

**José Manuel Ribeiro Baptista**

Professor Auxiliar

Departamento de Engenharias

Escola de Ciências e Tecnologia

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

***Gestão e Qualidade da Energia Elétrica***

(Conteúdos e métodos de organização científica e de execução pedagógica)

Relatório sobre os Conteúdos e os Métodos de Organização Científica e de Execução Pedagógica da Unidade Curricular “*Gestão e Qualidade da Energia Elétrica*”, do “*Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores*”, apresentado a concurso para a obtenção do grau de agregado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Relatório apresentado no âmbito das **Provas de Agregação**, de acordo com a **alínea b)**, do número 2, do artigo 8.º do Decreto – Lei n.º 239/2007, de 19 de julho.

**utad**

Vila Real, 2019



## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÍNDICE</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>RESUMO</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>2. ENQUADRAMENTO DO TEMA</b> .....  | <b>9</b>  |
| 2.1. <i>A gestão eficiente da energia elétrica</i> .....                             | 9         |
| 2.2. <i>A qualidade da energia elétrica</i> .....                                    | 10        |
| <b>3. A GESTÃO E QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA COMO UNIDADE CURRICULAR</b> .....     | <b>15</b> |
| 3.1. <i>Ensino da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica em Portugal</i> .....       | 15        |
| 3.2. <i>Ensino da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica no Resto do Mundo</i> ..... | 16        |
| <b>4. ENQUADRAMENTO DA UNIDADE CURRICULAR NO CURSO</b> .....                         | <b>19</b> |
| 4.1. <i>Objetivos da Unidade Curricular</i> .....                                    | 21        |
| 4.1.1. <i>Objetivos específicos:</i> .....   | 22        |
| <b>5. MÉTODOLOGIA DE ENSINO</b> .....  | <b>25</b> |
| 5.1. <i>Mudança do Paradigma Educativo</i> .....                                     | 25        |
| 5.2. <i>Método a aplicar na UC de Gestão e Qualidade de Energia Elétrica</i> .....   | 26        |
| <b>6. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO</b> .....  | <b>29</b> |
| 6.1. <i>Primeira aula</i> .....  | 29        |
| 6.2. <i>Introdução à Utilização Eficiente de Energia</i> .....                       | 29        |
| 6.3. <i>Potências e fator de potência em instalações elétricas</i> .....             | 30        |
| 6.4. <i>Os diagramas de carga e a estrutura tarifária</i> .....                      | 30        |
| 6.4.1. <i>Diagrama de cargas</i> .....   | 31        |
| 6.4.2. <i>Estrutura tarifária</i> .....  | 32        |
| 6.5. <i>Gestão de Consumos de Energia</i> .....                                      | 33        |
| 6.5.1. <i>O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE)</i> .....    | 33        |
| 6.5.2. <i>Auditorias Energéticas</i> .....   | 34        |
| 6.5.3. <i>Gestão de Energia Elétrica em Edifícios e na Indústria</i> .....           | 34        |
| 6.6. <i>A Qualidade da Energia Elétrica</i> .....                                    | 36        |
| 6.7. <i>A Qualidade de Serviço</i> .....   | 37        |
| 6.8. <i>Planificação da Atividade Letiva</i> .....                                   | 37        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>7.</b> | <b>SISTEMA DE AVALIAÇÃO .....</b>   | <b>41</b> |
| 7.1.      | <i>Obtenção de frequência à unidade curricular.....</i>                               | <i>42</i> |
| 7.2.      | <i>O processo de avaliação.....</i>   | <i>42</i> |
| <b>8.</b> | <b>BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA .....</b>   | <b>47</b> |
| 8.1.      | <i>Bibliografia Principal .....</i>   | <i>47</i> |
| 8.2.      | <i>Bibliografia Auxiliar .....</i>  | <i>49</i> |
| <b>9.</b> | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>51</b> |
| 9.1.      | <i>Outras referências consultadas.....</i>  | <i>52</i> |
|           | <i>ANEXO I.....</i>   | <i>55</i> |
|           | <i>Reprodução de slides de Apoio ao Ensino Teórico.....</i>                           | <i>55</i> |
|           | <i>ANEXO II.....</i>  | <i>57</i> |
|           | <i>Exemplo de Problemas para resolução nas aulas Práticas.....</i>                    | <i>57</i> |
|           | <i>ANEXO III.....</i>   | <i>58</i> |
|           | <i>Exemplar de Protocolo de Trabalho de Grupo a Realizar nas Aulas Práticas .....</i> | <i>58</i> |
|           | <i>ANEXO IV –.....</i>  | <i>59</i> |
|           | <i>Provas Tipo para Testar os Conhecimentos Teóricos dos Alunos.....</i>              | <i>59</i> |
|           | <i>ANEXO V.....</i>   | <i>60</i> |
|           | <i>Temas para desenvolvimento - Monografias .....</i>                                 | <i>60</i> |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1 – PROPOSTA DE PLANO DE ESTUDOS DO MESTRADO (2º CICLO) EM ENGENHARIA<br>ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES – RAMO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIA E AUTOMAÇÃO<br>INDUSTRIAL..... | 20 |
| TABELA 2 – NOVOS PARADIGMAS DA EDUCAÇÃO .....  | 26 |
| TABELA 4 – GESTÃO E QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA: PLANIFICAÇÃO DAS AULAS TEÓRICAS .....   | 39 |

## RESUMO

O relatório aqui apresentado corresponde a um programa semestral da unidade curricular (UC) de **Gestão e Qualidade da Energia Elétrica**, que se pretende venha a integrar um novo plano curricular do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Com a publicação do Decreto Lei Nº 65 de 16 de agosto de 2018 que altera o regime jurídico dos graus e diplomas do ensino superior, o fim dos mestrados integrados no âmbito dos cursos de engenharia deverá ser concretizado até ao final do ano letivo de 2020-2021. Assim, o atual Mestrado integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MIEEC) da UTAD, terá de ser submetido a uma nova reestruturação que passará pela sua readequação ao Modelo de Bolonha, havendo perspetivas desta nova UC poder vir a integrar os novos planos curriculares.

Atualmente, na estrutura curricular do MIEEC, existe já uma UC denominada Gestão da Qualidade da Energia (DR, 2.<sup>a</sup> série - N.º 169 - 31 de agosto de 2015), cujos conteúdos estão mais centrados nos aspetos da qualidade da onda de tensão e a qual se pretende substituir pela proposta aqui apresentada que se pretende mais abrangente.

O Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da UTAD entrou em funcionamento no ano letivo 2015/2016 implementando o conceito de ciclo de estudos integrado conducente ao grau de Mestre, conforme estabelecido na Lei de Bases do Ensino Superior, surgindo na sequência de uma reformulação profunda do anterior modelo adaptado ao Modelo de Bolonha que assentava em dois ciclos de estudos. Com esta reformulação, o plano de estudos do curso passou a ter um tronco comum de três anos seguido de três percursos formativos alternativos denominados de ramos, Eletrónica e Instrumentação; Automação Industrial e Telemática. Existindo em cada ramo um conjunto de UC's comuns e uma área de especialização à qual estão associadas UC's opcionais.

Atualmente a UC de Gestão da Qualidade da Energia faz parte do conjunto de UC's obrigatórias pertencentes ao ramo de Automação Industrial, sendo lecionada no 2º semestre do 4º ano (8º semestre do curso). Continuando a ser este o momento adequado para a inserção da nova UC no curriculum, atendendo à especificidade dos assuntos a abordar e ao nível de conhecimentos necessários adquiridos anteriormente pelos alunos.

A unidade curricular de **Gestão e Qualidade da Energia Elétrica**, surge assim, como um contributo, na abordagem de questões como a gestão da energia elétrica, tanto do lado da oferta como do lado da procura, assim como, do ponto de vista da qualidade da própria energia, cujos padrões são cada vez mais exigentes.

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito das Provas de Agregação, o presente relatório incide sobre a Unidade Curricular (UC) de *Gestão e Qualidade da Energia Elétrica*, que se pretende faça parte do plano de estudos do **Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (2º ciclo)**, atualmente em preparação, dando assim cumprimento ao Decreto Lei N° 65 de 16 de agosto de 2018. Este mestrado, passará assim a fazer parte da oferta educativa oferecida pela Escola de Ciências e Tecnologia (ECT) da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

O candidato tem já uma vasta experiência nesta área, adquirida, primeiro, através do seu doutoramento, onde se especializou e, depois, através de vários projetos académicos e trabalhos de investigação científica de que faz ou fez parte (ver *curriculum vitae*).

Atendendo à importância que a área da Gestão e Qualidade da Energia passou a ter nos diversos setores da economia, muitas têm sido as universidades nacionais e estrangeiras que têm incluído nos seus planos curriculares esta temática, conforme será dado nota no capítulo 3.

A inclusão desta área na formação de mestres em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores revela-se muito oportuna, não só porque nos últimos anos se tem assistido a uma degradação acentuada da qualidade da energia elétrica distribuída, mas também, pela necessidade de tornar os sistemas elétricos energeticamente mais eficientes, exigindo assim a inclusão de soluções tecnológicas e de medidas de gestão inovadoras, sempre sem descuidar a componente comportamental. A UC de Gestão e Qualidade da Energia Elétrica, será proposta para o 2º semestre do 1º ano do mestrado, dado que nesta fase da sua formação os alunos possuírem já determinados requisitos e conhecimentos sólidos nas áreas inerentes aos sistemas elétricos de energia (SEE).

Este relatório encontra-se organizado da seguinte forma. No capítulo 2 é feito o enquadramento do tema da UC, onde são abordados os temas da gestão eficiente da energia e a qualidade da energia elétrica. No capítulo 3 é feito um levantamento em termos nacionais e internacionais sobre o ensino da gestão e qualidade da energia elétrica nas instituições de ensino superior. Nos capítulos 4 e 5 são apresentados respetivamente, os objetivos e os métodos de ensino propostos para a UC, enquanto no capítulo 6 são

apresentados os conteúdos programáticos. No capítulo 7 apresenta-se e discute-se a metodologia adotada para a avaliação de conhecimentos. Por último, no capítulo 8, apresenta-se a bibliografia recomendada, considerada suficiente para o acompanhamento da disciplina.

## 2. ENQUADRAMENTO DO TEMA

A energia elétrica é considerada atualmente um bem essencial para o bem-estar da sociedade, sendo o seu fornecimento considerado um Serviço Público, sendo por isso, de extrema importância garantir a continuidade e qualidade deste serviço. Paralelamente, existe um imperativo cada vez maior, de tornar as instalações e as redes cada vez mais eficientes, obrigando a uma gestão permanente de todos os aspetos relacionados com o consumo de energia elétrica.

### 2.1. A gestão eficiente da energia elétrica

Ao longo dos últimos anos todos os setores da economia se têm vindo a adaptar no sentido de se tornarem energeticamente mais eficientes. Este esforço comum tem vindo a ser vertido em sucessivas diretivas da União Europeia, posteriormente transpostas para a ordem jurídica nacional. Exemplo disso, são as diretivas da União Europeia relativas à eficiência energética, nomeadamente a Diretiva 2012/27/UE (transposta para o ordenamento jurídico nacional pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 30 de abril) que estabeleceu um novo enquadramento para a promoção da eficiência energética, enquadrada na Estratégia Europa 2020. Recentemente, por proposta do Parlamento Europeu, o Conselho Europeu aprovou uma alteração a essa diretiva, tendo assim sido definidos novos objetivos, nomeadamente no respeitante à eficiência energética PE-CONS 54/18 de 5 de Dezembro. Assim, até 2030, a UE tem de garantir que 32 % da sua energia provém de fontes renováveis e atingir a grande meta de 32,5 % no domínio da eficiência energética. Outro dos grandes objetivos passa pela redução anual em cerca de 0,8% do consumo de energia final, entre 2021 e 2030.

No sentido de dar cumprimento a estas metas, muitos têm sido os desenvolvimentos nos últimos anos, levando nomeadamente à necessidade de elaboração de documentos normativos dos quais a nova norma internacional IEC 60364-8-1 “Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Eficiência Energética” (IEC 60364-8-1, 2014) é exemplo disso. Não sendo uma norma de aplicação obrigatória, é uma recomendação que descreve detalhadamente o estado da arte de um projeto energeticamente eficiente, pondo em destaque os três objetivos de enquadramento global:

- Minimização das perdas de energia na instalação elétrica;
- O uso da energia no momento certo, quando é precisa e ao mais baixo custo;
- Manter uma exploração eficiente da instalação ao longo do tempo.

Também no domínio da investigação desenvolvida, muitas têm sido as propostas apresentadas, dos quais as referências (Lee *et al.*, 2014; Liska *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2011) são bem exemplo disso.

Neste cenário, a gestão e a eficiência nos consumos de energia elétrica revela-se um instrumento cada vez mais importante não só para a competitividade das organizações, mas acima de tudo, para um desenvolvimento que se pretende cada vez mais sustentável.

## **2.2. A qualidade da energia elétrica**

A qualidade da energia elétrica entregue pelas empresas distribuidoras aos consumidores foi sempre objeto de interesse, principalmente para os consumidores industriais. Porém, até há alguns anos atrás, a qualidade da energia era sobretudo sinónimo de continuidade de serviço, ou seja, a principal preocupação era a minimização das interrupções. Havendo no entanto, outros parâmetros fundamentais, como os níveis de tensão e de frequência que não deveriam ultrapassar determinados limites. Além disso, durante dezenas de anos a grande maioria das cargas elétricas consistiam em cargas lineares. Por essa razão, e uma vez que as tensões da alimentação são sinusoidais, as correntes consumidas eram também sinusoidais e da mesma frequência, podendo apenas encontrar-se desfasadas relativamente à tensão (Martins *et al.*, 2003).

O conceito de qualidade da energia envolve um amplo conjunto de fenómenos eletromagnéticos que podem ocorrer na rede elétrica. Podendo tais alterações ocorrer em diferentes partes do sistema elétrico de energia, nas instalações dos consumidores ou na rede de distribuição. A fim de regular e regulamentar estes fenómenos foram criadas diversas normas internacionais das quais se destacam a recomendação do IEEE 1159-1995 (IEEE 1159, 1995) que define com precisão cada um dos fenómenos que podem

afetar a rede elétrica. A norma IEC 61000-1-1 (IEC 61000-1-1, 1992), relativa à compatibilidade eletromagnética dos equipamentos, ou seja, a aptidão de um aparelho ou de um sistema funcionar no seu ambiente eletromagnético de modo satisfatório e sem produzir ele próprio interferências eletromagnéticas intoleráveis para tudo o que se encontre nesse ambiente. E ainda, outra norma de extrema importância para balização dos fenómenos associados à qualidade da energia, a norma EN 50160 (EN 50160, 2010). Trata-se de uma norma europeia, já revista várias vezes (a última publicada em Julho de 2010), que define as Características da tensão fornecida pelas redes públicas de distribuição. Esta norma publicada pelo CENELEC (Comité Europeu de Normalização Electrotécnica), define, no ponto de fornecimento ao consumidor, as características principais da tensão para as redes públicas de abastecimento de energia em Baixa Tensão.

Foi a partir da última década do século XX que a qualidade da energia elétrica se tornou uma questão estratégica para todos os setores envolvidos neste mercado, desde as empresas distribuidoras aos consumidores, com principal ênfase para os consumidores industriais, bem como para os fabricantes de equipamentos. Basicamente, houveram três razões que levaram a esta mudança de paradigma.

A primeira, foi a *necessidade económica das empresas aumentarem a sua competitividade, num mercado cada vez mais global*. Esta necessidade das empresas aumentarem a sua competitividade, levou forçosamente à implementação de estratégias de redução de custos que passaram pela redução dos custos inerentes às perdas de continuidade no fornecimento e custos inerentes à falta de qualidade da energia distribuída. Neste contexto, os custos inerentes às perturbações que afetam as redes (interrupções, quedas de tensão, harmónicos, sobretensões, etc.), passou a ter um significado importante para as organizações. Custos que têm em conta as perdas de produção, a deterioração da qualidade dos produtos e as falhas nos prazos de entrega. Além disso, o mau funcionamento ou o desligamento de equipamentos vitais, como computadores, sistemas de iluminação e de segurança, podem colocar vidas em risco (por exemplo, em hospitais, sistemas de iluminação de aeroportos, edifícios públicos, etc.). Destes custos também passaram a fazer parte medidas de manutenção preventiva para antecipar e evitar possíveis problemas.

