



IDENTIFICAÇÃO DE LACUNAS NAS COMPETÊNCIAS EXPERIMENTAIS – a necessidade de adaptar o ensino da eletrônica

Carlos Felgueiras – mcf@isep.ipp.pt

André Fidalgo – anf@isep.ipp.pt

Clara Viegas – mcm@isep.ipp.pt

Gustavo Alves – gca@isep.ipp.pt

ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431

4200-072 , Porto, Portugal

Clovis Antonio Petry – petry@ifsc.edu.br

Campus Florianópolis

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina,

Av. Mauro Ramos, 950, 88.020-300

Florianópolis – SC, Brasil

Resumo: Cada área do conhecimento tem a sua própria linha de evolução, ora dividindo-se em novas áreas ora abandonando algumas disciplinas para dar lugar a outras com enquadramento mais recente. Como resultado disso pode-se constatar a tendência para uma determinada disciplina ter uma abordagem diferente nos vários cursos onde é lecionada. Deste modo, ensinar a disciplina de eletrônica num curso Engenharia Eletrônica é feito de um modo diferente do que é feito num curso de Engenharia Eletrotécnica de Energia. No primeiro caso a disciplina assume alguma profundidade enquanto no segundo caso os vários temas são, quando muito, a florados de modo algo superficial. Esta estratégia apresenta várias vantagens para o estudante, tais como o custo e tempo necessários para a introdução no mercado de trabalho. No entanto, pode-se também identificar algumas limitações desta abordagem, das quais a principal se refere ao nível relativamente baixo de competências em algumas áreas importantes, habitualmente situadas na fronteira das chamadas áreas tradicionais do conhecimento. Deste modo, em lugar de desenvolver sólidas competências acerca dos componentes de electricidade e eletrônica, aos alunos apenas são apresentados modelos de interface, i.e., caixas pretas eletrônicas. Mais tarde, quando confrontados com problemas específicos, os recém-licenciados estarão menos aptos a apontar soluções devido à falta de características de interdisciplinaridade.

O presente trabalho apresenta algumas percepções relacionadas com a falta de alguns conceitos necessários para compreender as implicações numa rede elétrica resultantes da utilização de cargas não-lineares. Aborda-se também a metodologia para caracterizar a presente situação e as alternativas para as ultrapassar.

Palavras-chave: Educação em engenharia, ensino de eletrônica, cargas não-lineares, qualidade de energia elétrica.



1. INTRODUÇÃO

O ensino superior tem sido caracterizado como um assunto importante nas sociedades modernas e como fator-chave para o sucesso futuro. Apesar da sua importância, este objetivo assume custos significativos para cada país uma vez que o número de pessoas que procuram este nível de qualificação subiu consideravelmente durante o último meio século. Este crescimento trouxe novos desafios tanto para a economia de cada país como também para o ensino (SCHOFER & MEYER, 2005). Os métodos tradicionais de ensino (centrados no professor) revelaram-se ineficientes quando utilizados massivamente (BIGGS, 1999). Tudo isto levou ao aparecimento de estratégias de ensino diversas mais centradas no aluno e a mais atenção dada aos métodos de ensino e aprendizagem (FELDER, 1999), (RAMSDEN, 1987).

Na União Europeia, a reforma de Bologna ajudou as universidades a reorganizar e otimizar os respectivos recursos educativos (SHEARMAN, 2007), num formato que encurta os seus cursos através de uma especialização numa determinada área de conhecimento (HEITMANN, 2005), (KLEMES *et al.*, 2013). Estes cursos revelaram-se muito específicos e com elevado nível de especialização, mas com baixa abrangência. Esta situação acarreta vantagens e desvantagens, especificamente no caso da educação em engenharia (WILLIAMS, 2007). Por um lado, esta estratégia permite manter os processos tecnológico e educacional próximos um do outro (ASLAN & REIGELUTH, 2013) mas, por outro lado, pode trazer a desvantagem da diminuição das competências necessárias para lidar com problemas multidisciplinares.

A função da profissão de engenheiro consiste em manipular materiais, energia e informação (FEISEL & ROSA, 2005). A *educação em engenharia* é um processo complexo que, de uma maneira simplicista, permite que os alunos evoluam desde um *estado inicial* até um *estado final* utilizando uma determinada *estratégia*.

Os estados *inicial* e *final* habitualmente consideram as competências/conhecimentos iniciais e os pretendidos quando do final de um determinado curso. Por sua vez, a *estratégia* descreve e planifica de que modo essas competências serão adquiridas e obtidas no *estado final*. Este processo deve ser dinâmico dado que estas três componentes estão variando constantemente. O *estado inicial* não é estático uma vez que os alunos podem apresentar diferentes competências/especialidades que decorreram das suas anteriores escolhas ou resultaram da vivência de um determinado ambiente (e.g. limitações tecnológicas). Deste modo, o conjunto de alunos presentes nas aulas pode ser fortemente heterogêneo e, por isso mesmo, particularmente desafiante para o professor.

O *estado final* está mudando continuamente, essencialmente devido à constante evolução tecnológica. Deste modo, também a *estratégia* deve continuamente acompanhar estas mudanças de modo que não só se faça a ligação entre os estados *inicial* e *final* mas fazendo-o de forma a tirar partido dos recentes avanços tecnológicos e pedagógicos em educação. Exemplos destes avanços têm sido largamente reportados e discutidos ao longo dos últimos anos (HEITMANN, 2005), (KLEMES *et al.*, 2013), (CHENG, 2005), (GATTIE *et al.*, 2011).

