua linha principal nos modos de comunicação entre um emissor e um receptor. A ênfase, no entanto, é na modelação analítica da realidade e a derivação dos vários métodos a partir daí. Pretende-se que os alunos percebam que ao se conseguir representar um sinal analiticamente (e o mesmo para um sistema), se pode pensar nas suas características e no estudo de sistemas de um modo sistemático.

A ferramenta utilizada para representar os sinais é a transformada de Fourier. Não é simples! Muito embora o universo de sinais a estudar se reduza a uma meia dúzia, pois as Telecomunicações usam um leque de sinais relativamente pequeno e não faz sentido estudar sinais arbitrários que possam demonstrar a capacidade da ferramenta, a profundidade a que se tem de estudar os vários aspectos da teoria tornam o esforço apreciável.

No primeiro ano em que a disciplina decorreu, em 2000/01, ficou a percepção que os verdadeiros objectivos porque se usava uma ferramenta, como a transformada de Fourier, não foram totalmente percebidos pelos alunos devido ao “choque” que toda a nova teoria provocava. Os alunos “perderam-se” nas técnicas matemáticas e

pouca percepção houve do fenómeno físico. A disciplina ficou mais com uma característica de matemática aplicada do que com a de física aplicada.

Foi então decidido escrever um texto introdutório que ao longo do tempo foi melhorado para cobrir toda a matéria teórica do programa (o primeiro texto cobria 90% da parte teórica e depois foi completado para conter tudo). Um dos requisitos deste texto era que deveria ter uma média de uma figura por página e uma média de uma equação matemática por dez páginas. O objectivo foi o de abordar os conceitos fundamentais de IT sem o auxílio da Matemática e com o uso de muitas figuras para representar os fenómenos. Por ele, os alunos percebem o porquê e o como de muitas técnicas, embora sem nenhuma prova de que as várias técnicas funcionam de facto.

O texto foi muito bem recebido pelos alunos e é um grande instrumento de motivação para a disciplina. É ministrado logo no início do semestre (dura quatro aulas) seguindo-se depois a “matéria propriamente dita”. A vantagem de dar a disciplina toda em duas semanas e fazer um teste aos alunos sobre essa parte, a esse nível de profundidade, faz com que toda a gente (estatisticamente falando) comece depois a “matéria propriamente dita” percebendo as razões porque se fazem certas coisas ou se vai por certos caminhos.

Para a “matéria propriamente dita” foi escolhido um livro muito acessível que se baseia na física dos fenómenos introduzindo apenas a matemática necessária à sua compreensão. O livro não é seguido sequencialmente, mas os capítulos que se saltaram, ou trocaram de ordem, são independentes e permitem o estudo em separado. Foi traduzido (e acrescentado) parte do primeiro capítulo do livro para uma ajuda maior aos alunos que tinham dificuldade na língua inglesa, ou num ou outro aspecto (conferir o anexo com as folhas teóricas). Foi também escrito um capítulo apenas com exemplos de distorções de sinais para os alunos perceberem concretamente o efeito de distorções lineares, não se ficando pela evidência das expressões matemáticas. Finalmente foi traduzido e adaptado o capítulo de Modulação em Frequência devido à matemática exigida nas funções de Bessel e no tratamento dos PLLs (*Phase Locked Loop*) ser um pouco mais avançada do que o estágio em que os alunos se encontram.

O modo como a parte teórica é ministrada também teve uma evolução ao longo do tempo. A disciplina começou com uma aula teórica semanal de duas horas. Foi sentido que duas horas eram um esforço muito grande para os alunos em termos de concentração e a partir do segundo ano a parte teórica mudou para duas aulas semanais de uma hora cada. Desde o início da disciplina evitou-se sempre executar problemas em aulas práticas, pois cai-se muito facilmente na tentação de resolver os problemas nessas aulas em vez dos alunos e o processo assemelha-se a um “treino” dos alunos em certos tipos de problemas que depois aparecem nas avaliações. Assim, decidiu-se que a disciplina decorreria sem aulas práticas de problemas. Ao longo dos tempos os alunos foram sentindo que era importante ter problemas para resolver, e foi criado um modo em que eram distribuídos problemas quinzenalmente que depois eram corrigidos, comentados e devolvidos aos alunos. A fim de alguns anos, começou a ser hábito copiar as respostas aos problemas inviabilizando o método. Foi decidido então acabar com as aulas teóricas e começar com aulas teórico-práticas. Existem duas aulas teórico-práticas de 90 minutos por semana. Na primeira hora de aula é ministrada teoria e na meia-hora seguinte os alunos têm problemas para resolver, ou existem mini-testes (as datas são decididas no início do semestre). Quando há problemas para resolver, os alunos podem ir ao quadro resolver o problema e obter uma opinião do docente sobre a resolução, ou simplesmente acaba a aula. Nunca é executada a resolução pelo professor.

A parte laboratorial segue de muito perto a parte teórica e nos trabalhos de laboratório é pedido aos alunos que deduzam expressões dadas na parte teórica com o auxílio das folhas e livro. O objectivo é ligar toda a teoria à parte prática para os alunos perceberem a importância e utilidade da teoria.

### 2.2.2. Programa

O programa divide-se em cinco grandes módulos:

Introdução  
Sistemas e Sinais  
Modulação Por Pulsos  
Modulação Analógica  
Modulação Digital

- A Introdução já foi descrita e consiste na descrição conceptual de toda a matéria.
- A parte de Sistemas e Sinais compreende a Análise de Fourier, a Filtragem e Distorção de Sinal e a Densidade Espectral e Correlação. É abordada a série de Fourier e depois a transformada seguindo-se as propriedades da transformada. A ênfase é maior na aplicação das propriedades do que na sua demonstração. Segue-se depois o Teorema da Amostragem. Nesta primeira sub-parte existe uma atenção muito grande nas noções de largura de banda e na inter-relação tempo-frequência. A Filtragem e Distorção de Sinal começa com as respostas no tempo e na frequência dos sistemas, abordando-se o Integral de Convolução. Estudam-se depois as distorções lineares e a equalização e os filtros passa-baixo ideais. Na densidade espectral e correlação são abordados os temas de densidade espectral de energia, a correlação de sinais de energia, a densidade e a correlação também para os sinais de potência e as inter-relações entre elas com o auxílio das transformadas de Fourier. Esta parte acaba com a dedução das características espectrais dos sinais periódicos.  
Esta segunda parte é a parte mais “pesada” da disciplina, mas necessária para depois se compreender toda a modulação.
- A terceira parte cobre a modulação por pulsos. O estudo percorre as várias fases da modulação PCM (*Pulse Code Modulation*), nomeadamente a amostragem, a quantização e a codificação. É dada muita importância aos códigos de linha. Esta parte continua com o estudo da modulação DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*) e DM (*Delta Modulation*). Acaba-se com os sistemas de multiplexagem no tempo. Tanto para a parte de códigos de linha como para os sistemas de multiplexagem faz-se uso de textos de outros livros.
- A quarta parte, Modulação Analógica, cobre as modulações em Amplitude standard, dupla banda lateral sem portadora, e QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Antes de prosseguir para outras modulações é estudado o fenómeno de translação na frequência, o método de multiplexagem na frequência e o rádio super-heteródino. Entra-se depois nas modulações de ângulo. Na modulação de ângulo estuda-se a modulação em frequência. Como comentário a esta parte refira-se que não se aborda a modulação de amplitude em banda lateral única para não se introduzir a transformada de Hilbert, não se aborda também a modulação de amplitude em banda lateral vestigial por poder ser considerada uma evolução

da anterior, e não se estuda a modulação analógica de fase por não ser muito usada na prática.

- A quinta parte aborda a Modulação Digital. Começa-se pelas modulações binárias, muito simples e também muito esbanjadoras de largura de banda. Estudam-se os modos de emissão e recepção quer coerentes quer não-coerentes (incluindo formas diferenciais de recuperar a sincronização). Depois passa-se para modulações mais avançadas como a QPSK (*Quadri-phase Shift Keying*) e MSK (*Minimum Shift Keying*). Para as duas são estudados também os dispositivos que as geram e as recuperam.

Foi decidido colocar a modulação por pulsos, que até nem precisa assim tanto das transformadas de Fourier, antes das outras modulações para lhe dar mais importância e atenção pelos alunos devido à sua preponderância nas Telecomunicações actuais.

### 2.2.3. Programa das Aulas teórico-práticas

O programa das aulas teórico-práticas segue de perto o programa da disciplina. Para o planeamento das aulas foram consideradas doze semanas. Os semestres típicos têm 14 semanas e meia em média. A razão de um planeamento menor deve-se ao facto de sempre se encontrar algum feriado durante o semestre e de terminar a parte teórica um pouco antes do final do semestre para permitir uma semana de estudo antes do teste final para quem opte por avaliação distribuída. A disciplina inclui muitos alunos com as disciplinas iniciais de Matemática por fazer e por tradição o último teste dessas disciplinas é logo no final do semestre. Assim, tenta-se colocar o último teste de IT antes desse teste de Matemática.

O planeamento compreende 24 aulas e as aulas seguintes até ao final do semestre são usadas como aulas de dúvidas. A distribuição do programa pelas aulas é a seguinte:

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Apresentação                        | 1  |
| Introdução                          |    |
| 1. Panorâmica geral da matéria      | 4  |
| Sistemas e Sinais                   |    |
| 2. Análise de Fourier               | 5  |
| 3. Filtragem e Distorção de Sinal   | 2  |
| 4. Densidade Espectral e Correlação | 1  |
| Modulação Por Pulsos                |    |
| 5. Modulação por Pulsos             | 4  |
| 6. Troncas e Multiplexagem          | 1  |
| Modulação Analógica                 |    |
| 7. Modulação de Amplitude           | 3  |
| 8. Modulação de Ângulo              | 2  |
| Modulação Digital                   |    |
| 9. Modulação e Detecção Digital     | 1  |
| Total                               | 24 |

### 2.2.4. Programas das Aulas de Laboratório

As aulas de laboratório têm a duração duas horas, havendo uma aula semanal. Elas compreendem trabalhos definidos para esse tempo que usam o SIMULINK no início e kits de aprendizagem nos trabalhos restantes. Os alunos têm um guia de procedimentos onde têm de responder a certas questões quer sobre a dedução de expressões necessárias para a execução do trabalho, quer para comentar fenómenos que experimentam e que têm de descrever e justificar. Esse guião é entregue no final da aula ao docente e serve para avaliação. Em baixo mostram-se algumas fotografias do laboratório e do manuseamento dos kits.



Os trabalhos cobrem os assuntos mais relevantes dos vários capítulos do programa. Seria possível com os kits ter muito mais experiências do que as que foram definidas. No entanto, o tempo de laboratório é escasso e foi preciso avaliar muito bem a adequabilidade de cada experiência para o objectivo de compreender bem os assuntos abordados no programa. A ideia principal foi que o laboratório deve motivar os alunos a estudar a parte teórica e a permitir ver a utilidade de toda a teoria.

O planeamento das aulas de laboratório foi feito para se ter 9 trabalhos de laboratório em 12 aulas laboratoriais. O plano de aulas é o seguinte:

|         |         |   |
|---------|---------|---|
| Lab – 0 |         | Na primeira semana não há aulas de laboratório  |
| Lab – 1 | 1º Trab | Familiarização com o programa SIMULINK, e com o funcionamento dos componentes que vão ser mais usados no laboratório da disciplina. |
| Lab – 2 |         |   |

|          |         |  |
|----------|---------|--|
| Lab – 3  | 2º Trab | Familiarização com os conceitos de sinais, espectros e modulação   |
| Lab – 4  | 3º Trab | Largura de banda de impulsos; Espectros de sinais básicos; Propriedades da transformada de Fourier                                     |
| Lab – 5  | 4º Trab | Propriedades da transformada de Fourier; amostragem  |
| Lab – 6  | 5º Trab | Familiarização com o osciloscópio, geradores de funções  |
| Lab – 7  | 6º Trab | Modulação analógica de pulsos em amplitude – PAM ( <i>Pulse Amplitude Modulation</i> )   |
| Lab – 8  |         |  |
| Lab – 9  | 7º Trab | Modulação digital por codificação de pulsos– PCM ( <i>Pulse Code Modulation</i> ) e DPCM ( <i>Differential Pulse Code Modulation</i> ) |
| Lab – 10 |         |  |
| Lab – 11 | 8º Trab | Modulação de Amplitude: standard, com supressão de portadora e QAM   |
| Lab – 12 | 9º Trab | Modulação de Frequência (FM)   |

### 2.2.5. Bibliografia

Já foi referido que a bibliografia segue principalmente um livro. Este livro é:  
**Simon Haykin, “An Introduction to Analog and Digital Communications”, John Wiley, 1989**

Para além deste livro usam-se alguns excertos de outros dois. No assunto de códigos de linha foi usado o livro:

**Ian Glover e Peter Grant, “Digital Communications”, Prentice-Hall, 1998**

Para assuntos de multiplexagem foi usado o livro:

**Andrew Tanenbaum, “Computer Networks”, 4ª Edição, Prentice-Hall, 2003**

Também como já foi referido foram escritas folhas teóricas para a Introdução, Análise de Fourier, Distorção de Sinal e Modulação em Frequência:

**Paulo da Fonseca Pinto, “Folhas Teóricas de Introdução às Telecomunicações”, 2005.**

Finalmente, para leitura adicional são aconselhados aos alunos os seguintes dois livros:

**John Bellamy, “Digital Telephony”, 2ª Edição, John Wiley, 1991**

**Simon Haykin, “Communication Systems”, 3ª Edição, John Wiley, 1994**

A seguinte tabela mostra a bibliografia relacionada com cada capítulo do programa (na lista dada aos alunos foi decidido dividir o programa de um modo ligeiramente diferente no que respeita a capítulos para ser mais fácil a identificação da bibliografia):

|   |  |
|---|--|
| Cap. 1 – Introdução                       | [Pinto1], [Haykin1] cap. 1   |
| Cap. 2 – Análise de Fourier               | [Pinto2]<br>[Haykin1] cap. 2 secções 2.1 a 2.7 (retirar exemplo 9) |
| Cap. 3 – Filtragem e Distorção de Sinal   | [Haykin1] cap. 3 secções 3.1 a 3.4 (retirar exemplo 3)<br>[Pinto3] |
| Cap. 4 – Densidade Espectral e Correlação | [Haykin1] cap. 4 secções 4.1, 4.2, 4.5 e 4.6                       |
| Cap. 5 – Modulação por Pulsos             | [Haykin1] cap. 5<br>[Glover] cap. 6.4 (pp. 222-230)                |
| Cap. 6 – Troncas e Multiplexagem          | [Tanenbaum] secção 2.4.4 (pp. 118-130)                             |

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Cap. 7 – Modulação de Amplitude | [Haykin1] cap. 7 secções 7.1 a 7.3<br>[Haykin1] cap. 7 secções 7.7 a 7.9 |
| Cap. 8 – Modulação de Ângulo    | [Haykin1] cap. 7 secção 7.10<br>[Pinto4]                                 |
| Cap. 9 – Modulação Digital      | [Haykin1] cap. 7 secção 7.15   |

## 2.3 Normas Gerais de Funcionamento

A disciplina tem uma componente teórico-prática e outra de laboratório. Em termos de normas gerais de funcionamento elas decorrem independentemente uma da outra, os alunos são avaliados em cada uma das componentes e a classificação final é uma ponderação das duas.

Nas aulas teórico-práticas a presença dos alunos não é registada e os mini-testes são facultativos, embora com um peso obrigatório na classificação final. Qualquer classificação dos mini-testes só ajuda a melhorar a nota final pelo que os alunos acabam por os tentar fazer.

As aulas de laboratório têm a presença registada e regras bastante penalizadoras em termos de faltas. Esta característica veio ainda da altura em que a disciplina pertencia ao 1º ano e a liberdade que a Universidade parece dar aos alunos quando comparada com o Secundário fez no primeiro ano em que IT decorreu que a assiduidade às aulas de laboratório por parte de alguns alunos tivesse sido muito pobre. Com a mudança da disciplina para o 2º ano decidiu-se não mudar estas regras e os alunos acabam por aceitá-las de um modo natural.