Outro dos fatores que passou a ser tido em conta para a redução dos custos foi o correto dimensionamento das instalações elétricas, sem recurso a sobredimensionamentos desnecessários. Também a escolha dos tarifários mais adequados aos diagramas de carga e regimes de exploração passaram a ser fator fundamental na redução da fatura energética.

As consequências da degradação da qualidade da energia elétrica levam também à redução da eficiência energética das instalações, levando a uma fatura energética mais elevada. Resultando em sobrecargas, causando envelhecimento prematuro dos equipamentos e aumentando o risco de avarias, além de levar ao sobredimensionamento dos equipamentos de distribuição, nomeadamente transformadores e respetivas proteções.

A segunda razão, foi a *utilização generalizada de equipamentos sensíveis às perturbações e que em simultâneo muitos deles são também geradores de perturbações*. Nas últimas décadas tem-se assistido a um crescimento generalizado da utilização de sistemas eletrónicos, baseados em microcontroladores e eletrónica de potência. O desenvolvimento destas tecnologias, trouxe inúmeras vantagens, melhorando o desempenho e a versatilidade dos sistemas. Exemplo disso, são os variadores eletrónicos de velocidade utilizados na indústria, os sistemas informáticos, a iluminação fluorescente, entre outros. No entanto, este tipo de equipamentos têm a particularidade de serem sensíveis às variações de tensão, sendo o seu funcionamento afetado pelas perturbações que possam surgir na rede de alimentação. Além disso, a sua grande maioria tem um comportamento fortemente não-linear, resultando em correntes absorvidas distorcidas que acabam por resultar em deformações na forma de onda da tensão. Assim, a presença destes equipamentos em grande quantidade e na mesma instalação exige um sistema de alimentação elétrico cada vez mais robusto em termos de continuidade e qualidade.

A terceira razão foi a *liberalização dos mercados de eletricidade*. Nos últimos anos, as regras que regulam o setor elétrico passaram por mudanças radicais, a produção de eletricidade abriu-se à concorrência, a produção passou a ser descentralizada e os consumidores que agora podem também ser produtores, têm a oportunidade de escolher o seu fornecedor (Ferraci, 2001).

Esta mudança de paradigma deu-se a partir de 1985, momento em que a Comunidade Económica Europeia define através da Diretiva 85/374/CEE (Diretiva 85/374/CEE, 1985)

que a eletricidade deve ser considerada um produto e, como consequência, tornou-se necessário definir claramente as suas características essenciais, o que veio a ser feito em 1995 com a publicação da norma EN 50160 (EN 50160, 2010), entretanto revista, que descreve as características principais da tensão de alimentação numa rede de distribuição de média ou baixa tensão, no ponto de entrega ao cliente e em condições de exploração normais. Além disso, no contexto da liberalização dos mercados de energia, a qualidade do produto passou a ser um fator diferenciador e de competitividade entre as empresas distribuidoras.



### 3. A GESTÃO E QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA COMO UNIDADE CURRICULAR

Nesta secção descreve-se, ainda que de forma não exaustiva, a situação atual do ensino da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica nas instituições do ensino superior nacionais e estrangeiras. Da descrição apresentada, é possível concluir que muitas são as instituições que incorporam esta área do conhecimento nos seus currículos, o que é bem demonstrativo da importância e da atualidade do tema.

#### 3.1. Ensino da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica em Portugal

No panorama nacional, fazendo uma análise aos currículos de algumas das principais escolas de engenharia do país, verifica-se que estas, contemplam nos seus planos de estudos os temas da gestão e qualidade da energia elétrica. Exemplo disso, são os três casos que a seguir se apresentam relativos à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, onde os temas são abordados em duas UC's, a Universidade de Coimbra, que de forma análoga aborda estas temáticas em duas UC's e a Universidade Nova de Lisboa, onde a temática da gestão da energia elétrica é abordada no Mestrado em Energias Renováveis.

#### **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP:**

- **Mercados e Qualidade** (4º ano, 2º semestre; 2T+2TP; 6 ECTS) obrigatória no ramo de Energia do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.
- **Gestão da Energia** (5º Ano 1º semestre, 2T+2TP; 6 ECTS) – opcional no Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

#### **Universidade de Coimbra – UC**

- **Gestão de Energia Elétrica** (4º Ano, 1º semestre; 2T+2TP; 6 ECTS), obrigatória no ramo de especialização em Energia do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

- **Mercados e Qualidade de Energia** (5º Ano, 1º semestre; 2T+2TP; 6 ECTS), opcional no ramo de especialização em Energia do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

### **Universidade Nova de Lisboa – UNL**

- **Gestão da Energia Elétrica** (1º ano, 2º semestre; 2T+2TP; 6 ECTS -) – obrigatória no Mestrado em Energias Renováveis (2º ciclo).

Da análise feita aos três exemplos atrás apresentados conclui-se que em todos os casos os temas são abordados em UC's enquadradas no 4º e 5º anos dos respetivos cursos, dado tratar-se de áreas com alguma especificidade não faria sentido apresentá-las em momentos anteriores dos respetivos planos de estudo. Outra constatação, é a de que todas as UC's têm a mesma carga horária (4 horas semanais) e igual número de créditos (6 ECTS).

### **3.2. Ensino da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica no Resto do Mundo**

Quando se considera o panorama internacional, a situação não é diferente. Com efeito, a UC apresentada neste documento (ou similar), pode ser encontrada em variadíssimos planos curriculares de universidades que vão desde a Europa à América do Norte, passando pela Índia e pela Austrália. Na última década têm proliferado os *curricula* académicos que contêm a Gestão e Qualidade da Energia Elétrica nos seus planos de curso.

Na Europa, e só para citar algumas instituições, esta temática pode ser encontrada em universidades espanholas (Universidade de Sevilha onde é ministrada a UC opcional de “*Calidad de la Señal de Red*”, Universidade de Valência onde é lecionada a UC opcional de “*Mercado Eléctrico y Gestion de la Energía Eléctrica*”), francesas (Universidade de Poitiers – École Nationale Supérieure D'Ingénieurs de Poitiers, onde são ministradas as UCs de “*Gestion et Qualité de L'énergie Électrique*” e “*Compatibilité électromagnétique*”), inglesas (Universidade de Manchester - *School of Electrical and Electronic Engineering*, onde é ministrada a UC de “*Power System Dynamics & Quality of Supply*”).

Na América do Norte, podemos encontrar várias instituições de ensino superior em que a gestão e qualidade da energia elétrica surge nos seus *Curricula*. Entre muitas outras, podemos encontrar esta temática nas universidades de Austin no Texas (onde é ministrada ao curso de *Electrical and Computer Engineering* a UC de “**Power Quality and Harmonics**”), na universidade do Missouri (*Missouri University of Science and Technology*, onde é leccionada ao curso de *Electrical Power Systems Engineering* a UC de “**Electric Power Quality**”), na universidade de Arlington no Texas (*University of Texas at Arlington – College of Engineering*, onde é ministrada ao curso de *Master in Electrical Engineering* a UC de “**Power Quality**”).

Na América do Sul são também várias as instituições que abordam esta temática, exemplo disso são a faculdade de Tecnologia da universidade de Brasília, que na Pós-graduação em Engenharia Elétrica - Área de Sistemas de Potência, disponibiliza aos seus alunos a UC de “**Qualidade da Energia Elétrica**”. Também na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de Campinas no Brasil, existe uma área de investigação dedicada ao estudo da Qualidade da Energia Elétrica, liderada pelo Professor José Antenor Pomillio. Ainda na América do Sul, na Colômbia, na Universidade do Norte estes assuntos são abordados na especialização em Gestão de Sistemas Eléctricos de Potência através das UCs de “**Calidad de la Energia Eléctrica**” e “**Confiabilidad de los Sistemas Eléctricos**”.

Também na Ásia e na Oceânia existem instituições onde estas temáticas são abordadas, é exemplo disso na Índia, a universidade de Gujarat (*Gujarat Technological University*) que no ramo de *Electrical & Electronical Engineering* disponibiliza a UC de “**Power Quality and Management**”. Na Austrália, a universidade de Vitória apresenta a UC de “**Power Quality and Harmonics**”, leccionada no ramo de especialização em Sistemas de Potência enquadrado no Mestrado em Engenharia. Também na Austrália, a universidade de Wollongong (*Wollongong University*) disponibiliza a UC de “**Power Quality**” no mestrado em Engenharia Eletrotécnica (*Master of Electrical Power Engineering*).

Também nesta abordagem, feita a várias instituições não europeias se pode concluir que a temática da gestão e qualidade da energia elétrica surge com regularidade nos planos

curriculares dos cursos de Engenharia Eletrotécnica, principalmente naqueles que contemplam especializações ou ramos relacionados com Sistemas de Potência.

#### 4. ENQUADRAMENTO DA UNIDADE CURRICULAR NO CURSO

A Engenharia Eletrotécnica e de Computadores encontra-se na vanguarda das áreas chave do desenvolvimento, sendo transversal a todas as áreas da engenharia e estando no centro das decisões estratégicas ligadas ao desenvolvimento sustentado e à melhoria da qualidade de vida. Assim, o Mestrado (2º ciclo) em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, onde se enquadra a UC aqui apresentada, deverá ter como grandes objetivos a formação de profissionais com um elevado nível de qualidade técnica, científica e ética, capazes de responder às necessidades de modernização da economia à escala global neste domínio, tendo em conta os ramos de especialização (Automação, Controlo e Energia; Eletrónica e Instrumentação; Telemática). Devendo ainda fornecer uma formação sólida que habilite aqueles que o desejarem a prosseguirem os seus estudos num 3º ciclo (Doutoramento) e uma carreira na área da investigação.

Desde o encontro realizado em Bolonha, em 1998, que as universidades europeias iniciaram um processo de criação de uma área comum de ensino superior europeu, com vista a permitir uma maior mobilidade dos alunos entre as várias instituições europeias e o conseqüente reconhecimento dos graus por todas as instituições. O denominado *Processo de Bolonha* introduz um sistema de ensino baseado em três ciclos, em que o 1º ciclo corresponde a uma Licenciatura (ou Bacharelato), de 3 ou 4 anos, o 2º ciclo corresponde ao Mestrado, e o 3º ciclo ao Doutoramento. Além desta alteração, o Processo de Bolonha pressupõe uma mudança no paradigma de ensino, introduzindo um modelo de ensino centrado no aluno. Este modelo, baseia-se no desenvolvimento de competências onde se incluem as competências de natureza genérica, mas também as competências de natureza específica, associadas à área de formação e onde a componente experimental e de projeto desempenham um papel importante. A Tabela 1 apresenta o plano de estudos proposto para o Mestrado (2º ciclo) em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores – Ramos de Especialização em Automação, Controlo e Energia, onde é evidente a preocupação em atingir os objetivos atrás citados.

**Tabela 1 – Proposta de Plano de Estudos do Mestrado (2º ciclo) em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores – Ramo de Especialização em Automação, Controlo e Energia**

| Unidade Curricular                             | Regime   | Ano<br>Semestre | Horas de Trabalho |                            | ECTS     |
|--|----------|-----------------|-------------------|----------------------------|----------|
|  |          |                 | Total             | Contacto                   |          |
| Processamento Digital de Sinal                 | O        | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Automação Industrial                           | O        | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Otimização e Algoritmos                        | O        | 1 / 1S          | 81                | TP-30; OT-3,0              | 3        |
| Gestão de Projetos em Engenharia               | O        | 1 / 1S          | 81                | TP-30; OT-3,0              | 3        |
| Sistemas de Microcontroladores                 | O        | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Opção A-1                                      | OP       | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Robótica                                       | O        | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Controlo Digital                               | O        | 1 / 2S          | 81                | TP-30; OT-3,0              | 3        |
| <b>Gestão e Qualidade da Energia Elétrica</b>  | <b>O</b> | <b>1 / 2S</b>   | <b>162</b>        | <b>T-30; PL-30; OT-4,5</b> | <b>6</b> |
| Sistemas de Mobilidade Elétrica                | O        | 1 / 2S          | 81                | TP-30; OT-3,0              | 3        |
| Sistemas Inteligentes                          | O        | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Opção A-2                                      | OP       | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Preparação para a Dissertação                  | O        | 2 / 1S          | 81                | OT-33                      | 3        |
| Energias Renováveis e produção Descentralizada | O        | 2 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Instalações Elétricas Industriais              | O        | 2 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Controlo Avançado                              | O        | 2 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Controlo Inteligente                           | O        | 1 / 2S          | 81                | TP-30; OT-3,0              | 3        |
| Opção A-3                                      | OP       | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Dissertação                                    | O        | 2 / 2S          | 810               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 30       |
| <b>Opções A-1</b>                              |          |                 |                   |                            |          |
| Segurança em Instalações Elétricas             | OP       | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Gestão de Redes e Sistemas Distribuídos        | OP       | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Processamento Digital de Imagem                | OP       | 1 / 1S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| <b>Opções A-2</b>                              |          |                 |                   |                            |          |
| Transporte e Distribuição de Energia           | OP       | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Computação Natural                             | OP       | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| Computação móvel e ubíqua                      | OP       | 1 / 2S          | 162               | T-30; PL-30; OT-4,5        | 6        |
| <b>Opções A-3</b>                              |          |                 |                   |                            |          |

|                                 |    |         |     |                     |   |
|---------------------------------|----|---------|-----|---------------------|---|
| Sistemas Energéticos Emergentes | OP | 2 / 1S  | 162 | T-30; PL-30; OT-4,5 | 6 |
| Aprendizagem automática         | OP | 2 / 1S  | 162 | T-30; PL-30; OT-4,5 | 6 |
| Redes Avançadas de Computadores | OP | 2 / 12S | 162 | T-30; PL-30; OT-4,5 | 6 |

T - Teóricas; PL – Práticas Laboratoriais; OT – Orientação Tutorial; O – Obrigatória; OP – Optativa

**Nota:** Esta é a proposta para o plano de estudos, aquando da elaboração deste documento (janeiro de 2019).

A proposta de Mestrado (2º ciclo) aqui apresentada, tem 120 ECTS, desenvolvendo-se ao longo de quatro semestres letivos (dois anos), conferindo o grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. A estratégia adotada para a definição do conjunto de unidades curriculares oferecidas aos alunos, tem em conta o ramo de especialização escolhido, possibilitando ainda a existência de diferentes UC's opcionais, em função das preferências e interesses profissionais de cada aluno. Tratando-se de um curso de 2º ciclo, pressupõe-se que os alunos admitidos, possuam uma base sólida de formação inicial na área da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, que lhes permita a aquisição de competências específicas na área de especialização escolhida.

Os temas a abordar no curso são variados e cobrem as áreas cientificamente emergentes, nomeadamente em termos de investigação. A UC Dissertação tem uma importância fundamental neste plano de estudos, não só pelo peso que apresenta face às restantes (33 ECTS), mas sobretudo por permitir a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, podendo ser desenvolvida junto de empresas ou grupos de investigação.

#### 4.1. Objetivos da Unidade Curricular

Nesta unidade curricular procura-se proporcionar aos alunos um conjunto de conceitos, técnicas e ferramentas fundamentais que os sensibilize para a importância da utilização racional da energia nos edifícios e na indústria, habilitando-os a analisar e a otimizar os sistemas de produção e utilização de energia, com especial incidência no caso da Energia Elétrica. Para a prossecução deste objetivo é fundamental ter um conhecimento do quadro legal e regulamentar não só a nível nacional como também europeu.

Outro dos grandes objetivos da UC passa por demonstrar aos alunos a importância que a qualidade da energia elétrica tem para os SEE e a forma como isso afeta a eficiência energética das instalações. Para tal, o conhecimento das principais perturbações que afetam os SEE é fundamental, assim como, saber quais as suas causas, consequências e

formas de mitigação. Também aqui, torna-se relevante o conhecimento normativo e regulamentar que enquadra esta temática, nomeadamente o Regulamento da Qualidade de Serviço.

Com estes dois objetivos gerais, pretende-se abordar os conceitos fundamentais de uma forma sólida, de modo a permitir aos alunos uma base de sustentação suficientemente robusta, dotando-os de uma capacidade de puderem evoluir sozinhos.

