

**Universidade Fernando Pessoa**

**Faculdade de Ciência e Tecnologia**

**Manual de docência**

**DISCIPLINA: Electrónica Aplicada**

**CURSO: Engenharia Informática**

**ANO(s): 1º e 2º**

**Docente: Nuno Magalhães Ribeiro**

**2004/2005**

**Disciplina: Electrónica Aplicada**

**Módulo nº 1 / Module nr 1**

9 horas / 9 hours

**Sumário desenvolvido:**

**1. Fundamentos**

- 1.1. Introdução e motivação.
- 1.2. Variáveis das redes eléctricas.
  - 1.2.1. Corrente eléctrica.
  - 1.2.2. Tensão eléctrica.
  - 1.2.3. Potência eléctrica e conservação da energia eléctrica.
- 1.3. Elementos resistivos.
  - 1.3.1. Geradores independentes de corrente e de tensão.
  - 1.3.2. Resistência eléctrica e lei de Ohm.
  - 1.3.3. Geradores comandados de corrente e de tensão.

**Summary:**

**1. Foundations**

- 1.1. Introduction and motivation.
- 1.2. Variables of electrical networks.
  - 1.2.1. Electrical current.
  - 1.2.2. Electrical voltage.
  - 1.2.3. Electrical power and electrical energy conservation.
- 1.3. Resistive elements.
  - 1.3.1. Independent sources of current and voltage.
  - 1.3.2. Electrical resistor and Ohm's law.
  - 1.3.3. Controlled sources of current and voltage.

**Objectivos a alcançar:**

Os objectivos deste módulo incluem: motivar o estudo da electrónica e caracterizar sem ambiguidade as variáveis e os elementos das redes eléctricas e electrónicas resistivas, isto é, apresentar uma introdução à teoria das redes eléctricas lineares e, em particular, analisar as

características das redes eléctricas resistivas, que são descritas por equações algébricas. Este módulo pretende:

- Identificar a motivação para o estudo da electrónica através de um conjunto de exemplos de aplicação das redes eléctricas e electrónicas.
- Definir e caracterizar sem ambiguidade as variáveis fundamentais das redes eléctricas e electrónicas, incluindo a corrente eléctrica, a tensão eléctrica e a potência eléctrica.
- Analisar o significado e as implicações da conservação da energia eléctrica.
- Definir, caracterizar os comportamentos e analisar as propriedades dos elementos resistivos das redes eléctricas e electrónicas, incluindo as fontes independentes de tensão e de corrente, a resistência eléctrica e as fontes controladas de tensão e de corrente.
- Verificar a dualidade existente entre tensão e corrente e analisar as implicações de circuitos ou redes duais para o estudo das redes eléctricas e electrónicas.

**Purpose:**

The main objectives of this module include: to motivate the study of electronics and to characterise without any ambiguity the meaning of the resistive electrical variables and elements, that is, to present an introduction to linear electrical networks and, in particular, to analyse the characteristics of resistive electrical networks, which are described through algebraic equations. With this purpose, it is intended to:

- Identify the motivation for studying electronics through a set of applications examples covering electrical and electronic networks.
- Define and to characterise without any ambiguity the fundamental variables of electrical and electronic networks, including electrical current, electrical voltage, and electrical power.
- Analyse the meaning and the implications of the electrical energy conservation.
- Define, to characterise the behaviours and to analyse the properties of resistive elements, including independent current and voltage sources, resistors and controlled current and voltage sources.
- Verify the duality between voltage and current and to analyse the implications of dual circuits in the study of electrical and electronic networks.

**Notas bibliográficas:** (autor, obra, editora, ano, cap., pág.)

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, capítulo 1, páginas 16 a 28.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, capítulo 2, páginas 19 a 35, capítulo 4, páginas 73 a 90.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, capítulo 1, páginas 1 a 3 e 5 a 10.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, capítulo 1, páginas 1 a 10.

**Bibliography:**

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, chapter 1, pages 16 to 28.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, chapter 2, pages 19 to 35, chapter 4, pages 73 to 90.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, chapter 1, pages 1 to 3 and 5 to 10.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, chapter 1, pages 1 to 10.