Para se seguir, perceber e agir no mundo atual, a *educação em engenharia* tem ser um *processo adaptativo* dinamicamente. Isso significa que modificações no mundo real devem ter reflexo no processo educacional. O processo de ensino utiliza disciplinas como partes/peças de informação para construir conhecimento. Esta implementação pode resultar de algo aprendido ou verificado experimentalmente através da comparação com uma determinada



especificação/estado esperada. Deste modo, as modificações no mundo real devem ser acompanhadas por modificações no *estado final* e, conseqüentemente, nas disciplinas relacionadas.

Assim, e de acordo com a sua atualidade, as diferentes disciplinas podem ganhar ou perder importância, refletindo e influenciando a educação em engenharia (CHENG, 2005), (GATTIE *et al.* 2011). Em consequência, pode-se observar que algumas disciplinas têm diferentes níveis de importância dependendo do curso em que se integram, até dentro de um mesmo departamento. Algumas disciplinas ficaram obsoletas enquanto outras obtiveram uma importância tão elevada que abandonaram a área de conhecimento onde cresceram para dar origem a novas áreas de conhecimento, podendo eventualmente dar origem a novos departamentos. Como exemplo desta última pode ser citada a *informática e computação* que no passado constitui uma disciplina opcional de Engenharia Eletrotécnica e que mais tarde deu origem a um ramo independente da engenharia denominado de Engenharia Informática. Claramente focada nas tecnologias de informação e comunicação (Information and Communications Technology - ICT) esta licenciatura está focada em um elevado nível de especialidade na área de *software* enquanto proporciona um nível relativamente baixo de competências ao nível da interface daquelas tecnologias com o mundo real através dos meios de *hardware* atualmente disponíveis.

Outras áreas do conhecimento permanecem dentro do mesmo departamento embora tendo apenas uns poucos pontos de interligação, com conseqüências por vezes desastrosas quando do estudo de soluções que envolvem várias áreas do conhecimento. É o caso dos cursos de Engenharia de Eletrônica e Engenharia Eletrotécnica de Energia (os nomes foram ligeiramente alterados para melhor clareza do texto). Ambos pertencem ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica, embora o primeiro seja claramente orientado para o projeto de eletrônica ao passo que o segundo tem por objetivo o projeto de instalações elétricas e sua respectiva investigação.

De modo semelhante ao referido anteriormente, os recém-licenciados de cada uma destas licenciaturas serão claramente especialistas numa de duas áreas do conhecimento resultantes do mesmo ramo original. No entanto, quando da necessidade de uma análise interdisciplinar, i.e., que envolva as duas áreas do conhecimento, nenhum deles se encontra em posição de a poder fazer individualmente, levando mesmo a interpretações menos corretas do fenómeno.

O objetivo deste trabalho consiste, nesta fase, em chamar a atenção para esta delicada questão. Este trabalho identifica algumas lacunas nas disciplinas de eletrônica como resultado da separação dos dois cursos, assunto que tem aumentado de importância devido aos recentes avanços tecnológicos. A secção 2 apresenta uma contextualização do problema. Na secção 3 é apresentada uma metodologia do trabalho e a secção 4 apresenta os correspondentes resultados. Finalmente a secção 5 conclui o trabalho e apresenta direções futuras de desenvolvimento.

2. QUESTÕES RELACIONADAS COM A ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é um tema atual da engenharia e substancialmente relacionado com a sustentabilidade e com o rendimento dos eletrodomésticos. Várias razões podem ser apontadas, mas provavelmente as mais importantes são as de ordem ecológica e econômica. A



primeira diz respeito à produção de gases de efeito de estufa enquanto a segunda está ligada à dependência energética. A nível planetário, metade do total da energia consumida tem lugar em edifícios e a União Europeia apresenta uma dependência energética de 50% (EUROACTIVE, 2012). Para tentar inverter esta situação foram tomadas algumas medidas e que se encontram atualmente em prática: (i) incrementar a utilização de energias renováveis e reduzir o consumo, através de (ii) alteração dos hábitos do consumidor e (iii) aumento do rendimento dos eletrodomésticos.

A primeira medida levou a um estado de maturação em várias tecnologias tais como a da energia eólica. A utilização dos painéis fotovoltaicos aumentou consideravelmente, embora haja ainda a necessidade de aumentar a eficiência dessas unidades. Os pesquisadores enfrentam agora o problema de saber como injetar na rede elétrica toda a energia de origem renovável. Este problema não é de fácil resolução uma vez que é necessário desenvolver um novo paradigma de produção de energia elétrica que envolve informática, comunicações, eletrotécnica, eletrônica, etc. Conforme referido, a especialização promoveu e acelerou o desenvolvimento independente de cada tecnologia. Mas construir uma solução que envolva simultaneamente um número significativo destas revela-se um problema multidisciplinar de grandes proporções (FELGUEIRAS & MARTINS, 2013), (MORAIS *et al.*, 2014).