Neste enquadramento, os objetivos específicos e as principais competências para a unidade curricular são enumerados a seguir.

#### 4.1.1. Objetivos específicos:

1. Dotar os alunos do conceito de Utilização Racional da Energia com especial incidência no caso da Energia Elétrica;
2. Identificar oportunidades de racionalização de consumos de energia elétrica em edifícios e na indústria;
3. Adaptar os regimes tarifários aos diagramas de carga das instalações, quantificando as opções tomadas;
4. Conhecer de forma detalhada as imposições regulamentares, nomeadamente do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE);
5. Ter a capacidade para caracterizar os consumos através de auditorias energéticas;
6. Compreender os diferentes aspetos da qualidade da energia elétrica, da qualidade de serviço e respetivos indicadores;
7. Conhecer e saber aplicar as normativas relativas à qualidade da energia e qualidade de serviço;
8. Entender as causas e consequências dos problemas associados à falta de qualidade da energia;
9. Conhecer as diferentes soluções mitigadoras para os problemas associados à falta da qualidade da energia;
10. Ter a capacidade de monitorizar situações reais em termos técnicos e regulamentares, apontando soluções mitigadoras.

A unidade curricular, tal como está organizada, procura não só transmitir conhecimento de base na área da Gestão e Qualidade da Energia Elétrica, como também uma formação suficientemente sólida que permita aos alunos evoluir e aprofundar os seus conhecimentos numa futura carreira profissional na área. No final da unidade curricular, espera-se que os alunos tenham adquirido a capacidade de identificar e avaliar, as melhores oportunidades de racionalização de consumos de energia elétrica, assim como terem a capacidade de levar a cabo auditorias técnicas que permitam avaliar os níveis de qualidade da energia identificando e projetando as medidas mitigadoras necessárias para elevar quer os padrões qualitativos quer a eficiência energética das instalações.

Sintetizando, podemos condensar os vários objetivos apresentados anteriormente num único: o objetivo principal desta UC será, então, levar o aluno a desenvolver um raciocínio lógico, fundamentado e estruturado para o desenvolvimento de soluções no âmbito da gestão e qualidade da energia elétrica, que o auxiliará no futuro a responder a necessidades específicas.



## 5. MÉTODOLOGIA DE ENSINO

### 5.1. Mudança do Paradigma Educativo

Nos dias de hoje, são cada vez mais os investigadores das áreas pedagógicas a defenderem que o facto de os jovens criarem e partilharem conteúdos digitais na Internet a um ritmo acelerado deve conduzir-nos a uma inevitável alteração das estruturas de ensino, adaptando um conjunto de novas competências àquilo que os autores apelidam de uma literacia dos novos média (Jenkins *et al.*, 2009; Ito *et al.*, 2009). Com a mudança dos paradigmas educacionais, a atitude do aluno passar de passiva a ativa, tornando-se ele o principal responsável pelo seu desenvolvimento intelectual, assim, é primordial que ele passe a utilizar todos os recursos disponíveis para a aquisição de conhecimentos, troca de informações e estabelecimento de espírito crítico sobre os assuntos com os quais se defronta no dia a dia (Grigas, 1998; Norman *et al.*, 1996). As implicações destas alterações, tanto para os educadores e pais, como para os agentes políticos, são evidentes: os novos média digitais alteraram o modo como os jovens socializam e aprendem. Salienta-se, aqui, dois dos aspetos frisados pelos autores:

1. o facto de os jovens, quando estão em rede, aprenderem as competências sociais e tecnológicas fundamentais para uma futura participação ativa e consciente na sociedade contemporânea, isto é, os novos média sociais e recreativos são usados como lugar de aprendizagem;
2. aponta-se para a necessidade (ou oportunidade) de se repensar o papel da própria educação, não apenas aproveitando e explorando o potencial de recursos educativos disponíveis em rede, mas ainda alargando o espectro das oportunidades de ensino disponíveis na sociedade e na comunidade.

A Tabela 2 apresenta os novos paradigmas educativos que pressupõem diferentes aplicações tecnológicas.

Tabela 2 – Novos Paradigmas da Educação (Terceiro, 1996)

| Velho Modelo          | Novo Modelo                 | Implicações tecnológicas                        |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| Aulas em Sala         | Exploração individual       | Computadores em rede com acesso à informação    |
| Absorção passiva      | Aprendizagem                | Modelo de simulação                             |
| Trabalho individual   | Aprendizagem em grupo       | Colaboração através de correio eletrônico       |
| Professor omnisciente | Professor conselheiro       | Acesso a especialistas através da rede          |
| Conteúdo estável      | Conteúdo mutável e dinâmico | Necessidade de redes e de ferramentas de edição |

## 5.2. Método a aplicar na UC de Gestão e Qualidade de Energia Elétrica

A unidade curricular de Gestão e Qualidade da Energia Elétrica está planeada para 15 semanas efetivas de aulas, contendo, duas tipologias: aulas teóricas e aulas práticas laboratoriais. Por semana, estão alocadas duas horas para aulas teóricas e duas horas para aulas práticas laboratoriais.

Os métodos de ensino utilizados são baseados nas práticas preconizadas pelo Processo de Bolonha, na experiência adquirida pelo candidato na lecionação de unidades curriculares afins, bem como na experiência adquirida através da gestão e participação em projetos e orientação de trabalhos académicos em áreas afins. Tal, permite que os conhecimentos sejam transmitidos, aliando as melhores e mais atuais referências nesta área, com uma perspetiva pragmática e de aproximação aos contextos reais em que o aluno se vai ver envolvido no seu quotidiano profissional futuro.

**Nas aulas teóricas**, todos os assuntos do programa da UC serão apresentados, discutidos e aprofundados, sempre que possível, recorrendo a exemplos concretos de aplicação, que farão a ponte com aulas práticas. Os vários conceitos relativos à Gestão e Qualidade da Energia Elétrica serão introduzidos de forma natural e coerente, apoiados por diapositivos e complementados, sempre que o assunto o permitir, com exemplos práticos. Os diapositivos, produzidos pelo professor, contêm os tópicos relativos às matérias

abordadas, complementados, com esquemas, figuras e vídeos. No Anexo I apresenta-se como exemplo, um conjunto de diapositivos utilizados nas aulas teóricas. Como se pretende que este material possa ser utilizado como ferramenta de estudo da UC, é acrescentado algum texto explicativo, garantindo a contextualização dos assuntos abordados e a ligação à bibliografia recomendada. Apesar de se tratar de aulas teóricas, a especificidade do programa da UC (ver secção seguinte) motiva que as aulas teóricas possam em parte algumas delas, ter um cariz teórico-prático, onde a realização de problemas exemplificativos aconteça. No início de cada aula procura fazer-se um breve resumo da aula anterior de forma a enquadrar o aluno no assunto atual. Desta forma, consegue-se ainda um outro objetivo que é o de mostrar a interligação dos vários assuntos da UC.

**Nas aulas práticas laboratoriais,** serão implementadas duas tipologias de funcionamento distintas, havendo aulas do tipo teórico-prático, nas quais se dará ênfase à resolução de exercícios e aulas práticas onde os alunos desenvolverão trabalhos em grupo. Os exercícios exemplificativos são realizados no quadro, tendo os alunos acesso prévio aos respetivos enunciados através da plataforma de apoio ao ensino (SIDE): No Anexo II apresenta-se um exemplar, com enunciados de problemas tipo. Durante as aulas é feito um apelo constante à participação dos alunos, através do lançamento de questões como forma de motivar a discussão do(s) problema(s) apresentados.

Nas aulas práticas, será privilegiado o método demonstrativo, através do desenvolvimento de trabalhos práticos em grupo de dois elementos, sob a supervisão do professor. No Anexo III apresenta-se um exemplar de um protocolo de um dos trabalhos práticos a desenvolver. Nestas aulas, o docente assume também o papel de consultor e de tutor, dado que a sua principal preocupação é assegurar o devido acompanhamento do desenvolvimento dos trabalhos práticos dos alunos. Nestas aulas, será dada total liberdade para o uso de ferramentas da Internet para pesquisa e aprofundamento das temáticas abordadas, o que permitirá reforçar o modelo de ensino centrado no aluno. Pelas razões apresentadas, todas as aulas práticas decorrerão em ambiente de laboratório de computadores.

Em resumo, com esta abordagem pedagógica, pretende-se desenvolver no aluno uma postura ativa na aprendizagem, em processo de busca intencional do conhecimento capaz de explicar ou permitir resolver problemas. A informação por si só, transmitida pelo professor, não constrói o conhecimento, que é um bem adquirido pelo aluno ao aprender a processar estas informações por cognição e a transformá-las através de sua própria experiência em conhecimento efetivo, útil e disponível.

## 6. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

O conteúdo programático proposto está perfeitamente adaptado ao espírito de Bolonha, fazendo do aluno o centro de todo o processo de ensino-aprendizagem, e tem em conta a persecução dos objetivos enunciados para a unidade curricular. Assim propõe-se o seguinte programa:

- I. Introdução à utilização eficiente de energia;
- II. Potências e fator de potência em instalações elétricas;
- III. Os diagramas de carga e a estrutura tarifária;
- IV. Gestão de consumos de energia;
- V. A qualidade da energia elétrica;
- VI. A qualidade de serviço.

O conteúdo programático apresentado está organizado de forma encadeada para possibilitar uma compreensão progressiva das matérias abordadas na unidade curricular e contribuir para os objetivos definidos. Nas subsecções que se seguem apresenta-se o programa proposto, de forma detalhada, para o funcionamento da unidade curricular e a sua distribuição ao longo do semestre. O programa encontra-se estruturado em seis capítulos, abordados e explorados nas 15 semanas previstas de aulas, perfazendo um total de 30 horas teóricas e 30 horas práticas.

### 6.1. Primeira aula

A primeira aula é dedicada à apresentação da unidade curricular e à escolha por parte dos alunos dos temas das monografias a desenvolver durante o semestre. Da apresentação da UC fazem parte os objetivos da disciplina, o programa previsto, as normas de avaliação, as datas de exame (caso já estejam disponíveis), o número de aulas previstas, a bibliografia recomendada e a equipa docente.

### 6.2. Introdução à Utilização Eficiente de Energia

Nesta segunda aula de duas horas é feito um enquadramento ao tema da utilização eficiente da energia. Para tal, são apresentados alguns gráficos estatísticos que demonstram a evolução da matriz energética mundial nos últimos anos e as perspetivas

para os próximos. É também estudado o caso Português, com enfoque para a evolução do consumo total de energia por setor de atividade. A forte penetração que se tem verificado nos últimos anos relativamente à produção de eletricidade a partir de energias renováveis também é abordado.

A eficiência energética de uma economia ou de um setor de atividade pode aferir-se através de indicadores como a Intensidade Energética e o Consumo Específico de Energia. A evolução destas variáveis mostra qual tem sido a evolução que a eficiência energética tem tido no nosso país e quais as tendências e as metas a que Portugal está obrigado por parte da União Europeia. A promoção da utilização de fontes de energia renovável é também abordada com enfoque para os sistemas de autoconsumo.

Finaliza-se a aula com uma abordagem ao equilíbrio necessário entre as quatro vertentes que constituem o desafio futuro: Procura energética; Matriz energética; Custo da energia e Eficiência energética. Com esta conclusão procura-se fomentar o debate entre os alunos.

### **6.3. Potências e fator de potência em instalações elétricas**

Embora a UC se enquadre numa formação de 2º ciclo com um elevado grau de especialização em Engenharia Eletrotécnica, poderá verificar-se o ingresso de alunos onde a formação inicial nesta área não seja suficientemente sólida. Assim, este segundo capítulo tem como principal objetivo rever alguns conceitos e relações importantes no que diz respeito à gestão eficiente da energia elétrica. Um dos principais indicadores que revela o grau de eficiência com que a eletricidade é consumida numa instalação é o fator de potência. Nesta terceira aula, são revistos os conceitos de potência ativa, reativa e aparente em circuitos monofásicos e trifásicos e como tais valores influenciam o fator de potência. São ainda estudados os mecanismos de compensação do fator de potência, que tornam as instalações energeticamente mais eficientes. Esta parte da matéria é acompanhada com a apresentação de casos reais e resolução de problemas, nomeadamente nas aulas práticas.

### **6.4. Os diagramas de carga e a estrutura tarifária**

Neste terceiro capítulo é estudado o conceito de diagrama de cargas e a forma como tal influencia a escolha mais adequada da estrutura tarifária. Estes assuntos são geralmente tratados em duas aulas teóricas, ou seja, em cerca de quatro horas, que serão

complementadas com duas aulas práticas (quatro horas) para a realização de exercícios demonstrativos.

#### 6.4.1. Diagrama de cargas

As características do consumo impõem a modulação da energia consumida no tempo através de uma função conhecida por diagrama de cargas, que traduz a variação desse consumo ao longo das horas do dia e dos dias do ano. O conhecimento de tal histograma revela-se de primordial importância para uma gestão eficiente dos consumos de eletricidade, nomeadamente na indústria, onde o controlo detalhado de tais consumos é essencial para a gestão e otimização de custos. O conhecimento do diagrama de carga permitirá implementar sistemas de gestão que em tempo real monitorizem os consumos permitindo não só um conhecimento permanente de vários parâmetros como também controlar os consumos em horas de ponta, momento em que a energia é mais cara. Sendo assim, possível otimizar o consumo pelas tarifas mais económicas, através de uma distribuição mais favorável.

Ainda nesta secção são estudados todos os parâmetros indicadores associados aos diagramas de carga:

- Potência Média;
- Fator de Vazio;
- Fator de Carga ou de Ponta;
- Fator de Utilização;
- Índice de Utilização da Ponta;
- Índice de Utilização da Potência Instalada;
- Fator de Simultaneidade e de Diversidade;
- Diagrama de Cargas Classificadas;
- Diagrama de Probabilidades.

A matéria abordada nesta secção ocupa uma aula de ensino teórico de duas horas e uma aula de ensino prático também de duas horas, onde são resolvidos alguns exercícios demonstrativos.

#### 6.4.2. Estrutura tarifária

O mercado da eletricidade tem vindo a sofrer alterações profundas que culminaram com a criação do Mercado Ibérico da Eletricidade, MIBEL. Embora o setor elétrico tenha sido aberto à iniciativa privada através do Decreto-Lei n.º 449/88, de 10 de dezembro, foi com o pacote de novos instrumentos jurídicos publicados em 1995 (Decretos-Lei n.º 182/95 a 188/95, todos de 27 de Julho) que foram consagradas as bases do novo modelo para a organização do mercado da energia elétrica. Atualmente a liberalização abrange todos os consumidores.

Neste cenário de liberalização, apresentam-se no mercado várias opções tarifárias, umas associadas ao Mercado Regulado e outras ao Mercado Liberalizado. Assim, o conhecimento da estrutura tarifária adequada ao diagrama de cargas, revela-se mais um fator adicional na procura da redução de custos energéticos. Pois, os custos da energia elétrica variam de acordo com o horário, o período do ano e também o grupo de consumidores. Conhecendo estes elementos, torna-se possível adequar o tarifário à rotina de consumos e obter soluções mais eficientes.

Nesta seção é dada particular importância ao estudo dos tarifários do Mercado Regulado, que são definidos todos os anos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), dado serem de domínio público todos os parâmetros e valores associados, permitindo assim aos alunos aplicações simuladas de casos reais. Nesta secção são ainda abordados os seguintes aspetos:

- Composição da tarifa de venda a clientes finais;
- Estrutura geral das tarifas:
  - Nível de tensão;
  - Utilização da Potência;
  - Período tarifário;
  - Potência contratada;
  - Potência em horas de ponta
- Opções tarifárias (BTN, BTE, MT, AT, MAT);
- Fatores penalizados pelas tarifas e estímulos;
- Faturação da energia reativa.

À imagem da secção anterior, a matéria abordada nesta secção ocupa uma aula de ensino teórico de duas horas e uma aula de ensino prático também de duas horas, onde são resolvidos alguns exercícios demonstrativos.

