

**Ministério da Educação**

Direcção – Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular

Ensino Recorrente de Nível Secundário

**Programa**

**de**

**Sistemas Analógicos e Digitais**

(de acordo com a disciplina de especificação de Práticas de Instalações Eléctricas)

**12º Ano**

Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica

Autores:

Henrique Gante

José Gregório

Adaptado a partir do programa elaborado por:

António Manuel Lopes da Silva Pereira (Coordenador)

Mário Alberto dos Santos Isidoro

Eurico Tomás Magos

Jorge Luís de Matos Teixeira

**Homologação**

**26/12/2006**

## Índice

I – Introdução.....	3
II – Visão geral dos módulos/conteúdos.....	4
III – Desenvolvimento do programa.....	5
Módulo 7 .....	5
Módulo 8 .....	12
Módulo 9 .....	16
IV – Bibliografia Geral.....	24

## I. INTRODUÇÃO

A disciplina de Sistemas Analógicos e Digitais é, como já se referiu, uma disciplina trienal do Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica do ensino secundário recorrente, orientada para a fundamentação científica dos fenómenos, dos conceitos, das leis e das metodologias de análise.

Esta disciplina visou, ao longo dos 10º e 11º anos, o conhecimento dos processos de produção, transporte e distribuição da energia eléctrica, das leis gerais do circuito eléctrico, do magnetismo, do electromagnetismo e da corrente alternada e ainda o funcionamento dos circuitos básicos com condensadores, díodos e transístores, bem como o início do estudo dos amplificadores operacionais e dos sistemas digitais.

O programa do 12º ano visa, agora, o desenvolvimento do estudo dos sistemas trifásicos, das máquinas eléctricas, da electrónica de potência e da variação e regulação de velocidade/travagem.

Na gestão dos tempos lectivos considerou-se de igual modo, como nos anos precedentes, um total anual de 33 semanas, correspondentes a 66 tempos lectivos de 90 minutos cada. Esta carga horária contempla os necessários tempos lectivos destinados ao desenvolvimento das aprendizagens. O tempo restante, contemplado no calendário lectivo, destina-se à avaliação e a situações imprevistas. A atribuição da carga horária teve em atenção o desenvolvimento dos diferentes temas e o grau de aprofundamento atribuído à abordagem de cada conteúdo. A sugestão da forma como a carga horária poderá ser distribuída, com os tempos lectivos entre parêntesis, deve ser tomada como referência para a planificação das actividades lectivas, podendo ser alterada em função das diversas formas de abordagem, do processo ensino-aprendizagem e das actividades desenvolvidas.

## II. Visão geral dos módulos/conteúdos

O programa do 12.º ano está estruturado com base nos seguintes módulos e temas:

- **Módulo 7 – Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**
  - 7.1 – Noção de Sistemas Trifásicos
  - 7.2 – Transformadores
  - 7.3 – Máquinas de Corrente Alternada
  
- **Módulo 8 – Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**
  - 8.1 – Motores de Corrente Contínua
  - 8.2 – Motores Especiais
  - 8.3 – Electrónica de Potência
  
- **Módulo 9 – Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**
  - 9.1 – Accionamentos Eléctricos
  - 9.2 – Seccionamento
  - 9.3 – Protecção de motores
  - 9.4 – Estudo do contactor
  - 9.5 – Associações de aparelhagem
  - 9.6 – Travagem de motores
  - 9.7 – Controladores electrónicos de velocidade
  - 9.8 – Motorizações eléctricas
  - 9.9 – Transmissões mecânicas

**Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p><b>7.1 – Noção de sistema trifásico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Obtenção de um sistema trifásico de tensões.</li> <li>– Sequência de fases.</li> <li>– Representação gráfica.</li> </ul> <p><b>7.1.1 – Ligações de receptores em estrela e em triângulo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tensões simples e compostas.</li> <li>– Relação entre intensidades nos receptores e nas linhas de alimentação.</li> <li>– Representação gráfica.</li> </ul> <p><b>7.1.2 – Potência</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Potência em cada receptor e potência total;</li> <li>– Medição. Método de Aaron.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Descrever uma forma de obter de um sistema trifásico de tensões.</li> <li>– Representar grandezas eléctricas trifásicas usando gráficos cartesianos e vectoriais e transcrever de uma representação para outra.</li> <li>– Identificar os tipos de ligações trifásicas.</li> <li>– Explicar a obtenção do ponto neutro.</li> <li>– Determinar a relação de amplitude e de fase entre grandezas usando diagramas vectoriais.</li> <li>– Explicar as vantagens dos sistemas trifásicos, dos pontos de vista da produção e da utilização da energia.</li> <li>– Aplicar as expressões que relacionam as grandezas eléctricas nos sistemas trifásicos.</li> <li>– Determinar as correntes nas linhas e nas cargas para vários tipos de ligações e para cargas de várias naturezas.</li> <li>– Calcular o valor da potência nas diferentes montagens para diferentes situações de carga.</li> <li>– Descrever os diferentes métodos de medida da potência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Na disciplina de Aplicações Tecnológicas de Electrotecnia/Electrónica do 11º ano já foi feita uma primeira abordagem dos sistemas trifásicos, pelo que o professor deve partir dos conhecimentos dos alunos, gerindo o tempo de forma a atingir os objectivos propostos.</li> <li>– Para introduzir o sistema trifásico pode usar-se a noção de um alternador trifásico bipolar de indutor móvel.</li> <li>– A utilização de animação multimédia (vídeo ou computador) é muito vantajosa para inter-relacionar as representações gráficas e para observar as relações entre as grandezas de um sistema trifásico. A utilização de simulação em computador é também um recurso muito importante.</li> <li>– Apresentar as montagens fundamentais em modelos reais ou didácticos.</li> <li>– Realizar a análise gráfica.</li> </ul>	<p><b>22</b></p> <p>(6)</p>