A segunda medida, a da análise dos hábitos do consumidor, encontra-se presentemente sob estudo e depende fortemente de práticas individuais e tem especial impacto nos consumos dos edifícios públicos (MASOSO & GROBLER, 2010).

A terceira medida é essencialmente dependente da tecnologia e tem sido incrementada através da utilização dos novos materiais e da eletrônica. São exemplos os antigos televisores com tubos de raios catódicos que foram substituídas pelos novos equipamentos baseados em TFT ou LED; o mesmo para os monitores dos computadores; os motores utilizados na indústria utilizam-se cada vez mais dos variadores de velocidade; a utilização cada vez mais generalizada de fontes de alimentação não interrompíveis (Uninterruptible Power Supply - UPS); etc. Tome-se o exemplo dos equipamentos de ar-condicionado: os equipamentos mais antigos utilizavam um interruptor térmico (termostato) para ligar/desligar um motor acoplado a um compressor; as versões mais modernas incluem um variador de velocidade que coloca o motor no estado de funcionamento exatamente necessário para que seja mantida a temperatura de referência. Ao nível do rendimento a segunda solução é melhor que a primeira mas ao nível dos sistemas de energia a segunda acarreta uma grande alteração face à primeira, uma vez que a primeira constituiu uma carga linear e a segunda uma carga não-linear. A utilização deste último tipo tem duas grandes implicações na rede elétrica: apresenta (i) maior eficiência e (ii) maior distorção harmônica. A vantagem da primeira é largamente conhecida enquanto a desvantagem da segunda é, no melhor dos casos, ligeiramente percebida pelos alunos de engenharia. Apesar disso, a utilização deste último tipo de cargas pode ter impacto direto na qualidade da energia elétrica que, por sua vez, impõe perdas que podem crescer a cerca de 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB), (IGLESIAS & BARTAK, 2004).

As cargas em corrente alternada podem ser agrupadas em três tipos principais:

- Tipo 1 – cargas lineares;
- Tipo 2 – cargas com controlo por fase;
- Tipo 3 – cargas com retificação no seu primeiro estágio.

As cargas do Tipo 1, as cargas lineares, resultam habitualmente da utilização apenas de componentes lineares tais como resistências, capacitores e indutores. Da utilização deste tipo

de carga em tensões alternadas sinusoidais resultam correntes também sinusoidais, conforme se ilustra na figura 1.

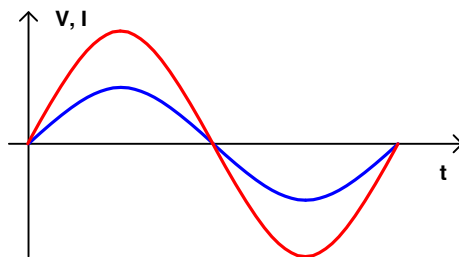


Figura 1: Tensão aplicada e corrente resultante em cargas do Tipo 1.

Exemplos deste tipo de cargas incluem lâmpadas incandescentes, motores, fornos, etc. No entanto a experiência tem mostrado que este tipo de cargas têm tendência para ser substituídas pelas do Tipo 3.

As cargas do Tipo 2 são controladas diretamente através da técnica do controle por fase utilizando componentes da eletrônica de potência tais como Triacs e Tiristores. As aplicações mais frequentes em eletrodomésticos incluem a variação da luminosidade ou o controle de potência em aspiradores. Neste tipo de controle de potência, em cada meio ciclo da tensão de alimentação aplicada apenas é entregue à carga uma percentagem desse meio ciclo, conforme se mostra na figura 2.

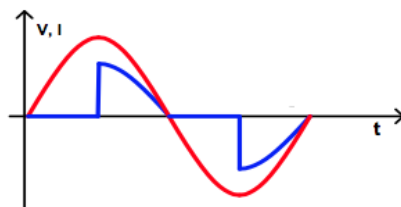


Figura 2: Tensão aplicada e corrente resultante em cargas do Tipo 2.

A forma de onda da corrente é agora completamente diferente de uma sinusoidal. Repare-se que a tensão varia desde zero até ao seu valor mais máximo (este valor depende do ângulo de disparo utilizado) num curto espaço de tempo. Se for usada uma carga resistiva, tal como a de uma lâmpada de incandescência, alguns micro-cortes podem aparecer na forma de onda de tensão da rede.

As cargas do Tipo 3 são as mais importantes dado que são já as mais usadas e com tendência para aumentar. A topologia destas cargas apresenta uma ponte retificadora na entrada seguida de um capacitor de filtragem. A figura 3 apresenta o diagrama de blocos dessa topologia.

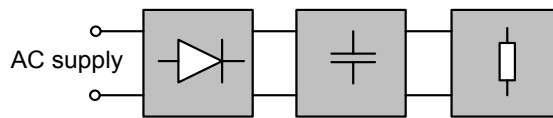


Figura 3: Topologia das cargas do Tipo 3.

Exemplos deste tipo de cargas incluem as lâmpadas de alto rendimento, variadores de frequência de motores de indução trifásicos, fontes de alimentação não-interrompíveis (UPS) e fontes de alimentação comutadas. Estas últimas têm importância especial dado que têm vindo a ter utilização crescente num conjunto amplo de eletrodomésticos e equipamentos de escritório tais como TVs, PCs, monitores de PCs, carregadores de telefones celulares e equipamentos de entretenimento. Estes tipos de cargas são não-lineares e, quando ligadas a uma tensão sinusoidal, impõem correntes impulsivas, conforme se apresenta na figura 4.