### 2.3.1. Métodos de Ensino teórico-prático

As aulas teórico-práticas têm a duração de 90 minutos e são bissemanais. Os primeiros 60 minutos destinam-se à exposição da matéria da disciplina, enquanto que nos restantes 30 minutos existe a apresentação de problemas para serem resolvidos ou se fazem mini-testes. A data dos mini-testes é fixada no início do semestre e são oito mini-testes no total.

Os textos de apoio são fornecidos aos alunos no início do semestre. Nas aulas são usados acetatos e o quadro que seguem o mais possível o material fornecido aos alunos. Não são dadas, assim, cópias dos acetatos aos alunos, pois o volume de papel a distribuir com conteúdo redundante seria grande e os alunos poderiam ter a tendência de usar os acetatos como material de estudo para as avaliações em vez das folhas.

A inclusão de exemplos práticos na explicação teórica aumenta a motivação dos alunos para os conceitos apreendidos, por ser possível ver a sua utilidade na vida real, especialmente em equipamentos que a maioria dos alunos já conhece. Exemplos são o uso de uma versão de MSK na rede GSM, o uso de AM standard nos rádios, o problema da sincronização de fase quando o rádio está por exemplo dentro de um carro (ou mesmo em casa), a televisão, etc.

Tenta-se sempre colocar a ênfase no uso das ferramentas analíticas para os casos concretos em prejuízo de demonstrações da validade das expressões. Dito de outro modo, a Física tem sempre prioridade à Matemática.



### 2.3.2. Métodos de Ensino Laboratorial

As aulas laboratoriais têm uma duração de 2 horas e são semanais. Os alunos devem executar um trabalho (em três aulas é meio trabalho) por aula. Para tal, cada aula tem uma preparação prévia que consiste na leitura do enunciado até ao ponto em que é necessário executar experiências, e nalguns trabalhos é necessário resolver alguns problemas que são directamente relevantes para experiências.

Os alunos estão agrupados em grupos de dois e o docente circula na aula para se aperceber da evolução dos grupos. São tiradas dúvidas consideradas relevantes sobre o manuseamento do material, mas os alunos são supostos trazer o material didáctico necessário para a execução das suas tarefas (nomeadamente o livro e as folhas para consulta). Ao longo do trabalho os alunos têm de escrever respostas na folha de experiências que é dada ao docente, corrigida e classificada. Nalgumas aulas pode haver uma explicação inicial de algum assunto relacionado com o trabalho.

A avaliação da parte laboratorial consiste numa análise contínua do desempenho do aluno nas experiências laboratoriais. Nessa análise inclui-se:

- a preparação prévia de cada trabalho,
- a resolução prévia dos problemas para cada trabalho,
- a finalização dos trabalhos nas respectivas aulas,
- o relatório entregue por trabalho e
- a compreensão e a destreza na execução das experiências pelos alunos.

### 2.3.3. Avaliação de Conhecimentos

A avaliação é feita independentemente para a parte teórica e para a parte laboratorial, como já se disse, e os alunos têm de ter 9,5 valores em 20 em cada uma dessas partes para ficarem aprovados na disciplina.

A classificação final da disciplina é ponderada do seguinte modo

$$\text{classificação\_final} = 75\% * \text{teórica} + 25\% * \text{laboratório}$$

A nota do laboratório é dada seguindo os critérios listados na secção anterior e respeitando as seguintes regras relativamente à assiduidade ao laboratório:

|          |  |
|----------|--|
| 1ª falta | tolerada                               |
| 2ª falta | Nota limite máxima de laboratório = 14 |
| 3ª falta | Nota limite máxima da disciplina = 12  |
| 4ª falta | Reprovação na disciplina               |

A nota teórica pode ser obtida de uma forma distribuída, por testes, ou de uma forma centralizada, por exames finais. Em qualquer dos casos a influência dos mini-testes existe.

Na forma distribuída existem três testes: o primeiro é um teste com um grau de dificuldade muito reduzido e cobre apenas o primeiro capítulo do programa (Introdução); o teste não tem quase nenhuma Matemática e é baseado em conceitos e figuras. O segundo teste cobre a parte de Sinais e Sistemas e Modulação por Pulsos. Esta é a parte maior do programa e o peso deste teste é o maior de todos; o terceiro teste cobre as partes de Modulação Analógica e Modulação Digital e tem um peso intermédio relativamente aos outros dois. O cálculo da nota teórica na forma distribuída é o seguinte:

$$teórica = (15\% * mini-testes + 10\% * 1^o teste + 30\% * 2^o teste + 20\% * 3^o teste) * 100/75$$

É permitido aos alunos fazerem uma repescagem do 2º ou 3º testes sujeitos a convite pelo corpo docente. A repescagem tem lugar na data do exame final de época normal. A ideia do convite serve apenas para que um aluno com notas muito fracas em ambos os testes se sinta tentado a vir fazer um teste na ilusão de que pode ter uma nota muito elevada. Outra condição para o convite consiste nos casos em que um aluno já está aprovado, mas as notas do 2º e do 3º testes são muito díspares. Só se isto acontecer é que os alunos podem usar as repescagens para elevar a sua nota teórica. A alunos com notas muito semelhantes nos dois testes só é permitido levantar a nota da teórica em exames finais.

A obrigatoriedade de se efectuar mini-testes pode ser problemática no caso de alunos estudantes trabalhadores. Para eles, existe a seguinte regra:

*Os alunos estudantes trabalhadores podem pedir até ao final da segunda semana de aulas um estatuto especial de modo a não fazer os mini-testes.*

*No final de cada semestre será afixada uma informação com o número de alunos nestas condições e a percentagem de sucesso na aprovação da disciplina.*

*Para estes casos a classificação é obtida com a seguinte fórmula:*

$$teórica = (10\% * 1^o teste + 40\% * 2^o teste + 25\% * 3^o teste) * 100/75$$

Na forma centralizada a nota teórica pode, ou não, conter a classificação dos mini-testes, se tal ajudar a subir a nota ao aluno. Assim, as duas fórmulas de cálculo são as seguintes:

$$teórica = (15\% * mini-testes + 60\% * exame) * 100/75$$

$$teórica = exame$$

No caso de um aluno obter aprovação na parte laboratorial ou na parte teórica, mas ficar reprovado na disciplina, essa classificação ficará congelada por dois anos lectivos. Caso não obtenha aprovação entretanto, terá novamente de efectuar essa parte da disciplina.

### **III. Execução**

A secção de Execução tem o registo das aulas realmente ministradas. Existiram mais do que um turno tanto de teórico-práticas como de laboratório. Esta secção contém apenas os sumários de um turno de cada tipo de aulas.



### 3.1 Execução das Aulas teórico-práticas

#### Aulas do turno teórico-prático TP1

|   |
|---|
| <b>Data da Aula:</b> <u>12 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>110-IV</u> <b>Hora:</b> <u>Das 15 H às 16:3 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> _____<br>_____<br>Apresentação da disciplina e do Programa _____<br>_____<br>_____<br>_____<br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|---|

|   |
|---|
| <b>Data da Aula:</b> <u>15 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>107-IV</u> <b>Hora:</b> <u>Das 14 H às 15:3 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> <b>Introdução</b><br>_____<br>Das Ondas Sonoras aos Sinais Eléctricos _____<br>Frequência; Fase _____<br>Descrição dos Sinais nos domínios do tempo e da frequência _____<br>Densidade Espectral de Potência _____<br>Transmissão _____<br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|---|

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>19 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>110-IV</u> <b>Hora:</b> <u>Das 15 H às 16:3 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> <b>Introdução</b><br>_____<br>Filtros _____<br>Técnicas de Modulação Básica _____<br>Modulação Analógica _____<br>Modulação Digital _____<br>_____<br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|--|

|   |
|---|
| <b>Data da Aula:</b> <u>22 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>107-IV</u> <b>Hora:</b> <u>Das 14 H às 15:3 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> <b>Introdução</b><br>_____<br>Técnicas de Modulação Básicas (cont.) _____<br>Modulação por pulsos codificados _____<br>Modulação por pulsos diferencial _____<br>Modulação delta _____<br>_____<br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|---|

|                                      |                                       |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 26 / 9 / 2005   | <b>Local/Sala:</b> 110-IV             | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005 | <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Introdução</u>    |                                       |                                 |
| Técnicas de Modulação Avançadas      |                                       |                                 |
| QPSK, M-PSK, QAM, MSK                |                                       |                                 |
| Propósitos da Modulação              |                                       |                                 |
| Multiplexagem: FDM, TDM              |                                       |                                 |
| Classificação de Sinais              |                                       |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>            |                                       |                                 |

|   |                                       |                                 |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 29 / 9 / 2005        | <b>Local/Sala:</b> 107-IV             | <b>Hora:</b> Das 14 H às 15:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005      | <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Análise de Fourier</u> |                                       |                                 |
| Série de Fourier                          |                                       |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                 |                                       |                                 |

|   |                                       |                                 |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 3/10 / 2005                | <b>Local/Sala:</b> 110-IV             | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / .               | <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Análise de Fourier</u>       |                                       |                                 |
| Série de Fourier (cont.)                        |                                       |                                 |
| Transformada de Fourier                         |                                       |                                 |
| Propriedades da Transformada de Fourier (1 a 4) |                                       |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                       |                                       |                                 |

|  |                                       |                                 |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 6/10 / 2005                 | <b>Local/Sala:</b> 107-IV             | <b>Hora:</b> Das 14 H às 15:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005             | <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Análise de Fourier</u>        |                                       |                                 |
| Propriedades da Transformada de Fourier (5 a 10) |                                       |                                 |
| Inter-relação entre o tempo e a frequência       |                                       |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                        |                                       |                                 |

|  |                                       |                                 |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 10 / 10 / 2005              | <b>Local/Sala:</b> 110-IV             | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005             | <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Análise de Fourier</u>        |                                       |                                 |
| Largura de banda; Produto largura de banda-tempo |                                       |                                 |
| Função Dirac Delta                               |                                       |                                 |
| Propriedades                                     |                                       |                                 |
| Aplicações                                       |                                       |                                 |
| Transformadas de Fourier de Sinais Periódicos    |                                       |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                        |                                       |                                 |

**Data da Aula:** 13 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:**    /   / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** **Análise de Fourier**

Teorema da Amostragem

**Rubrica do Docente**

**Data da Aula:** 17 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:**    /   / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** **Filtragem e Distorção de Sinal**

Resposta no Tempo

Causalidade e Estabilidade

Resposta na Frequência

Resposta de Amplitude e Resposta de Fase

Largura de Banda de um Sistema

**Rubrica do Docente**

**Data da Aula:** 20 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:**    /   / 2005 **Docente** Paulo Montezuma  
**Sumário:** **Filtragem e Distorção de Sinal**

Distorção Linear e Equalização

Condições para transmissão sem distorção

Distorção de amplitude e de fase; Equalização

Filtro ideal passa-baixo

Exemplos de distorção de sinais

**Rubrica do Docente**

**Data da Aula:** 24 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:**    /   / 2005 **Docente** Paulo Montezuma  
**Sumário:** **Densidade Espectral e Correlação**

Densidade Espectral de Energia

Correlação de Sinais de Energia

Sumário de relações

Características Espectrais dos Sinais Periódicos

Características Espectrais dos Sinais Periódicos (Exemplos)

**Rubrica do Docente**

**Data da Aula:** 27 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:**    /   / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** **Codificação Digital de Sinais Analógicos**

Modulação Digital por pulsos

Modulação por Pulsos Codificada

Amostragem

**Rubrica do Docente**

**Data da Aula:** 31 / 10 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** \_\_\_\_\_

FACULDADE ENCERRADA

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 3/ 11 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** Codificação Digital de Sinais Analógicos

Quantização

Codificação

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 7/ 11 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** Modulação por Pulsos

Códigos de linha

Regeneração

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 9/ 11 / 2005 **Local/Sala:** 2B-VII **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005. **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** Codificação Digital de Sinais Analógicos

DPCM – Differential Pulse Code Modulation

Modulação Delta

Modulações Adaptativas

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 10 / 11 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** Troncas e Multiplexagem

FDM; WDM

TDM (T1, T2, etc. E1, E2, etc.)

SDH e SONET

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_



|   |                           |                                 |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 14 / 11 / 2005           | <b>Local/Sala:</b> 110-IV | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005          |                           |                                 |
| <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto         |                           |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Modulação de Amplitude</u> |                           |                                 |
| Modulação de Amplitude Standard               |                           |                                 |
| Geração de ondas AM                           |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                     |                           |                                 |

|   |                           |                                 |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 17 / 11 / 2005           | <b>Local/Sala:</b> 107-IV | <b>Hora:</b> Das 14 H às 15:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005          |                           |                                 |
| <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto         |                           |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Modulação de Amplitude</u> |                           |                                 |
| Detecção de ondas AM                          |                           |                                 |
| Modulação Double-SideBand Suppressed-Carrier  |                           |                                 |
| Geração e detecção coerente de ondas DSBSC    |                           |                                 |
| Costas Loop                                   |                           |                                 |
| QAM – Modulação de Amplitude em Quadratura    |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                     |                           |                                 |

|   |                           |                                 |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 21 / 11 / 2005           | <b>Local/Sala:</b> 110-IV | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005          |                           |                                 |
| <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto         |                           |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Modulação de Amplitude</u> |                           |                                 |
| Translação na frequência                      |                           |                                 |
| Exemplo: Rádio superheterodyne                |                           |                                 |
| Modulação de Ângulo                           |                           |                                 |
| Conceitos básicos                             |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
|   |                           |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                     |                           |                                 |

|  |                           |                                 |
|--|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 24 / 11 / 2005        | <b>Local/Sala:</b> 107-IV | <b>Hora:</b> Das 14 H às 15:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005       |                           |                                 |
| <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto      |                           |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Modulação de Ângulo</u> |                           |                                 |
| Modulação de Frequência em tom único       |                           |                                 |
| Análise espectral                          |                           |                                 |
| Propriedades                               |                           |                                 |
| Largura de banda                           |                           |                                 |
|  |                           |                                 |
|  |                           |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                  |                           |                                 |

|  |                           |                                 |
|--|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Data da Aula:</b> 28 / 11 / 2005          | <b>Local/Sala:</b> 110-IV | <b>Hora:</b> Das 15 H às 16:3 H |
| <b>Sumário entregue em:</b> / / 2005         |                           |                                 |
| <b>Docente</b> Paulo da Fonseca Pinto        |                           |                                 |
| <b>Sumário:</b> <u>Modulação de Ângulo</u>   |                           |                                 |
| Geração de ondas FM                          |                           |                                 |
| Desmodulação de ondas FM; PLL                |                           |                                 |
| Modulação Digital                            |                           |                                 |
| Técnicas de Modulação Binária: ASK; PSK; FSK |                           |                                 |
| Geração de ondas moduladas binárias          |                           |                                 |
|  |                           |                                 |
| <b>Rubrica do Docente</b>                    |                           |                                 |

**Data da Aula:** 1/12 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FERIADO NACIONAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 5/12 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** Modulação Digital

\_\_\_\_\_

Detecção de ondas moduladas binárias \_\_\_\_\_

DPSK \_\_\_\_\_

QPSK e MSK \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 8/12 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FERIADO NACIONAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 12 / 12 / 2005 **Local/Sala:** 110-IV **Hora:** Das 15 H às 16:3 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Revisões para o exame \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 15 / 12 / 2005 **Local/Sala:** 107-IV **Hora:** Das 14 H às 15 H  
**Sumário entregue em:** / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto  
**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Revisões para o exame \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

## 3.2 Execução das Aulas de Laboratório

### Aulas do turno de laboratório P1

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>12 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> _____<br><br><p style="text-align: center;">Não há aulas de Laboratório na primeira semana do semestre _____</p><br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|--|

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>19 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> _____<br><br><p style="text-align: center;">Trabalho 1 _____</p><br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|--|

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>26 / 9 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> _____<br><br><p style="text-align: center;">Trabalho 1 (continuação) _____</p><br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|--|

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>3 / 10 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u><br><b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u><br><b>Sumário:</b> _____<br><br><p style="text-align: center;">Trabalho 2 _____</p><br><p style="text-align: center;"><b>Rubrica do Docente</b> _____</p> |
|--|