## Sistemas Analógicos e Digitais – Desenvolvimento do programa – 12º Ano

(de acordo com a disciplina de especificação de Práticas de Instalações Eléctricas)

### Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p><b>7.1.3 – Sistemas desequilibrados</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Desequilíbrio de cargas.</li><li>– Sistemas com e sem neutro.</li></ul> <p><b>7.1.4 – Compensação do factor de potência</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Método de Boucherot.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Identificar e analisar diferentes situações de desequilíbrio.</li> <li>– Aplicar o método de Boucherot, no cálculo de condensadores para a compensação do factor de potência, em sistemas trifásicos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Embora se possa fazer referência à montagem em triângulo desequilibrado, só a montagem em estrela deve ser analisada mais em detalhe.</li></ul>	

**Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p><b>7.2 - Transformadores</b></p> <p><b>7.2.1 - Transformador monofásico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilidade.</li> <li>- Constituição. Tipos construtivos.</li> <li>- Princípio de funcionamento.</li>   <li>- Transformador ideal. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relação entre grandezas primárias e secundárias.</li> </ul> </li>   <li>- Transformador real. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vazio. Perdas no ferro.</li> <li>▪ Carga. Perdas no cobre.</li> <li>▪ Rendimento.</li> <li>▪ Queda de tensão.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justificar a importância do transformador no transporte de energia, bem como na obtenção de tensões reduzidas, no isolamento eléctrico e na adaptação de impedâncias.</li> <li>- Descrever a constituição e o princípio de funcionamento do transformador.</li>   <li>- Estabelecer as relações entre as grandezas eléctricas primárias e secundárias.</li>   <li>- Relacionar as potências dos ensaios de vazio e de c.c. com as perdas no ferro e no cobre.</li> <li>- Distinguir a situação do ensaio de curto-circuito do transformador, de um curto-circuito entre os seus terminais.</li> <li>- Descrever o comportamento da tensão secundária para várias situações de carga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma visita de estudo ou o tratamento de informação sobre uma subestação ou posto de transformação poderá ser o ponto de partida para o estudo dos transformadores.</li> <li>- Discutir com os alunos a utilidade e as aplicações dos transformadores.</li> <li>- Para compreensão do princípio de funcionamento, recorrer aos conhecimentos que os alunos obtiveram no estudo do electromagnetismo feito no 10º ano e, se necessário, fazer uma breve revisão.</li> <li>- Considera-se indispensável que o estudo teórico da máquina seja acompanhado em simultâneo, da execução dos ensaios laboratoriais.</li> <li>- Deve ser sempre privilegiado o tratamento físico dos fenómenos.</li> <li>- O tratamento matemático deve ser simples e apoiado em gráficos.</li> <li>- Para este nível de ensino parece dispensável a aplicação do modelo matemático de Kapp para o estudo da queda de tensão, bastando uma abordagem física deste fenómeno. Do mesmo modo, dispensar-se-á a aplicação do esquema equivalente do transformador e dos seus parâmetros.</li> </ul>	<p>(6)</p>

**Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p><b>7.2.2 - Transformador trifásico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constituição.</li> <li>- Fluxo. Polaridade.</li> <li>- Modos de ligação dos enrolamentos.</li> <li>- Grupos de ligação. Notação horária.</li> <li>- Relação de transformação.</li> <li>- Paralelo de transformadores trifásicos.</li> </ul> <p><b>7.2.3 - Transformadores especiais</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Autotransformador.</li> <li>- Transformadores do número de fases.</li> <li>- Transformadores de medida: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ de tensão (TT).</li> <li>▪ de intensidade (TI).</li> </ul> </li> <li>- Transformador de dispersão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever sucintamente a constituição de um transformador trifásico.</li> <li>- Interpretar as indicações da chapa de características.</li> <li>- Identificar os tipos de ligação mais usuais.</li> <li>- Comparar as vantagens de cada tipo de ligação.</li> <li>- Interpretar a notação horária.</li> <li>- Relacionar os grupos de ligação com a respectiva utilização.</li> <li>- Deduzir a relação de transformação.</li> <li>- Enunciar e justificar as condições para efectuar o paralelo de transformadores.</li>   <li>- Identificar as vantagens dos transformadores especiais e as suas aplicações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obter, graficamente, a notação horária do transformador, utilizando diagramas vectoriais.</li>   <li>- Sugere-se a determinação do índice horário, para duas ou três situações de ligação, assim como a dedução da respectiva relação de transformação.</li>   <li>- Breve referência às montagens de Scott e de Leblanc.</li> <li>- Realçar a importância dos transformadores de medida.</li> <li>- Apresentar desenhos esquemáticos de PT, identificando os principais dispositivos.</li> </ul>	



**Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>7.3 - Máquinas de corrente alternada</b></p> <p><b>7.3.1 - Motor assíncrono trifásico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constituição.</li> <li>- Criação do campo girante.</li> <li>- A indução no rotor.</li> <li>- Escorregamento.</li> </ul> <p><b>7.3.2 - Motor de rotor em curto-circuito</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constituição do rotor.</li> <li>- Curva característica de intensidade.</li> <li>- Curva característica de binário;</li> <li>- Rotores especiais.</li> <li>- Gaiola de ranhura profunda.</li> <li>- Dupla gaiola.</li> <li>- Processos de arranque escalonado: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estrela – triângulo.</li> <li>▪ Por resistências estáticas.</li> <li>▪ Por autotransformador.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicar a criação de um campo magnético girante produzido por um sistema trifásico de três enrolamentos.</li> <li>- Justificar a alteração do sentido de rotação do campo girante pela troca de duas fases.</li> <li>- Relacionar a velocidade do campo girante com a frequência e com o número de pares de pólos.</li> <li>- Explicar o aparecimento de correntes induzidas no rotor e o conseqüente binário motor e relacionar a frequência dessas correntes com a velocidade de rotação.</li> <li>- Relacionar a aceleração com a diferença entre os binários motor e resistente.</li> <li>- Justificar a necessidade de escorregamento do rotor.</li> <li>- Justificar a alta intensidade de corrente e o baixo binário no arranque e a variação destas grandezas com a velocidade.</li> <li>- Enumerar as vantagens do motor assíncrono e a razão das suas inúmeras aplicações.</li> <li>- Avaliar o comportamento dinâmico do motor, justificando a variação do ponto de funcionamento com o binário resistente e prevendo as variações relativas das várias grandezas mecânicas e eléctricas em jogo.</li> <li>- Interpretar a chapa de características.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A utilização de meios audiovisuais e, sobretudo, de animação (em vídeo ou computador) é muito vantajosa para a compreensão dos vários fenómenos presentes nas máquinas rotativas.</li> <li>- Numa primeira abordagem o motor assíncrono pode ser comparado com um transformador em que o secundário (induzido) pode rodar. Começar por estudar a situação de rotor bobinado em aberto (transformador em vazio) e passar depois à situação de enrolamentos fechados com o aparecimento da corrente rotórica e do binário motor. Analisar o comportamento das várias grandezas mecânicas (binários motor e resistente, velocidade) e eléctricas (tensão, intensidade e frequência rotóricas e intensidade estática) durante o arranque do motor até se anular a aceleração.</li> <li>- Discutir a alteração do ponto de funcionamento com a variação do binário resistente. Discutir a necessidade de limitar a corrente de arranque através de processos construtivos ou de arranques escalonados.</li> </ul>	<p>(10)</p>

**Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Motores de várias velocidades.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De enrolamentos separados.</li> <li>▪ <i>Dahlander</i>.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>7.3.3 - Motor de rotor bobinado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Constituição do rotor.</li> <li>– Curva característica de intensidade.</li> <li>– Curva característica de binário.</li> <li>– Arranque por resistências rotóricas.</li> </ul> <p><b>7.3.4 - Motores monofásicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Motor de enrolamento auxiliar.</li> <li>– Motor de pólo dividido e anel em curto-circuito.</li> <li>– Motor de arranque assíncrono e de rotação síncrona.</li> <li>– Motor universal.</li> <li>– Motor de repulsão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Descrever e comparar processos de arranque que limitem a intensidade de corrente nos motores de rotor em c.c.. Prever as consequências desses processos de limitação sobre o binário de arranque.</li> <li>– Interpretar os esquemas de ligações para o comando de motores de várias velocidades, para um ou para dois sentidos de marcha, sem ou com arranque obrigatório em pequena velocidade.</li> <li>– Comparar as características dos vários tipos de motores de rotor em c.c. e destes com os de rotor bobinado.</li> <li>– Distinguir os vários tipos de binário resistente (constante, crescente e decrescente) e estabelecer critérios de escolha do motor em função das características da máquina accionada.</li> <li>– Descrever o processo de arranque por resistências rotóricas, variáveis ou escalonadas e compará-lo com os processos de arranque de motores de rotor em c.c..</li> <li>– Descrever sucintamente a constituição, o funcionamento e as características dos vários tipos de motores monofásicos.</li> <li>– Enumerar aplicações dos vários tipos de motores monofásicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A ênfase deve ser posta na interpretação física dos fenómenos que permita um conhecimento do comportamento dos vários tipos de motores, tendo em vista a escolha para determinada aplicação e o adequado controlo do seu funcionamento.</li> <li>– A utilização de modelos matemáticos (esquemas equivalentes e respectivos parâmetros) é dispensável para o nível deste curso.</li> </ul>	

**Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>7.3.5 – Alternador</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Constituição e princípio de funcionamento.</li> <li>– Tipos construtivos.</li> <li>– Força electromotriz.</li> <li>– Regulação de frequência e de força electromotriz.</li> <li>– Curvas características: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interna ou de vazio.</li> <li>▪ Externa ou de carga.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Descrever a constituição e o funcionamento do alternador monofásico e trifásico.</li> <li>– Identificar e distinguir os vários tipos de alternadores quanto a: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tipo de indutor (fixo ou móvel).</li> <li>▪ Número de fases.</li> <li>▪ Número de pólos.</li> <li>▪ Tipo de rotor.</li> </ul> </li> <li>– Identificar e caracterizar os vários tipos de ligações dos enrolamentos do induzido do alternador trifásico.</li> <li>– Estabelecer a relação entre a f.e.m. e outras grandezas de que depende (velocidade, fluxo indutor, número de pares de pólos, número de condutores por fase e outras características da máquina).</li> <li>– Estabelecer a relação entre a frequência da f.e.m. e a velocidade de rotação.</li> <li>– Relacionar a regulação da f.e.m. com a actuação sobre a corrente de excitação.</li> <li>– Descrever a curva da característica interna, justificando a zona linear e a zona de saturação.</li> <li>– Descrever e justificar a curva da característica externa para cargas de várias naturezas (resistiva, indutiva e capacitiva).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A discussão do papel dos alternadores nas centrais de produção de energia eléctrica poderá ser o ponto de partida para o estudo do alternador.</li> <li>– Pretende-se que os alunos venham a conhecer a constituição básica e o funcionamento da máquina síncrona a trabalhar como alternador. Contudo, não se fará a abordagem do seu funcionamento como motor ou como compensador síncrono, deixando esse estudo para uma futura oportunidade, se a vida profissional ou o prosseguimento dos estudos o proporcionar ou o exigir.</li> <li>– Também se exclui o estudo de modelos matemáticos como o de Bechn-Eschenburg. Far-se-á, portanto, uma abordagem mais física da máquina.</li> <li>– Discutir a aplicação do princípio de conservação de energia nas transferências energéticas da máquina, identificando as consequências da variação da potência pedida pela rede alimentada pelo alternador sobre a máquina motora que o acciona e as implicações que isso tem sobre a regulação de velocidade do grupo motor-gerador.</li> </ul>	

**Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>8.1 – Motores de corrente contínua</b></p> <p><b>8.1.1 - Constituição</b></p> <p><b>8.1.2 - Funcionamento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Princípio de funcionamento.</li> <li>- Binário e potência mecânica.</li> <li>- Força contra-electromotriz.</li> <li>- Intensidade de corrente de arranque.</li> <li>- Rendimento.</li> <li>- Reacção magnética do induzido e calagem das escovas.</li> </ul> <p><b>8.1.3 - Tipos de ligação do induzido</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Derivação.</li> <li>- Série.</li> <li>- Composta.</li> </ul> <p><b>8.1.4 - Curvas características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De velocidade.</li> <li>- De binário.</li> <li>- Mecânica.</li> </ul> <p><b>8.1.5 - Controlo do sentido de rotação, do arranque e da velocidade</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever sucintamente a constituição de um motor de corrente contínua.</li> <li>- Descrever a função dos diferentes elementos e as respectivas características.</li> <li>- Explicar o princípio de funcionamento.</li> <li>- Relacionar as grandezas mecânicas postas em jogo (binário, velocidade e potência).</li> <li>- Explicar o aparecimento da força contra-electromotriz (f.c.e.m.) e a sua função na transferência de potência.</li> <li>- Relacionar a f.c.e.m. com a velocidade de rotação.</li> <li>- Relacionar a f.c.e.m. com a tensão e com a corrente e explicar a necessidade de limitação da corrente no arranque.</li> <li>- Identificar os vários tipos de perdas na transferência de potência do motor.</li> <li>- Interpretar e descrever o fenómeno da reacção magnética do induzido e justificar a necessidade de calagem das escovas.</li> <li>- Identificar as curvas características dos vários tipos de motores de c.c. e relacioná-las com as respectivas aplicações.</li> <li>- Enumerar e justificar aplicações dos vários tipos de motores de c.c..</li> <li>- Interpretar a chapa de características.</li> <li>- Identificar os terminais.</li> <li>- Estabelecer e interpretar esquemas de controlo do sentido de rotação, do arranque e de velocidade dos vários tipos de motores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se possível, estudar uma máquina de c.c. em corte ou desmontada e identificar cada elemento, suas características e sua função.</li> <li>- Recordar a lei de Laplace na abordagem do funcionamento do motor. Começar por considerar um induzido de uma só espira alimentada, mergulhada no campo indutor, introduzindo a necessidade do colectador, evoluindo depois para induzidos e colectores mais complexos.</li> <li>- A utilização de animação audiovisual poderá ser muito útil.</li> <li>- Recordar a lei de Lenz no estudo da f.c.e.m.. Referir o princípio da conservação da energia e discutir o papel da f.c.e.m. na transferência de potência da máquina.</li> <li>- Devem ser evitados desenvolvimentos teóricos excessivos. O mais importante no estudo dos motores é compreender o comportamento dos vários tipos, no sentido de basear critérios de escolha para determinada aplicação e de fazer o controlo do seu funcionamento (sentido de rotação, arranque, variação de velocidade e travagem). O conhecimento da constituição e do funcionamento é útil para a detecção de avarias e manutenção.</li> </ul>	<p><b>22</b></p> <p>(9)</p>

**Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>8.2 - Motores especiais</b></p> <p><b>8.2.1 - Motor passo-a-passo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constituição. Tipos construtivos.</li> <li>- Princípio de funcionamento.</li> <li>- Dispositivos de controlo.</li> <li>- Vantagens e aplicações.</li> </ul> <p><b>8.2.2 - Motor de c.c. sem escovas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constituição.</li> <li>- Princípio de funcionamento.</li> <li>- Número de fases do estator.</li> <li>- Vantagens e aplicações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrever a constituição dos motores passo-a-passo dos vários tipos (de íman permanente, de relutância variável e híbridos).</li> <li>- Enumerar as vantagens destes motores.</li> <li>- Comparar os vários tipos construtivos, designadamente no que diz respeito ao binário motor, binário de retenção, consumo e custo.</li> <li>- Descrever o princípio de funcionamento e a forma de obter a sequência de fases necessária para a rotação em passo inteiro e em meio passo.</li> <li>- Identificar os terminais de um motor e as ligações internas.</li> <li>- Interpretar o esquema de um dispositivo de controlo.</li> <li>- Descrever a constituição e explicar o princípio de funcionamento dos motores de corrente contínua sem colectores nem escovas.</li> <li>- Enumerar algumas possibilidades de constituição do estator quanto ao número de fases e suas ligações.</li> <li>- Interpretar esquemas do dispositivo de controlo electrónico da sequência de fases e de criação do campo girante.</li> <li>- Reconhecer as vantagens e as aplicações dos motores de c.c. sem escovas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre as qualidades do motor passo-a-passo, referir a repetibilidade, a facilidade de controlo de deslocamento angular, de velocidade, de paragem e de sentido de rotação.</li> <li>- Consultar informação técnica de fabricantes de motores e dos respectivos circuitos de controlo.</li> <li>- Os motores de c.c. sem escovas (<i>brushless motors</i>), também chamados servomotores auto-síncronos, devem o seu sucesso ao desenvolvimento da electrónica de comutação, dos detectores de posição e dos materiais magnéticos. Entre as suas qualidades, referir a sua eficiência, a longa vida, o baixo consumo, o baixo ruído e facto do seu circuito de controlo já fazer a regulação de velocidade.</li> <li>- É também vantajosa a consulta de informação técnica de fabricantes, quer em suporte de papel, quer em suporte multimédia (Internet, por exemplo).</li> </ul>	<p>(2)</p>

**Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>8.3 – Electrónica de potência</b></p> <p><b>8.3.1 - Componentes de potência</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Díodo.</li> <li>– Tiristor.</li> <li>– SCR.</li> <li>– Triac.</li> <li>– GTO.</li> <li>– Transístor de potência.</li> <li>– Bipolar.</li> <li>– MOSFET.</li> </ul> <p><b>8.3.2 - Circuitos de disparo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Malha RC.</li> <li>– Diac.</li> <li>– UJT.</li> <li>– Amplificadores operacionais.</li> <li>– Circuitos integrados dedicados.</li> </ul> <p><b>8.3.3 - Condições de funcionamento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dissipação do calor.</li> <li>– Protecção contra sobretensões e contra sobreintensidades.</li> <li>– Isolamento entre o circuito de potência e o de disparo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Definir electrónica de potência e justificar a sua necessidade.</li> <li>– Descrever a constituição e o funcionamento dos diversos componentes da electrónica de potência e identificar as respectivas curvas características.</li> <li>– Definir e identificar estados de bloqueio e de condução.</li> <li>– Identificar e utilizar a simbologia dos componentes.</li> <li>– Apontar aplicações dos vários componentes, relacionando-as com as respectivas características.</li> <li>– Indicar critérios para a escolha e dimensionamento de componentes.</li> <li>– Justificar a necessidade de circuitos de disparo.</li> <li>– Descrever a constituição e o funcionamento dos diferentes circuitos de disparo.</li> <li>– Dimensionar circuitos de disparo de baixa complexidade (malha RC).</li> <li>– Definir e explicar as condições de funcionamento dos dispositivos de electrónica de potência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sugere-se uma revisão dos conceitos fundamentais dos componentes (díodo, díodo zener, transístor), já estudados nos 10º e 11º anos.</li> <li>– Analisar aplicações concretas de electrónica de potência e discutir as suas possibilidades e limitações.</li> <li>– Acompanhar o estudo dos vários componentes e dos circuitos de disparo com exemplos concretos de aplicação.</li> <li>– Relacionar a escolha de um componente para uma dada aplicação com as respectivas características.</li> <li>– Consultar informação técnica de fabricantes (catálogos, manuais, CD-ROM, Internet) para o estudo dos componentes, seus parâmetros e limites de utilização.</li> </ul>	<p>(11)</p>

**Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>8.3.4 – Rectificação controlada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Monofásica.</li> <li>– Trifásica.</li> </ul> <p><b>8.3.5 – Conversores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conversor c.a./c.c. (rectificador).</li> <li>– Conversor c.c./c.a. (ondulador).</li> <li>– Conversor c.a./c.a..</li> <li>– Conversor c.c./c.c..</li> </ul> <p><b>8.3.6 – Opto-electrónica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fotodíodos.</li> <li>– Fototransístor.</li> <li>– Fototriac.</li> <li>– Opto-acoplador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Descrever o comportamento do tiristor como interruptor unidirecional controlado e a sua aplicação na rectificação controlada.</li> <li>– Descrever o funcionamento de rectificadores controlados mono e trifásicos de baixa complexidade.</li> <li>– Definir e identificar os vários tipos de conversores.</li> <li>– Descrever sumariamente o funcionamento de cada um dos circuitos conversores.</li> <li>– Indicar aplicações dos vários tipos de conversores.</li> <li>– Descrever a constituição e o funcionamento dos dispositivos de interface óptico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Privilegiar a análise gráfica no tratamento dos rectificadores controlados.</li> </ul>	

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.1 – Accionamentos eléctricos</b></p> <p><b>9.1.1 - As funções de controlo de potência eléctrica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Seccionamento.</li> <li>– Protecção.</li> <li>– Manobra: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Binária.</li> <li>▪ Analógica ou contínua.</li> </ul> </li> <li>– Comando: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Por lógica cablada.</li> <li>▪ Por lógica programada.</li> </ul> </li> <li>– Dialogo entre a parte de comando e as funções de seccionamento, protecção e manobra.</li> </ul> <p><b>9.2 – Seccionamento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Seccionador.</li> <li>– Interruptor.</li> <li>– Interruptor-seccionador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Definir e distinguir as várias funções de controlo de potência eléctrica e identificar a aparelhagem que executa essas funções.</li> <li>– Definir poder de corte de um aparelho.</li> <li>– Identificar aparelhos que realizam funções múltiplas.</li> <li>– Enquadrar a função de protecção nas restantes funções de controlo de potência eléctrica.</li> <li>– Distinguir manobra binária (directa ou escalonada) de manobra contínua ou progressiva e identificar a aparelhagem que executa cada tipo. Enumerar várias manobras dos vários tipos.</li> <li>– Distinguir comando por lógica cablada de comando por lógica programada.</li> <li>– Identificar as ordens vindas da parte de comando para a aparelhagem de manobra e as informações dos estados de operação vinda da diversa aparelhagem para a parte de comando.</li> <li>– Descrever as características de um aparelho de seccionamento, a sua função e as condições em que deve ser operado.</li> <li>– Identificar os contactos principais e auxiliares de um aparelho de seccionamento ou de manobra e descrever as suas funções e características de operação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilizar o RSIUEE para definir as várias funções de controlo de potência eléctrica e identificar a aparelhagem e as normas a que deve obedecer.</li> <li>– Os conceitos relacionados com o controlo de potência eléctrica aplicam-se, naturalmente, a todo o tipos de instalações de utilização de energia eléctrica. Contudo, neste capítulo, dedicaremos especial atenção ao controlo de motores eléctricos.</li> <li>– O tema das protecções eléctricas já foi abordado na disciplina de Aplicações Tecnológicas de Electrotecnia/Electrónica do 11º ano. Pretende-se aqui consolidar os conhecimentos já adquiridos, aprofundar os conceitos e a experiência sobre os aparelhos de protecção e desenvolver competências de escolha tecnológica e dimensionamento de protecção de motores, tendo em conta a especificação terminal que os alunos estão a frequentar. Não deve, todavia, cair-se em exageros de aprofundamento teórico que esteja além do âmbito do curso.</li> </ul>	<p><b>22</b></p> <p>(2)</p> <p>(2)</p>