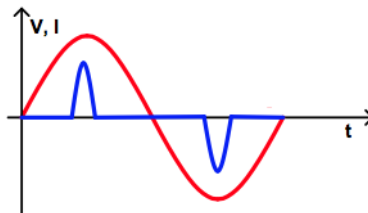


Figura 4: Tensão aplicada e corrente resultante em cargas do Tipo 3.

Uma instalação elétrica real ligada à rede de energia elétrica é constituída por um conjunto misto das três cargas anteriormente citadas, resultando numa carga equivalente relativamente complexa a que corresponde também uma complexa forma de onda de corrente.

3. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho consiste em perceber se os alunos estão preparados para lidar com problemas reais envolvendo os três tipos de cargas anteriormente descritas, identificar suas dificuldades e relacioná-las com as lacunas reais na sua educação. A metodologia de investigação utilizada consiste na *ex post facto* (COHEN *et al.*, 2007) dado que o investigador toma o efeito e estuda os dados retrospectivamente com o objetivo de estabelecer as causas, associações e explicações. O conjunto de dados resulta de transcrições de debates durante as aulas e da análise dos currículos de alguns cursos. Os resultados referem-se aos alunos do curso de Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) – Instituto Politécnico do Porto (IPP), - referida neste texto como Engenharia Eletrotécnica de Energia - alunos do primeiro ano, segundo semestre (2013).

Esta linha de investigação é despertada pela percepção do professor/investigador. Para verificar a sua percepção, o docente coloca a hipótese de, no fim da disciplina de eletrônica que leciona, os alunos não estarão aptos para explicar nem compreenderem o comportamento de um equipamento eletrônico e das respectivas implicações na rede elétrica, i.e., ao nível da tensão e da corrente. Seguidamente verifica a sua hipótese em várias aulas através de um conjunto de questões de análise de competência. Após esta etapa, o professor refletiu sobre as disciplinas que os alunos tinham tido até então e as que teriam no futuro, a fim de

compreender se este problema que apresentou seria real ou se esta lacuna na compreensão dos alunos seria dissipada através de frequência nas restantes disciplinas do curso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção descreve-se o âmbito do problema e apresenta-se o teste utilizado pelo docente para o identificar e diagnosticar. Finalmente apresenta-se uma análise retrospectiva das possíveis causas do problema.

Âmbito: o impacto das novas cargas

Apenas a utilização das cargas do Tipo 1 (ver secção 2) resulta em correntes com forma de onda sinusoidal mas, conforme referido anteriormente, estes tipos de cargas tem tendência para serem substituídas pelas do Tipo 3. Apesar dos benefícios decorrentes da maior eficiência energética, estes tipos de cargas tem impacto negativo na rede eléctrica, o que levou a que fossem desenvolvidas novas diretivas para impor restrições na sua utilização e incentivar o desenvolvimento e uso de outras soluções. O esquema eléctrico de uma carga do Tipo 3 encontra-se representado na figura 5.

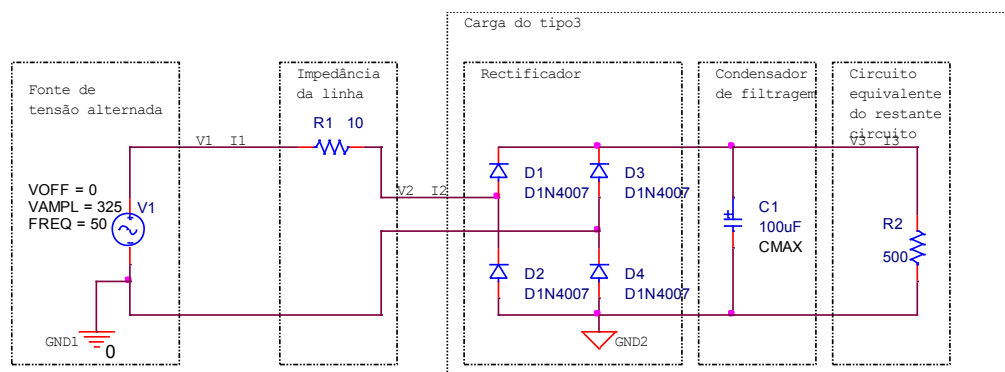


Figura 5: Esquema eléctrico de uma carga do Tipo 3 ligada à rede eléctrica.

Neste esquema pode-se identificar os componentes e parâmetros:

- A fonte de tensão alternada do fornecedor de energia eléctrica representada por V_1 . Esta forma de onda é sinusoidal e apresenta o valor de $230 V_{RMS}$ ($V_{MAX} = 325 V$);
- A resistência eléctrica equivalente das linhas de transmissão de energia entre o fornecedor e a instalação do edifício, representada por R_1 ;
- A tensão fornecida na entrada do edifício, identificada por V_2 ;
- Dentro do edifício tem-se um eletrodoméstico que corresponde a uma carga do Tipo 3 que, por isso, inclui uma retificação de onda completa (4 diodos), um capacitor de filtragem e o equivalente ao restante circuito do equipamento representado por R_2 ;
- I_1 identifica a corrente na rede eléctrica devido ao equipamento a ela conectado.