**Data da Aula:** 10 / 10 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 18 H às 20 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto

**Sumário:** \_\_\_\_\_

Trabalho 3 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 17 / 10 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 18 H às 20 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto

**Sumário:** \_\_\_\_\_

Trabalho 4 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 24 / 10 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 18 H às 20 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005. **Docente** Paulo Montezuma

**Sumário:** \_\_\_\_\_

Trabalho 5 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 31 / 10 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 18 H às 20 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto

**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**FACULDADE ENCERRADA**

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

**Data da Aula:** 2 / 11 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 14 H às 16 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto

**Sumário:** \_\_\_\_\_

**AULA EXTRAORDINÁRIA**

Trabalho 6 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

|   |
|---|
| <b>Data da Aula:</b> <u>7 / 11 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u> |
| <b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u>                       |
| <b>Sumário:</b> _____   |
| _____   |
| Trabalho 6 (continuação)  |
| _____   |
| _____   |
| <b>Rubrica do Docente</b> _____   |

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>14 / 11 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u> |
| <b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u>                        |
| <b>Sumário:</b> _____  |
| _____  |
| Trabalho 7   |
| _____  |
| _____  |
| <b>Rubrica do Docente</b> _____  |

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>21 / 11 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u> |
| <b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u>                        |
| <b>Sumário:</b> _____  |
| _____  |
| Trabalho 7 (continuação)   |
| _____  |
| _____  |
| <b>Rubrica do Docente</b> _____  |

|  |
|--|
| <b>Data da Aula:</b> <u>28 / 11 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u> |
| <b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u>                        |
| <b>Sumário:</b> _____  |
| _____  |
| Trabalho 8   |
| _____  |
| _____  |
| <b>Rubrica do Docente</b> _____  |

|   |
|---|
| <b>Data da Aula:</b> <u>5 / 12 / 2005</u> <b>Local/Sala:</b> <u>L 3.4X</u> <b>Hora:</b> <u>Das 18 H às 20 H</u> |
| <b>Sumário entregue em:</b> <u> / / 2005</u> <b>Docente</b> <u>Paulo da Fonseca Pinto</u>                       |
| <b>Sumário:</b> _____   |
| _____   |
| Trabalho 9  |
| _____   |
| _____   |
| <b>Rubrica do Docente</b> _____   |

**Data da Aula:** 12 / 12 / 2005 **Local/Sala:** L 3.4X **Hora:** Das 18 H às 20 H

**Sumário entregue em:**  / / 2005 **Docente** Paulo da Fonseca Pinto

**Sumário:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Não houve aula \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Rubrica do Docente** \_\_\_\_\_

## IV. Avaliação

A secção de Avaliação contém os enunciados usados no ano lectivo 2005/06. Por uma questão de organização do documento decidiu-se incluir também os enunciados dos problemas das aulas teórico-práticas aqui (muito embora não sejam estritamente documentos de avaliação).

Deste modo, listam-se em seguida:

- Enunciados dos Problemas e Mini-testes das aulas teórico-práticas
- Enunciados dos trabalhos de laboratório
- Enunciados dos testes e exames

### 4.1 Enunciados dos Problemas e Mini-testes das Aulas teórico-práticas

No ano lectivo 2005/06 foi a seguinte a colocação dos mini-testes e problemas nas aulas teórico-práticas

|                              |        |                             |
|------------------------------|--------|-----------------------------|
| Apresentação                 | 1 de 1 | -----                       |
| Introdução                   | 1 de 4 | Esta aula não tem problemas |
|                              | 2 de 4 | Problemas                   |
|                              | 3 de 4 | Mini-teste                  |
|                              | 5 de 5 | Problemas                   |
| Análise de Fourier           | 1 de 8 | Mini-teste                  |
|                              | 2 de 8 | Problemas                   |
|                              | 3 de 8 | Problemas                   |
|                              | 4 de 8 | Problemas                   |
|                              | 5 de 8 | Problemas                   |
|                              | 6 de 8 | Problemas                   |
|                              | 7 de 8 | Mini-teste                  |
|                              | 8 de 8 | Problemas                   |
| <i>Pulse Code Modulation</i> | 1 de 5 | Mini-teste                  |
|                              | 2 de 5 | Problemas                   |
|                              | 3 de 5 | Mini-teste                  |
|                              | 4 de 5 | Problemas                   |
|                              | 5 de 5 | Mini-teste                  |
| Modulação de Amplitude       | 1 de 3 | Problemas                   |
|                              | 2 de 3 | Mini-teste                  |
|                              | 3 de 3 | Problemas                   |
| Modulação de Frequência      | 1 de 2 | Problemas                   |
|                              | 2 de 2 | Problemas                   |
| Modulação Digital            | 1 de 1 | Mini-teste                  |

# **Introdução**

## **Aula 1 de 4**

**Esta aula não tem problemas**



# Introdução

## Aula 2 de 4

### Problema 1

Considere uma onda sinusoidal que tem uma fase de  $30^\circ$ , amplitude máxima de 4 Volt e frequência de 100 Hz. Escreva a expressão geral da onda e calcule o tempo de atraso a que corresponde esta fase.

### Problema 2

Considere um sinal com espectro dentro da gama audível, composto por três harmônicas de frequência  $f_1 > f_2 > f_3$  com fases  $0, \pi/2$  e  $2\pi$ . Represente o espectro de amplitude e fase do sinal. Qual a frequência mais aguda do sinal. Admita agora que esse sinal é filtrado por um filtro passa-banda ideal, com banda entre  $(f_1+f_2)/2$  e  $(f_2+f_3)/2$ . Qual o espectro de amplitude e fase após a filtragem.

### Problema 3

Considere a sequência binária seguinte:

0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0

Considere que a quer transmitir a um ritmo de 200 bits por segundo. Desenhe a forma de onda quando se usa ASK (*Amplitude Shift Keying*) com a seguinte onda não se esquecendo de graduar os eixos convenientemente.

$$v(t) = 5 \cos(2\pi f_c t)$$

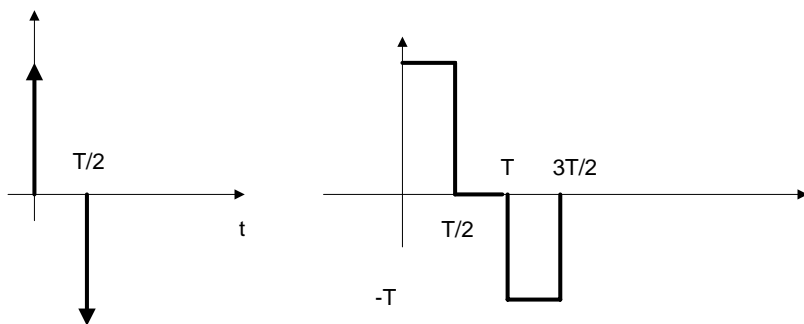
# Introdução

## Aula 3 de 4 – Mini-teste

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

### Problema 1

A resposta de um sistema **ao conjunto** de impulsos unitários é a que se apresenta a seguir:



Desenhe a resposta impulsiva (isto é, a resposta **a um** impulso unitário) do sistema. Diga, **justificando**, se o sistema é causal ou não.



### Problema 2

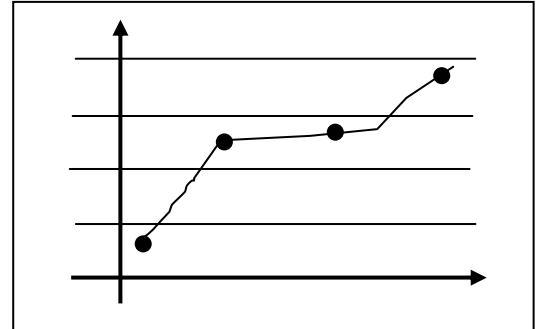
Diga quais as características das modulações digitais estudadas. Isto é, em cada uma delas em que parte do sinal é que é transmitida a informação relativa aos bits? Justifique a sua resposta.

# Introdução

## Aula 4 de 4

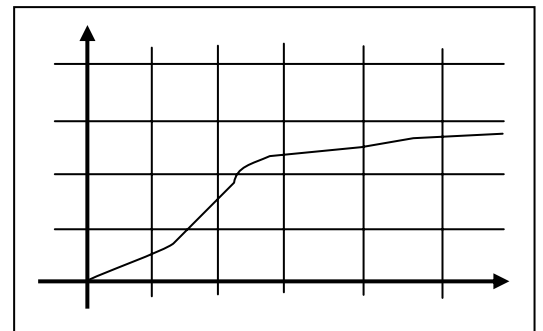
### Problema 1

Imagine um sistema PCM (*Pulse Code Modulation*) com quatro intervalos e com os instantes de amostragem mostrados na figura. Assuma que a forma de onda dos códigos dos pulsos é 5 V para “1” e 0 V para “0”. Desenhe a forma de onda que vai na linha para os quatro pontos de amostragem.



### Problema 2

Imagine um sistema de modulação Delta com um passo de 1 Volt (linhas horizontais), e em que os instantes de amostragem estão representados pelas linhas verticais. Uma subida do passo é representada por um “0”. Considere os mesmos códigos de linha do problema 1. Para a figura ao lado desenhe a forma de onda na linha.



### Problema 3

Num sistema de multiplexagem no tempo (TDM) com amostras distanciadas de  $128 \mu\text{seg}$ . quer-se transmitir 20 canais em que cada um tem 8 bits por amostra. Calcule

- Quanto tempo dura cada bit?
- Qual o ritmo binário da linha

# Análise de Fourier

## Aula 1 de 8 – Mini-teste

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

### Problema 1

Após a medição de dois sinais no tempo, obtiveram-se os seguintes valores da frequência e fase em instantes múltiplos do período dos sinais.

Sinal 1

|       |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|
| Tempo | T  | 2T | 3T | 4T | 5T | 6T | 7T |
| Freq  | F1 | F1 | F2 | F2 | F1 | F2 | F1 |
| Fase  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Sinal 2

|       |     |      |     |      |      |     |     |
|-------|-----|------|-----|------|------|-----|-----|
| Tempo | T   | 2T   | 3T  | 4T   | 5T   | 6T  | 7T  |
| Freq  | F1  | F1   | F1  | F1   | F1   | F1  | F1  |
| Fase  | 45° | 135° | 45° | 225° | 315° | 45° | 45° |

Quais as modulações presentes em cada sinal? Justifique a sua resposta.

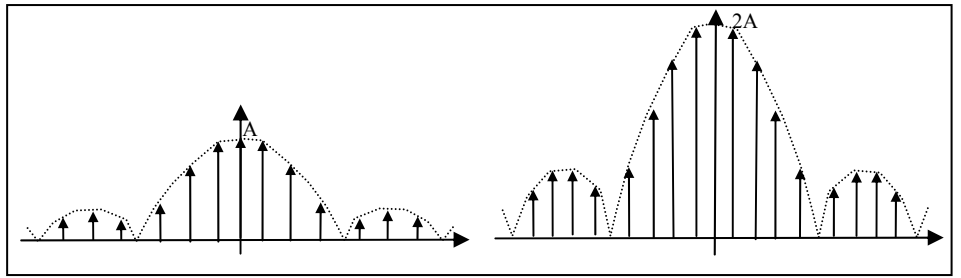
### Problema 2

Admita que tem 8 canais de largura de banda B. Como procederia para realizar a transmissão em simultâneo, dos dados de 128 utilizadores nesses 8 canais. Explique quais as técnicas que adoptaria e defina a ocupação espectral e a largura de banda associada a cada utilizador.

# Análise de Fourier

## Aula 2 de 8

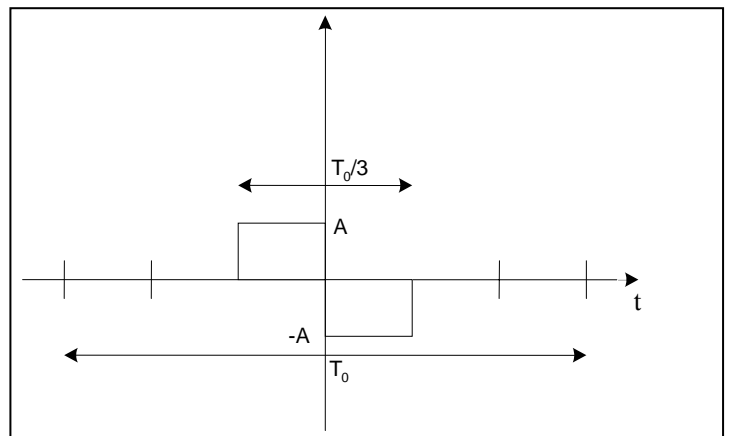
### Problema 1



Imagine um trem de pulsos rectangulares que tem uma certa série de Fourier em que os coeficientes múltiplos de 4 eram todos nulos (e apenas estes). Executaram-se depois algumas modificações nesse trem de pulsos de tal modo que todos os coeficientes ficaram com o dobro do valor que tinham originalmente; o componente  $c_0$  ficou zero; e os coeficientes múltiplos de 5 ficaram agora nulos em vez dos múltiplos de 4. A figura ao lado ajuda a explicar o problema (devido à possível confusão da duplicação do valor dos coeficientes). Descreva que operações se efectuaram no tempo ao trem de pulsos. Justifique as suas afirmações.

### Problema 2

Considere o impulso da figura ao lado. Pretende-se utilizar este impulso para construir um sinal periódico. Nestas condições calcule o espectro do sinal periódico correspondente. Qual o *duty cycle*? Qual a potência média do sinal? O sinal periódico resultante tem componente DC? Justifique a sua resposta.



### Problema 3

Calcule as transformadas de Fourier dos seguintes três impulsos

$$\text{rect}\left(\frac{t-T/2}{T}\right) - \text{rect}\left(\frac{t+T/2}{T}\right)$$

$$\text{rect}\left(\frac{t-T/4}{2T}\right)$$

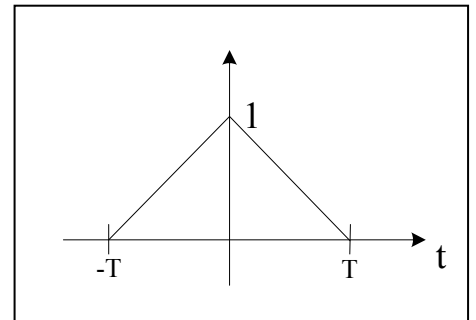
$$k \text{rect}\left(\frac{t+T/4}{T/2}\right)$$

# Análise de Fourier

## Aula 3 de 8

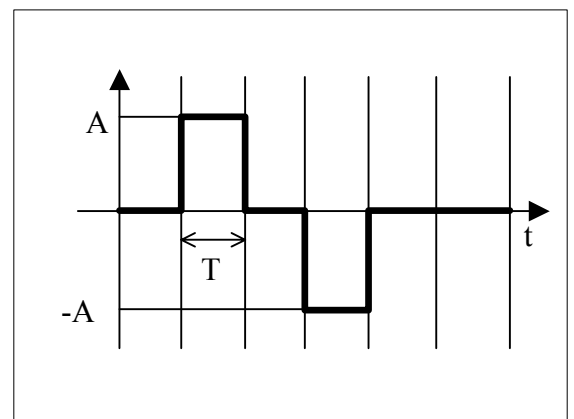
### Problema 1

Admita que tem o impulso representado na figura ao lado. Após algumas manipulações, verificou-se que a banda ocupada sofreu uma contracção de 1/3 e que o seu espectro de fase passou a ser uma recta com declive  $-1$ . Quais foram as operações efectuadas no domínio do tempo? Justifique a sua resposta.



### Problema 2

A figura ao lado mostra um certo código de linha (bipolar NRZ – AMI-NRZ) em que foram transmitidos seis bits (0 1 0 1 0 0). Calcule a ocupação espectral que esta comunicação ocupou. Dito de outro modo, calcule a Transformada de Fourier da forma de onda da figura ao lado (use as propriedades, o princípio da sobreposição, por exemplo, e vá escrevendo as que usou e para quê).