**Módulo nº 2 / Module nr 2**

12 horas / 12 hours

**Sumário desenvolvido:**

**2. Análise de redes resistivas**

2.1. Leis de Kirchoff.

2.1.1. Lei das correntes.

2.1.2. Lei das tensões.

2.1.3. Conservação da energia.

2.2. Associação de resistências.

2.2.1. Associação em série.

2.2.2. Associação em paralelo.

2.2.3. Divisores de tensão e de corrente.

2.2.4. Geradores com resistência interna.

2.3. Teoremas para a análise de redes resistivas.

2.3.1. Teorema da sobreposição.

- 2.3.2. Teorema de Thévenin.
- 2.3.3. Teorema de Norton.
- 2.4. Métodos sistemáticos para a análise de redes resisitivas.
- 2.4.1. Método dos Nós.
- 2.4.2. Métodos dos Nós em redes com geradores comandados.

### **Summary:**

## **2. Analysis of resistive networks**

- 2.1. Kirchoff's laws.
  - 2.1.1. Currents law.
  - 2.1.2. Voltages law.
  - 2.1.3. Energy conservation.
- 2.2. Resistor associations.
  - 2.2.1. Series resistor networks.
  - 2.2.2. Paralel resistor networks.
  - 2.2.3. Voltage and current dividers.
  - 2.2.4. Sources with internal resistance.
- 2.3. Theorems for the analysis of resistive networks.
  - 2.3.1. Superposition theorem.
  - 2.3.2. Thévenin's theorem.
  - 2.3.3. Norton's theorem.
- 2.4. Systematic methods for the analysis of resistive networks.
  - 2.4.1. Nodes analysis method.
  - 2.4.2. Nodes analysis method with controlled sources.

### **Objectivos a alcançar:**

A resolução de uma rede eléctrica (ou circuito eléctrico) consiste fundamentalmente em determinar a intensidade da corrente que circula por cada componente da rede, bem como as quedas de tensão que surgem nos mesmos elementos. Neste contexto, o objectivo deste módulo é introduzir e aplicar as leis e os teoremas mais utilizados na resolução de redes alimentados por geradores de corrente contínua e constituídos unicamente por elementos resistivos. Dado que os dispositivos electrónicos se comportam como elementos resistivos, desde que as frequências envolvidas não sejam muito elevadas, a grande maioria dos sistemas

electrónicos pode ser estudada utilizando apenas a teoria das redes resistivas e os métodos analisados no âmbito deste módulo. Assim, são objectivos específicos deste módulo os seguintes:

- Analisar e aplicar as leis de Kirchoff na resolução de redes eléctricas, nomeadamente a lei das correntes e a lei das tensões, e respectivos casos particulares como sejam a lei dos nós e a lei das malhas.
- Interpretar a lei da conservação da energia eléctrica, e aplicá-la no âmbito da determinação das potências fornecida à rede e fornecida pela rede.
- Analisar os métodos de determinação do valor de associações em série e em paralelo de elementos resistivos, incluindo geradores de tensão e de corrente e resistências. Derivar e aplicar as expressões para a determinação dos valores de divisores de tensão e de corrente. Analisar o caso real dos geradores com resistência interna.
- Derivar e aplicar os teoremas mais utilizados para a análise de redes eléctricas, nomeadamente o teorema da Sobreposição, o teorema de Thévenin e o teorema de Norton.
- Derivar e aplicar métodos sistemáticos para a análise de redes resistivas, nomeadamente o Método dos Nós, em redes sem e com geradores comandados.

**Purpose:**

The solution of an electrical network consists of determining the intensity of the current in each network component, as well as the voltage in the same elements. In this context, the objective of this module is to introduce and apply the laws and theorems that are most applied in the analysis of electrical networks powered by direct current sources and constituted uniquely by resistive elements. Given that the electronic devices exhibit a resistive behaviour if the frequencies are sufficiently small, the vast majority of electronic systems can be studied using just the resistive networks theory and the methods studied in the context of this module.