A figura 6 apresenta as formas de onda associadas a V_1 , V_2 , V_3 e I_1 .

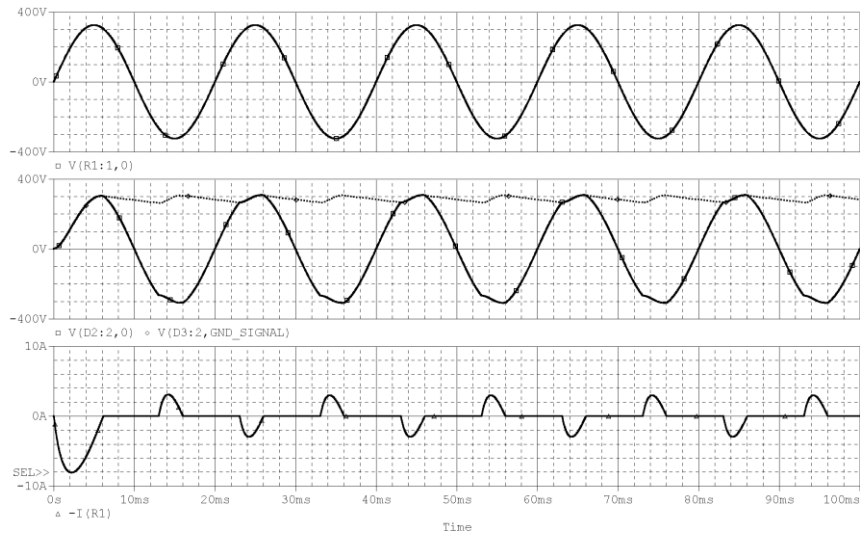


Figura 6: Formas de onda das tensões e correntes associadas a cargas do Tipo3.

Ignorando o fenômeno transitório inicial devido à presença do capacitor completamente descarregado, pode-se observar que o circuito equivalente representado pela carga R_2 é alimentado pelo capacitor, cuja tensão decresce durante o intervalo de tempo em que a tensão na saída do retificador decresce abaixo da do capacitor até que volta a ter a mesma tensão deste último. Durante este intervalo de tempo o circuito não absorve corrente da fonte de alimentação de corrente alternada. Logo que a tensão alternada tende a subir acima da tensão do capacitor, tem-se uma elevada corrente que decorre da alimentação de R_2 e da carga de C_1 . Nestas circunstâncias tem-se que na rede da alimentação de corrente alternada a corrente é nula durante cerca de 4/5 de cada meio período, assumindo elevados valores durante o 1/5 restante.

Esta simulação permite identificar duas grandes diferenças em relação à utilização de cargas lineares: (i) a distorção da tensão em V_2 e (ii) a forma impulsional da corrente em I_1 , claramente diferente da típica forma de onda sinusoidal resultante da utilização de cargas lineares. A análise de Fourier (Fast Fourier Transform - FFT) de I_1 , apresentada na figura 7, revela um elevado conteúdo harmônico.

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(R_R1)
DC COMPONENT = 9.598502E-07

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	5.000E+01	1.123E+00	1.000E+00	1.030E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	2.753E-06	2.452E-06	-1.394E+01	-3.454E+01
3	1.500E+02	9.418E-01	8.389E-01	-1.487E+02	-1.796E+02
4	2.000E+02	2.933E-06	2.613E-06	-1.507E+02	-1.919E+02
5	2.500E+02	6.436E-01	5.733E-01	5.375E+01	2.244E+00
6	3.000E+02	1.536E-06	1.369E-06	8.391E+01	2.210E+01
7	3.500E+02	3.274E-01	2.917E-01	-9.882E+01	-1.709E+02
8	4.000E+02	1.667E-06	1.485E-06	2.564E+01	-5.677E+01
9	4.500E+02	1.002E-01	8.922E-02	1.373E+02	4.461E+01
10	5.000E+02	2.718E-06	2.421E-06	-1.058E+02	-2.088E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.060881E+02 PERCENT

Figura 7: Resultado da análise de FFT da intensidade de corrente I_1 .

Conforme se pode verificar, a utilização de cargas do Tipo 3 tem consequências não apenas na própria instalação em que está inserida mas também na distorção da tensão de alimentação da respectiva vizinhança. Para evitar este impacto negativo na rede elétrica resultante da utilização deste tipo de carga, algumas diretivas específicas surgiram (EN 61000-3-2, 2010), reunindo as cargas domésticas em vários grupos e impondo um valor máximo do conteúdo harmônico para cada um. A observância destes limites pode ser alcançada através da utilização de soluções passivas ou ativas cujas formas de onda se podem observar na figura 8.

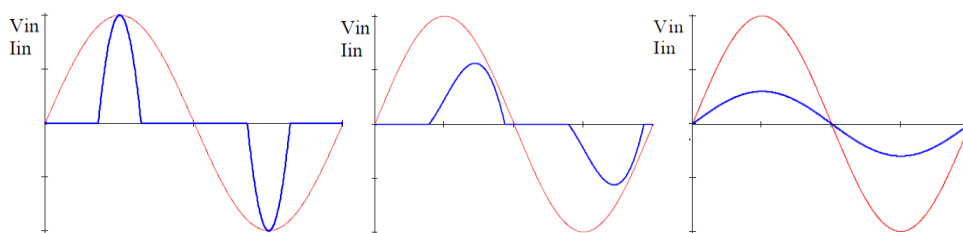


Figura 8: Formas de onda típicas na utilização de cargas do Tipo 3 (a), e as resultantes da utilização de meios de correção passiva (b) e ativa (c) (EN 61000-3-2, 2010).