## **6.5. Gestão de Consumos de Energia**

A promoção da eficiência energética tem levado a que nos últimos anos muito se tenha legislado no sentido de atingir esse objetivo comum. Nesse sentido, e no âmbito do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), surge o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) como uma das medidas a implementar de forma a monitorizar os consumos energéticos de algumas instalações através de auditorias. Neste capítulo é abordado o SGCIE e a necessidade das auditorias energéticas como ferramenta para a definição de planos de racionalização dos consumos, estando previstas quatro aulas teóricas, para abordar estes assuntos. Paralelamente, nas aulas práticas os alunos terão de desenvolver um segundo trabalho prático, que consistirá na elaboração de um Plano de Racionalização de Energia para um caso de estudo real proposto pelo docente ou pelos alunos, estando previstas três aulas práticas para o desenvolvimento do referido trabalho.

### **6.5.1. O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE)**

O SGCIE encontra-se regulado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, alterado pela Lei n.º 7/2013 de 22 de janeiro e pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, é uma das medidas previstas no PNAEE direcionada para a promoção da eficiência energética na área da Indústria. O SGCIE tem como objetivo promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia (CIE). Para o efeito, prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis.

Nesta secção serão abordados os seguintes aspetos:

- Objetivos do SGCIE;

- Aplicação do SGCIE;
- Indicadores energéticos a ter em conta;
  - Intensidade energética (IE);
  - Consumo específico de energia (CEE);
  - Intensidade carbónica (IC)
- Tramitação processual;
- Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn);
- Acordos de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

A matéria abordada nesta secção ocupa uma aula de ensino teórico, perfazendo duas horas de contacto com os alunos.

#### 6.5.2. Auditorias Energéticas

Um dos procedimentos contemplados no SGCIE é a realização de Auditorias Energéticas. A Auditoria Energética consiste num estudo detalhado das condições de utilização de energia numa instalação, permitindo contabilizar os consumos e os rendimentos energéticos dos equipamentos assim como possíveis perdas. Permite de igual modo identificar as medidas mais adequadas para as reduzir. Nesta secção, pretende-se abordar este tema com profundidade, dado que esta tarefa é normalmente executada por profissionais qualificados muitos dos quais Engenheiros Eletrotécnicos.

Nesta secção serão abordados os seguintes aspetos:

- Objetivos gerais e específicos de uma auditoria energética;
- Caracterização dos diferentes tipos de auditorias energéticas;
- Fases de uma auditoria energética;
- Análise de alguns exemplos.

A matéria abordada nesta secção ocupa uma aula de ensino teórico, perfazendo duas horas de contacto com os alunos.

#### 6.5.3. Gestão de Energia Elétrica em Edifícios e na Indústria

O PREn tem como objetivo apresentar medidas viáveis para permitir a melhoria da eficiência energética das instalações em estudo. As medidas a apresentar resultam da

avaliação feita aos resultados obtidos pela auditoria energética abordada na secção anterior. Assim, na presente secção pretende-se estudar as medidas de racionalização de energia elétrica típicas para diferentes tipologias de instalações, com principal enfoque para os edifícios (residenciais, comércio e serviços) e indústria.

Nesta secção serão abordados os seguintes aspetos:

- Eficiência energética no setor residencial;
  - Iluminação;
  - Eletrodomésticos;
  - Aquecimento/Arrefecimento.
- Eficiência energética no setor do comércio e serviços.
  - Iluminação;
  - Transporte vertical;
  - Sistemas de AVAC;
  - Tarifários.
- Eficiência energética no setor industrial;
  - Iluminação;
  - Força Motriz;
  - Sistemas de AVAC;
  - Refrigeração;
  - Controlo de ponta elétrica;
  - Tarifários.
- Ações de sensibilização e comportamentais.
- Planos de Verificação e Medição.

A matéria abordada nesta secção ocupa duas aulas de ensino teórico, perfazendo quatro horas de contacto com os alunos.

## 6.6. A Qualidade da Energia Elétrica

A Qualidade da Energia Elétrica é também um fator fundamental a ter em conta na eficiência energética dos SEE, dado que a falta de qualidade leva inevitavelmente ao aumento das perdas, não só elétricas como também financeiras. Neste capítulo, pretende-se estudar este tema, com um principal enfoque nas questões relacionadas com a qualidade da onda de tensão que ao longo dos últimos anos surge cada vez mais deformada, havendo para tal a necessidade de estudar também as medidas mitigadoras para as perturbações a abordar. Paralelamente, nas aulas práticas os alunos terão de desenvolver um terceiro trabalho prático, que consistirá na monitorização da qualidade da energia junto a um Quadro Geral de Entrada para um caso de estudo real proposto pelo docente ou pelos alunos, estando previstas três aulas práticas para o desenvolvimento do referido trabalho.

Mais concretamente neste capítulo serão estudadas as seguintes matérias:

- Introdução à Qualidade da Energia Elétrica;
- Origem das principais perturbações que afetam a rede elétrica;
- Documentos normativos,
  - EN 50160;
  - IEEE 519;
  - IEC 61000-3-2;
- Distorção harmónica de tensão e de corrente;
  - Conceitos, causas, consequências e medidas e soluções mitigadoras;
- Desequilíbrios de tensão;
- Cavas de tensão;
- Sobretensões e transitórios;
- Flutuações de tensão;
- Variações de frequência;
- Sistemas de monitorização da qualidade da energia elétrica;

Para o estudo destes assuntos estão previstas quatro aulas teóricas, o que perfaz um total de oito horas de contacto com os alunos.

## 6.7. A Qualidade de Serviço

A qualidade de serviço estabelece as obrigações de natureza técnica e comercial aplicáveis ao Sistema Elétrico Nacional. Estando as obrigações de natureza técnica relacionadas com a Continuidade de Serviço e com a Qualidade de Energia Elétrica fornecida ao Cliente, enquanto as de natureza comercial relacionadas com aspetos de comunicação e serviços prestados. Atendendo a que as questões relacionadas com a QEE foram já estudadas no capítulo anterior, pretende-se agora abordar os restantes aspetos, sendo para tal importante o conhecimento da regulamentação em vigor. Neste particular, será estudado o Regulamento da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, publicado no Diário da República, 2ª série, de 20 de dezembro com o n.º 629/2017.

Mais concretamente neste capítulo serão estudadas as seguintes matérias:

- Regulamento da Qualidade de Serviço e documentos auxiliares.
- Continuidade de serviço: Indicadores de desempenho e índices de fiabilidade;
  - Indicadores gerais (TIEP, SAIFI, SAIDI, END);
  - Indicadores individuais (NI, DI);
- Qualidade de serviço comercial;
  - Padrões da qualidade de serviço gerais e individuais.

A matéria abordada neste capítulo ocupa uma aula de ensino teórico, perfazendo duas horas de contacto com os alunos.

## 6.8. Planificação da Atividade Letiva

Tal como referido anteriormente, o semestre desenvolve-se ao longo de 15 semanas. Esta UC dedicará duas horas semanais às aulas teóricas e duas às aulas práticas laboratoriais. As duas tipologias de aulas, teórica e prática laboratoriais, desenvolver-se-ão sempre em articulação para permitir aplicar os conceitos apreendidos nas aulas teóricas às aulas práticas.

Na primeira semana (primeira aula) será efetuada a apresentação das normas de funcionamento da UC, dos objetivos a alcançar, do conteúdo programático, do método de avaliação e da bibliografia recomendada. Serão ainda apresentados os temas a

desenvolver pelos alunos em grupos de dois elementos, relativos às monografias, a desenvolver durante o semestre.

Nas semanas seguintes são abordados os seis capítulos que constam do conteúdo programático. A última aula, será dedicada à apresentação oral das monografias por parte dos alunos, momento que se pretende seja motivador e de debate sobre os temas abordados.

As aulas Práticas Laboratoriais acompanham e complementam os temas abordados na componente teórica com a resolução de problemas e de trabalhos de grupo.

Na Tabela 3 encontra-se a distribuição do conteúdo programático das aulas teóricas ao longo das 15 semanas previstas.

Tabela 3 – Gestão e Qualidade da Energia Elétrica: Planificação das aulas Teóricas

| Semana | Conteúdo   |
|--------|--|
| 1      | Apresentação dos objetivos da unidade curricular, do conteúdo programático, do sistema de avaliação e da bibliografia recomendada.<br>Escolha por parte dos alunos dos temas das monografias a desenvolver durante o semestre.   |
| 2      | <u>Cap. I – Introdução à Utilização Eficiente de Energia</u><br>Enquadramento do tema: Sustentabilidade; Política ambiental e energética. Evolução da matriz energética mundial e nacional nos últimos anos e perspectivas futuras. Indicadores nacionais. Terminologia e unidades relevantes. |
| 3      | <u>Cap. II – Potências e fator de potência em instalações elétricas</u><br>Revisões sobre conceitos relacionados com Potência e Energia. Mecanismos para a Correção do Fator de Potência.  |
| 4      | <u>Cap. III – Os diagramas de carga e a estrutura tarifária</u><br>Conceito de diagrama de cargas e a sua importância na implementação de sistemas de gestão eficientes de energia. Estudos dos indicadores associados aos diagramas de carga.   |
| 5      | <u>Cap. III – Os diagramas de carga e a estrutura tarifária (conclusão)</u><br>Estrutura tarifária de venda a clientes finais (SEP). Mercado regulado vs mercado liberalizado. Formação das tarifas. Seleção do tarifário em função do diagrama de carga. Exemplos práticos.                   |
| 6      | <u>Cap. IV – Gestão de Consumos de Energia</u><br>O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia. Enquadramento regulamentar e objetivos. Fases de implementação.   |
| 7      | <u>Cap. IV – Gestão de Consumos de Energia (continuação)</u><br>As auditorias energéticas como ferramenta para a definição de planos de racionalização dos consumos. Objetivos gerais e específicos das auditorias. Fases e metodologias de implementação.                                     |
| 8      | <u>Cap. IV – Gestão de Consumos de Energia (continuação)</u><br>Medidas para a gestão eficiente da energia elétrica em edifícios de habitação, comércio e serviços.  |
| 9      | <u>Cap. IV – Gestão de Consumos de Energia (conclusão)</u><br>Medidas para a gestão eficiente da energia elétrica na indústria.  |
| 10     | <u>Cap. V – A qualidade da energia elétrica e a qualidade de serviço</u><br>Introdução ao tema da Qualidade da Energia Elétrica e Qualidade de Serviço. Principais perturbações que afetam a rede elétrica. Causas e origens. Documentos normativos.   |
| 11     | <u>Cap. V – A qualidade da energia elétrica e a qualidade de serviço (continuação)</u><br>A distorção harmónica e as cargas não lineares. Conceitos, causas e consequências da distorção harmónica na rede e equipamentos elétricos. Medidas corretivas com filtragem passiva e ativa.         |
| 12     | <u>Cap. V – A qualidade da energia elétrica e a qualidade de serviço (continuação)</u><br>Estudo dos desequilíbrios de tensão; cavas de tensão e sobretensões. Conceitos, causas e consequências. Medidas mitigadoras.   |
| 13     | <u>Cap. V – A qualidade da energia elétrica e a qualidade de serviço (conclusão)</u><br>Estudo das flutuações de tensão e frequência. Conceitos, causas e consequências. Medidas mitigadoras.<br>Sistemas de monitorização da qualidade da energia elétrica;                                   |

|    |  |
|----|--|
| 14 | <u>Cap. VI – A qualidade de serviço</u><br>Abordagem ao Regulamento da Qualidade de Serviço e documentos auxiliares. Conceito de Qualidade de Serviço Comercial e de Continuidade de serviço em redes de distribuição. Indicadores de desempenho e índices de fiabilidade. |
| 15 | Apresentação oral das monografias por parte dos alunos.  |

## 7. SISTEMA DE AVALIAÇÃO

A avaliação é um sistema contínuo de verificação, que proporciona apoio e contribui para a obtenção de resultados. Deverá, por isso, refletir os resultados atingidos pelo aluno.

Da experiência recolhida, e tendo em conta o Modelo de Bolonha, foi possível chegar a algumas conclusões que devem ser tidas em consideração, nomeadamente valorizar formas de avaliação diversificadas e distribuídas ao longo do período de aulas. Assim, a avaliação deve incluir, sem prejuízo de eventuais metodologias de substituição, uma componente escrita de prova de conhecimentos, uma componente de prática para promover a destreza, a autonomia e a sensibilidade para as questões estudadas, e uma componente de desenvolvimento que permita aos alunos explorarem um tema do seu agrado.

Claro está, que estes conceitos além de terem de ser postos à prova, deverão igualmente ser coadjuvados pela frequência às aulas que funcionará como mecanismo potenciador de um maior sucesso.

O sistema de avaliação que a seguir se descreve está de acordo com o regulamento pedagógico da UTAD (Regulamento n.º 136/2018, publicado na 2ª série do Diário da República N.º 41, de 27 de fevereiro de 2018).

De acordo com aquele regulamento, o aluno terá à disposição 3 modos de avaliação: Avaliação Contínua (Modo 1), Avaliação Complementar (Modo 2) e Avaliação por Exame Final (Modo 3). Será, no entanto, dada preferência ao Modo 1, Avaliação Contínua.

Para realizar qualquer das provas de avaliação previstas, o aluno deverá, obrigatoriamente, proceder à sua inscrição no SIDE (Sistema de Informação de Apoio ao Ensino) até 48 horas antes da realização da prova. Esta imposição prende-se com o facto de, desta forma, ser possível otimizar os recursos a afetar/disponibilizar.

### **7.1. Obtenção de frequência à unidade curricular**

Independentemente do modo de avaliação escolhida pelo aluno, este só poderá ser avaliado se tiver obtido frequência à UC. Considera-se que o aluno obteve frequência à UC quando frequentar no mínimo 70% das horas de contacto previstas a cada componente (70% T + 70% PL). Constituem exceção a esta regra os alunos que se encontrem nas condições definidas nos nºs 1 e 2 do Artigo 19º das Normas Pedagógicas da UTAD.

Os alunos com regimes especiais deverão contactar o docente nos primeiros dez dias úteis do semestre para definir o sistema de avaliação que lhes será aplicado.

No caso em que o aluno não está matriculado na UC pela primeira vez, considera-se que este obteve frequência, caso tenha realizado, com classificação igual ou superior a 8,5 valores, a componente prática (trabalhos práticos) no ano letivo anterior.

### **7.2. O processo de avaliação**

A avaliação da UC é contínua e periódica (exceto nos casos previstos nas Normas Pedagógicas em vigor na UTAD), sendo dividida em três componentes:

1. Componente teórica, que incentive o aluno a fazer um estudo sobre toda a matéria lecionada: um teste escrito individual, onde a classificação obtida nesta prova contará com 50% para o valor da classificação final.

A componente teórica é avaliada por um teste escrito realizado no final do período letivo. A prova, será composta por perguntas de índole teórica com inclusão de problemas teórico-práticos, estando formatada para uma duração média de uma hora e trinta minutos.

As provas de avaliação escrita podem ser realizadas em avaliação contínua, sendo este o modo preferencial, ou em exame, caso o aluno não tenha obtido aprovação em avaliação contínua e esteja admitido a exame, ou caso seja um aluno com estatuto especial. O Anexo IV apresenta, a título de exemplo, duas provas de avaliação com as questões tipo que servirão para testar os conhecimentos teóricos.

2. Componente prática, que englobe os diferentes assuntos estudados ao longo do semestre letivo: trabalhos práticos em grupo de dois alunos, onde a classificação obtida contará com 30% para o valor da classificação final.

Existirá um conjunto de três trabalhos práticos a desenvolver em grupo de dois alunos, versando sobre os assuntos estudados. Os trabalhos serão realizados durante as aulas, podendo a sua realização ocupar mais do que uma aula prática laboratorial. No final do trabalho será entregue um relatório escrito, que posteriormente será alvo de avaliação. Cada trabalho será avaliado numa escala de zero a vinte valores. A assiduidade e empenho na preparação e desenvolvimento dos trabalhos serão classificados por observação direta do professor (avaliação contínua de desempenho).

A classificação da componente prática (CCP) é obtida por média ponderada das seguintes parcelas:

1. Média aritmética das classificações obtidas por avaliação do relatório entregue no final da realização de cada trabalho. O valor obtido na média das classificações obtidas em todos os relatórios contribui com 70% para a classificação final da componente prática;
2. Avaliação contínua do desempenho dos alunos que se traduz numa contribuição de 30% para a classificação final da componente experimental.