Thus, the specific objectives of this module include to:

- Analyse and apply Kirchoff's laws in the solution of electrical networks, namely the currents law and the voltages law, as well as their particular cases.
- Interpret the conservation of energy, and to apply it in the context of calculating the power supplied to and from the network.
- Analyse the methods for the calculation of the value of the association of resistive elements, both series and parallel associations of sources and resistors. To derive and to

apply the expressions for the determination of the values of voltage and current dividers.  
To analyse the concrete case of sources with internal resistance.

- Derive and to apply the most common theorems used in electrical networks analysis, more specifically the Superposition theorem, Thévenin's theorem and Norton's theorem.
- Derive and to apply systematic methods for the analysis of resistive networks, namely the Nodes Method, applied to networks both with and without controlled sources.

**Notas bibliográficas:** (autor, obra, editora, ano, cap., pág.)

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, capítulo 1, páginas 28 a 59 e páginas 79 a 85.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, capítulo 3, páginas 39 a 70, capítulo 5, páginas 97 a 168.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, capítulo 2, páginas 21 a 54 e capítulo 3, páginas 55 a 92.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, capítulo 1, páginas 10 a 21.

**Bibliography:**

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, chapter 1, pages 28 to 59 and pages 79 to 85.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, chapter 3, pages 39 to 70, chapter 5, pages 97 to 168.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, chapter 2, pages 21 to 54, chapter 3, pages 55 to 92.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, chapter 1, pages 10 to 21.

**Módulo nº 3 / Module nr 3**

12 horas / 12 hours

**Sumário desenvolvido:**

### **3. Análise de redes reactivas**

3.1. Elementos reactivos.

3.1.1. Condensador.

3.1.2. Bobine.

3.1.3. Associação em série e em paralelo de condensadores e de bobines.

- 3.1.4. Transformadores e indutância mútua.
- 3.2. Redes reactivas de primeira ordem.
  - 3.2.1. Caracterização de redes reactivas de primeira ordem.
  - 3.2.2. Resposta em regime forçado e em regime livre.
  - 3.2.3. Análise de redes RC.
  - 3.2.4. Análise de redes RL.
- 3.3. Redes reactivas de segunda ordem.
  - 3.3.1. Caracterização de redes reactivas de segunda ordem.
  - 3.3.2. Tipos de regime livre.
  - 3.3.3. Análise de redes RLC.

### **Summary:**

#### **3. Reactive networks analysis**

- 3.1. Reactive elements.
  - 3.1.1. Capacitor.
  - 3.1.2. Inductor.
  - 3.1.3. Series and parallel associations of capacitors and inductors.
  - 3.1.4. Transformers and mutual inductance.
- 3.2. First order transient networks.
  - 3.2.1. Characteristics of first order transient networks.
  - 3.2.2. Forced and free network response.
  - 3.2.3. RC networks analysis.
  - 3.2.4. RL networks analysis.
- 3.3. Second order transient networks.
  - 3.3.1. Characteristics of second order transient networks.
  - 3.3.2. Types of free response.
  - 3.3.3. RLC networks analysis.

### **Objectivos a alcançar:**

As redes reactivas contêm elementos reactivos, tais como condensadores e bobines, e são descritas por equações diferenciais que contêm derivadas das correntes e das tensões em ordem ao tempo. Neste contexto, os objectivos deste módulo incluem: descrever as características, constituição e comportamentos dos elementos reactivos, e analisar métodos de

resolução de redes eléctricas alimentadas unicamente por geradores de corrente contínua (regime forçado contínuo), mas contendo um ou mais elementos reactivos, para além de elementos resistivos. Os objectivos específicos deste módulo são os seguintes:

- Estudar a constituição e caracterizar o comportamento de elementos reactivos, incluindo o condensador, a bobine e os transformadores. Analisar e aplicar métodos de determinação do valor da associação em série e em paralelo de condensadores e de bobines.
- Distinguir o regime forçado do regime livre no âmbito do funcionamento das redes reactivas de primeira e de segunda ordem, e descrever métodos para a obtenção dos respectivos valores.
- Analisar e aplicar métodos de resolução de redes reactivas de primeira ordem, contendo elementos resistivos e apenas um elemento reactivo, cujo funcionamento influencia o comportamento da rede. Analisar (isto é, resolver) redes RC e RL.
- Analisar e aplicar métodos de resolução de redes reactivas de segunda ordem, contendo elementos resistivos e dois elementos reactivos, cujo funcionamento influencia o comportamento da rede. Analisar (isto é, resolver) redes RLC.