Conforme se pode constatar, a utilização de cargas do Tipo 3 conjuntamente com a compensação ativa alia o elevado rendimento com um mínimo impacto negativo da rede elétrica. No entanto, para alguns eletrodomésticos a compensação ativa não é ainda praticável em nível econômico, visto que a diretiva define máximos de conteúdo harmônico para cada um dos respectivos grupos de eletrodomésticos.

Teste e diagnóstico das dificuldades dos alunos

Utilizando um amplo conjunto de equipamentos alimentados pela rede elétrica, o docente debate com os alunos (em diferentes aulas) várias questões de modo a testar a sua hipótese. Elabora um conjunto de questões, começando com questões simples progredindo para questões mais complexas cuja resposta exige que os alunos tenham desenvolvido e dominado as competências inerentes ao tema abordado no âmbito desta secção. Apresenta-se a seguir um excerto de um debate:

(P: Professor; A: Aluno)

P: Quando se aplica uma tensão sinusoidal de 230 V a uma lâmpada incandescente, que tipo de forma de onda de corrente devemos obter?

A: Uma forma de onda sinusoidal e sem desfasamento!

P: E se usarmos uma lâmpada de elevada eficiência?

A: Obteremos certamente uma forma de onda de corrente sinusoidal mas não sei qual o desfasamento...

P: E se usarmos um motor trifásico com variação de velocidade baseada na variação de frequência?

A: ... uma forma de onda sinusoidal com desfasamento positivo!

P: ...e no caso deste PC algo antigo...

S: ...também uma senóide mas não sei qual o desfasamento...



De fato apenas a primeira resposta está correta dado que se trata de uma carga linear (carga Tipo 1). Este simples extrato do debate mostra que os alunos tendem a entender as cargas ligadas à rede elétrica unicamente como cargas lineares e, por isso, a uma tensão sinusoidal aplicada deverá sempre resultar uma forma de onda de corrente também sinusoidal, hesitando apenas no que respeita ao ângulo de defasamento.

A recorrência destes resultados (o resultado deste debate foi similar em diferentes turmas, com um conjunto diferente de alunos) são indicadores de que existirá um problema subjacente à falta de capacidade para lidar com problemas reais. Restava saber se esta situação seria temporária ou se efetivamente os alunos não teriam oportunidade de endereçarem este tipo de questões nas disciplinas seguintes até à conclusão da licenciatura.

Análise retrospectiva do problema

Os alunos de Engenharia Eletrotécnica de Energia têm a noção da linearidade absoluta associada a qualquer carga. O ensino das várias disciplinas deve ter em conta os objetivos do curso e as competências iniciais necessárias. No final do curso é importante que o aluno saiba relacionar os vários conceitos lecionados ao longo do mesmo. Este objetivo não é pacífico de ser atingido devido a várias razões das quais se salienta a persistente tendência para a diminuição da duração dos cursos em clara oposição à cada vez maior necessidade de abrangência de conhecimentos. As estratégias que podem ser exploradas para procurar compatibilizar estes dois objetivos incluem (i) a forte adaptação de cada disciplina aos objetivos específicos de cada curso, ou (ii) a utilização de ICT e *e-learning* na docência, incluindo a utilização de ambientes de experimentação virtual ou experimentação remota. Neste último caso um mesmo experimento pode ter objetivos diferentes de acordo com o nível de conhecimento do aluno, permitindo-lhes assim identificar não só o que já compreendem mas também o que certamente ainda lhes falta compreender para entender completamente a experiência.

Tradicionalmente, a metodologia usada para lecionar a disciplina de eletrônica depende do curso onde é ministrada. Este tema é habitualmente lecionado com uma grande profundidade nos cursos orientados para a eletrônica enquanto é apenas ligeiramente abordado ou simplesmente não ensinado nos cursos orientados para Engenharia Elétrica de Energia. Nestes últimos, a forma de onda da tensão é considerada sempre sinusoidal e é aplicada a cargas lineares genéricas. Esta abordagem de ensino foi extensivamente utilizada no passado, em que no mundo real as cargas eram predominantemente lineares, tais como a lâmpada de incandescência. Atualmente uma boa parte das cargas são não-lineares, como é o caso das lâmpadas de elevado rendimento. Conforme referido anteriormente, a utilização de cargas do Tipo 3 traz também desvantagens dado que a forma de onda da corrente resultante é impulsional e com elevado conteúdo harmônico em lugar da forma de onda sinusoidal ideal. A razão para deste comportamento resulta da utilização de retificadores de onda completa embora o estudo deste tenha importância diferente de acordo com o curso onde é lecionado. Para um aluno de Engenharia Eletrônica é especialmente importante compreender o seu funcionamento para jusante, i.e., como mecanismo de alimentação para seus circuitos eletrônicos. De modo inverso, para um aluno de Engenharia Eletrotécnica de Energia é sobretudo importante compreender as consequências da sua utilização a montante, i.e., na rede elétrica. Isto significa que o ensino de um mesmo assunto, mesmo que da mesma disciplina, deve ser adaptado a cada curso e seus objetivos.