Os temas dos trabalhos a desenvolver são os seguintes:

Trabalho 1 – Gestão de Diagrama de Cargas e Tarifários;

Trabalho 2 – Elaboração de um Plano de Racionalização de Consumo de Energia;

Trabalho 3 – Avaliação e Monitorização da Qualidade da Energia Elétrica.

No Anexo III está reproduzidos um exemplar de um protocolo.

3. Componente de desenvolvimento, que promova o estudo e a consulta bibliográfica de artigos científicos: monografia sobre um tema a definir de entre os abordados na UC, realizado em grupo de dois alunos, onde a classificação obtida contará com 20% para o valor da classificação final;

Cada monografia é realizada por um grupo de dois alunos, preferencialmente pelo mesmo grupo de alunos da componente prática. O documento a entregar (na secretaria do

departamento), em papel, terá no mínimo 20 páginas efetivas (não contando o índice nem as páginas introdutórias). Adicionalmente será enviado ao responsável da UC o mesmo documento em formato digital apropriado (Adobe PDF, por exemplo). Além da entrega do documento, cada grupo terá de efetuar perante a turma, uma apresentação oral do tema, contribuindo o desempenho e qualidade da apresentação com 25% na classificação final desta componente.

Cada grupo de alunos, escolherá um tema, podendo mesmo propor um tema adicional de reconhecido interesse para os objetivos da UC. No Anexo V apresentam-se, a título de exemplo alguns temas de desenvolvimento possíveis.

### **Modo 1: Avaliação Contínua**

Conforme referido anteriormente, neste modo de avaliação, o aluno será avaliado através da realização de um teste realizado no final do período letivo, que será composto por perguntas de índole teórica com inclusão de problemas teórico-práticos, estando formatado para uma duração média de uma hora e trinta minutos.

O aluno ficará aprovado, neste regime, se obtiver uma classificação superior ou igual a 9,5 valores quando aplicada a média ponderada da Classificação do Teste (50%), Classificação da Componente Prática (30%) e Classificação de Monografia (20%). Ou seja, para apuramento da nota final, será aplicada a seguinte expressão:

$$\text{Nota Final} = 0,5 \times CT + 0,3 \times CCP + 0,2 \times CM$$

Em que:

CT – Classificação do Teste;

CCP – Classificação da Componente Prática;

CM – Classificação da Monografia.

### **Modo 2: Avaliação Complementar**

Podem submeter-se a este modo de avaliação os alunos que, não tendo obtido aprovação no Modo 1, cumpram as condições de frequência e admissão à avaliação complementar

previstas no regulamento pedagógico. Os alunos podem submeter-se a nova avaliação apenas nas componentes a que obtiverem classificação negativa inferior ao mínimo exigido no Modo 1. A Nota Final é calculada através da expressão:

$$\text{Nota Final} = 0,5 \times \text{CPAC} + 0,3 \times \text{CCP} + 0,2 \times \text{CM}$$

Em que: CPAC – Classificação da Prova de Avaliação Complementar;

A prova de avaliação complementar é idêntica à realizada no final do período letivo, sendo composta por perguntas de índole teórica com inclusão de problemas teórico-práticos, estando formatado para uma duração média de uma hora e trinta minutos, classificada para 20 valores.

### **Modo 3: Avaliação por Exame**

Os alunos que não tenham obtido aprovação no Modo 1 mas que cumpram os critérios de admissão ao Modo 2, ou que tenham optado por este modo, no caso dos alunos com estatuto especial, são admitidos ao Modo 3, Avaliação por Exame. A prova de exame é composta por perguntas de índole teórica com inclusão de problemas teórico-práticos, estando formatada para uma duração média de uma hora e trinta minutos, sendo classificada para 20 valores. Aos alunos com estatuto especial e que se tenham proposto ao Modo3, conjuntamente com esta prova ser-lhes-á exigida a realização de um trabalho prático e da monografia. Novamente, a Nota Final atribuída ao aluno será a que resultar da média ponderada da prova teórico-prática (50%) com a classificação do trabalho prático (30%) e da monografia (20%). O aluno ficará aprovado se a Nota Final for superior ou igual a 9,5 valores.

Ou seja a Nota Final do aluno é calculada através da seguinte expressão:

$$\text{Nota Final} = 0,5 \times \text{CEF} + 0,3 \times \text{CCP} + 0,2 \times \text{CM}$$

Em que CEF representa a classificação do exame final. Um aluno avaliado por exame que obtenha uma classificação final compreendida entre 8,5 e 9,5 valores poderá realizar uma prova oral.

**Nota: As omissões a este documento regem-se pelas disposições dos estatutos da UTAD.**



## 8. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

Os temas propostos neste relatório abarcam um conjunto extenso de fundamentos pelo que não se poderá indicar apenas uma única fonte, que possa servir de apoio às aulas teóricas e práticas. Como referido anteriormente, a atitude do aluno deve passar de passiva a ativa, tornando-se ele o principal responsável pelo seu desenvolvimento intelectual, assim, os alunos devem ser incentivados na sua própria investigação. Contudo, são propostas um conjunto de obras que permitam encaminhar os alunos para o foco das matérias evitando assim divagações desnecessárias dada a abundância de informação que atualmente existe sobre os temas.

Assim, o conjunto de notas de apoio teórico escrito em português no âmbito da UC é indicado como ponto de partida ou de início de estudo (reproduz-se uma aula típica no Anexo I).

Na bibliografia recomendada são sugeridas um conjunto de obras principais, essenciais para acompanhar as aulas da unidade curricular, e um conjunto de obras auxiliares, as quais podem ser usadas para complementar o estudo.

### 8.1. Bibliografia Principal

Título: Energy Management Handbook, 6th ed.

Autor(es): Wayne C. Turner and Steve Doty

Editor/ano: CRC Press, Taylor & Francis. Dordrecht; 2006

ISBN: 0-88173-542-6 (print) — 0-88173-543-4 (electronic)

Título: Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética

Autor(es): André F. Sá

Editor/ano: Publindústria; 2010

ISBN: 9789897231544

Título: Manual Técnico de Gestão de Energia.

Autor(es): Almeida, Aníbal, A. Gomes, C. Patrão, F. Ferreira, L. Marques, P. Fonseca and R. Behnke

Editor/ano: ISR - Universidade de Coimbra; 2007

ISBN: 9789728822101

Título: Electrical Power Systems Quality, 3th ed.

Autor(es): Dugan, R.C., McGranaghan. M.F., Beaty, H.W.

Editor/ano: Mc Graw Hill, NY; 2012

ISBN: 978-0-07-176156-7

Título: Power Systems Harmonics, 2nd ed.

Autor(es): Jos Arrillaga and Neville R. Watson

Editor/ano: Wiley, London; 2004

ISBN: 978-0-470-85129-6

Título: Power Quality. Mitigation Technologies in a Distributed Environment

Autor(es): Antonio Moreno-Muñoz

Editor/ano: Springer; 2007

ISBN: 978-1-84628-772-5

Título: Regulamento da Qualidade de Serviço – Setor Elétrico

Edição/ano: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2017

Regulamento n.º 629/2017, publicado na 2.ª Série do Diário da República n.º 243/2017, de 20 de dezembro

## 8.2. Bibliografia Auxiliar

Título: Energy Efficiency: Benefits for Environment and Society

Autor(es): Ming Yang and Xin Yu

Editor/ano: Springer; 2015

ISBN: 978-1447166658

Título: Manual de Gestão de Energia

Editor/ano: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2014

Título: Reactive Power Control in AC Power Systems

Autor(es): Mahdavi Tabatabaei, N., Jafari Aghbolaghi, A., Bizon, N., Blaabjerg, F.

Editor/ano: Springer; 2017

ISBN: 978-3-319-51118-4

Título: Estrutura Tarifária do Setor Elétrico

Editor/ano: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

Título: Guia do Consumidor de Electricidade no Mercado Liberalizado

Editor/ano: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2010

Título: Handbook of Energy Audits, 9<sup>th</sup> Ed.

Autor(es): Albert Thumann, Terry Niehus, William J. Younger

Editor/ano: Fairmont Press, Inc.; 2012

ISBN: 978-1466561625

Título: IEEE Std 519: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems

Editor/ano: IEEE IAS-PES, 2014 (Rev.)

ISBN/paper: 978-0-7381-9005-1

Título: EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems

Editor/ano: European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), 1999

ICS Code: 29.020

Título: La amenaza de los armónicos y sus soluciones

Autor(es): Manuel Llorente Antón, Nicolás Bravo De Medina, Ángel Pérez Migue

Editor/ano: Ediciones Paraninfo; 2000

ISBN/paper: 978-8428327374

## 9. REFERÊNCIAS

Diretiva 85/374/CEE: Jornal Oficial das Comunidades Europeias N° L 210/29 de de 25 de Julho de 1985.

Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à Eficiência Energética

EN 50160-CENELEC: Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, 2010 (Revised).

Ferraci, P.; “Cahier technique no. 199 – Power Quality”, Schneider Electric, 2001.

Ferreira, M. A. G. V., “O Ensino de Engenharia, os Novos Paradigmas de Aprendizagem e a Internet”, Atas do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), São Paulo, 18 a 21 de Outubro de 1998, pp. 2701-2708.

IEC 60364-8-1: International standard, Low-voltage electrical installations - Part 8-1: Energy efficiency, 2014.

IEC 61000-1-1: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms, 1992

IEEE 1159 Standard: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 1995.

Ito, M.; Horst, H.; Bittanti, M.; Boyd, D.; Herr-Stephenson, B.; Lange, P. G.; Pascoe, C. J. and Robinson, L. Living and Learning with New Media, Summary of Findings from the Digital Youth Project. John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Reports on Digital Media and Learning, 2009, ISBN 978-0-262-51365-4.

Jenkins, H.; Purushotma, R.; Weigel, M.; Clinton, K. and Robison, A. J. Confronting the Challenges of Participatory Culture, Media Education for the 21st Century. John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Reports on Digital Media and Learning, 2009, ISBN 978-0-262-51362-3.

Lee, H.; Park, W.; Lee, I., “A Home Energy Management System for Energy-Efficient Smart Homes”, (Published in: 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, Las Vegas, NV, USA Date of Conference: 10-13 March 2014). DOI: 10.1109/CSCI.2014.109

Liska, M.; Marian Ivanic; Vladimir Volcko; Peter Janiga, “Research on Smart Home Energy Management System”, (Published in: 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)), Kouty nad Desnou, Czech Republic 20-22 May 2015. DOI: 10.1109/EPE.2015.7161102

Martins, J. S.; Couto, C.; Afonso, J. L.; “Qualidade de Energia Elétrica”, 3º Congresso Lusó-Moçambicano de Engenharia – CLME’2003, Engenharia e Inovação para o Desenvolvimento, Maputo, Moçambique, 19-21 Agosto 2003, pp. 219-231

Norman, D. A.; Spoher, J. C. Learner-Centered Education. Communications of the ACM. v.39, n.4, Apr.1996, pp.24-27.

Terceiro, José B. (1996), Sociedade digital – do homo sapiens ao homo digitalis, Lisboa, Relógio d’Água.

Kim, T.; Poor, H.V.; "Scheduling Power Consumption with Price Uncertainty," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 3, Sept. 2011, pp. 519-527.

Zhao, Z.; Won Cheol Lee, Yoan Shin, and Kyung-Bin Song, "An Optimal Power Scheduling Method Applied in Home Energy Management System Based on Demand Response, " ETRI Journal, Vol. 35, No. 4, pp. 677-686, Aug. 2013.

### **9.1. Outras referências consultadas**

Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores. Proposta de Adequação do Curso no Contexto da Declaração de Bolonha para 2º Ciclo de Estudos. Instituto Superior Técnico, Abril 2006.

Departamento de Engenharias. Dossier para Acreditação do Curso junto da Ordem dos Engenheiros. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Abril 2006.

Regulamento pedagógico da UTAD. Regulamento n.º 136/2018, publicado na 2ª série do Diário da República N.º 41, de 27 de fevereiro de 2018



# **ANEXO I**

**Reprodução de *slides* de Apoio ao Ensino Teórico**



# A Qualidade da Energia Elétrica

## “Perturbações: Conceitos, Causas, Efeitos e Soluções”

José Baptista

Departamento de Engenharias – ECT - UTAD

- Não pode estar sujeito a verificações para garantir a sua qualidade antes de ser utilizado;
- A qualidade pode ser influenciada por cada um dos actores do sistema eléctrico (fornecedor, distribuidor, cliente);
- A qualidade do produto é muito dependente das avarias e contingências verificadas na rede de distribuição;
- A falta de qualidade tem vindo a agravar-se devido à utilização crescente de cargas não-lineares (electrónica, informática, multimédia, etc.);
- Para consumidores diversos o conceito de qualidade é muito diferente;
- Sensibilidade crescente dos equipamentos à qualidade da tensão de alimentação;
- Maiores exigências impostas pelos consumidores e implicações de ordem económica.

- Técnica**
- Continuidade de serviço;
    - Ausência de interrupções
  - Qualidade da onda de tensão;
    - Amplitude e frequência constantes em relação aos valores nominais;
    - Sistema de tensões equilibrado e simétrico;
    - Formas de onda sinusoidais.
- Comercial**
- Qualidade comercial;
    - Atendimento;
    - Informação disponibilizada (contratos, serviços, etc.);

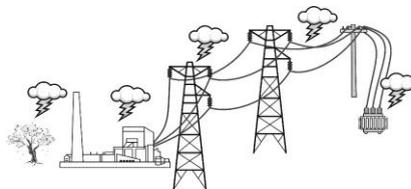
**Cobertura legal garantida pelo RQS desde 1 de Janeiro de 2001**  
Regulamento n.º 629/2017, publicado na 2.ª Série do Diário da República n.º 243/2017, de 20 de dezembro

### Internas

- Cargas não lineares
- Curto circuitos
- Manobras de operação
- Comutação de cargas
- Comutação de baterias de condensadores

### Externas

- Descargas atmosféricas
- Outras causas naturais  
(quedas de árvores, aves, fogos, etc.)



### Desde o início do século até 70's

- Sector em permanente expansão e sem grandes problemas com a Qualidade de Energia;
- Cargas robustas e pouco poluidoras;
  - Cargas lineares: resistivas, indutivas e capacitivas;
  - Não Lineares: fornos a arco, transformadores ...

### Após década de 70

- Aparecimento do transístor (tiristor) e electrónica de potência;
- Proliferação de cargas não lineares, altamente poluidoras;
- Cargas simultaneamente mais sensíveis e mais perturbadoras da qualidade de energia.

### Na perspetiva da qualidade:

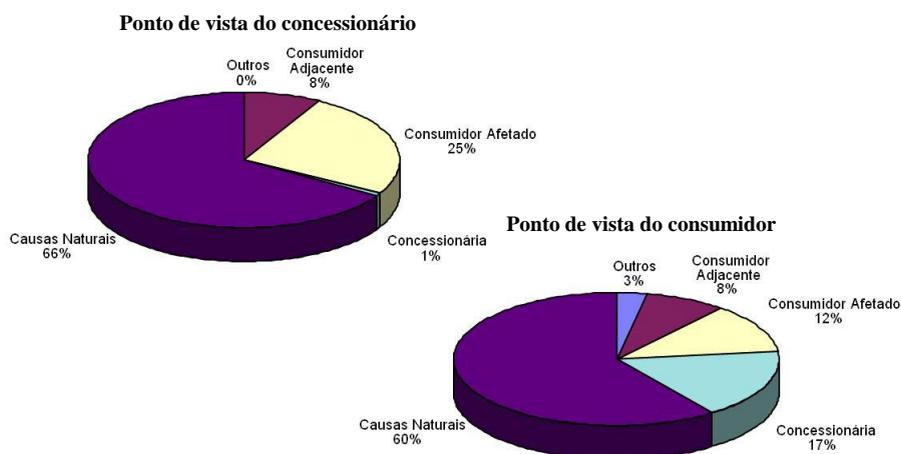
#### Desde o início do século até 70's

- Qualidade mais ou menos adequada às necessidades dos consumidores.