### Problema 3

Imagine um pulso exponencial, que se multiplicou por um seno e depois se passou por um integrador. Pretende-se saber a ocupação espectral do sinal de saída. Dito de outro modo, calcule a Transformada de Fourier de

$$g(t) = \int_{-\infty}^t \exp(-5|t|) \text{sen}(4\pi f_c t) dt$$

# Análise de Fourier

## Aula 4 de 8

### Problema 1

A transformada de Fourier de um sinal é dada pela expressão

$$\frac{1}{2 + j2\pi f} + 5e^{-j\pi f} + \pi f \left[ \delta\left(f - \frac{3}{2}f_c\right) - \delta\left(f + \frac{3}{2}f_c\right) \right]$$

Calcule a transformada inversa, indicando as propriedades utilizadas.

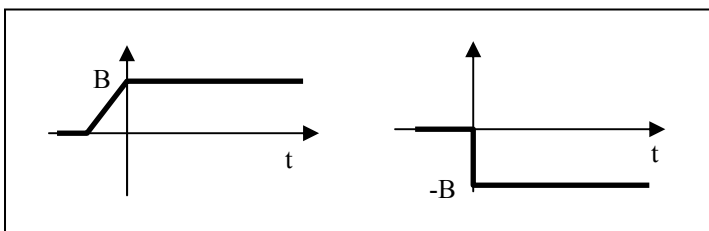
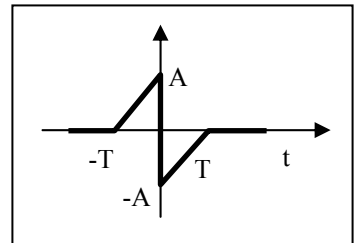
### Problema 2

Atendendo às propriedades da função  $\delta(t)$  demonstre que é válido o par de transformadas, abaixo indicado.

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_0) \leftrightarrow \frac{1}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_0}\right)$$

### Problema 3

Para uma certa comunicação decidiu-se usar o código de linha mostrado na figura à direita para o símbolo “1”. Calcule a ocupação espectral que esse símbolo usa. Para o cálculo note o seguinte: A primeira metade do pulso, a que chamaremos  $g(t)$ , pode ser vista como a soma das duas



funções mostradas à esquerda (em que B está de algum modo ligado a A e T). A metade positiva é igual a  $-g(-t)$  (isto é, menos g de menos t). O pulso total é  $g(t) - g(-t)$ .

### Problema 4

Calcule a transformada de Fourier do seguinte sinal no tempo:

$$g(t) = \sin c(4t_0) \exp(-3|t|) + \sin c(6t) \operatorname{sen}(6\pi f_c t)$$

# Análise de Fourier

## Aula 5 de 8

### Problema 1

Demonstre que para um sinal periódico descrito por

$$g_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} g(t - nT_0)$$

com  $T_0$  a representar o período do sinal, é válida a relação entre os pares de transformadas:

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} g(t - nT_0) \leftrightarrow \frac{1}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} G\left(\frac{n}{T_0}\right) \delta\left(f - \frac{n}{T_0}\right)$$

com

$$G\left(\frac{n}{T_0}\right) = TF(g(t))$$

### Problema 2

Especifique o ritmo de Nyquist e o intervalo de Nyquist para cada um destes sinais de energia:

- $g(t) = \text{sinc}(200t)$
- $g(t) = \text{sinc}^2(200t)$
- $g(t) = \text{sinc}(200t) + \text{sinc}^2(200t)$



## (Análise de Fourier)

### Filtragem e Distorção de Sinal

#### Aula 6 de 8

##### Problema 1

Considere os seguintes sistemas caracterizados pelas respostas impulsivas descritas a seguir:

$$h(t) = \exp(at)u(-t)$$

$$h(t) = \frac{1}{t} \operatorname{sen}(2\pi t)u(t)$$

$$h(t) = \delta(t + t_0) + \delta(t)$$

$$h(t) = \operatorname{sgn}(t)u(t)$$

$$h(t) = \operatorname{rect}\left(\frac{t-t_0}{T}\right)$$

Classifique-os relativamente à estabilidade e causalidade. Justifique a sua resposta.

##### Problema 2

Um sistema caracterizado pela resposta impulsiva

$$h(t) = \frac{2}{T} \operatorname{sinc}\left[\frac{2}{T}(t-t_0)\right]$$

Admitindo que é aplicado um sinal na entrada a este sistema, que condições tem de verificar o sinal de entrada para que não haja distorção? Justifique a sua resposta.

## (Análise de Fourier) Filtragem e Distorção de Sinal

### Aula 7 de 8 – Mini-teste

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

#### Problema 1

Demonstre que o espectro resultante da amostragem com  $f_s = 4W$  de um sinal, de banda limitada  $W$ , é periódico com período  $4W$ . Nas aulas foram deduzidos os passos para o caso de  $f_s = 2W$ . Justifique matematicamente a sua resposta.

#### Problema 2

Calcule a Transformada de Fourier do seguinte sinal:  $g(t) = \text{sinc}(20t)\text{sen}(2\pi f_c t_0) + \frac{1}{16 + 4\pi^2 t^2} + 8$

#### Problema 3

Explique a propriedade de peneira (sifting) generalizada da função dirac delta.

## (Análise de Fourier)

### Densidade Espectral e Correlação

#### Aula 8 de 8

##### Problema 1

Considere um filtro passa baixo ideal com a resposta em amplitude constante e

unitária entre 0 e  $W$  Hz. É aplicado na entrada deste filtro um sinal  $s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_1}\right)$ .  
Em que condições não existe distorção? Justifique a sua resposta.

##### Problema 2

Um sistema tem uma resposta impulsiva descrita por

$$h(t) = \text{rect}\left(\frac{t - t_0}{T/2}\right)$$

Na saída tem o sinal resultante é descrito pela relação  $s(t) \otimes h(t)$ . Diga, justificando, se houve distorção ou não do sinal de entrada. Em caso afirmativo, qual a solução que adoptaria para a evitar? Caracterize no domínio da frequência os blocos que usou para esse efeito.

##### Problema 3

Em que consiste a largura de banda de um sinal?

## Pulse Code Modulation (PCM)

### Aula 1 de 5 – Mini-teste (ainda de Análise de Fourier)

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

#### Problema 1

A densidade espectral de energia de um sinal é

$$\psi(f) = \left(\frac{A}{2w}\right)^2 \text{rect}\left(\frac{f}{2w}\right)$$

Calcule:

- a) a função de autocorrelação.
- b) a energia total do sinal.

#### Problema 2

Mostre que o sinal  $\exp(-4t)u(t)$  e o mesmo sinal atrasado de 10 segundos (tem de escrever a expressão) têm a mesma densidade espectral de energia.

# Pulse Code Modulation (PCM)

## Aula 2 de 5

### Problema 1

Foi realizado um processo de amostragem de um sinal analógico com uma duração de 4.2 minutos, recorrendo-se a quantizações de 8, 16 e 24 bits. A frequência de amostragem é de 8 kHz. Nestas condições calcule o montante de informação gerada para em cada uma das quantizações utilizadas.

### Problema 2

Um sinal sinusoidal de amplitude 3.25 V é aplicado na entrada de um quantizador uniforme do tipo midtread, com níveis de quantização de 0,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ , e  $\pm 3$  V.

- Desenhe a forma de onda resultante na saída do quantizador para um período da onda sinusoidal.
- Repita a alínea anterior mas agora para um quantizador do tipo midriser, com níveis de quantização de  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1,5$ ,  $\pm 2,5$ , e  $\pm 3,5$  V.

### Problema 3

Um certo sinal tem uma variação entre os  $-14$  Volt e os  $14$  Volt. Pretende-se transmiti-lo usando PCM (*Pulse Code Modulation*), mas exige-se que o valor máximo para o erro de quantização seja, quanto muito de  $0,3$  Volt. Quantos intervalos de quantização proporia para o sistema (se necessário, especifique o tipo de quantizador).

### Problema 4

Após a amostragem e quantização de um sinal foi enviada para o canal a sequência de bits apresentada a seguir:

000, 010, 100, 110, 111

Admite-se que a numeração dos níveis de quantização é realizada do nível mais elevado (5 Volt) para o mais baixo e que a diferença entre níveis sucessivos é de cerca de um Volt, com o intervalo de cada amostra a ocupar  $0.001$  ms. Atendendo às condições impostas desenhe a forma de onda que o receptor irá gerar após a quantização.

## Pulse Code Modulation (PCM)

### Aula 3 de 5 – mini-teste

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

#### Problema 1

Admita que após a amostragem de um sinal de gama dinâmica  $A_m$ , utiliza-se um processo de quantização linear. Inicialmente usaram-se 64 níveis de quantização passando posteriormente para 256. Qual o impacto no ruído de quantização?. Compare as relações sinal/ruído de quantização de ambas situações, assumindo que a potência do sinal é  $P_s$ .

#### Problema 2

Explique qualitativamente as consequências de se efectuar a amostragem com pulsos de duração finita em vez de funções dirac-delta. Como se evitam essas consequências?

#### Problema 3

Qual o efeito do companding nas transições suaves do sinal que é amostrado, relativamente ao caso de quantização linear quando o sinal toma valores elevados de tensão e quando toma valores reduzidos de tensão. Discuta o problema do número de níveis de quantização face ao caso linear?

# Pulse Code Modulation (PCM)

## Aula 4 de 5

### Problema 1

Ao visionar uma comunicação em DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*) entre dois terminais, já depois de eles estarem ligados há algum tempo, verificou-se que o transmissor enviava sempre zero. Acha que durante o período de observação houve, de facto, comunicação? Se sim, explique como pode isto acontecer. Se não explique porque é que é impossível isto acontecer.

### Problema 2

A modulação delta pode também originar erros de quantização. Explique que tipos de erros são, como são originados, e como se podem prevenir (ou, pelo menos, reduzir). A frequência com que se tiram amostras do sinal tem alguma influência no processo?

### Problema 3

Admita que tem uma onda sinusoidal de frequência  $f_m$  e amplitude máxima  $A$ , que é aplicada na entrada de um modulador  $\delta$  com passo de  $\pm\delta$ . Demonstre que existe distorção do tipo *slope-overload* sempre que se verifica a desigualdade

$$A > \frac{\delta}{2\pi f_m T_s}$$

onde  $T_s$  representa o período de amostragem.

# Pulse Code Modulation (PCM)

## Aula 5 de 5 – mini-teste

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

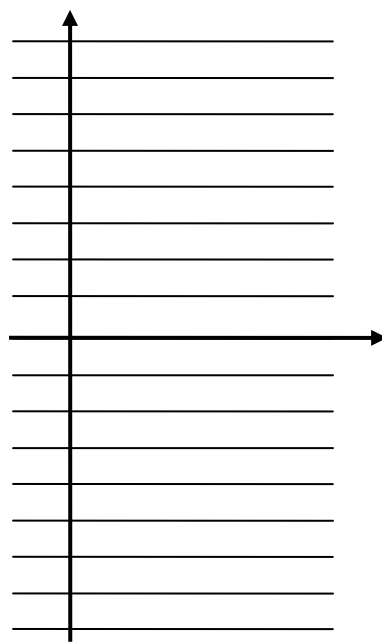
### Problema 1

Imagine um sistema de comunicação DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*) em que o filtro predictor predizia sempre para a amostra seguinte mais 0,5 V do que a amostra anterior (a presente, portanto). Assuma, tal como está no livro, que

$$e(nT_s) = m(nT_s) - \hat{m}(nT_s)$$

Imagine agora que tanto o emissor como o receptor começavam com o sinal em vinte Volt (20 Volt) e que os valores das amostras reais no emissor foram as mostradas na tabela. Assuma ainda que a gama dinâmica para o erro de predição é de -4V a 4V com 16 intervalos, como está mostrado na figura ao lado.

Calcule o valor que o emissor vai querer transmitir para cada amostra, e depois indique o código (número) do intervalo que, de facto, se vai enviar (usando depois um certo código de linha).



| Amostra | Valor (V) |
|---------|-----------|
| 1       | 23,1      |
| 2       | 26,4      |
| 3       | 24,6      |
| 4       | 25,1      |
| 5       | 23,2      |

| Amostra   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|
| Valor (V) |   |   |   |   |   |
| Intervalo |   |   |   |   |   |

### Problema 2

Como resultado da amostragem e quantização de um sinal com 16 níveis, obtiveram-se os seguintes valores (em que a representação é a de potências de  $2 - 2^n$ ):

0, 4, 14, 7

Para transmissão dos bits recorreu-se aos códigos AMI e Unipolar RZ. Represente a forma dos sinais na linha de transmissão, admitindo que os níveis de tensão na linha variam entre 0 e 5 Volt. Qual dos códigos escolheria? Justifique a sua escolha.



# Modulação de Amplitude

## Aula 1 de 3

### Problema 1

1. Um sinal AM (*Amplitude Modulation*) é gerado a partir de um sinal modulante definido por

$$m(t) = 10 \cos(2\pi t)$$

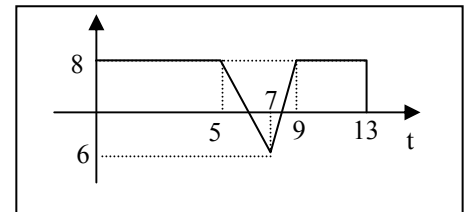
e uma portadora descrita por

$$p(t) = 20 \cos(150\pi t)$$

- Represente a onda AM para um índice de modulação de 65%.
- Qual o índice de modulação máximo para uma situação sem sobre-modulação?

### Problema 2

Modulou-se o sinal mostrado ao lado em AM (*Amplitude Modulation*) standard com um índice de modulação de 150%. Desenhe a forma de onda no tempo da onda modulada.



### Problema 3

Considere um sinal definido pela expressão mostrada abaixo. Pretende-se modular este sinal em AM (*Amplitude Modulation*) standard com uma percentagem de modulação de 90%. Calcule qual deve ser o valor da sensibilidade do modulador a usar, e quais são os valores máximos e mínimos da onda modulada.

$$s(t) = \frac{t}{3+t^2}$$

## Modulação de amplitude

### Aula 2 de 3 – Mini-teste (ainda de TDM)

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

#### Problema 1

Pretende-se multiplexar em TDM (*Time Division Multiplexing*) 10 canais com amostras de 8 bits e que suportem frequências até 64 kHz, mais três canais com ritmos acima de 700 kbps. Calcule:

- a) Qual o ritmo binário de cada um dos 10 canais?
- b) Qual a dimensão mínima das palavras nos canais de 700 Kbps?
- c) Qual o ritmo total mínimo que a linha pode ter?

(AJUDA: Comece por pensar na estrutura da trama a usar)

#### Problema 2

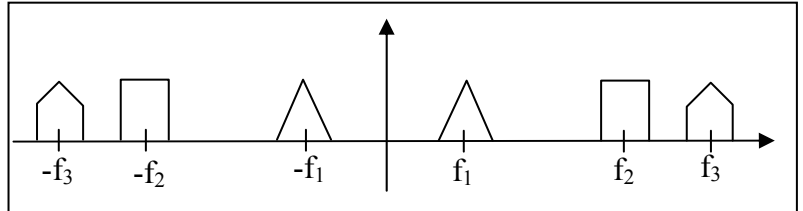
Explique o que é e para que serve um **codec**?

# Modulação de Amplitude

## Aula 3 de 3

### Problema 1

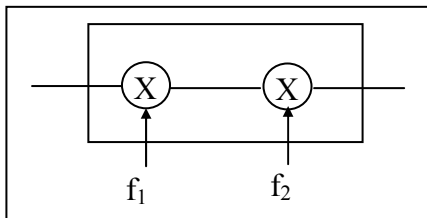
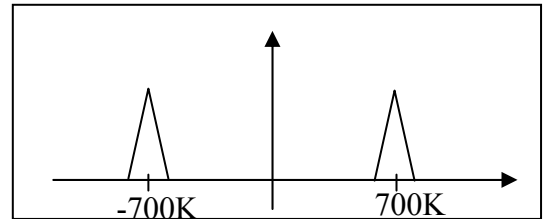
A figura ao lado representa o espectro numa região do País com três estações de rádio activas: 1, 2 e 3. Pretende-se duas respostas a esta pergunta:



primeiro represente o espectro resultante de se fazer uma translação de todo este espectro para colocar a estação 2 numa frequência de 800 kHz, indicando as contas. Depois explique os problemas que isso traz e diga como os poderá evitar. Considere  $f_1 = 300$  kHz,  $f_2 = 1,3$  MHz e  $f_3 = 1,8$  MHz.