**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.3 - Protecção de motores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aparelhagem de protecção: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corta-circuitos fusível.</li> <li>▪ Disjuntores.</li> </ul> </li> <li>- Regulamentação do arranque e protecção de motores.</li> <li>- Dimensionamento das protecções contra sobrecargas e contra curtos-circuitos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caracterizar os vários tipos e as várias classes de serviço dos corta-circuitos fusíveis.</li> <li>- Distinguir as características, de tempo instantâneo, de tempo independente e combinadas, dos relés de protecção.</li> <li>- Relacionar característica de tempo de uma protecção contra sobreintensidades com a curva de fadiga térmica da instalação protegida.</li> <li>- Descrever sucintamente o princípio de funcionamento dos relés térmicos e electromagnéticos.</li> <li>- Identificar os valores característicos da grandeza actuante que definem um relé de intensidade.</li> <li>- Definir disjuntor e descrever a função de cada um dos seus elementos.</li> <li>- Utilizar os conceitos e as normas regulamentadas no RSIUEE para seleccionar e dimensionar as protecções dos motores eléctricos contra sobrecargas, curtos-circuitos, falta de tensão ou sub-tensão e falta de fase, considerando as condições e características de arranque e de funcionamento da máquina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recorrer aos conhecimentos e à experiência dos alunos para discutir os defeitos eléctricos e suas consequências, bem como as qualidades que deve ter um sistema de protecção.</li> <li>- Levar os alunos a consultar o RSUIEE no que diz respeito à definição dos vários conceitos e regras relacionadas com a protecção de instalações e equipamentos, especialmente de motores eléctricos, bem como com os aparelhos de protecção e dispositivos associados.</li> <li>- Familiarizar os alunos com a consulta de informação técnica de fabricantes e distribuidores, quer impressa, quer em suporte multimédia, para o estudo dos aparelhos de protecção.</li> </ul>	<p>(2)</p>

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.4 - Estudo do contactor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Função e classificação.</li> <li>- Características e vantagens.</li> <li>- Constituição e funcionamento.</li> <li>- Comportamento em c.a. e em c.c..</li> <li>- Contactos eléctricos.</li> <li>- Processos de extinção do arco eléctrico.</li> <li>- Relés e contactores estáticos.</li> <li>- Acessórios: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contactos auxiliares normais e temporizados.</li> <li>▪ Encravamentos.</li> <li>▪ Limitadores de extracorrente de corte.</li> </ul> </li> <li>- Escolha e dimensionamento de contactores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir contactor e enumerar as suas características eléctricas e mecânicas.</li> <li>- Demonstrar que o contactor facilita o comando à distância, a sinalização dos estados de operação, bem como a interligação com a restante aparelhagem de protecção, seccionamento e comando.</li> <li>- Descrever a constituição de um contactor e as funções e características dos seus vários elementos.</li> <li>- Enumerar as vantagens do contactor.</li> <li>- Distinguir o comportamento em c.a e em c.c. e identificar formas de limitar o consumo da bobina.</li> <li>- Definir arco eléctrico e descrever sumariamente o seu funcionamento.</li> <li>- Justificar as principais técnicas de extinção do arco eléctrico usadas no contactor.</li> <li>- Descrever as características dos contactos eléctricos.</li> <li>- Descrever sumariamente a constituição, o funcionamento e as características dos relés e dos contactores estáticos.</li> <li>- Distinguir os vários tipos de contactos auxiliares, suas características de operação e suas utilizações.</li> <li>- Descrever as funções e a forma de utilização dos vários acessórios dos contactores.</li> <li>- Definir e utilizar critérios de escolha e de dimensionamento de contactores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A função de manobra, entendida como a modificação do estado de funcionamento de um circuito, é também designada por pré-accionamento, por comutação e até por comando. Pretende-se distinguir, por uma questão de clarificação de conceitos, a manobra binária da manobra contínua. A primeira é do tipo tudo-ou-nada, tipicamente executada por contactores e refere-se, por exemplo, ao arranque directo ou escalonado de motores, à comutação de velocidade e de sentido de marcha e ainda à travagem. A segunda é executada por dispositivos electrónicos como arrancadores e variadores de velocidade, que realizam o controlo de arranque, de velocidade e de travagem de motores de forma progressiva.</li> <li>- Consultar informação técnica de fabricantes.</li> </ul>	<p>(3)</p>