Para a compreensão completa do funcionamento das cargas do Tipo 3 é também necessário ter alguns conhecimentos acerca de conteúdo harmônico. Paradoxalmente, o aluno de Engenharia Eletrotécnica de Energia que necessita desses conceitos habitualmente não os tem com a profundidade desejável, enquanto o aluno que os tem com a profundidade necessária pertence ao curso Engenharia de Telecomunicações.

Alguns estudos simples têm revelado que no final do seu curso, os alunos de Engenharia Eletrotécnica de Energia revelam dificuldades na interpretação de formas de onda de tensão e de corrente da rede elétrica. Os analisadores de energia mais recentes apresentam potencialidades de monitorização poderosa e fornecem um conjunto de informações importante (ELECTRONIC SPECIFIER, 2014), mas o diagnóstico dos problemas continua a ser uma atividade humana. Apesar disso, esta atividade não é praticada pelos alunos de modo satisfatório ou, pelo menos, de modo estruturado. Quando questionados acerca da importância do conteúdo harmônico, seja nas tensões ou correntes, apenas uma minoria tem a percepção acertada. Do mesmo modo, também a deformação da tensão presente na rede de alimentação (i.e., V_2 na figura 6) não tem explicação. As competências do aluno necessárias ao domínio desta questão são (i) as da identificação dos vários tipos de cargas (Tipos 1, 2 ou 3) e as de conhecer as respectivas implicações ao nível do conteúdo harmônico. Comparando os currículos de alguns cursos na mesma escola pode-se identificar melhor o problema (Tab.I).

Tabela I: Cursos, semestres e competências desenvolvidas.

Cursos	Semestre 1,2	Semestre 3,4	Semestre 5,6	Necessidades profissionais
Eng. Elect. de Energia	Eletrônica analógica	Elementos de análise de Fourier		Tipos de cargas, interpretação de conteúdo harmónico.
Engenharia de Eletrônica		Elementos de análise de Fourier (Telecomunicações)		Conteúdo harmónico e comunicações. Problemas associados à rede de alimentação não são requisitos.
Engenharia Informática				Nenhuns se não for considerado as os sistemas de alimentação de <i>back-up</i> (UPS).

O primeiro passo desta situação teve origem na natural separação das várias áreas do conhecimento da engenharia eletrotécnica em vários ramos. O segundo passo, que agravou o problema, foi o da reforma de Bologna e a subsequente redução do tempo dos cursos e das disciplinas. Adicionalmente tem-se o rápido aumento das cargas do Tipo 2 e 3 como consequência natural do desenvolvimento tecnológico e que não teve o reflexo necessário no ensino de engenharia. Esta lacuna pode ser resumida da seguinte forma:

- Os alunos de Engenharia Eletrotécnica de Energia compreendem muito bem o funcionamento das cargas lineares mas revelaram algumas dificuldades na identificação dos vários tipos de cargas e dos respectivos impactos na rede elétrica, i.e., a montante. Mais tarde terão necessidade de competências em ambos os casos.
- Os alunos de Engenharia Eletrônica compreendem muito bem o funcionamento das cargas do Tipo 1, 2 e 3 mas a sua preocupação é no sentido a jusante (e.g., alimentar um microcontrolador), e não estão focados nem preocupados com as implicações a montante, i.e., na rede elétrica.



- Os alunos de Engenharia Informática compreendem muito bem questões relacionadas com o desenvolvimento de código de programação mas não fazem a mínima ideia do impacto na rede devido à utilização de uma UPS.

Os alunos ficam assim penalizados com esta separação de áreas de conhecimento. O primeiro passo foi o da identificação do problema. O passo seguinte deverá ser o da discussão que permita encontrar uma solução, sabendo antecipadamente das limitações técnicas e legais. Conforme dito no início, educação em engenharia é um processo dinâmico que deve ser orientado para a mais acertada direção. Atualmente foram percebidas algumas dificuldades relacionadas com os currículos. O passo seguinte deverá ser o da mais profunda caracterização da presente situação e elaborar propostas de mitigação que provavelmente incluirão a utilização de meios baseados em ICT. Algumas propostas poderão incluir animação em multimídia, simulação de circuitos e experimentação remota (DROZDOVA & DADO, 2007), (MARQUES *et al.*, 2013), (VILHENA *et al.*, 2014) ou ainda a reorganização dos circuitos utilizados durante as aulas experimentais da disciplina de eletrônica.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A educação em engenharia é um processo dinâmico e adaptativo que enfrenta alguns desafios. Por um lado assiste-se a uma diminuição da duração dos cursos e a tendência para se focar numa determinada especialidade. Por outro lado, para a compreensão de alguns fenômenos no mundo real é necessária uma maior abrangência de conhecimentos que, para que tivesse reflexo ao nível de cursos de engenharia significaria que estes deveriam ser menos focados e mais genéricos, i.e., exatamente o inverso da atual tendência. Neste trabalho algumas foram identificadas, nos alunos recém-licenciados, algumas lacunas e relacionadas com os currículos do respectivo curso.