### Problema 2

Queria fazer-se uma translação do sinal cujo espectro de amplitude está mostrado na figura ao lado, para a frequência de 1,3 MHz. Quando se foi comprar um misturador



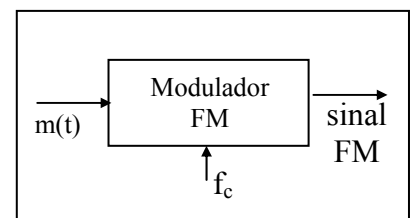
ao mercado só se encontrou o dispositivo mostrado em

baixo, que consiste em dois multiplicadores em série, com a possibilidade de se colocarem os osciladores

que quisermos para as multiplicações. Calcule que osciladores teremos de comprar para se conseguir o objectivo pretendido. Desenhe o espectro à saída do dispositivo usando os valores que definiu.

### Problema 3

Um rádio do tipo “*superheterodino*” trabalha numa frequência intermédia de 450 kHz. Com este rádio pretende-se sintonizar estações AM a emitir na banda dos 526kHz a 1.6MHz. Qual a gama de frequências abrangidas pelo oscilador local? Apresente os cálculos.



# Modulação de Frequência

## Aula 1 de 2

### Problema 1

Considere uma modulação de frequência de um tom único (uma sinusóide com frequência  $f_m$ ). Considere a expressão da onda no tempo e na frequência. Desenhe o espectro ocupado por essa onda considerando uma modulação de banda larga.

- a) A partir dos valores das funções de Bessel, mostrados num gráfico no livro e nas folhas, encontre vários  $\beta$  para os quais o dirac na frequência da portadora não existe.
- b) A partir dos valores das funções de Bessel, mostrados num gráfico no livro e nas folhas, encontre vários  $\beta$  para os quais os dirac nas frequências  $f_c \pm f_m$  não existem.

### Problema 2

Considere uma modulação de frequência de um tom único (uma sinusóide com frequência  $f_m$ ). Imagine agora que se mantém sempre a frequência, mas que se vai aumentando a amplitude da sinusóide. Que efeitos tem este aumento no espectro do sinal modulado?

### Problema 3

Uma sinusóide com frequência de 1kHz e amplitude de 10 V foi modulada em frequência. A sensibilidade do modulador é de 35 Hz/V. A frequência da portadora é de 600 kHz. Calcule a largura de banda do sinal modulado pela regra de Carson.

# Modulação de Frequência

## Aula 2 de 2

### Problema 1

Num sistema FM (*Frequency Modulation*) comercial o desvio de frequência máximo deve de ser de 75 kHz. Vai-se usar o método indirecto no processo de geração da onda FM. Assumindo que queremos que a nossa estação transmita nos 98 MHz, que o sinal que queremos transmitir tem frequências entre os 400 Hz e os 15 kHz e que só temos um multiplicador de frequência, calcule valores possíveis para a frequência da portadora da onda FM de banda estreita e desvio de frequência dessa onda (e consequentemente o valor do índice de modulação) para que isto seja possível. Calcule também a largura de banda usada.

### Problema 2

No caso de uma modulação FM genérica, como é que mediria a largura de banda do sinal? Nesta situação, a regra de *Carson* é aplicável.

### Problema 3

Imagine uma experiência de modulação em FM (*Frequency Modulation*) em que eu posso mudar a amplitude ou a frequência de uma onda sinusoidal a modular,  $m(t)$  (e apenas uma delas). Durante a experiência mudei uma delas e verifiquei que a largura de banda do sinal FM se manteve sensivelmente igual ao longo da mudança. O que é que eu mudei na onda  $m(t)$ : a sua amplitude ou a sua frequência? Justifique a resposta apresentando as fórmulas necessárias e os considerandos em que se baseou para os argumentos.

## Modulação digital

### Aula 1 de 1 – Mini-teste (ainda de AM e FM)

Nome: \_\_\_\_\_ N.º \_\_\_\_\_

#### Problema 1

Pretende-se transmitir um sinal analógico  $m(t)$ . Para este efeito pode-se recorrer ao AM (*Amplitude Modulation*) standard ou ao DSBSC (*Double SideBand Supressed Carrier*). Sabendo que a largura de banda do sinal a transmitir é de 6,4 kHz e que a frequência da portadora é  $f_c$  kHz. Represente os espectros de amplitude associados a cada uma das modulações. Qual a poupança em termos de potência do DSBSC relativamente ao AM standard.

#### Problema 2

Considere que tinha um modulador de FM (*Frequency Modulation*) com uma sensibilidade de 25 kHz/V para modular sinais para uma frequência de portadora de 96 MHz. Pretende modular um sinal com largura de banda entre 300 Hz e 15 kHz. Assumindo que não pode ter um desvio de frequência maior do que 75 kHz, calcule:

- Qual o valor do índice de modulação?
- Qual a largura de banda ocupada pelo sinal?
- Qual deve ser a gama dinâmica do sinal de entrada (o sinal modulante)?

## **4.2 Enunciados dos Trabalhos de Laboratório**

Os enunciados dos trabalhos de Laboratório encontram-se num caderno separado.





### **4.3 Enunciados dos Testes e Exames**





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
 FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
 TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
 Secção de Telecomunicações

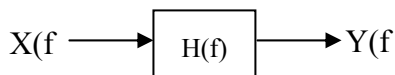
**Introdução às Telecomunicações**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
 Licenciatura em Engenharia Informática  
 Paulo Fonseca Pinto  
 8 de Outubro de 2005  
 1º Teste  
 Semestre Ímpar

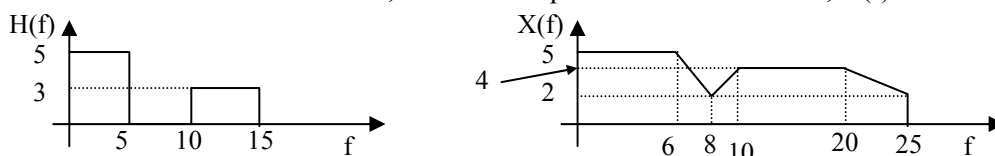
Duração: uma hora

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. Nos 2º e 3º testes é permitido levar uma página A4 que seja uma fotocópia das páginas 625 e 626 do livro recomendado.

1. Considere um sinal constituído por três sinusóides: uma de 400 Hz com amplitude A, outra de 600 Hz com amplitude A/2 e outra de 800 Hz com amplitude A/4. A fase da primeira é de 30°, da segunda de 60° e da terceira de 20°. Desenhe os espectros de amplitude e de fase do sinal
2. Pensando na frequência, imagine um sistema H(f) cuja entrada é X(f) e a saída é Y(f) – tudo na frequência.

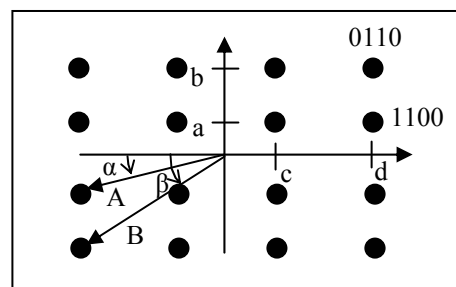


A descrição do sistema H(f) na frequência está mostrada à esquerda em baixo. No caso do sinal X(f) ter um espectro como o indicado em baixo à direita, desenhe o espectro do sinal de saída, Y(f).



3. Considere um sinal com uma largura de banda de B Hz. Considere a sua modulação em amplitude AM (*Amplitude Modulation*) com uma onda portadora de 2 MHz. Considere outra modulação do sinal em PCM (*Pulse Code Modulation*). Para um caso e para outro descreva por palavras as ondas finais obtidas e diga vagamente a largura de banda que ocupam.
4. Numa modulação PCM (*Pulse Code Modulation*) interessa ter intervalos de codificação pequenos ou grandes? Justifique.

5. A figura ao lado mostra o diagrama de constelação de uma modulação 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Imagine que se enviou a sequência 01101100. O ritmo de transmissão foi de 200 símbolos por segundo. Na linha vai uma forma de onda que é a soma das componentes seno e coseno. Para a resposta desenhe a forma do sinal na linha da componente do seno e da componente do coseno separadamente graduando os eixos convenientemente. Use uma frase ou duas por gráfico para explicar qualquer pormenor que seja difícil de desenhar.



6. Pretende-se transportar 45 canais numa linha. Cada amostra do canal tem 8 bits e pretende-se abarcar todas as frequências do sinal até aos 10 kHz. Calcule o ritmo máximo da linha (em bps) que se tem de usar para que isto seja possível. Qual a duração de cada bit?





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
 FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
 TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
 Secção de Telecomunicações

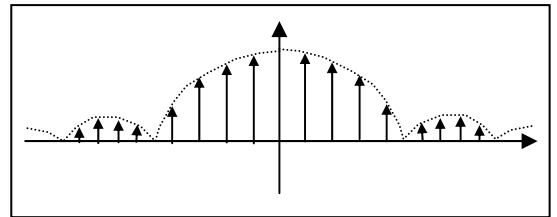
**Introdução às Telecomunicações**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
 Licenciatura em Engenharia Informática  
 Paulo da Fonseca Pinto  
 26 de Novembro de 2005  
 2º Teste  
 Semestre Ímpar

Duração: uma hora e meia

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

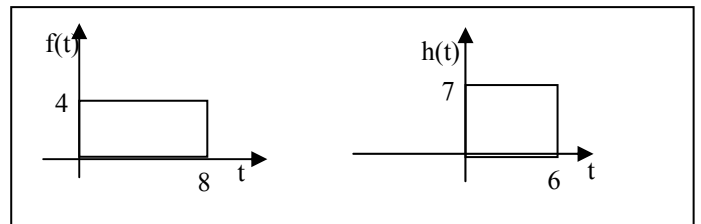
1. O espectro de um certo trem de pulsos é constituído por riscas cuja envolvente é um sinc. Existem quatro riscas entre o zero e o ponto onde o sinc se anula a primeira vez, mas a quinta risca é já depois do ponto onde o sinc se anula a primeira vez. Isto é, não existe nenhuma risca (nem com o valor zero) no ponto onde o sinc se anula a primeira vez (ver figura ao lado). Acha que é possível ter um sinal destes? Se sim, explique as suas características. Se não, explique porquê.



2. Calcule a transformada de Fourier da seguinte função no tempo. Ao longo dos cálculos realizados descreva as propriedades que usou.

$$f(t) = \frac{1}{32 + 8\pi^2 t^2} + \text{sgn}(t + 10) + 8 \cos(4\pi f_c t)$$

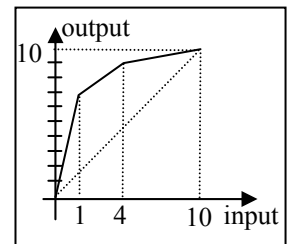
3. A figura ao lado mostra um pulso rectangular e a resposta impulsiva  $h(t)$  de um filtro passa-baixo. Desenhe a forma de onda, no tempo, da saída do filtro.



4. Considerando o filtro passa-baixo da pergunta anterior explique se não existe distorção de sinal, ou se há necessidade de se utilizar um equalizador. Se não existe distorção diga porquê. Se existe, calcule a função de transferência do equalizador.

5. Calcule a densidade espectral de energia do sinal de saída da pergunta 3?

6. Imagine o quantizador que se inventou para ser uma aproximação linear ao método de *companding*, cuja **parte positiva** está **esquematizada** na figura ao lado. Os declives das três curvas são 3, 2 e 1/6 respectivamente. Assumindo que o quantizador é do tipo *midtread* e que **o valor** do passo  $\Delta$  na saída (output na figura) é tal que se tenha 10 intervalos na parte positiva e 10 intervalos na parte negativa (ou dito de um modo mais correcto, dez valores positivos diferentes de saída) para uma gama dinâmica do sinal de -10 a 10 Volt (ou -10,5 a 10,5 Volt caso sinta necessidade). Calcule o passo dos intervalos de saída, e os limites dos intervalos de entrada da parte positiva.



7. Desenhe a forma de onda do sinal produzido pela sequência abaixo usando o código de linha bipolar AMI (*Alternate Mark Inversion*) RZ (*Return to Zero*). Descreva uma vantagem e uma desvantagem deste código.

0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0

8. Imagine um sistema TDM (Time Division Multiplexing) em que definia uma trama que permitisse transmitir 10 canais que transportassem sinais com frequências até 20 kHz e dois canais com frequências até 40 kHz. Cada amostra tem 8 bits e não há bits de sincronismo nem de sinalização.

- Desenhe o formato da trama que utilizaria (mostrando os canais).
- Calcule o ritmo binário da linha.





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Secção de Telecomunicações

**Introdução às Telecomunicações**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Licenciatura em Engenharia Informática

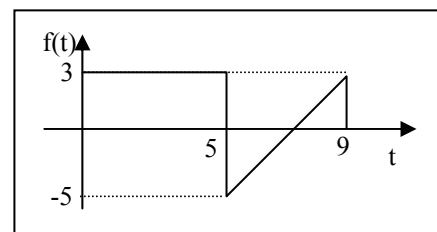
Paulo da Fonseca Pinto  
12 de Dezembro de 2005

3ª Teste  
Semestre ímpar

Duração: Uma hora e meia

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

1. Considere o sinal mostrado na figura ao lado. Desenhe a forma de onda da onda modulada em AM (*Amplitude Modulation*) standard com uma percentagem de modulação de 80%. A onda portadora tem um  $A_c$  igual a 2 Volt. Não se esqueça de graduar os eixos correctamente.



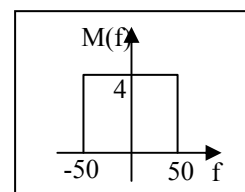
2. Imagine que tinha um circuito não-linear cúbico cuja saída  $v_0$  é dada pela seguinte expressão:

$$v_0 = a_1 v_1 + a_3 v_1^3$$

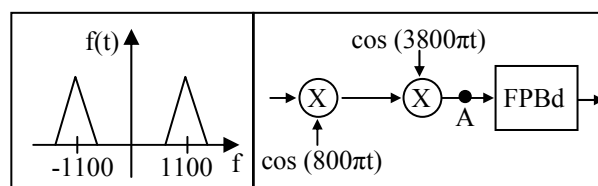
Colocando à entrada a soma da onda portadora com o sinal ( $v_1 = \cos(2\pi f_c t) + m(t)$ ) a saída tem a seguinte expressão:

$$v_0 = a_1 \cos(2\pi f_c t) + a_1 m(t) + \frac{a_3}{2} \cos(2\pi f_c t) + \frac{a_3}{4} \cos(2\pi f_c t) + \frac{a_3}{4} \cos(6\pi f_c t) + \frac{3a_3}{2} m(t) + \frac{3a_3}{2} m(t) \cos(4\pi f_c t) + 3a_3 m^2(t) \cos(2\pi f_c t) + a_3 m^3(t)$$

- a) Considerando que o sinal tem a ocupação espectral da figura ao lado, desenhe a ocupação espectral na saída do circuito. Seja preciso nos valores limites das formas das ocupações espectrais e pode não ser tão preciso nas formas propriamente ditas.  
b) Explique, justificando muito bem, se o circuito pode ser usado como um modulador de AM Standard e em que condições. Explique o mesmo mas agora como um modulador de DSBSC (*Double SideBand Suppressed Carrier*). Nos casos afirmativos indique também quais as frequências das portadoras para cada caso.