**Purpose:**

Reactive networks contain reactive elements, such as capacitors and inductors, and are thus described by differential equations containing time-based derivatives of the current and of the voltage. In this context, the objectives of this module include: to describe the characteristics, constitution and behaviours of the reactive elements, and to analyse methods for solving electrical networks powered uniquely by direct current sources (dc), but containing one or more reactive elements, in addition to resistive elements. The specific objectives of this module include to:

- Study the constitution and to characterise the behaviour of reactive elements such as the capacitor, the inductor and the transformer. To analyse and to apply methods for determining the value of series and parallel associations of capacitors and inductors.
- Characterise first and second order reactive networks and to describe methods for solving both kinds of networks. To analyse and solve RC, RL and RLC networks.

**Notas bibliográficas:** (autor, obra, editora, ano, cap., pág.)

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, capítulo 2, páginas 91 a 136 e páginas 191 a 195.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, capítulo 7, páginas 185 a 238.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, capítulo 1, páginas 3 a 5 e páginas 11 a 20.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, capítulo 2, páginas 25 a 44.

### **Bibliography:**

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, chapter 2, pages 91 to 136.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, chapter 7, pages 185 to 238.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, chapter 1, pages 3 to 5 and pages 11 to 20.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, chapter 2, pages 25 to 44.

## **Módulo nº 4 / Module nr 4**

12 horas / 12 hours

### **Sumário desenvolvido:**

#### **4. Análise de redes reactivas em regime forçado sinusoidal**

4.1. Grandezas sinusoidais e corrente alternada.

4.1.1. Valor instantâneo e amplitude.

4.1.2. Frequência angular e fase.

4.1.3. Valor médio e valor eficaz.

4.2. Representação complexa.

4.2.1. Amplitude complexa ou fasor.

4.2.2. Propriedades da representação complexa.

4.3. Análise da resposta em regime forçado sinusoidal.

4.3.1. Leis de Kirchoff

4.3.2. Impedância, admitância e reactância.

4.3.3. Triângulo de impedância e o diagrama de fasores.

4.3.4. Análise fasorial de redes de primeira e de segunda ordem.

4.3.5. Ressonância.

4.4. Potência em regime forçado sinusoidal.

- 4.4.1. Potência instantânea
- 4.4.2. Potência activa e factor de potência.
- 4.4.3. Potências reactiva, aparente e complexa.
- 4.4.4. Compensação do factor de potência.
- 4.5. Redes trifásicas.
- 4.5.1. Tensões simples e tensões compostas.
- 4.5.2. Ligações em estrela e em triângulo.

**Summary:**

**4. AC networks analysis**

- 4.1. Sinusoidal quantities and alternating current.
  - 4.1.1. Instantaneous value.
  - 4.1.2. Angular frequency and phase.
  - 4.1.3. Medium value and effective value.
- 4.2. Complex representation.
  - 4.2.1. Phasor diagrams.
  - 4.2.2. Properties of phasor diagrams.
- 4.3. AC analysis.
  - 4.3.1. Kirchoff's laws.
  - 4.3.2. Impedance, admittance and reactance.
  - 4.3.3. Phasor diagrams.
  - 4.3.4. First and second order AC networks analysis.
  - 4.3.5. Resonant networks.
- 4.4. Power.
  - 4.4.1. Instantaneous power.
  - 4.4.2. Active power and the power factor.
  - 4.4.3. Reactive, apparent and complex power.
  - 4.4.4. Power factor compensation.
- 4.5. Three-phase networks.
  - 4.5.1. Simple and composed voltages.
  - 4.5.2. Star and triangle analysis.