O ensino de eletrônica deve ser diferente nos cursos de Engenharia Eletrônica e de Engenharia Eletrotécnica de Energia. No primeiro caso esta disciplina assume alguma profundidade mas não são abordadas as questões relacionadas com a energia. No segundo caso esta disciplina constitui uma abordagem algo genérica, embora durante a atividade profissional seja necessário entender as questões relacionadas com o impacto na rede de energia.

A estratégia dos cursos especializados apresenta algumas vantagens tais como o tempo e custo envolvidos para mover o recém-licenciado para o mercado de trabalho. No entanto pode-se também identificar a desvantagem importante do fraco desenvolvimento de competências em algumas áreas, habitualmente situadas na fronteira entre as áreas de conhecimento tradicionais. Deste modo, em vez de obter sólidas competências acerca de importantes componentes elétricos ou eletrônicos, aos alunos é frequentemente apenas apresentado um modelo de interface, i.e., caixas pretas. Mais tarde, quando confrontado com problemas reais o recém-licenciado dificilmente está apto a apresentar soluções devido à inerente falta de características de interdisciplinaridade.

Para ultrapassar esta limitação, e como trabalho futuro, será proposta uma metodologia que ajude a ultrapassar as limitações apontadas e que passa pela adaptação de algumas disciplinas aos respectivos cursos e pela produção de um conjunto de meios baseados em ICT tais como a utilização de experimentação remota.



6. REFERÊNCIAS

ASLAN, S., REIGELUTH, C. M. Educational Technologists: Leading Change for a New Paradigm of Education, TechTrends, 57(5), 2013.

BIGGS, J. Teaching for Quality Learning at University. Buckingham, UK: Open University Press. 1999.

CHENG, Y. New Paradigm for Re-engineering Education: Globalization, Localization, Individualization, Springer Netherlands, Dordrecht, 2005.

COHEN, L., MANION, L., MORRISON, K. Research Methods in Education, 6th ed., Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York, 2007.

DROZDOVA, M., DADO, M. Innovation in Engineering Education based on the implementation of e-education, European Journal of Engineering Education, 32(2), p.193-202, 2007.

ELECTRONIC SPECIFIER, Disponível em <http://www.electronicspecifier.com/magazine/espower/espowerjan-feb14>, Acesso em 15 mar. 2014.

EN 61000-3-2, Harmonic Current Emissions - Guidelines to the standard EN 61000-3-2, European Power Supply Manufacturers Association, 2010.

EUROACTIVE, Disponível em <http://www.euractiv.com/energy/integrating-renewables-electrici-links dossier-49484>, Acesso em 20 jan. 2012.

FEISEL, L. D., ROSA, A. J. The role of the laboratory in undergraduate engineering education, Journal of Engineering Education, 94(1), p.121-130, January 2005.

FELDER, R. "How to Improve Teaching Quality", Quality Management Journal, 6(2), p.9-21, 1999.

FELGUEIRAS, C., MARTINS, F., RES – Managing the unpredictability, Renewable energy sources 2013, Proceedings of the 4th International Scientific Conference OZE 2013, Tatranské Matliare, Slovakia, May 2013.

GATTIE, D. K., KELLAM, N. N. SCHRAMSKI, J. R. ; WALTHER, J. Engineering education as a complex system, European Journal of Engineering Education, 36(6), p.521-535, 2011.

HEITMANN, G. Challenges of engineering education and curriculum development in the context of the Bologna process, European Journal of Engineering Education, 30(4), p.447-458, 2005.



IGLESIAS, J. G., BARTAK, G. Euroelectric, Power Quality in European Electricity Supply Networks, 2004.

KLEMEŠ, J.J., KRAVANJA, Z., VARBANOV, P.S., Lam, H.L. Advanced multimedia Engineering Education in Energy, Applied Energy, 101, p.33-40, 2013.

MARQUES, A., VIEGAS, C., COSTA-LOBO, C., FIDALGO, A., ALVES, G., ROCHA, J. and GUSTAVSSON, I., How Remote Labs Impact on Course Outcomes: Various Practices Using VISIR”, IEEE Transactions on Education, volume PP, Issue 99, 2013).

MASOSO, O.T., GROBLER L.J. The dark side of occupants behaviour on building energy use, Energy and Buildings, 42(2), 173-177, 2010.

MORAIS, H., VALE, Z., FARIA, P., Demand Response Design and Use Based on Network Locational Marginal Prices, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 61, p.180-191, out. 2014.

RAMSDEN, P. Improving Teaching and Learning in Higher Education: the case for a relational perspective. Studies in Higher Education, 12(3), p. 275-286, 1987.

SCHOFER, E., MEYER, J. W. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century. American Sociological Review, 70 (6) p.898-920, 2005.

SHEARMAN, R. Bologna: Engineering the right outcomes, International Journal of Electric Engineering Education, 44(2), p.97-100, 2007.

VILHENA J., FIDALGO, A., FELGUEIRAS, M.C., A proposal to support IEEE 1149.1/4 infrastructures experimentation, 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2014), fev 2014.

WILLIAMS, B. R. Engineering education, accreditation and the Bologna Declaration: a New Zealand view, International Journal of Electrical Engineering Education, 44(2), p.124-128, 2007.