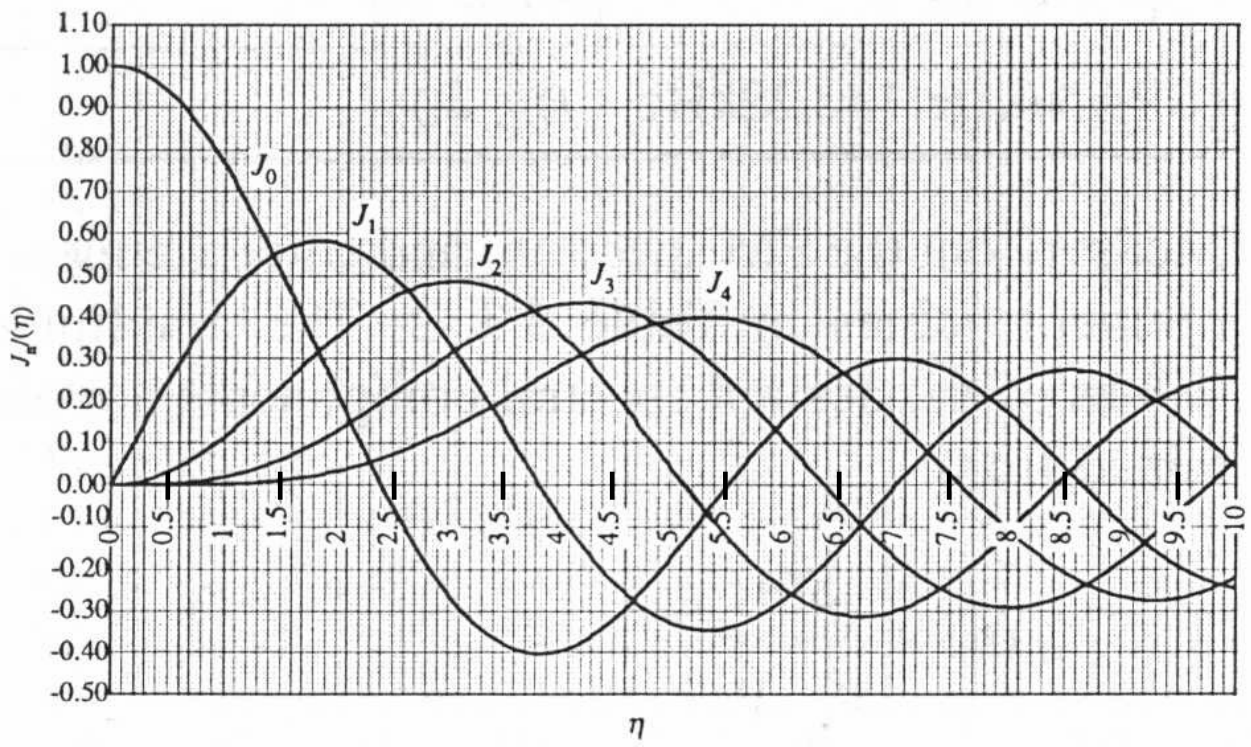


3. Explique para que serve e como funciona o *Costas Loop*.  
4. Decidiu-se transladar o sinal  $f(t)$  na frequência utilizando o circuito mostrado ao lado. Desenhe o espectro obtido no ponto A. Que valores pode considerar para a frequência central do filtro passa-banda final? Justifique.



5. Modulou-se um tom único com a frequência de  $f_m=850$  Hz, e  $A_m=3$  Volt em frequência com uma portadora de 120 MHz e  $A_c=2$  Volt. Seguidamente usaram-se apenas as quatro primeiras harmónicas (até ao  $J_4(\beta)$  portanto). Verificou-se que a largura de banda do sinal era de 5100 Hz. O que pode dizer de todo este processo (isto é, calcule os parâmetros que achar necessários)? Se sentir utilidade pode usar o diagrama das funções de Bessel no verso.  
6. Explique o funcionamento da detecção de ondas FM (*Frequency Modulation*) pelo método de detecção de passagens por zero. Explique como calcularia o valor para o intervalo de observação.  
7. Imagine que está a visualizar uma onda QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*). Que características tem essa onda que lhe permitam dizer que é um QPSK?  
8. Um circuito de detecção de ondas MSK (*Minimum Shift Keying*) produziu a sequência mostrada abaixo. Calcule a sequência de bits transmitida.

$$\begin{matrix} \cos[\varphi(6T_b)]=1 & \text{sen} [\varphi(T_b)]=1 & \cos[\varphi(2T_b)]=-1 & \text{sen} [\varphi(3T_b)]=-1 & \cos[\varphi(4T_b)]=-1 & \text{sen} [\varphi(5T_b)]=1 \\ \cos[\varphi(12T_b)]=-1 & \text{sen} [\varphi(7T_b)]=-1 & \cos[\varphi(8T_b)]=-1 & \text{sen} [\varphi(9T_b)]=1 & \cos[\varphi(10T_b)]=1 & \text{sen} [\varphi(11T_b)]=-1 \end{matrix}$$







UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Secção de Telecomunicações

### Introdução às Telecomunicações

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Licenciatura em Engenharia Informática  
Paulo da Fonseca Pinto  
27 de Janeiro de 2006  
2º teste - Repescagem  
Semestre ímpar

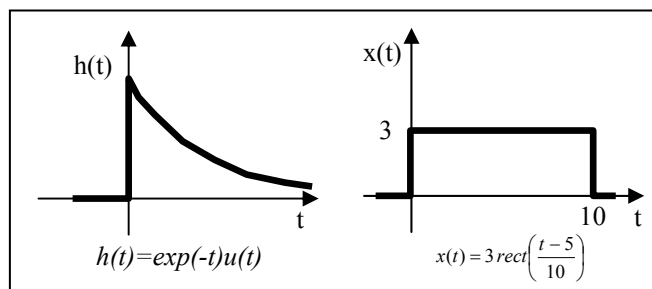
Duração: uma hora e meia

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

- Imagine que tem dois sinais periódicos distintos,  $f(t)$  e  $g(t)$ , e que calcula as séries de Fourier para cada uma deles obtendo duas séries infinitas de senos e cossenos,  $f_p(t)$  e  $g_p(t)$ . Que diferenças e que semelhanças têm  $f_p(t)$  e  $g_p(t)$ ?
- Um certo sinal no tempo tem a seguinte transformada de Fourier. Calcule que sinal é esse.

$$G(f) = \frac{8}{16 + j2\pi(f - 400)} + \frac{8}{16 + j2\pi(f + 400)} + 10\delta(f) + \frac{1}{j\pi f}$$

- A figura ao lado mostra duas funções. A primeira é a resposta impulsiva de um sistema,  $h(t)$ , e a segunda o sinal que é colocado à sua entrada,  $x(t)$ . Pretende-se saber qual o valor da saída do sinal no instante  $\tau = 2$  seg. Dito de outro modo, qual o valor do integral de convolução no ponto  $\tau = 2$  seg (Sugestão: se preferir, pode fazer o cálculo geometricamente mostrando todos os passos relevantes).



- Calcule a Densidade Espectral de Energia do sinal de saída da pergunta anterior.
- Num sistema PCM (*Pulse Code Modulation*) descreva a nível de blocos o funcionamento do receptor. Identifique cada bloco, dizendo depois o que ele tem à sua entrada, o que faz e o que produz à saída para o bloco seguinte.
- Explique as maiores vantagens e desvantagens do código de linha designado por bipolar return to zero (BRZ). Desenhe a forma de onda para a seguinte sequência binária.

0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0

- Na tabela ao lado estão mostrados seis instantes de amostragem de um sistema DPCM (*Differential Pulse Code Modulations*). Estão listados os valores preditos seguidos dos valores reais obtidos na amostra. Considere que tem 16 níveis de codificação proporcionados por um quantizador midtread com uma gama dinâmica de saída de 7,5 Volt. Assuma que a identificação dos intervalos começa no intervalo de topo (4 Volt) e que se usam números binários que expressam a soma de potências de 2 do identificador do intervalo. Primeiro escreva a identificação das saídas possíveis do quantizador e depois calcule a sequência binária das amostras da figura.

| i | prev. | real  |
|---|-------|-------|
| 1 | 25,3  | 27,2  |
| 2 | 12,8  | 9,4   |
| 3 | 26,4  | 28,2  |
| 4 | 0,2   | -2,1  |
| 5 | 13,2  | 15,3  |
| 6 | -16,4 | -14,2 |

- Numa linha com um ritmo binário de 19,912 Mbps pretende-se colocar sete canais que permitam o transporte de sinais até uma frequência de 38 kHz, com oito bits por amostra, mais um canal de sinalização e sincronismo de 380 kbps, ficando o restante para três canais de dados iguais. Responda às seguintes questões: (a) Desenhe o formato de trama que utilizaria; (b) qual o ritmo binário de cada canal de dados?





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
 FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
 TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
 Secção de Telecomunicações

**Introdução às Telecomunicações**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
 Licenciatura em Engenharia Informática

Paulo da Fonseca Pinto

27 de Janeiro de 2006

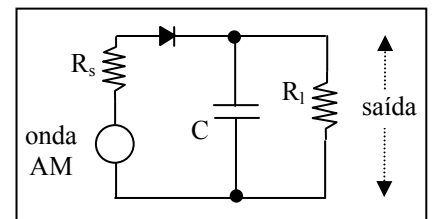
3º teste – Repescagem

Semestre ímpar

Duração: uma hora e meia

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

1. Para a recepção de ondas moduladas em AM (*Amplitude Modulation*) standard é habitual usar-se um detector de envolvente como o mostrado na figura ao lado. Descreva primeiro como ele funciona de um modo geral. Depois, explique de um ponto de vista electrónico (baseado na figura) como se obtém o comportamento e que problemas podem existir se a grandeza dos componentes não for a correcta.



2. O receptor da pergunta anterior pode ser usado para ondas moduladas em DSBSC (*Double-Sideband Suppressed-Carrier*)? Justifique. Que moduladores usaria então? Para a onda DSBSC  $A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)$  calcule a expressão da forma de onda desmodulada para o caso do receptor ter uma defasagem de  $\pi/4$ .

3. Imagine a seguinte onda DSBSC

$$s(t) = m(t) \cos(1700 \pi t)$$

É nítido ver que a frequência central dela está nos 850 kHz. Pretende-se mudar essa onda para os 1,2 MHz. Como sabe, pensar no tempo ou na frequência é equivalente. Assim, calcule a transformada de Fourier da onda inicial, faça a operação que tiver de fazer e calcule a expressão na frequência da onda obtida. Deve depois ser fácil dizer que parte é que deve aproveitar e que parte deve cortar com um filtro. Apresente cuidadosamente os cálculos efectuados. Assuma que  $TF[m(t)] = M(f)$ .

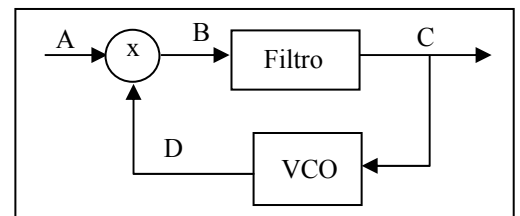
4. No modo indirecto de geração de ondas FM, gera-se primeiro uma onda FM de banda estreita, usando valores muito pequenos de  $\beta$ . A expressão geral de uma onda FM é  $s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$ , com  $\phi(t)$  relacionado com o integral do sinal. Ora, para valores muito pequenos de  $\beta$  são válidas as seguintes aproximações:  $\cos(\phi(t)) \approx 1$ ;  $\sin(\phi(t)) \approx \phi(t)$ . Demonstre que existe uma modulação de amplitude residual.

5. Considere uma modulação de frequência do seguinte sinal de tom único

$$m(t) = 40 \cos(2\pi 300t)$$

A sensibilidade do modulador é de 45 kHz/V. Pretende-se transmitir nove diracs desse sinal (o dirac na portadora e mais oito). Qual a largura de banda que o sinal vai ocupar?

6. A figura ao lado representa um PLL (*Phase-locked Loop*). Considere que a frequência da portadora do sinal modulado em frequência é  $f_c$ . O sinal tem uma frequência máxima  $f_m$ . Nos pontos assinalados explique que frequências têm os sinais que por lá passam.



7. Considere que poderia escolher entre as modulações digitais ASK e 16-QAM. Para efeitos de recepção tem-se à disposição um bloco quadrador. Qual a modulação que adoptaria para tornar o receptor mais simples? Que blocos acrescentaria para completar o circuito de recepção. Justifique a sua resposta detalhadamente. De que tipo de recepção se trata, coerente ou não coerente?

v.s.f.f.

8. Considere a constelação 4-QAM representada na figura ao lado. Admita uma atribuição de díbits aos pontos no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio começando no primeiro quadrante. Calcule agora a sequência de díbits que foi transmitida se se verificar no canal as seguintes amplitudes em fase e em quadratura.

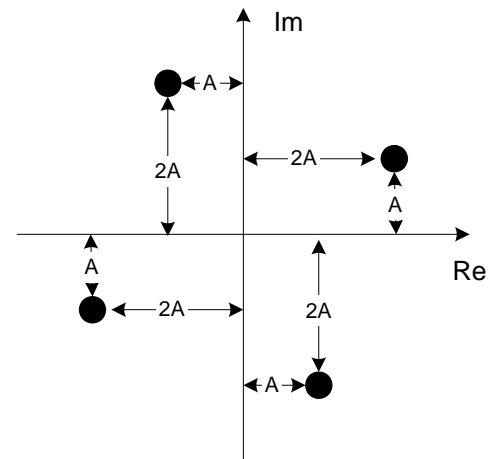
Componente em fase

$2A, -2A, -A, A$

Componente em quadratura

$A, -A, 2A, -2A$

Esta constelação pode ser associada a uma modulação QPSK (*QuadriPhase Shift Keying*)? Justifique. Em caso afirmativo, qual o diagrama de fases correspondente?





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Secção de Telecomunicações

### Introdução às Telecomunicações

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Licenciatura em Engenharia Informática  
Paulo da Fonseca Pinto  
27 de Janeiro de 2006  
Exame Final – Época Normal  
Semestre ímpar

Duração: três horas

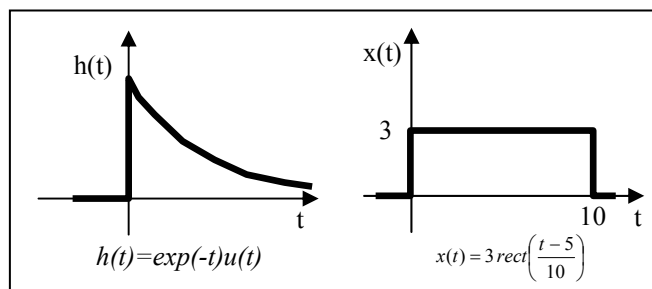
Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

1. Os sinais periódicos são sinais de potência. Explique o que entende por sinais de potência e mostre (matematicamente) que um sinal periódico é um sinal de potência.

2. Um certo sinal no tempo tem a seguinte transformada de Fourier. Calcule que sinal é esse.

$$G(f) = \frac{8}{16 + j2\pi(f - 400)} + \frac{8}{16 + j2\pi(f + 400)} + 10\delta(f) + \frac{1}{j\pi f}$$

3. A figura ao lado mostra duas funções. A primeira é a resposta impulsiva de um sistema,  $h(t)$ , e a segunda o sinal que é colocado à sua entrada,  $x(t)$ . Pretende-se saber qual o valor da saída do sinal no instante  $\tau = 2$  seg. Dito de outro modo, qual o valor do integral de convolução no ponto  $\tau = 2$  seg (Sugestão: se preferir, pode fazer o cálculo geometricamente mostrando todos os passos relevantes).



4. Calcule a Densidade Espectral de Energia do sinal de saída da pergunta anterior.

5. Num sistema PCM (*Pulse Code Modulation*) descreva a nível de blocos o funcionamento do receptor. Identifique cada bloco, dizendo depois o que ele tem à sua entrada, o que faz e o que produz à saída para o bloco seguinte.

6. Explique as maiores vantagens e desvantagens do código de linha designado por bipolar return to zero (BRZ). Desenhe a forma de onda para a seguinte sequência binária.