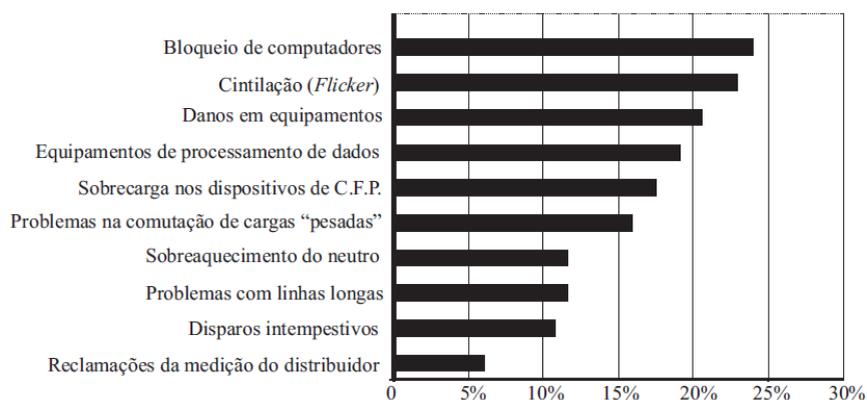
#### Após década de 70

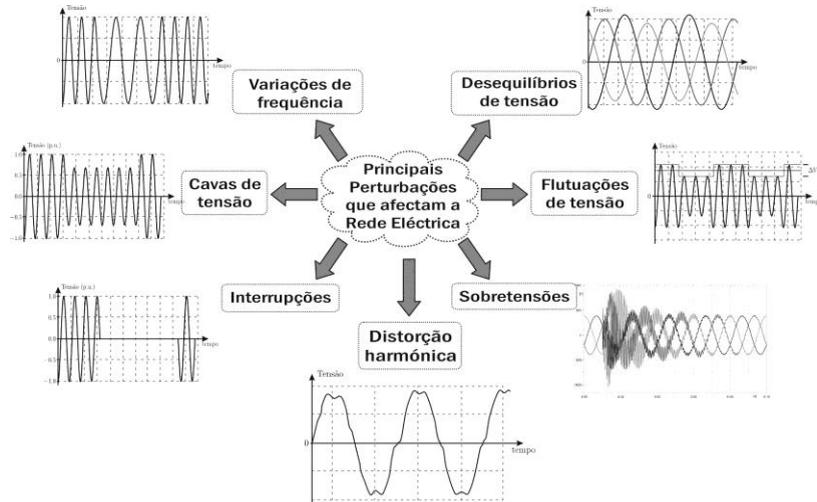
- Qualidade passa a ser altamente crítica para as empresas com tecnologias avançadas;
- Maior exigência no mercado de energia, clientes com necessidades diferenciadas e muito específicas;
- Segmentação do mercado, cada cliente necessita de um produto específico.

- As cargas atuais são em grande medida baseadas em dispositivos eletrónicos sensíveis;
- Estes elementos vieram permitir o uso mais eficiente da eletricidade e o controlo mais preciso sobre os processos;
- Simultaneamente trouxeram perturbações muito significativas à qualidade de energia;
- Os novos dispositivos são um dos principais causadores de muitos dos problemas (por exemplo as fontes comutadas) e as maiores vítimas da falta de qualidade.

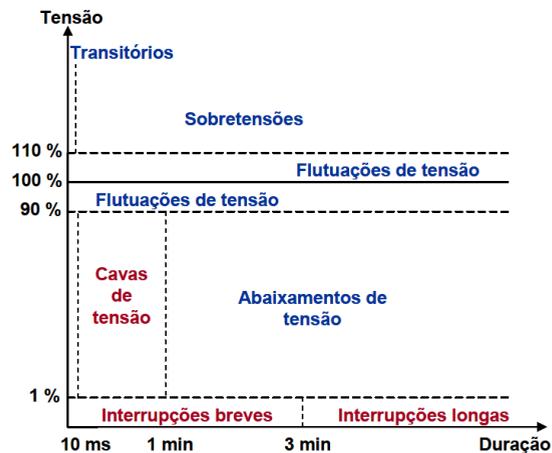


- A qualidade da energia eléctrica tornou-se um factor crucial na competitividade da maior parte das actividades económicas;
- Maior exigência na resolução dos problemas do consumidor;
- O número de atividades com maiores exigências tem vindo a aumentar nos últimos anos (indústria cada vez mais automatizada);
- Além do consumidor e do distribuidor de energia também o fabricante dos equipamentos tem exigências acrescidas para cumprir.

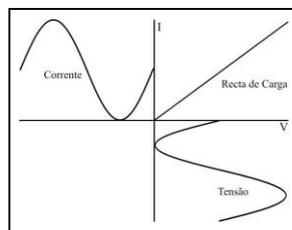
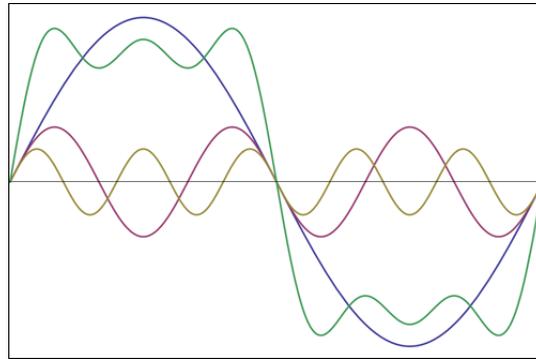




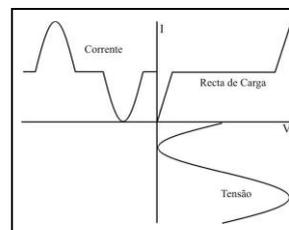
EN/NP 50160 - Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de EE



# Harmónicos



Carga linear



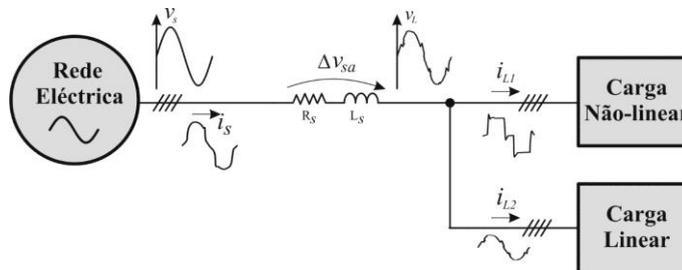
Carga não linear

Correntes não sinusoidais resultam de correntes que atravessam cargas que não se relacionam linearmente com a tensão aplicada sobre elas

Cargas Não Lineares

**HARMÓNICOS**

A circulação de correntes harmónicas nos circuitos e nas fontes (transformadores, geradores, UPS, etc.) leva ao aparecimento de tensões harmónicas proporcionais às próprias correntes e às impedâncias desses circuitos e fontes.



## Definição

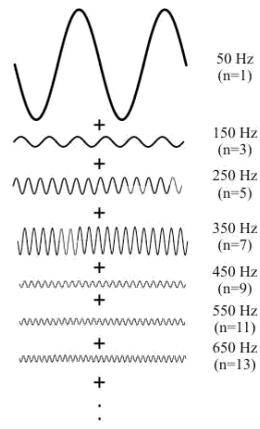
Tensão ou corrente sinusoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da tensão de alimentação.

(EN 50160)

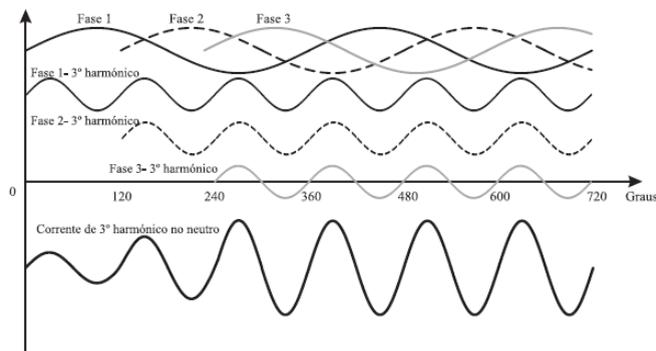
| Ordem | Freq. | Seq. | Ordem | Freq. | Seq. |
|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 1     | 50    | +    | 13    | 650   | +    |
| 2     | 100   | -    | 14    | 700   | -    |
| 3     | 150   | 0    | 15    | 750   | 0    |
| 4     | 200   | +    | 16    | 800   | +    |
| 5     | 250   | -    | 17    | 850   | -    |
| 6     | 300   | 0    | 18    | 900   | 0    |
| 7     | 350   | +    | 19    | 950   | +    |
| 8     | 400   | -    | 20    | 1000  | -    |
| 9     | 450   | 0    | 21    | 1050  | 0    |
| 10    | 500   | +    | 22    | 1100  | +    |
| 11    | 550   | -    | 23    | 1150  | -    |
| 12    | 600   | 0    | 24    | 1200  | 0    |



$$n = \frac{f_{\text{harmónico}}}{f_{\text{fundamental}}}$$



## Harmónicos HOMOPOLARES



Exemplo de correntes de terceiro harmónico somando-se no condutor neutro de um sistema trifásico.

## Série de Fourier

Segundo Joseph Fourier (1768 - 1830), qualquer sinal periódico, pode decompor-se no somatório de sinais sinusoidais cuja frequência é múltipla da fundamental, dando origem ao desenvolvimento da função em Série de Fourier.

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t + \varphi_n)$$

$Y_0$  - amplitude da componente contínua

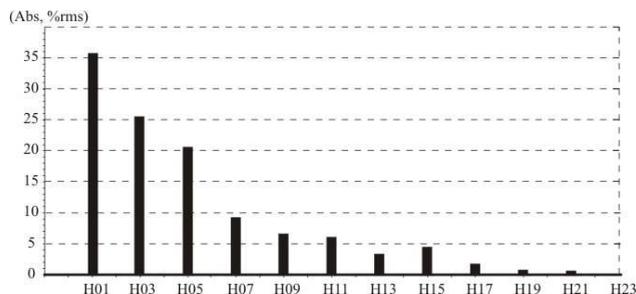
$Y_n$  - valor eficaz do harmónico de ordem  $n$

$\omega$  - frequência angular fundamental;

$\varphi_n$  - desfasamento da componente harmónica;

## Espectro Harmónico

Permite decompor um sinal nos seus harmónicos e representá-los graficamente mediante um gráfico de barras, onde cada barra representa um harmónico, com uma frequência e uma amplitude.



## Taxa de Distorção Harmónica

A Taxa de Distorção Harmónica – *THD*, surgiu como necessidade de quantificar numericamente os harmónicos de tensão ou corrente existentes num determinado ponto do sistema eléctrico.

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1} \cdot 100$$

(Std IEEE 519 / EN 50160)

### Valor eficaz (RMS) de um sinal distorcido

$$Y_{ef} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2}$$

### Factor de potência

$$FP = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

Na presença de harmónicos, quanto maior a diferença entre o fator de potência e o  $\cos \varphi$  maior será a distorção harmónica.

### Factor de pico

$$FP_v = \frac{V_{pico}}{V_{ef}} \quad FP_i = \frac{I_{pico}}{I_{ef}}$$

- Conversores estáticos de elevada e média potência;
  - Transmissão em DC (sistemas de tração);
  - Fornos de indução (siderurgia);
  - Variadores de velocidade (indústria transformadora).



- Rectificadores AC/DC;
  - Equipamentos informáticos (computadores, impressoras, etc.);
  - Equipamentos multimédia (tv, LCD, etc);
  - Reguladores de velocidade para motores.



- Iluminação;
  - Lâmpadas fluorescentes convencionais;
  - Lâmpadas fluorescentes compactas;
  - Lâmpadas de vapor de alta pressão (sódio, mercúrio).
  - Lâmpadas LED na IP (Drivers com fontes comutadas)



- Equipamentos de arco eléctrico;
  - Fornos de arco (siderurgias);
  - Equipamentos de soldadura.
- Motores assíncronos (indução);
  - Electrodomésticos;
  - Climatização;
  - Equipamentos industriais;
  - Elevadores.
- Transformadores de potência;
  - Corrente de magnetização.



- **Aquecimento dos condutores e outros dispositivos;**
  - Efeito pelicular;
  - $I_{ef}$  superiores  $\Rightarrow$  aumento das perdas por efeito de Joule
- **Disparo de protecções;**
  - Sinais com harmónicos podem ter  $I_{ef}$  baixo e no entanto atingir valores de pico elevados levando ao disparo de disjuntores e diferenciais;
  - Aquecimento leva ao disparo de dispositivos magnetotérmicos;
- **Ressonância;**
  - Condensadores em paralelo com circuitos indutivos formam circuitos ressonantes capazes de amplificar harmónicos de certas frequências;
  - $X_c = 1/\omega C$ , diminui com o aumento da frequência.
- **Deterioração da forma de onda da tensão;**
  - Correntes harmónicas ao percorrerem as impedâncias da linha e da fonte (transformador) de alimentação originam tensões harmónicas (que são tanto maiores quanto maiores forem estas impedâncias. A impedância do transformador aumenta com a frequência fazendo assim com que aumente a taxa de distorção da tensão).

$$R \cdot I_{ef}^2$$

- **Cabos e condutores;**
  - Sobreaquecimento generalizado, em particular do neutro no caso de existirem harmónicos homopolares;
- **Máquinas eléctricas;**
  - Sobreaquecimento dos enrolamentos (aumento das perdas no cobre e no ferro)  $\Rightarrow$  diminuição do rendimento;
  - Variações do binário ( $T=kV^2$ ) nos motores assíncronos;
  - Variações da velocidade (harm +, harm -) nos motores AC;
  - Redução da vida útil das máquinas (motores e transformadores).
- **Condensadores;**
  - Sobrecarga e destruição;
- **Equipamentos electrónicos (informáticos e outros);**
  - Falhas de funcionamento nas fontes de alimentação AC/DC  $\Rightarrow$  Reinicializações esporádicas e consequente perda de dados;
- **Aparelhos de medida;**
  - Erros de leitura.

A detecção da presença de harmónicos e a localização das cargas “poluidoras” numa instalação só é possível mediante a monitorização das tensões e correntes harmónicas.

- **Análise de primeiro nível:**
  - Localizar, identificar e quantificar o nível de contaminação harmónica global numa instalação e compará-la com as normas em vigor.
- **Análise de segundo nível:**
  - Quantificar o nível de contaminação correspondente a cada harmónico, com o objectivo de definir o tipo de filtro a implementar.
- **Principais grandezas a monitorizar:**
  - Amplitude dos harmónicos de tensão e corrente, para várias ordens;
  - Desfasamento entre tensão e corrente para harmónicos da mesma ordem;
  - Taxas de Distorção Harmónica total (THD);

**IEEE Std 519** (Práticas recomendadas e requisitos para controlo de harmónicos no SE)

| THD <sub>u</sub>                     | Consequências  |
|--------------------------------------|--|
| THD ≤ 5%                             | Não existem problemas na maioria dos casos                                     |
| 5 < THD ≤ 8%                         | Aparecimento de falhas de funcionamento em dispositivos extremamente sensíveis |
| 8% < THD ≤ 10%                       | Falhas de funcionamentos em aparelhos mais robustos                            |
| THD > 10%                            | Efeitos prejudiciais a longo prazo são praticamente certos                     |
| Segundo a norma EN/NP 50160 THD < 8% |  |

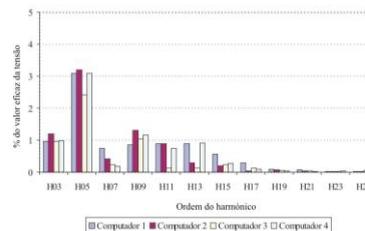
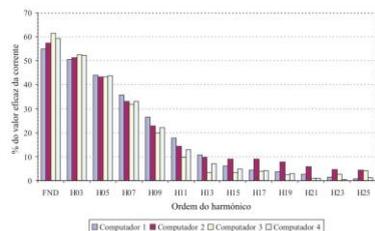
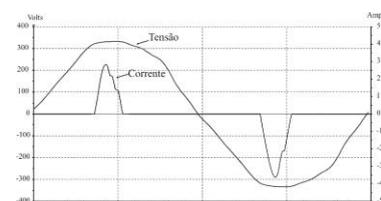
| THD <sub>i</sub> | Consequências  |
|------------------|--|
| THD < 10%        | Considerado normal   |
| 10 < THD ≤ 50%   | Poliuição harmónica significativa (risco de aquecimento, implica sobredimensionamento dos cabos e fontes)                      |
| THD > 50%        | Poliuição harmónica bastante significativa (Provável aparecimento de falhas, implica a colocação de dispositivos de atenuação) |