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.5 - Associações de aparelhagem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tipos de associação.</li> <li>– Aparelhagem de funções múltiplas: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disjuntor magneto-térmico.</li> <li>▪ Contactor-disjuntor.</li> <li>▪ Seccionador-contactor-disjuntor.</li> </ul> </li> <li>– Escolha e dimensionamento do disjuntor.</li> <li>– Coordenação da vária aparelhagem.</li> </ul> <p><b>9.6 - Travagem de motores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Processos de travagem: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mecânica por electro-freio ou freio hidráulico.</li> <li>▪ Por contracorrente.</li> <li>▪ Por injeção de corrente rectificada.</li> </ul> </li> <li>– Esquemas de controlo de travagem de motores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fazer a integração da aparelhagem das várias funções de controlo de potência eléctrica, seleccionando-a e dimensionando-a de forma a garantir a sua conveniente coordenação.</li> <li>– Identificar os aparelhos de funções múltiplas.</li>   <li>– Justificar a necessidade de travagem de motores.</li> <li>– Descrever e caracterizar os vários processos de travagem.</li> <li>– Comparar os vários processos de travagem, nomeadamente no que diz respeito à forma de dissipação da energia cinética, aos desgastes mecânicos, aos esforços mecânicos e térmicos, e à necessidade de detecção do momento de paragem.</li> <li>– Desenhar e interpretar esquemas de potência e de comando por lógica cablada, para diversos tipos de travagem de motores eléctricos.</li> </ul>		<p>(2)</p>         <p>(2)</p>

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.7 - Controladores electrónicos de velocidade</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de controladores.</li> <li>- Quadrantes de funcionamento.</li> <li>- Funcionalidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aceleração controlada.</li> <li>▪ Variação de velocidade.</li> <li>▪ Regulação de velocidade.</li> <li>▪ Desaceleração controlada.</li> <li>▪ Travagem.</li> <li>▪ Inversão de marcha.</li> <li>▪ Limitação de corrente.</li> <li>▪ Protecções eléctricas.</li> <li>▪ Sequência de fases.</li> </ul> </li> <li>- Graduador de tensão: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição e funcionamento.</li> <li>▪ Funcionalidades.</li> <li>▪ Esquemas de ligação.</li> <li>▪ Arranque de vários motores com o mesmo arrancador.</li> </ul> </li> <li>- Rectificador controlado para motor de c.c.: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição e funcionamento.</li> <li>▪ Funcionalidades.</li> <li>▪ Esquemas de ligação.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justificar a substituição, em certas aplicações, dos arranques binários pelo arranque contínuo com arrancador ou variador de velocidade electrónico.</li> <li>- Estabelecer um diagrama de blocos para descrição sumária do módulo de controlo e do módulo de potência de um controlador electrónico de velocidade.</li> <li>- Identificar e definir o funcionamento de um motor nos quatro quadrantes.</li> <li>- Definir cada uma das funcionalidades dos arrancadores e variadores.</li> <li>- Definir os vários modos de funcionamento: unidirecional, reversível, a binário constante, a potência constante, hipersíncrono, etc.</li> <li>- Identificar os vários tipos de controladores electrónicos de velocidade.</li> <li>- Descrever sumariamente a constituição e o princípio de funcionamento de cada tipo de controlador electrónico de velocidade.</li> <li>- Especificar as funcionalidades de cada tipo de controlador.</li> <li>- Estabelecer os critérios de escolha de controladores de velocidade.</li> <li>- Desenhar e interpretar esquemas de ligação de arrancadores e de variadores de velocidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os controladores electrónicos de velocidade abrangem os arrancadores progressivos (graduadores de tensão) e os variadores de velocidade. Ressalvando as suas especificidades, servem para fazer o controlo do arranque, da velocidade, da travagem e do sentido de marcha dos motores. Notar que os graduadores de tensão, além de servirem de arrancadores (e travadores) de motores assíncronos, também se aplicam para ligar e desligar de forma progressiva cargas resistivas.</li> <li>- Os controladores electrónicos de motores passo-a-passo e de servomotores auto-síncronos, para além de gerarem a sequência de fases que produz o campo girante nos enrolamentos indutores, também servem para controlar a velocidade e o sentido de marcha dos motores.</li> <li>- Quanto à constituição interna e ao funcionamento interno dos vários tipos de controladores electrónicos de velocidade não é necessário entrar em grandes detalhes.</li> </ul>	<p>(4)</p>

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conversor de tensão-frequência para motores as-síncronos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição e funcionamento.</li> <li>▪ Funcionalidades.</li> <li>▪ Esquemas de ligação.</li> </ul> </li> <li>– Controlador/variador para ser-vo-motor auto-síncrono:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição.</li> <li>▪ Princípio de funcionamento.</li> <li>▪ Funcionalidades.</li> <li>▪ Esquemas de ligação.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>9.8 - Motorizações eléctricas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Caracterização da máquina accionada:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Curva característica do binário; resistente (constante, crescente ou decrescente).</li> <li>▪ Binário de inércia.</li> <li>▪ Potência.</li> <li>▪ Frequência de rotação.</li> <li>▪ Variação e regulação de velocidade.</li> </ul> </li> <li>– Escolha do tipo de motor e do tipo de arranque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caracterizar as máquinas a serem accionadas.</li> <li>– Enumerar e identificar casos práticos de máquinas com diferentes curvas características de binários em função da velocidade.</li> <li>– Estabelecer e usar critérios adequados de escolha e dimensionamento de motores e de escolha do tipo de controlo do arranque, da velocidade e da travagem, em função das características da máquina a ser accionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Discutir exemplos reais de máquinas accionadas com diversas características de binário (elevadores, bombas, ventiladores, centrifugadores, trituradores, compressores, transportadores, desenroladores, etc.).</li> </ul>	<p>(2)</p>

**Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p><b>9.9 - Transmissões mecânicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Acoplamentos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rígido.</li> <li>▪ Elástico.</li> </ul> </li>   <li>– Transmissão de movimentos rotativos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transmissão por correias.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Justificar a necessidade de alinhamento de veios nos acoplamentos e definir desvios de alinhamento.</li> <li>– Descrever e comparar vários tipos de acoplamentos (de disco rígido, de fole, de juntas ou cardans elásticos, de molas, etc.).</li>   <li>– Enumerar vantagens e inconvenientes da transmissão de movimentos por correias.</li> <li>– Explicar a possibilidade de alteração da velocidade angular entre o veio mandante e o mandado.</li> <li>– Calcular a razão de transmissão entre dois ou mais pares de tambores.</li> <li>– Justificar a conservação de energia (e de potência) na transmissão de movimentos (desprezando atritos).</li> <li>– Definir as condições necessárias ao alinhamento de eixos e tambores.</li> <li>– Enunciar as condições para aumentar o arco de contacto das correias.</li> <li>– Enunciar as condições para diminuir o escorregamento (alinhamento de tambores, relação máxima de diâmetros de tambores, distância mínima entre veios, tensão, qualidade e estado da correia, escolha do ramo tirante).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilizar exemplos práticos da indústria para debater e dimensionar transmissões cinemáticas em função de binários ou de velocidades lineares ou angulares desejadas.</li> <li>– Dar maior relevo à transmissão por correias por ser a que necessita de maiores cuidados de manutenção.</li> </ul>	<p>(3)</p>



#### IV. Bibliografia Geral

Alain, H., Claude N. & Michel P. (1985). *Machines Électriques, Électronique de Puissance. Le Technicien Dunod*. Paris: Bordas.

(Recomendado para docentes).

André, S. (1987). *Cours de Schémas d'Électricité*, Tomo 2. Paris: Édition Eyrolles.

(Recomendado para o estudo da regulação de velocidade e travagem de motores assíncronos. Aconselhado aos docentes).

Arnold, R. & Stehr, W. (1972). *Máquinas Eléctricas* (2 vols.). S. Paulo: E.P.U.

(Tradução brasileira do original alemão. Abordagem bastante prática das máquinas eléctricas, de fácil consulta pelo aluno).

Barry, J. (1978). *Schémas d'Électricité*. Paris: Édition Eyrolles.

(Existe a tradução portuguesa editada pela Presença. Contém, entre muitos outros temas, variados esquemas de controlo de arranque e travagem de motores, bem como de comutação de sentido de marcha e de velocidade. Acessível ao aluno).

Bellier, M. & Galichon, A. (1972). *Machines Électriques, Terminal F3*. Paris: Delagrave.

(Livro didáctico para consulta do professor).

Grupo Schneider (1995). *Variação de Velocidade, Curso de formação*. Lisboa: autor.

(Estudo da variação e regulação de velocidade. Aconselhado a docentes e alunos).

Guérin, D. et al. (1994). *Esquemateca – Tecnologias do Controlo Industrial*. Paris: Éditions CI-TEF.

(Manual sobre o controlo de potência eléctrica e de motores com algum tratamento teórico e diversos exemplos práticos. Acessível à consulta por parte dos alunos).

Heumann, K. (1981). *Fundamentos de la Electrónica de Potencia*. Madrid: Paraninfo – AEG-Telefunken.

(Tratamento aprofundado da electrónica de potência e dos conversores de velocidade. Para o professor).

Leote, L. E. & Matias, J. (1982). *Sistemas de Protecção Eléctrica*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para aluno).



Leote, L. E. & Matias, J. (1982). *Automatismos Industriais – Comando e Regulação*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para aluno no que se refere ao estudo do contactor).

Malmaison, R. (1991). *La Commande d'Axe – Théorie et Applications Industrielles*. Paris: Éditions CITEF.

(Edição com a colaboração da Télémecanique. Para o professor aprofundar o tema do controlo de eixo e de posição).

Malvino, A. P. (1991). *Electrónica no Laboratório*. S. Paulo: McGraw-Hill.

(Recomendado para alguns trabalhos práticos de componentes electrónicos. Aconselhado aos docentes).

Matias, J. (1990). *Máquinas Eléctricas: Corrente Alternada e Corrente Contínua*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para o aluno).

Niard, J. (1984). *Électronique, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Niard, J. (1985). *Machines Électriques, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Papenkort, F. (1989). *Esquemas Eléctricos de Comando e Protecção*. S. Paulo: E.P.U.

(Tradução brasileira do original alemão. Contém muitos esquemas de controlo de arranque e travagem de motores, bem como de comutação de sentido de marcha e de velocidade. Acessível ao aluno).

Pinto, A. & Caldeira, J. (1996). *Tecnologias, 12º Ano*. Porto: Porto Editora.

(Recomendado para o estudo dos componentes da electrónica de potência. Aconselhado aos alunos).

Rodrigues, J. & Matias, J. (1984). *Transformadores*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Pode ser usado pelos alunos, apesar de conter tratamento matemático que ultrapassa o nível do curso).

Schuler, C. M. (1986). *Industrial Electronics and Robotics*. E.U.A.: McGraw-Hill.

(Recomendado ao professor. Tratamento prático de temas como a electrónica de potência, controlo de motores).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 11º ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de transístores bipolares e de efeito de campo).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 12º ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de amplificadores operacionais – regulação).

Télémecanique (1988). *Électronique de puissance* (catálogo). Paris: autor.

(Estudo dos componentes da electrónica de potência, aconselhado aos docentes).