0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0

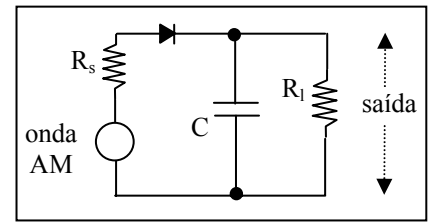
7. Na tabela ao lado estão mostrados seis instantes de amostragem de um sistema DPCM (*Differential Pulse Code Modulations*). Estão listados os valores preditos seguidos dos valores reais obtidos na amostra. Considere que tem 16 níveis de codificação proporcionados por um quantizador midtread com uma gama dinâmica de saída de 7,5 Volt. Assuma que a identificação dos intervalos começa no intervalo de topo (4 Volt) e que se usam números binários que expressam a soma de potências de 2 do identificador do intervalo. Primeiro escreva a identificação das saídas possíveis do quantizador e depois calcule a sequência binária das amostras da figura.

| i | prev. | real  |
|---|-------|-------|
| 1 | 25,3  | 27,2  |
| 2 | 12,8  | 9,4   |
| 3 | 26,4  | 28,2  |
| 4 | 0,2   | -2,1  |
| 5 | 13,2  | 15,3  |
| 6 | -16,4 | -14,2 |

8. Numa linha com um ritmo binário de 19,912 Mbps pretende-se colocar sete canais que permitam o transporte de sinais até uma frequência de 38 kHz, com oito bits por amostra, mais um canal de sinalização e sincronismo de 380 kbps, ficando o restante para três canais de dados iguais. Responda às seguintes questões: (a) Desenhe o formato de trama que utilizaria; (b) qual o ritmo binário de cada canal de dados?

v.s.f.f.

9. Para a recepção de ondas moduladas em AM (*Amplitude Modulation*) standard é habitual usar-se um detector de envolvente como o mostrado na figura ao lado. Descreva primeiro como ele funciona de um modo geral. Depois, explique de um ponto de vista electrónico (baseado na figura) como se obtém o comportamento e que problemas podem existir se a grandeza dos componentes não for a correcta.



10. O receptor da pergunta anterior pode ser usado para ondas moduladas em DSBSC (*Double-Sideband Suppressed-Carrier*)? Justifique. Que moduladores usaria então? Para a onda DSBSC  $A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)$  calcule a expressão da forma de onda desmodulada para o caso do receptor ter uma defasagem de  $\pi/4$ .

11. Imagine a seguinte onda DSBSC

$$s(t) = m(t) \cos(1700 \pi t)$$

É nítido ver que a frequência central dela está nos 850 kHz. Pretende-se mudar essa onda para os 1,2 MHz. Como sabe, pensar no tempo ou na frequência é equivalente. Assim, calcule a transformada de Fourier da onda inicial, faça a operação que tiver de fazer e calcule a expressão na frequência da onda obtida. Deve depois ser fácil dizer que parte é que deve aproveitar e que parte deve cortar com um filtro. Apresente cuidadosamente os cálculos efectuados. Assuma que  $TF[m(t)] = M(f)$ .

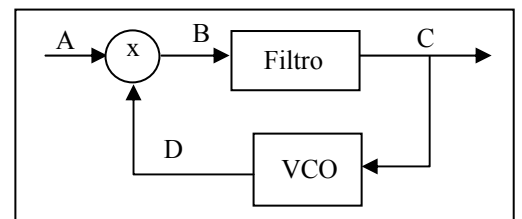
12. No modo indirecto de geração de ondas FM, gera-se primeiro uma onda FM de banda estreita, usando valores muito pequenos de  $\beta$ . A expressão geral de uma onda FM é  $s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$ , com  $\phi(t)$  relacionado com o integral do sinal. Ora, para valores muito pequenos de  $\beta$  são válidas as seguintes aproximações:  $\cos(\phi(t)) \approx 1$ ;  $\sin(\phi(t)) \approx \phi(t)$ . Demonstre que existe uma modulação de amplitude residual.

13. Considere uma modulação de frequência do seguinte sinal de tom único

$$m(t) = 40 \cos(2\pi 300t)$$

A sensibilidade do modulador é de 45 kHz/V. Pretende-se transmitir nove diracs desse sinal (o dirac na portadora e mais oito). Qual a largura de banda que o sinal vai ocupar?

14. A figura ao lado representa um PLL (*Phase-locked Loop*). Considere que a frequência da portadora do sinal modulado em frequência é  $f_c$ . O sinal tem uma frequência máxima  $f_m$ . Nos pontos assinalados explique que frequências têm os sinais que por lá passam.



15. Considere que poderia escolher entre as modulações digitais ASK e 16-QAM. Para efeitos de recepção tem-se à disposição um bloco quadrador. Qual a modulação que adoptaria para tornar o receptor mais simples? Que blocos acrescentaria para completar o circuito de recepção. Justifique a sua resposta detalhadamente. De que tipo de recepção se trata, coerente ou não coerente?

16. Considere a constelação 4-QAM representada na figura ao lado. Admita uma atribuição de dibits aos pontos no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio começando no primeiro quadrante. Calcule agora a sequência de dibits que foi transmitida se se verificar no canal as seguintes amplitudes em fase e em quadratura.

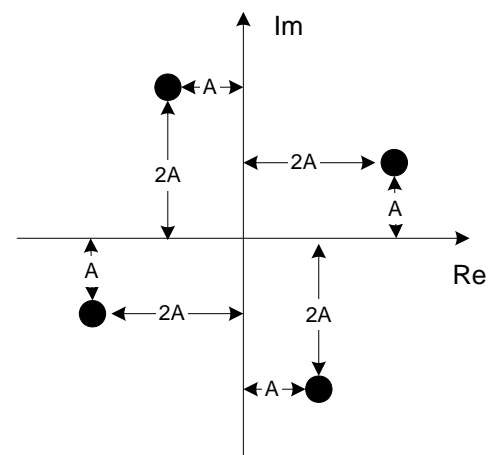
Componente em fase

$$2A, -2A, -A, A$$

Componente em quadratura

$$A, -A, 2A, -2A$$

Esta constelação pode ser associada a uma modulação QPSK (*QuadriPhase Shift Keying*)? Justifique. Em caso afirmativo, qual o diagrama de fases correspondente?





UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E  
TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Electrotécnica  
Secção de Telecomunicações

### Introdução às Telecomunicações

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Licenciatura em Engenharia Informática

Paulo Montezuma de Carvalho

4 de Fevereiro de 2006

Exame Final – Época de Recurso

Semestre ímpar

Duração: três horas

Responda às perguntas individualmente, e de um modo sucinto. Limite primeiramente as respostas aos pontos essenciais, e depois, no final, complete-as. **É permitido levar fotocópias das páginas 624, 625 e 626 do livro recomendado.**

1. Num trabalho de laboratório foi experimentada uma multiplexagem de dois sinais PAM (*Pulse Amplitude Modulation*). Pretende-se agora multiplexar no tempo, 6 sinais PAM. Também é desejável evitar a existência de uma componente DC. Invente uma forma de impulsos PAM a usar e desenhe-a. Justifique detalhadamente a sua resposta.

2. Calcule a transformada de Fourier do seguinte sinal, em que  $i = T/6$ . Ao longo dos cálculos vá escrevendo as propriedades que usou.

$$\delta(t - iT) * \text{rect}\left(\frac{t}{T/3}\right) - \delta(t + iT) * \text{rect}\left(\frac{t}{T/3}\right) + \text{sen}^2(\pi f_c t) + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\pi f_c t)$$

\* - convolução

3. Explique em que consiste um sistema estável e causal.

4. Comente, justificando a afirmação apresentada a seguir:

Um sinal de energia é necessariamente limitado na frequência (isto é, ocupa uma banda finita W Hz)

5. Um sinal  $x(t) = \text{rect}(0, 1t)$  é aplicado na entrada de um sistema, caracterizado pela resposta impulsiva

$$h(t) = \delta(t - 5) + \delta(t)$$

Qual a largura de banda do sinal  $x(t)$ ? Calcule a densidade espectral de energia na saída do sistema.

6. Um impulso descrito por  $x(t) = A \cos(2\pi f_c t)$  com  $0 \leq t \leq T$ , é aplicado na entrada de um filtro com a resposta na frequência  $H(f) = \text{rect}(fT_h)$ . Existe distorção à saída? Existe alguma condição a impor relativamente a  $H(f)$ , de forma a que não haja distorção? Justifique matematicamente a sua resposta.

7. Um sinal com uma gama dinâmica alta, elevada taxa de variabilidade e largura de banda de 20 KHz, é amostrado e quantizado com recurso a 16 bits por amostra. Qual o ritmo binário necessário para transmissão deste sinal. Devido a restrições de banda, verificou-se que o canal não suportava o ritmo de transmissão necessário. Será possível recorrer a uma modulação Delta? Neste caso como procederia para minimizar a distorção e consequentemente o erro de quantização?

8. É usual afirmar que um detector de envolvente de um sinal AM (*Amplitude Modulation*) só funciona quando  $|k_a m(t)| < 1$ . No entanto, se  $m(t) \geq 0, \forall t$  o detector de envolvente funciona mesmo com  $|k_a m(t)| > 1$ . Explique porquê.

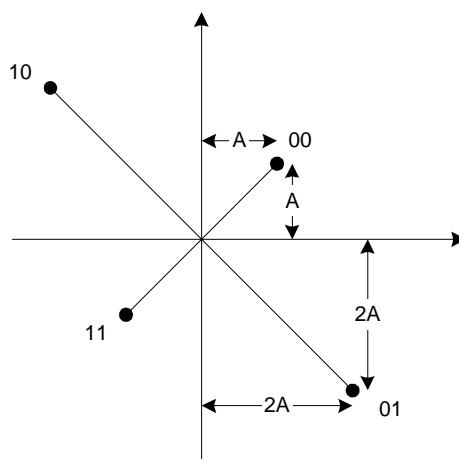
9. Considere um sinal DSBSC (*Double SideBand Supressed Carrier*) descrito segundo a expressão  $s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)$ , onde  $A_c \cos(2\pi f_c t)$  é a portadora e  $m(t)$  o sinal de banda estreita. Este sinal é aplicado a um quadrador com uma saída caracterizada por  $y(t) = s^2(t)$ .

A saída é aplicada a um filtro passa banda centrado na frequência da portadora e com uma largura de banda reduzida  $\Delta f$  de forma que o sinal seja constante na banda passante do filtro. Nestas condições:

- descreva analiticamente o espectro do sinal obtido na saída do quadrador;
- caracterize analiticamente a saída do filtro em função da energia do sinal de banda estreita  $m(t)$ ;

v.s.f.f.

10. Considere um sistema de transmissão digital baseado numa modulação PSK (*Phase Shift Keying*) com amplitudes  $\pm A$ . Para efeitos de transmissão considera-se igualmente a hipótese de utilizar uma modulação 2-PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) com amplitudes 0 e A. Em que situação se pode recorrer a uma recepção não coerente? Qual a mais eficiente em termos energéticos?
11. Admita que tem um circuito Costas Loop no receptor coerente **QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*). Verificou-se que este funciona deficientemente, existindo sempre um erro de fase de  $\pi/2$ . Quais os valores das saídas de cada um dos filtros passa baixo. Será que pode usar este receptor? Em caso afirmativo quais as condições a impor?
12. Um sinal FM (*Frequency Modulation*) com a portadora na frequência 93.2 Mhz e um desvio de frequência igual a 80 kHz é gerado pelo método indirecto, com recurso a um modulador com uma sensibilidade igual a 45 Hz/Volt, e, dois multiplicadores de frequência com  $n_1=40$  e  $n_2=50$  (sem misturador, e conseqüentemente sem translação na frequência). A banda do sinal original está compreendida entre 100 Hz e 16.5 KHz. Admitindo simetria na amplitude do sinal, obtenha nestas condições a gama dinâmica do sinal original e o desvio de frequência do sinal FM antes dos multiplicadores (o sinal FM de banda estreita). Qual o valor de  $\beta$ ? Será aplicável, face ao valor de  $\beta$ , a regra de Carson, no cálculo da largura de banda do sinal FM de banda estreita? Justifique a sua resposta.
13. Comente a seguinte afirmação: “ A maior qualidade da modulação FM face à AM acarreta maiores custos na construção dos receptores”. Justifique a sua resposta.
14. A modulação digital QPSK (Quadri-Phase Shift Keying) pode ser formada por duas modulações PSK (*Phase Shift Keying*) em quadratura. Admite-se que na componente em fase o bit 1 corresponde a 5 Volt e o bit 0 a -5 Volt. Na componente em quadratura a correspondência entre bits e tensões vem invertida. Desenhe a constelação QPSK, indicando o mapeamento e coordenadas de cada um dos símbolos.
15. Para efeitos de implementação de um sistema de comunicação digital encontram-se à disposição a constelação da figura abaixo, bem como todas as constelações derivadas desta por meio de translações ou rotações. Para a constelação da figura, quais as grandezas intervenientes no processo de decisão dos díbits? Será possível efectuar uma decisão em separado de cada um dos bits que compõem o díbit? Obtenha agora uma constelação (usando translações e/ou rotações) de forma que a única grandeza interveniente no processo de decisão seja a amplitude.





## **V. Resultados – Relatório da Frequência da Disciplina**

### **5.1 Identificação da Disciplina**

#### **Relatório sobre a disciplina de Introdução às Telecomunicações no ano lectivo 2005/06**

A disciplina de Introdução às Telecomunicações, é uma disciplina do 1º Semestre do 2º Ano da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, sendo também oferecida como opção à Licenciatura em Engenharia Informática.

A disciplina funcionou com quatro turmas teórico-práticas e sete turmas de laboratório. O laboratório da disciplina é o 3.4 – Ed. X.

### **5.2 Corpo Docente**

**Paulo da Fonseca Pinto  
Paulo Montezuma  
Rodolfo Oliveira**

### **5.3 Descrição Geral**

A disciplina é composta por uma parte teórica-prática e uma parte laboratorial. A parte teórica-prática cobriu a área de sinais e sistemas, modulação por pulsos, modulação analógica e modulação digital. Tal como nos anos anteriores começa com o capítulo de introdução onde são explicados os conceitos mais importantes de todos os outros capítulos numa forma intuitiva sem o auxílio da Matemática. O objectivo é os alunos perceberem o porquê e o como da utilização de ferramentas analíticas para se estudarem estes problemas, e quais são realmente os problemas.

A parte laboratorial é composta por 9 trabalhos executados em 12 aulas. Os alunos têm de fazer uma leitura prévia dos guias de trabalho até ao ponto onde começam as experiências e executar algumas deduções nalguns trabalhos. O objectivo da parte laboratorial é acompanhar a passo e passo a parte teórico-prática de modo aos alunos irem percebendo toda a aplicabilidade dos conceitos estudados.

O modo de funcionamento da disciplina tem sofrido alterações ao longo dos anos para tentar melhorar a percentagem de aproveitamento dos alunos. Pensa-se que se chegou a um modo muito aceitável o ano passado e a disciplina decorreu este ano nos mesmos moldes. No entanto, o tipo de matéria que versa tem um grau de dificuldade razoável e implica um estudo continuado dos alunos. Como se verá a seguir, quando tal acontece os alunos têm aproveitamento. Infelizmente, o hábito de estudar continuamente não é uma característica do Secundário e os alunos tendem a demorar tempo até o conseguirem. A consequência, de um modo geral, é a percentagem de aprovações com base nos alunos inscritos ser muito fraca. Tem-se

consciência que a exigência da disciplina é ligeiramente acima da média e o tipo de matéria não ajuda a grandes percentagens de aprovação. No entanto, os alunos devem apreciar o facto da exigência ser grande, porque os “obriga” a aprender e ajuda a dignificar o curso. Nos tempos tão conturbados e difíceis como os actuais, com altos níveis de desemprego generalizado, é agradável e seguramente muito valioso para os alunos saberem que a LEEC é reconhecida pelas empresas do mercado e o desemprego dos seus licenciados é nulo. A LEEC atingiu este patamar num período muito curto de tempo e largá-lo pode significar um longo período até o conseguir novamente com o prejuízo dos Licenciados que se formarão durante esse tempo. Deste modo, só espero que a consciência dos alunos para estes aspectos vá sendo aumentada, assim como os seus métodos de estudo para que no futuro percentagem de aprovações vá aumentando.

Um pouco na brincadeira se poderá dizer que o corpo docente cá estará para aumentar a exigência nessa altura...

### 5.4 Observações Gerais

A primeira observação é que é o segundo ano em que a disciplina decorre no segundo ano da Licenciatura. O reflexo disso é o número relativamente baixo de alunos inscritos devido às naturais retenções do primeiro ano.