**Perturbações harmónicas em cargas típicas:**

- Computadores

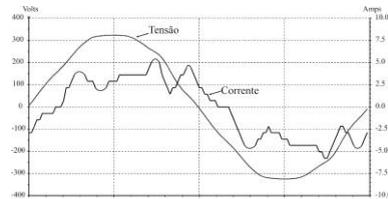


$THD_i \approx 82\%$   
 $THD_v \approx 3,5\%$

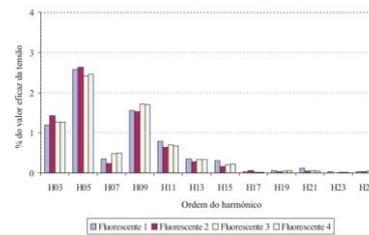
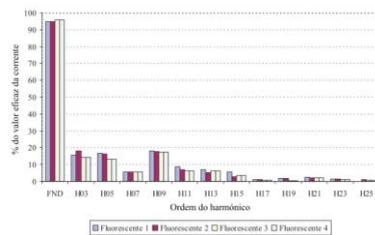


**Perturbações harmónicas em cargas típicas:**

- Iluminação fluorescente

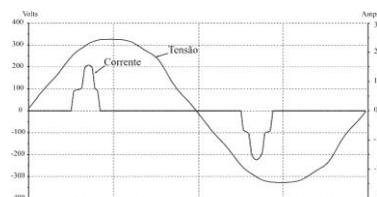


$THD_i \approx 31 \%$   
 $THD_v \approx 3,4 \%$

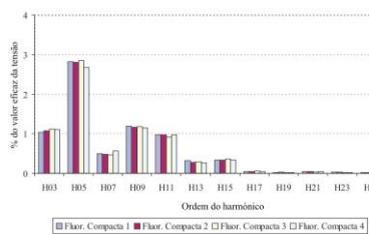
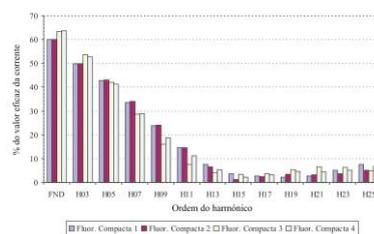


**Perturbações harmónicas em cargas típicas:**

- Iluminação fluorescente compacta

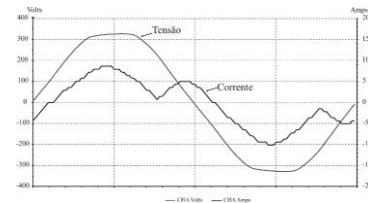


$THD_i \approx 82 \%$   
 $THD_v \approx 3,5 \%$



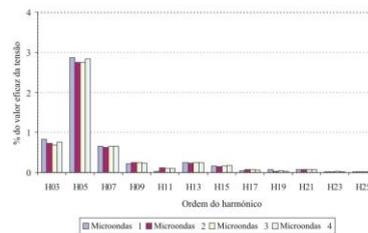
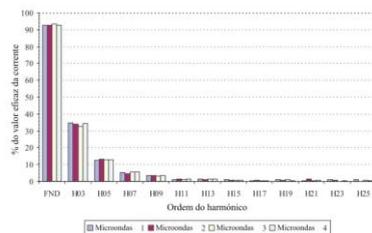
### Perturbações harmónicas em cargas típicas:

- Forno microondas



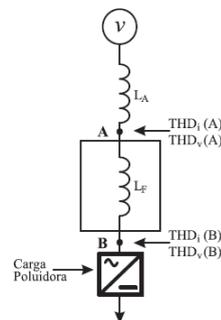
$$\text{THD}_i \approx 38 \%$$

$$\text{THD}_v \approx 3,1 \%$$



### 1- Utilização de uma reactância indutiva (indutância):

Trata-se de uma solução paliativa que atenua todos os harmónicos presentes no ponto de instalação. Consiste na utilização de uma indutância ( $L_F$ ) em série, entre a fonte de energia e a carga poluidora.



Fator de atenuação:

$$K = \frac{L_A}{L_A + L_F}$$

$$\text{THD}_U(A) = \text{THD}_U(B) \times K$$

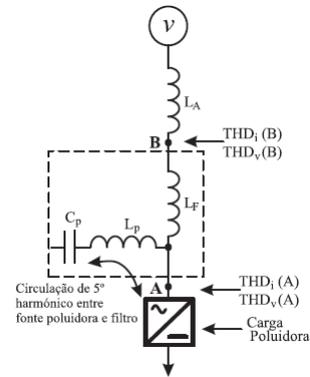
- Eficiência limitada;
- Grandes dimensões;
- Introduz uma queda de tensão na linha

## 2- Utilização de filtros passivos:

Esta solução consiste, geralmente, na inclusão de um filtro LC em paralelo com a fonte poluidora.

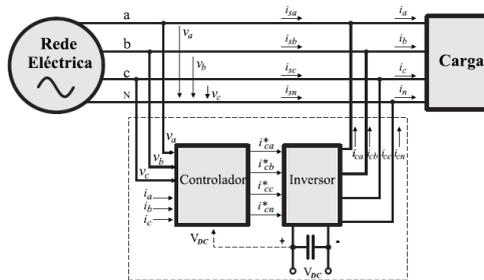
Neste caso, a reactância indutiva  $L_P$  e a reactância capacitiva  $C_P$  são escolhidas de modo a que a impedância do filtro seja zero para a frequência que se deseja eliminar e seja muito pequena para as outras frequências próximas dessa, proporcionando assim um caminho alternativo para a circulação das correntes harmónicas.

$$L_P \times C_P \times \omega^2 = 1$$



## 3- Utilização de filtros ativos paralelo (compensador ativo paralelo):

Os filtros ativos são constituídos basicamente por inversores AC/DC reversíveis com IGBT's (conversor comutado de eletrónica de potência) com capacidade de injetar na rede intensidades de corrente cujo valor eficaz e forma de onda são programáveis (circuito de controlo).

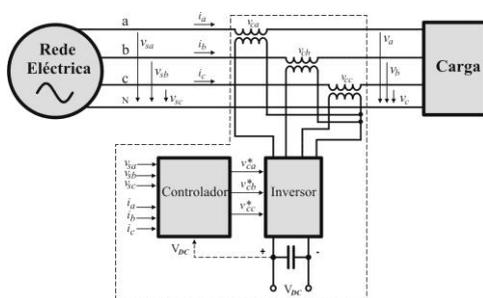


Têm como função:

- Compensação dos harmónicos de corrente gerados pelas cargas não lineares;
- Compensação da potência reativa;
- Equilibrar as correntes nas três fases, eliminando a corrente de neutro;

### 3- Utilização de filtros ativos série (compensador ativo série):

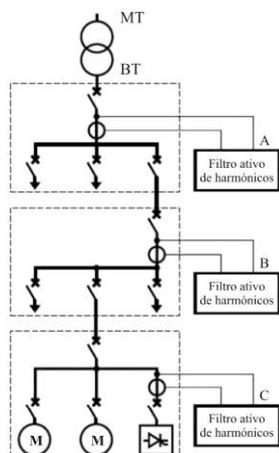
Os filtros ativos são constituídos basicamente por inversores AC/DC reversíveis com IGBT's (conversor comutado de eletrónica de potência) com capacidade de injetar na rede intensidades de corrente cujo valor eficaz e forma de onda são programáveis (circuito de controlo).



Têm como função:

- Compensar as tensões quando têm componentes harmónicas;
- Reduzir os harmónicos criados dentro da própria instalação;
- Compensar sobretensões, cavas ou mesmo interrupções momentâneas.

### 4- Instalação dos filtros ativos:



A instalação dos filtros ativos de harmónicos pode ser feita:

- Junto às cargas geradoras de grandes quantidades de harmónicos (C);
- Junto aos quadros parciais de distribuição (B);
- Junto ao Quadro geral de entrada da instalação (A).

## **ANEXO II**

**Exemplo de Problemas para resolução nas aulas Práticas**

1- Um transformador trifásico 30kV/5kV; 50 Hz, Dyn, de 500 kVA funciona em regime nominal para alimentar uma carga à tensão de 5kV apresentando um fator de potência de 0,6 indutivo. Calcule:

- A capacidade da bateria de condensadores a colocar em paralelo com a carga de modo a corrigir o fator de potência para 0,9 indutivo.
- O valor da corrente na linha antes e depois da correção do fator de potência.
- A potência ativa, reativa e aparente antes e depois da correção do fator de potência.

2- Considere o esquema representado na Figura 1, onde estão representadas três cargas trifásicas de uma unidade industrial. Calcule a bateria de condensadores a colocar em paralelo com o barramento de alimentação de modo a melhorar o fator de potência, sabendo que o valor do fator de potência compensado a partir do qual não é faturada energia reativa é de 0,928 ( $\text{tg}\phi=0,4$ ).

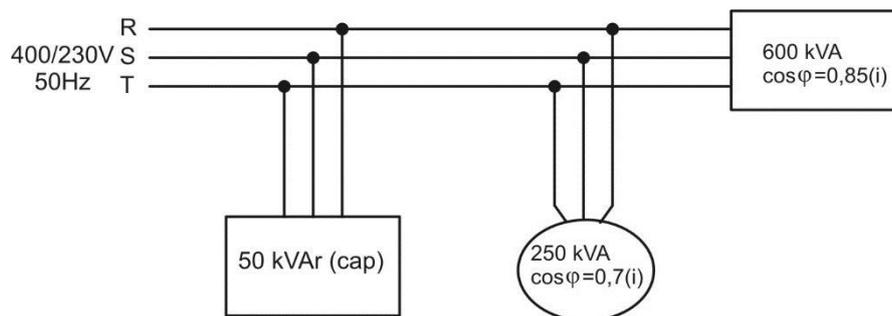


Figura 1

3- Uma unidade industrial abastecida em média tensão, com opção de Longas Utilizações e ciclo diário, apresentou em Janeiro/2019 os seguintes consumos:

| Pot. Contratada (kW) | Energia Horas de Ponta (MWh) | Energia Cheias (MWh) | Energia Vazio Normal (MWh) | Energia Super Vazio (MWh) |
|----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1500                 | 80                           | 220                  | 40                         | 30                        |

Com o objetivo de reduzir a fatura elétrica a empresa recebeu uma proposta para implementar um sistema de gestão da potência elétrica. Este sistema não irá alterar os consumos, mas apenas reduzir os picos de potência. Nestas condições:

- Determine o preço médio do kWh em janeiro/2019
- Qual a menor potência contratada que é possível atingir com a instalação do sistema de gestão da potência elétrica? Calcule o benefício na fatura.

4- O sinal da Figura 2 representa a corrente na fase A de uma instalação elétrica contendo cargas não-lineares. De tal sinal, conhecem-se as características recolhidas por um analisador de redes e que se apresentam na Tabela I e na Tabela II.

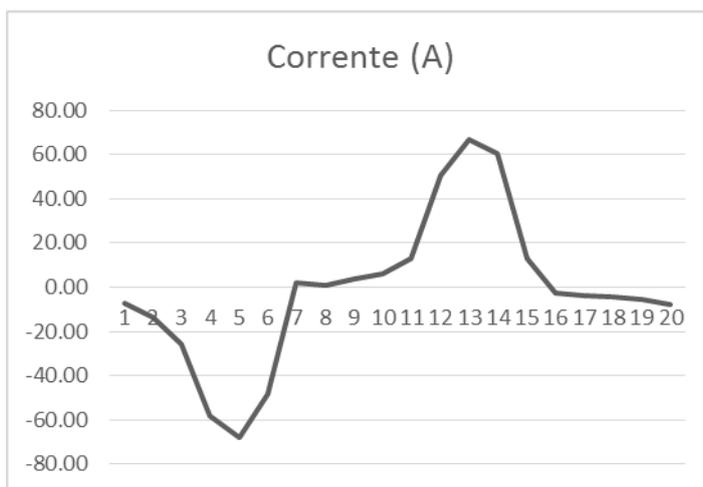
Na Tabela I estão apresentados os valores instantâneos da corrente para um período do sinal enquanto a Tabela II mostra o conteúdo harmónico do respetivo sinal.

**Tabela I**

| t(ms) | I(A)   |
|-------|--------|
| 0.00  | -7.22  |
| 1.00  | -13.71 |
| 2.00  | -25.98 |
| 3.00  | -58.46 |
| 4.00  | -67.85 |
| 5.00  | -48.36 |
| 6.00  | 2.17   |
| 7.00  | 0.72   |
| 8.00  | 3.61   |
| 9.00  | 5.77   |
| 10.00 | 12.99  |
| 11.00 | 50.52  |
| 12.00 | 67.12  |
| 13.00 | 60.63  |
| 14.00 | 12.99  |
| 15.00 | -2.88  |
| 16.00 | -3.61  |
| 17.00 | -4.33  |
| 18.00 | -5.77  |
| 19.00 | -7.94  |

**Tabela II**

| Nº Harm. | I <sub>Harm</sub> (A) |
|----------|-----------------------|
| H1       | 24.98                 |
| H3       | 15.72                 |
| H5       | 8.57                  |
| H7       | 2.43                  |
| H9       | 3.04                  |
| H11      | 2.22                  |
| H13      | 1.07                  |
| H15      | 1.35                  |
| H17      | 0.89                  |
| H19      | 0.63                  |
| H21      | 0.74                  |
| H23      | 0.55                  |
| H25      | 0.43                  |



**Figura 2**

Determine os seguintes indicadores para o sinal apresentado:

- Valor eficaz;
- Taxa de distorção harmónica;
- Fator de pico.
- Dimensione um filtro passivo LC, de forma a eliminar os harmónicos de 3<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> ordem.

## **ANEXO III**

### **Exemplar de Protocolo de Trabalho de Grupo a Realizar nas Aulas Práticas**

Apresenta-se a seguir, um exemplo de um protocolo a utilizar nas aulas práticas, neste caso, relativo à monitorização da qualidade da energia elétrica. Todos os protocolos são disponibilizados aos alunos via Sistema de Informação de Apoio ao Ensino (SIDE).

## Gestão e Qualidade da Energia Elétrica

### Trabalho Prático N<sup>o</sup> 3

## AVALIAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

### (Utilização de equipamentos de monitorização de energia)

#### OBJETIVOS

Com este trabalho pretende-se que os alunos se familiarizem com alguns equipamentos utilizados nas auditorias energéticas e sejam capazes de os usar corretamente, nomeadamente os analisadores de energia que permitem a monitorização e avaliação da qualidade da energia elétrica.

Pretende-se ainda que com recurso ao analisador de energia Dranetz® BMI PP 4300 apresentado na Figura 1, seja realizada uma monitorização na entrada de um Quadro Elétrico da Universidade, durante 24 horas de um dia útil. Devendo ser avaliados os dados relativos aos consumos e também os parâmetros qualitativos da energia elétrica, segundo a norma EN 50160.

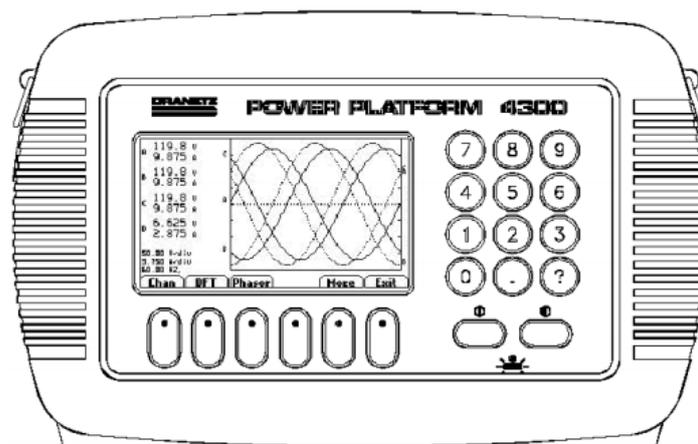


Figura 1 – Analizador de energia Dranetz-BMI PP 4300

#### IMPLEMENTAÇÃO

##### 1<sup>a</sup> Parte: Instalação do analisador de energia Dranetz BMI PP4300

- 1.1. Após leitura do manual de instruções e familiarização com o manuseamento do equipamento, proceder à montagem do mesmo (com auxílio de um técnico responsável pelas instalações elétricas da UTAD), no barramento de entrada do quadro elétrico indicado pelo docente da UC. A montagem deverá respeitar o esquema da Figura 2.