### **Objectivos a alcançar:**

As grandezas que variam no tempo de acordo com uma função sinusoidal são muito importantes no estudo das redes eléctricas, sobretudo porque a rede de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica é uma rede de corrente alternada, porque nas telecomunicações utilizam-se portadoras sinusoidais, e porque no processamento de sinais empregam-se métodos que transformam sinais não-sinusoidais em sinais sinusoidais. Neste contexto, os objectivos deste módulo incluem: caracterizar e representar as grandezas sinusoidais, e analisar métodos de resolução de redes eléctricas alimentadas por geradores de corrente alternada (regime forçado sinusoidal), e contendo elementos resistivos e reactivos, incluindo as redes monofásicas e as redes trifásicas. Assim, são objectivos específicos deste módulo os seguintes:

- Caracterizar as grandezas sinusoidais no âmbito da corrente alternada, nomeadamente o valor instantâneo, a amplitude, os valores médio e eficaz, a frequência angular e a fase.
- Analisar e aplicar métodos para a representação complexa, ou fasorial, de grandezas sinusoidais, e estabelecer as respectivas propriedades.
- Determinar as características das redes eléctricas que funcionam em regime forçado sinusoidal, nomeadamente a impedância, a reactância e a admitância, bem como a obtenção do respectivo diagrama fasorial. Analisar métodos de resolução fasorial de redes em regime forçado sinusoidal, incluindo redes de primeira e de segunda ordem.
- Analisar os vários tipos de potência em regime forçado sinusoidal, incluindo a potência instantânea, a potência activa, a potência reactiva, a potência aparente, a potência complexa e um método para a compensação do factor de potência.
- Analisar as redes trifásicas e, em particular, o sistema de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica.

### **Purpose:**

Time-dependent variables that vary according to the sinusoidal function are extremely important in the study of electrical and electronic networks for three major reasons: first, because the production, transportation and distribution of electrical energy is based on alternating current (AC); second, because telecommunications use sinusoidal carriers; and third because in signal processing it is usual to employ methods that transform non-sinusoidal signals in sinusoidal signals. In this context, the objectives of this module include: to characterise and to represent the sinusoidal variables, and to analyse methods for solving

electrical networks powered by AC sources, which contain both resistive and reactive elements, including single phase and three-phase networks. The specific objectives of this module include to:

- Characterise the sinusoidal AC variables, including such characteristics as instantaneous value, the amplitude, médium and effective values, angular frequency and phase.
- Analyse and to apply methods for representing sinusoidal variables through complex numbers (phasor based representation), and its properties.
- Determine the characteristics of AC electrical networks, such as impedance, reactance, admittance as well as their phasor representation. To analyse methods for solving first and second order AC networks.
- Analyse the various types of AC power such as instantaneous, active, reactive, apparent and complex power, as well as the compensation of the power factor.
- Analyse three-phase networks and, in particular, the production, transportation and distribution system of electrical energy.

**Notas bibliográficas:** (autor, obra, editora, ano, cap., pág.)

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, capítulo 2, páginas 137 a 165 e páginas 196 a 199.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, capítulo 8, páginas 239 a 307.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, capítulo 4, páginas 93 a 122.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, capítulo 3, páginas 45 a 72.

**Bibliography:**

Silva, M. M., *Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, chapter 2, pages 137 to 165 and pages 196 to 199.

Meireles, V., *Circuitos Eléctricos*, Lidel – Edições Técnicas, 2001, chapter 8, pages 239 to 307.

Cuesta, L. M., Padilla, A. G., Dominguez, F. R., *Electrónica Analógica*, Col. Schaum, McGraw-Hill, 1994, chapter 4, pages 93 to 122.

Padilla, A. G., *Electrónica Analógica*, McGraw-Hill, 1993, chapter 3, pages 45 to 72.

**Módulo nº 5 / Module nr 5**

18 horas / 18 hours

**Sumário desenvolvido:****5. Realização de trabalhos laboratoriais**

- 5.1. Introdução aos procedimentos e trabalhos laboratoriais
- 5.2. Trabalho experimental 1: associação experimental de séries e paralelos de resistências, e conversões estrela-triângulo.
- 5.3. Trabalho experimental 2: verificação experimental das Leis de Kirchhoff – Parte I.
- 5.4. Trabalho experimental 3: verificação experimental das Leis de Kirchhoff – Parte II.
- 5.5. Trabalho experimental 4: verificação experimental do Esquema Equivalente de Thévenin.