De um modo geral a disciplina decorreu sem problemas de grande dimensão e cumpriram-se os objectivos propostos.

A avaliação da parte teórica podia ser feita de dois modos: distribuído ou centralizado. No modo distribuído existem três testes. No modo centralizado um exame final. Para qualquer dos modos existiu ainda a possibilidade de se fazer um exame de recurso. As aulas teórico-práticas incluíram 8 mini-testes para os alunos se irem apercebendo da sua evolução ao longo do semestre, e que são contabilizados obrigatoriamente para a avaliação distribuída, e opcionalmente para a parte centralizada.

Em virtude do tipo de conteúdo da disciplina, a avaliação teórica é feita essencialmente por testes. A necessidade do uso da primeira parte da disciplina para as técnicas da segunda parte (modulações) faz com que seja necessário dominar a primeira parte logo a seguir à matéria ser dada. A opção de exame final cria nos alunos uma menor pressão ao longo do semestre que depois é fatal no estudo total para o exame. Como o grau de profundidade das perguntas é semelhante, a taxa de aprovações em exame é quase nula.

Os testes e exames centram-se, tal como nos anos anteriores, em: perguntas directas de aplicação analítica, perguntas de compreensão de conceitos em que se exigem respostas claras mas que podem ser de dois tipos – explicação para especialistas, ou explicação para não especialistas, perguntas directas de conceitos dados, e finalmente aplicabilidade dos assuntos estudados a casos concretos do dia a dia de um Engenheiro Electrotécnico.

No que respeita a coordenação entre disciplinas, as datas dos testes que foram decididas em reunião de coordenação de licenciatura foram cumpridas.

## 5.5 Aulas

### 5.5.1. Aulas teórico-práticas

O ano lectivo 2005/06 foi o segundo ano em que decorreram as aulas teórico-práticas. Estas aulas decorreram normalmente e houve apenas uma substituição do docente por uma semana devido a outros compromissos académicos. = Foi também o segundo ano em que decorreram as aulas teórico-práticas e os alunos que não desistiram ao longo do semestre tiveram uma grande assiduidade a essas aulas. O facto das turmas terem um máximo de 40 alunos permitiu um ensino mais dirigido. Os alunos puderam seguir a matéria de uma forma mais chegada e aqueles que não desistiram ao longo do semestre tiveram uma grande assiduidade a essas aulas.

Esta disciplina tem algumas características muito específicas: começa com a Introdução que motiva bastante os alunos e, devido à sua simplicidade e ao facto de tratar de assuntos tão diferentes daqueles que os alunos estão habituados torna-a interessante no início. A facilidade do 1º teste também é motivadora mas pode induzir os alunos num sentimento de que não é necessário estudar bastante.

A parte de Sinais e Sistemas, que é a matéria a seguir à Introdução, chega como um choque para os alunos. É nesta parte que muitos alunos deixam a matéria avançar demasiado sem a acompanharem com estudo. A partir deste capítulo, e depois com mais intensidade, logo que saem os resultados do 2º teste, as desistências começam a ocorrer.

Para os alunos que acompanham a matéria o aproveitamento das aulas teórico-práticas é satisfatório.

### 5.5.2. Aulas de Laboratório

As aulas de laboratório decorreram de acordo com o planeamento. Em anos anteriores (que não o ano passado) foi dada mais importância aos alunos acabarem os trabalhos em vez de se prosseguir para novos trabalhos. Isso teve algumas consequências nefastas: a quebra de sincronização entre a parte teórica e a parte prática, fazendo com que o efeito ilustrativo e motivador do laboratório se perdesse um pouco; a realização de trabalhos sobre temas para os quais já tinha havido um teste. Neste caso, se por um lado os alunos estavam mais informados sobre o trabalho a executar, não permitiu fazer outros de preparação para o 3º teste, não se cumprindo o programa.

O ano passado, e este ano, foi decidido que os trabalhos seriam feitos apenas nas aulas planeadas para eles e, os alunos que não conseguiam acabar não o poderiam mais fazer e a sua avaliação teria isso em conta<sup>5</sup>. Esta opção permitiu também responsabilizar mais os alunos que seriam prejudicados por uma deficiente preparação do laboratório antes de este se realizar (pela não leitura da parte inicial do guia e execução dos problemas quando solicitados).

As aulas de laboratório têm uma componente muito demonstrativa da matéria. Relativamente ao grau de dificuldade da parte prática, existe muita ajuda nos guias, tornando esta parte da disciplina mais acessível. É essa a justificação de uma maior percentagem de aprovações aqui do que na parte teórica.

---

<sup>5</sup> Houve casos em que alguns alunos pediram para vir a aulas de outros turnos para acabar os trabalhos. Mesmo assim este desempenho diferente foi considerado nas suas avaliações do laboratório.

## 5.6 Informação Consolidada

|  |              |
|--|--------------|
| Total de alunos inscritos  | <b>113</b>   |
| LEEC   | 105          |
| LEI  | 8            |
| 1ª inscrição   | 60           |
| 2ª ou mais inscrições  | 53           |
| Total de alunos que não compareceram a nenhuma prova   | 19           |
| Total de alunos excluídos (faltas, desistências tardias, etc.)   | 10           |
| Total de alunos que fizeram lab. mas não compareceram em provas teóricas   | 25           |
| Total de alunos avaliados (considerando provas completas)  | 61           |
| Total de aluno reprovados  | 22           |
| Total de aprovações  | <b>37</b>    |
| Percentagem dos alunos que não compareceram nem a provas teóricas nem ao laboratório em provas teóricas (aprov. em Lab.) | 25,7%        |
| no laboratório (aprov. em teóricas)  | 0,0%         |
| Base: Número de inscritos  |              |
| Percentagem de aprovações  |              |
| Base: Entrega de provas (conclusivas)  | 60,7%        |
| Base: Aprovação em laboratório   | 43,0%        |
| Base: Número de inscritos  | 32,7%        |
| <b>Classificação Média</b>   | <b>12,06</b> |

## 5.7 Avaliação

Como se pode ver pela informação consolidada a percentagem de aprovações em função do número de alunos inscritos é baixa. No entanto, para aqueles que tentaram realmente fazer a disciplina, efectuando as provas teóricas e de laboratório a percentagem de aprovações foi ligeiramente acima de 60%.

Dos alunos inscritos 25,7% não tentaram efectuar nenhuma parte da disciplina (29 alunos) e 22%, embora tenham ficado aprovados no laboratório desistiram de tentar efectuar a parte teórica (25 alunos). Deste modo, quase metade dos inscritos nunca poderiam ter aprovação na disciplina. Mais abaixo, numa sub-secção desta secção, faz-se uma análise mais detalhada destes números.

Relativamente à comparação da dificuldade relativa das partes teórica e laboratorial, vê-se que apenas cerca de 43% dos alunos que ficaram aprovados em laboratório, ficaram realmente aprovados na disciplina.

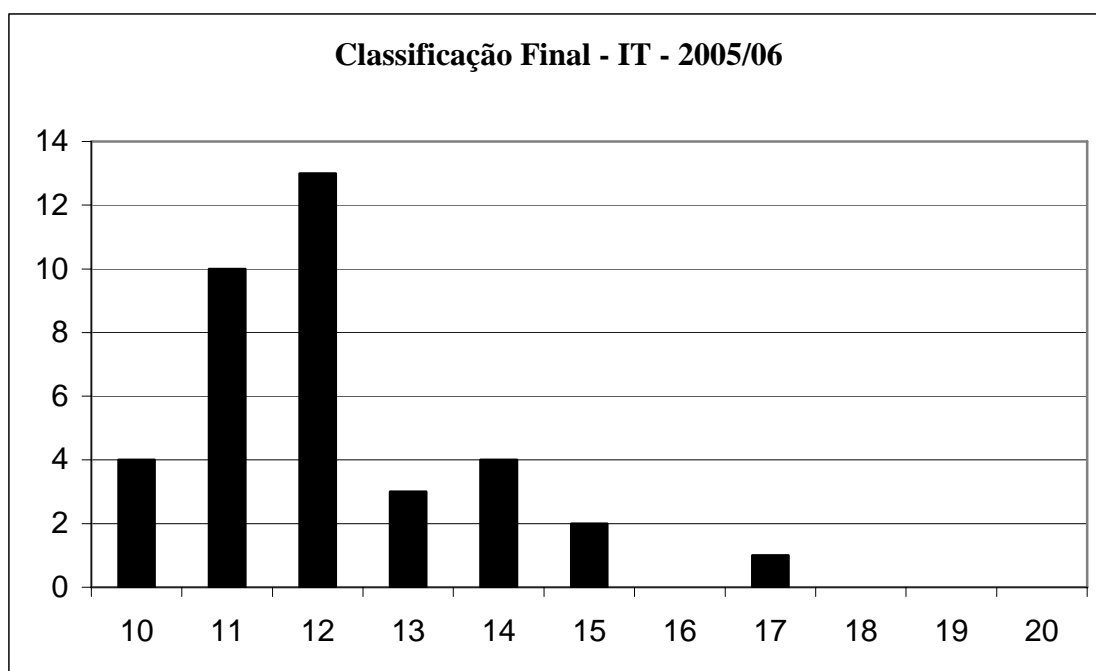
A tabela abaixo mostra os números dos alunos aprovados, as suas médias e a percentagem relativamente aos alunos aprovados na disciplina em cada um dos vários modos de avaliação. Como se pode ver, a grande maioria dos alunos aprovados foi-o por testes, e sem precisar de repescagens. Serão feitos mais alguns comentários a este facto mais adiante. Cerca de um quarto dos aprovados aproveitou as repescagens. Conclui-se, assim, a importância das repescagens para minimizar pequenas falhas de

planeamento de estudo pelos alunos. Relativamente ao exame final, os números muito baixos de aprovações (no exame final foi mesmo de zero) provam que é bastante difícil conseguir uma profundidade de conhecimentos num período muito curto de estudo.

| Média e percentagem das aprovações por | Alunos    | Média        | Percent.      |
|--|-----------|--------------|---------------|
| Testes (só 1ª chamadas)                | 25        | 12,27        | 70,27         |
| Testes (com auxílio das repescagens)   | 9         | 11,78        | 24,32         |
| Exame Final                            | 0         | ---          | 0,00          |
| Exame de Recurso                       | 2         | 11,50        | 5,41          |
| <b>Total da disciplina</b>             | <b>37</b> | <b>12,06</b> | <b>100,00</b> |

Este ano lectivo as médias por tipo de avaliação não são muito diferentes umas das outras. Normalmente, as médias dos alunos que fazem a disciplina por testes sem repescagem são ligeiramente superiores.

A média das classificações dos alunos aprovados foi de 12,06 valores. Pensa-se que ela deveria estar perto dos 13,5 e deve-se considerar esta média baixa. A figura abaixo mostra o histograma das classificações obtidas:



Infelizmente houve apenas um aluno com classificação igual ou superior a 17 valores. Tem sido hábito haver dois, ou três, alunos nestas condições por ano lectivo.

Finalmente em termos de número de inscrições na disciplina sucedeu o seguinte:

|   |    |        |
|---|----|--------|
| Número e percentagem de aprovações      |    |        |
| em alunos em primeira inscrição         | 21 | 35,00% |
| em alunos com mais do que uma inscrição | 16 | 30,19% |

A semelhança destes números prova que não existe uma clara vantagem dos alunos repetentes, o que poderia indicar que a disciplina estava mal enquadrada no plano de estudos (por estar muito cedo, por exemplo). Pensa-se que o efeito mais

importante seja a postura dos alunos perante o estudo. Mais um ano de frequência na disciplina pode induzir mais maturidade no aluno, fruto de estar mais crescido, por um lado, e de sentir mais a pressão de ter reprovado e de ter de reagir a isso, por outro.

### 5.7.1. A Importância dos Mini-testes

A prova de que a postura dos alunos relativamente ao estudo continuado é um factor decisivo pode ser vista no aproveitamento dos mini-testes. Decidiu-se fazer quatro intervalos relativamente às notas dos mini-testes. O terceiro intervalo (com classificações inferiores a 6,5 valores) contém alunos que começaram a fazer os mini-testes e depois desistiram da disciplina para além de alunos que fizeram os mini-testes até ao oitavo e tiveram realmente más notas. O quarto grupo contém alunos que nunca tentaram fazer qualquer dos mini-testes (22 alunos).

| Classificação dos mini-testes | N.º de alunos | N.º de aprovados | Percentagem Base: estes alunos | Percentagem Base: alunos aprovados |
|-------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| $\geq 9,5$                    | 24            | 22               | 91,67%                         | 59,46%                             |
| $6,5 <= < 9,5$                | 22            | 11               | 50,00%                         | 29,73%                             |
| $< 6,5$                       | 45            | 4                | 8,89%                          | 10,81%                             |
| Sem nota                      | 22            | 0                | 0,00%                          | 0,00%                              |
| <b>Total</b>                  | <b>113</b>    | <b>37</b>        | <b>---</b>                     | <b>100%</b>                        |

Como se pode ver, apenas dois alunos dos que tiveram positiva aos mini-testes reprovaram na disciplina. Isto prova que o acompanhamento da matéria ao longo do semestre é um grande indicador de sucesso na disciplina. Mesmo que as classificações não sejam tão boas, mas o acompanhamento ainda existe (segundo grupo) existe uma grande possibilidade de sucesso.

Tendo em conta estes resultados pensa-se que os mini-testes devem continuar a existir no futuro e têm uma grande importância na disciplina.

### 5.7.2. Porque é que se reprovou?

Os dados relevantes dos alunos reprovados são os seguintes:

|  |           |    |
|--|-----------|----|
| Reprovações  | <b>76</b> |    |
| Não fizeram parte teóricas nem laboratório             |           | 29 |
| Fizeram parte teórica, mas não laboratório             |           | 0  |
| Fizeram a parte laboratorial mas,                      |           |    |
| Não compareceram em nenhuma avaliação teórica completa |           | 25 |
| Apareceram unicamente a uma avaliação completa         |           | 8  |
| Apareceram a mais do que uma avaliação completa        |           | 14 |

Como se pode ver, dos 76 alunos reprovados este ano, 54 nunca poderiam ter feito a disciplina por falta de comparência a uma prova ou a outra. **Este número continua a ser preocupante em termos do estabelecimento de uma boa qualidade de ensino na Faculdade de Ciências e Tecnologia.** Seria talvez bom pensar numa atitude da Faculdade perante alunos que simplesmente nem tentam fazer as disciplinas. Este número tem talvez uma importância maior em Introdução às Telecomunicações devido às características próprias da disciplina: a pressão ao longo do semestre para o estudo

continuado faz com que os alunos optem bem cedo por desistir não continuando na ilusão de que podem fazer a disciplina e reprovarem depois no exame final. Existe logo uma grande consciência de que se perdeu o ritmo da disciplina o que leva à desistência. Como compensação fica apenas o facto desta atitude poder fazer com que as energias dos alunos se focalizem noutras disciplinas e as consigam fazer...

O número de alunos que realmente tentaram fazer a disciplina e reprovaram é relativamente baixo, 22 alunos. Destes, uma grande maioria tentou fazer mais do que uma prova teórica (quer repescagens, quer exames finais).

Existe também outro facto relevante para as reprovações (quer por desistência, ou não) que consiste na opção tomada na disciplina de não haver aulas práticas de problemas. É uma opção tomada em consciência assumindo que existem os riscos que se verificam, mas pensa-se que ajuda a uma postura dos alunos perante o conhecimento e os forma melhor para a vida ao lhes dar uma maior competência de auto-aprendizagem. No caso concreto de Introdução às Telecomunicações, por ter uma base Matemática razoável, existe uma característica muito vista em Matemática – os alunos percebem a matéria e ficam com a sensação que a dominam até ao momento que tentam fazer os problemas. Só nessa altura descobrem que muitos detalhes teóricos lhes escaparam e só depois de realizar os problemas com sucesso começam a ficar mais confiantes. Ora, muitos alunos nem tentam fazer problemas, e outros fazem-nos nos poucos dias que precedem as avaliações teóricas levando ao insucesso.

## 5.8 Resumo Geral

O quadro seguinte mostra as percentagens da informação consolidada, de uma forma gráfica, tendo como base o número de inscritos.