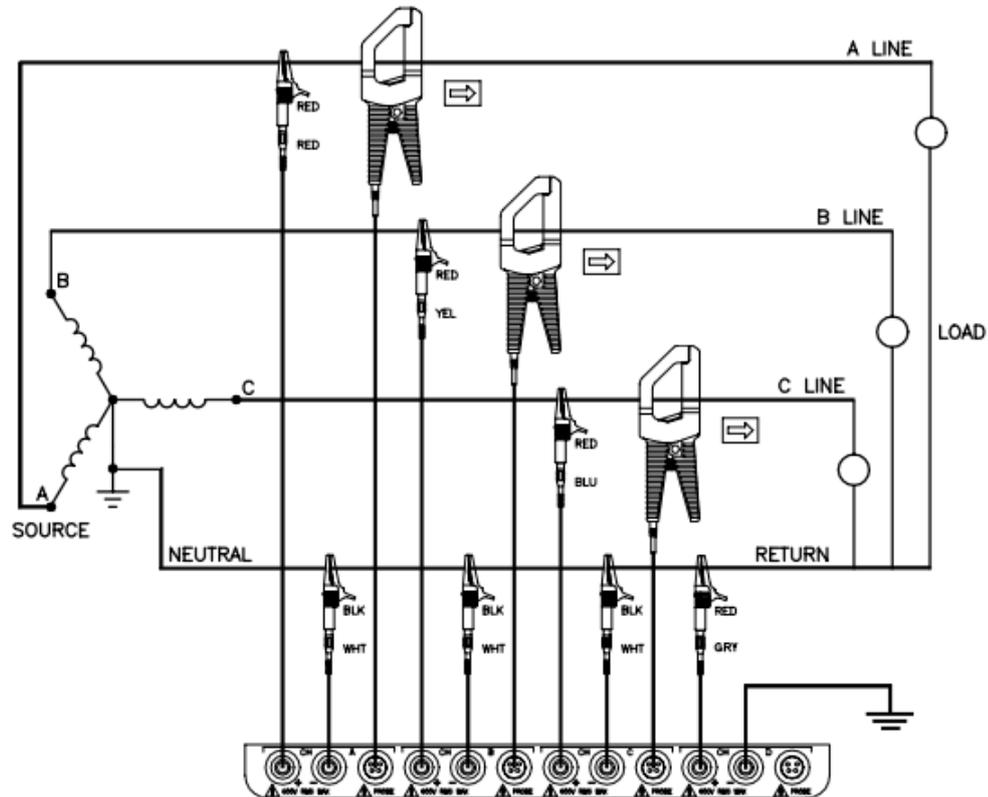


Figura 2 – Esquema de ligação das pinças de tensão e corrente no barramento trifásico com neutro.

- 1.2. O equipamento deverá ficar regulado no modo de monitorização contínua, com recolha de amostras dos sinais de tensão e corrente nas três fases em intervalos de 15 minutos.
- 1.3. Passadas 24 horas desde o momento em que se iniciou a monitorização, o equipamento deverá ser desligado e retirado do local, com a ajuda de um técnico.

## 2<sup>a</sup> Parte: Análise dos dados recolhidos pelo analisador de energia Dranetz BMI PP4300

- 2.1 Após a realização da monitorização os dados recolhidos pelo equipamento devem ser transferidos para o computador para posterior análise. Para tal, deverá proceder à

instalação do software Dranview® da Dranetz, a partir do link <http://www.dranetz.com/product-services/software-dranetz-products/dran-view-7/>

2.2 Verifique e registe a evolução ao longo das 24 horas dos seguintes parâmetros:

- Valor eficaz da Tensão nas três fases e respetivas formas de onda;
- Valor de Corrente nas três fases e respetivas formas de onda;
- Energia, potências e fator de potência, entre outros,
- Distorção harmónica e respetivos espectros harmónicos
- Perturbações que possam existir (cavas de tensão, sobretensões, etc.).

2.3 Faça uma análise crítica dos resultados obtidos, nomeadamente confrontando-os com os requisitos definidos pela norma EN 50160.

### **3<sup>a</sup> Parte: Elaboração do relatório**

O relatório deverá conter as seguintes partes: Capa, índice, enquadramento ao tema, caracterização completa do caso em estudo, conclusões retiradas da análise efetuada aos resultados obtidos na monitorização e referências bibliográficas consultadas.

---

## **ANEXO IV**

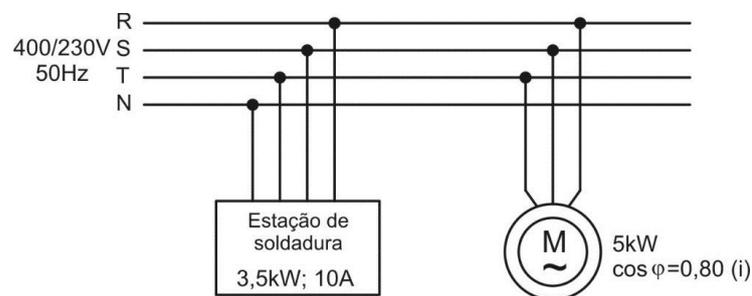
### **Provas Tipo para Testar os Conhecimentos Teóricos dos Alunos**

### Parte Teórica

- 1- O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia é uma ferramenta fundamental na promoção da eficiência energética. Refira quais as instalações consumidoras de energia que estão sujeitas ao SGCIE e quais as fases que levam à implementação integral do mesmo. (2 valores)
- 2- Indique os objetivos gerais e específicos de uma auditoria energética e quais as suas principais fases, explicando os principais passos envolvidos na sua preparação. (2 valores)
- 3- No mercado de eletricidade, as tarifas de venda a clientes finais são compostas por diversas parcelas. Diga quais as parcelas que compõem tais tarifas e o que representa cada uma delas. (2 valores)
- 4- A Qualidade da Energia Elétrica (QEE) é cada vez mais um fator crucial na competitividade de uma organização. Diga quais os critérios a ter em conta na avaliação da QEE e quais as causas mais frequentes que interferem neste fator. (2 valores)
- 5- A continuidade de serviço caracteriza-se por indicadores gerais e individuais. Diga quais são os indicadores gerais das redes distribuição de Média Tensão, descrevendo-os. (2 valores)

### Parte Teórico-prática

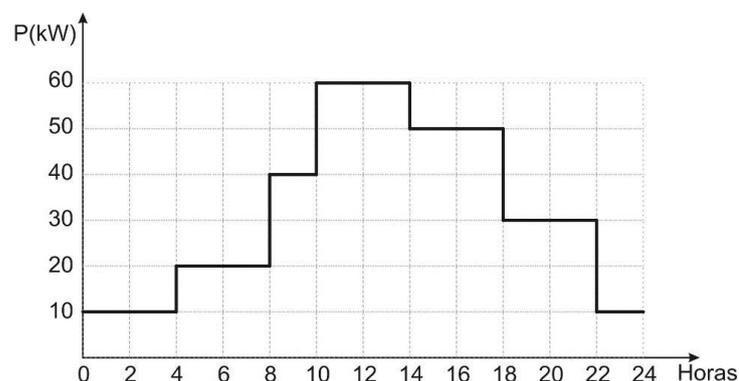
- 6- Considere a instalação elétrica da figura, na qual estão representadas duas cargas ligadas a um barramento trifásico 400/230 V; 50 Hz.
  - a) Considerando ambas as cargas ligadas em simultâneo, determine o fator de potência da instalação? (1,5)
  - b) Qual o valor da bateria de condensadores (ligada em triângulo) a colocar em paralelo com as cargas, para que o fator de potência global da instalação seja de 0,98 (i)? (3 valores)
  - c) Qual o valor da energia ativa e reativa consumida pela instalação durante 24 horas, antes e depois da instalação da bateria de condensadores. Comente o resultado obtido. (2 valores)



- 7- Considere o diagrama de cargas da figura relativo a um dia do mês de Janeiro, de uma instalação abastecida em Média Tensão, com um contrato de médias utilizações e ciclo de contagem diária. A instalação funciona em regime contínuo de acordo com o diagrama anexo, salvo alterações pontuais. A potência contratada é de 100 kW.

A instalação está a analisar a possibilidade de desviar 50% dos consumos em horas de ponta para as horas de vazio normal, reduzindo assim os consumos nesse período. Para o mês de Jan-2017 responda às seguintes questões:

- a) Qual a fatura de energia elétrica mensal? (3 valores)
- b) Nas condições contratuais atuais, qual seria a poupança mensal decorrente do desvio de 50% dos consumos nas horas de ponta para horas de vazio normal? (2 valores)



| TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT |                  | PREÇOS                |                |
|---|------------------|-----------------------|----------------|
| <b>Termo tarifário fixo</b>                         |                  | (EUR/mês)             | (EUR/dia) *    |
|   |                  | 47,84                 | 1,5730         |
| <b>Potência</b>                                     |                  | (EUR/kW.mês)          | (EUR/kW.dia) * |
| Tarifa de longas utilizações                        | Horas de ponta   | 10,280                | 0,3380         |
|   | Contratada       | 1,570                 | 0,0516         |
| Tarifa de médias utilizações                        | Horas de ponta   | 10,360                | 0,3406         |
|   | Contratada       | 1,478                 | 0,0486         |
| Tarifa de curtas utilizações                        | Horas de ponta   | 15,203                | 0,4998         |
|   | Contratada       | 0,635                 | 0,0209         |
| <b>Energia activa</b>                               |                  | (EUR/kWh)             |                |
| Tarifa de longas utilizações                        | Períodos I, IV   | Horas de ponta        | 0,1384         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1087         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0767         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0654         |
|   | Períodos II, III | Horas de ponta        | 0,1414         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1109         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0793         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0729         |
| Tarifa de médias utilizações                        | Períodos I, IV   | Horas de ponta        | 0,1446         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1121         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0779         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0665         |
|   | Períodos II, III | Horas de ponta        | 0,1505         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1122         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0818         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0729         |
| Tarifa de curtas utilizações                        | Períodos I, IV   | Horas de ponta        | 0,2163         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1206         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0819         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0730         |
|   | Períodos II, III | Horas de ponta        | 0,2159         |
|   |                  | Horas cheias          | 0,1205         |
|   |                  | Horas de vazio normal | 0,0825         |
|   |                  | Horas de super vazio  | 0,0768         |
| <b>Energia reactiva</b>                             |                  | (EUR/kvarh)           |                |
|   |                  | Indutiva              | 0,0290         |
|   |                  | Capacitiva            | 0,0218         |

## Horários Média Tensão

ciclo diário transitório

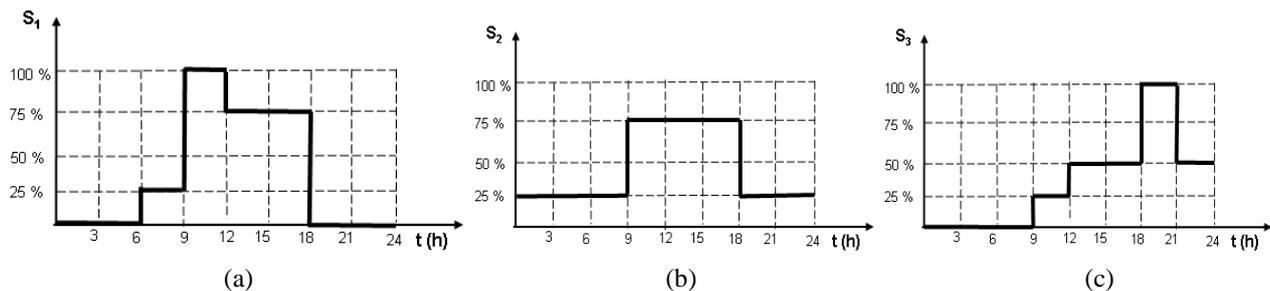
|              | horário de <b>Inverno</b> | horário de <b>Verão</b> |
|--------------|---------------------------|-------------------------|
| ponta        | das 09:30 às 11:30        | das 10:30 às 12:30      |
|              | das 19:00 às 21:00        | das 20:00 às 22:00      |
| cheias       | das 08:00 às 09:30        | das 09:00 às 10:30      |
|              | das 11:30 às 19:00        | das 12:30 às 20:00      |
|              | das 21:00 às 22:00        | das 22:00 às 23:00      |
|              | das 22:00 às 02:00        | das 23:00 às 02:00      |
| vazio normal | das 06:00 às 08:00        | das 06:00 às 09:00      |
|              | das 02:00 às 06:00        | das 02:00 às 06:00      |

### Parte Teórica

- 1- Um dos principais instrumentos para a promoção da eficiência energética é o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Refira quais são as mais-valias que tal instrumento transfere para as empresas. (2 valores)
- 2- Indique quais os fatores que influenciam o fator de potência de uma instalação e os inconvenientes de um baixo fator de potência. Diga justificando convenientemente, como pode efetuar a compensação do fator de potência. (2 valores)
- 3- A tarifa de acesso às redes elétricas é uma componente com peso substancial na tarifa aplicada aos clientes finais. Refira qual o objetivo de tal tarifa e quais as parcelas que a compõem. (2 valores)
- 4- A distorção harmónica é uma das principais perturbações que afetam a rede elétrica. Refira as consequências que tal perturbação acarreta nos componentes da rede elétrica e quais as formas de mitigação deste problema. (2 valores)
- 5- O sector elétrico deve apresentar níveis de qualidade de serviço que permitam o bem-estar da população, e contribuam para a competitividade económica das empresas. Diga quais são as componentes em que se baseia a qualidade de serviço e em sua opinião qual delas tem maior impacto. (2 valores)

### Parte Teórico-prática

- 6- Considere três consumidores com uma potência aparente contratada de 50 kVA (consumidor1:  $\cos \varphi = 1$ ; consumidor2:  $\cos \varphi = 0,85$ ; consumidor3:  $\cos \varphi = 0,75$ ). São conhecidos os regimes de carga dos três consumidores, através dos seus diagramas de carga diários, representados nas figuras a, b e c.



- a) Estipule a potência do posto de transformação e o seu factor de carga. (3 valores)
- b) Trace o diagrama de cargas classificado à saída do posto de transformação. (2 valores)

- 7- Considere uma rede de distribuição MT que tem uma potência total instalada de 10MW distribuídos por 20 postos de transformação que alimentam um total de 20000 clientes. De tal rede conhece-se o seguinte relatório de interrupções relativo ao ano de 2016:

|                   |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Data              | 20-01 | 03-03 | 07-06 | 12-09 | 21-12 |
| Duração (min)     | 10    | 5     | 20    | 7     | 8     |
| Clientes afetados | 100   | 500   | 1000  | 200   | 500   |
| Potência (MW)     | 2     | 5     | 10    | 3     | 5     |

- Determine os seguintes indicadores de continuidade de serviço; TIEPI, SAIFI, SAIDI e END. (5 valores)

## **ANEXO V**

### **Temas para desenvolvimento - Monografias**

---

#### Gestão e Qualidade da Energia Elétrica

##### **Temas para Monografias**

---

Os trabalhos serão desenvolvidos por grupos de dois/três alunos. No final do semestre deverão ser entregues em formato digital (word e pdf) e impresso devidamente encadernado. Deverão ter um número mínimo de 20 páginas.

Haverá ainda uma sessão para a apresentação pública dos trabalhos, para tal deverá também ser feita uma exposição em Power-Point (15 min) a entregar juntamente com os restantes elementos.

Estrutura do documento: Índice; Resumo; Introdução; Desenvolvimento; Conclusões; Referências

Tema 1: Utilização Racional da Energia em edifícios públicos;

Tema 2: Utilização Racional da Energia nos edifícios de habitação;

Tema 3: O autoconsumo na procura da autonomia energética;

Tema 4: A utilização da eletricidade nos setor dos transportes;

Tema 5: Evolução da qualidade dos serviços no setor elétrico;

Tema 5: Gestão de energia em sistemas de iluminação artificial;

Tema 6: Programas de apoio à eficiência energética;

Tema 7: Energia e Ambiente: Estatísticas em Portugal e no mundo;

Tema 8: A eficiência energética nos sistemas de força motriz;

Tema 9: Técnicas e equipamentos para a monitorização da Qualidade da energia;

Tema 10: A comercialização da energia no âmbito do MIBEL.