**Summary:****5. Laboratory experiments**

- 5.1. Introduction to laboratory procedures and experiments.
- 5.2 Experiment 1: series and parallel associations of resistors; star-triangle conversions.
- 5.3. Experiment 2: experimental verification of Kirchhoff's Laws – Part I.
- 5.4. Experiment 3: experimental verification of Kirchhoff's Laws – Part II.
- 5.5. Experiment 4: experimental verification of Thévenin's Theorem.

**Objectivos a alcançar:**

A realização dos trabalhos laboratoriais tem os seguintes objectivos:

1. Verificar experimentalmente o valor da resistência equivalente de uma associação em série de resistências.
2. Verificar experimentalmente o valor da resistência equivalente de uma associação em paralelo de resistências.
3. Verificar experimentalmente o Teorema de Kennely para transformações Triângulo-Estrela e Estrela-Triângulo.
4. Verificar experimentalmente a validade da Lei das Correntes de Kirchhoff, especificamente do caso particular da Lei dos Nós.
5. Verificar experimentalmente a validade da Lei das Tensões de Kirchhoff, especificamente do caso particular da Lei das Malhas.

6. Adquirir conhecimento prático relacionado com a montagem de circuitos resistivos complexos, bem como com o correcto manuseamento de aparelhos de medida.
7. Verificar experimentalmente a validade do Teorema de Thévenin.
8. Confirmar que a aplicação do teorema de Thévenin permite simplificar a análise de circuitos eléctricos lineares.
9. Verificar que o Teorema de Thévenin se pode aplicar a qualquer par de pontos do mesmo circuito, obtendo-se sempre resultados idênticos.

**Purpose:**

The specific objectives of the experiments contained in this module include:

1. To verify in a practical way the value of the equivalent resistor for a series association of resistors.
2. To verify in a practical way the value of the equivalent resistor for a parallel association of resistors.
3. To verify in a practical way the validity of Kennely's Theorem for star-triangle transformations.
4. To verify in a practical way the validity of Kirchhoff's Current Law and more specifically the particular case of the Nodes Law.
5. To verify in a practical way the validity of Kirchhoff's Voltage Law and more specifically the particular case of the Mesh Law.
6. To acquire practical knowledge about assembling complex resistive circuits, as well as knowledge about electrical and electronic measurement equipment.
7. To verify in a practical way the validity of Thévenin's Theorem.
8. To confirm that it is possible to simplify the analysis of a linear electrical and electronic circuit by applying Thévenin's Theorem.
9. To verify in a practical way that Thévenin's Theorem can be applied to any pair of access points in the same circuit.

**Notas bibliográficas:** (autor, obra, editora, ano, cap., pág.)

Ribeiro, N. M., Protocolos para Trabalhos Laboratoriais de Electrónica Aplicada, FCT, UFP, 2003, protocolo 1 (Análise Experimental de Associações de Resistências), protocolo 2 (Verificação Experimental das Leis de Kirchhoff – parte I), protocolo 3 (Verificação

Experimental das Leis de Kirchhoff – parte II) e protocolo 4 (Verificação Experimental do Teorema de Thévenin).

Kaplan, D. M., White, C. G., Hands-On Electronics: A Practical Introduction to Analog and Digital Circuits, Cambridge University Press, 2003, capítulo 1, páginas 1 a 13, capítulo 2, páginas 15 a 28.

Silva, M. M., Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, capítulo 3, páginas 205 a 278.

**Bibliography:**

Ribeiro, N. M., Protocolos para Trabalhos Laboratoriais de Electrónica Aplicada, FCT, UFP, 2003, protocolo 1 (Análise Experimental de Associações de Resistências), protocolo 2 (Verificação Experimental das Leis de Kirchhoff – parte I), protocolo 3 (Verificação Experimental das Leis de Kirchhoff – parte II) and protocolo 4 (Verificação Experimental do Teorema de Thévenin).

Kaplan, D. M., White, C. G., Hands-On Electronics: A Practical Introduction to Analog and Digital Circuits, Cambridge University Press, 2003, chapter 1, pages 1 a 13, chapter 2, pages 15 a 28.

Silva, M. M., Introdução aos Circuitos Eléctricos e Electrónicos, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996, chapter 3, pages 205 a 278.