



DESENVOLVENDO COMPETÊNCIAS E HABILIDADES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CURSO TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA DO CEFET-MG

Wesley Lucas Campana Custódio - wesleycampana@gmail.com

Eduardo Rodrigues Alves - eduardo.alves@ieee.org

Ângelo Rocha Oliveira – a.oliveira@ieee.org

Lindolpho Oliveira de Araújo Júnior - lindolph@gmail.com

Marlon José do Carmo – marloncarmo@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus III

Rua José Peres, 558 – Centro

36700-000 – Leopoldina – MG

Resumo: *A busca pela qualidade nos métodos de ensino deve contemplar o máximo desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos alunos. A melhor alternativa para que se alcance esse padrão de excelência é inserir no cotidiano das instituições de ensino atividades que possam desenvolver conceitos relacionados à capacidade de decidir de forma técnica e economicamente viável. Este trabalho traz um estudo de caso proposto para alunos do curso técnico de eletrotécnica do CEFET-MG/Campus III sobre os efeitos do uso de lâmpadas fluorescentes compactas no sistema de distribuição de energia elétrica.*

Palavras-Chave: *Qualidade de energia, Distorções harmônicas, Experimentação prática.*

1. INTRODUÇÃO

A busca por mão-de-obra qualificada pelo mercado é cada vez maior o que faz aumentar de forma considerável o grau de exigência da formação profissional de graduandos, seja de cursos técnicos ou de engenharias. É fato conhecido pelas entidades de classe que o Brasil necessita formar 50 mil engenheiros por ano para suprir a atual demanda. (GAIO *et al.*, 2010). Dessa forma, aumenta a responsabilidade das escolas e dos educadores em preparar de forma satisfatória o futuro profissional que deverá corresponder às expectativas do empregador.

Busca-se nesses profissionais, além da imprescindível formação técnica, o enraizamento de vários conceitos com os quais a atividade produtiva deve lidar atualmente. Dentre eles, destacam-se a redução de custos e o corte de desperdícios que impactam diretamente no custo final de produção e, consequentemente, nos preços finais ao consumidor. Em muitos casos é exigida, também, do profissional a comunicação em outras línguas, o poder de comunicação e o empreendedorismo, por exemplo, mas o principal foco das empresas é mesmo a sua capacidade técnica. (FALLEIROS, 2007).

Atualmente, é consenso entre todos os profissionais em engenharia a escassez de mão-de-obra qualificada enfrentada pelo mercado. Este quadro se agrava cada vez mais, devido ao desinteresse de instituições privadas, e do próprio poder público em investir na formação



adequada de engenheiros e técnicos habilitados para suprir essa demanda. Cada vez mais, as instituições de ensino deixam a desejar na formação prática dos profissionais. Devido ao atual modelo educacional, o ensino baseia-se demasiadamente na teorização de situações e modelos onde existe um problema a ser solucionado e explora de forma insuficiente ou, até mesmo, ignora os recursos e o desenvolvimento prático dos estudantes, limitando e debilitando sensivelmente o poder de decisão prática do futuro profissional.

A formação de técnicos e engenheiros traz consigo o preceito da capacitação técnica. Entende-se por capacitação técnica a formação do conhecimento e a sua aplicação. (MANFREDI, 2012). Ou seja, o ensino da engenharia deve contemplar de forma eficiente e eficaz a transmissão de conhecimento prático. Nesse sentido, é de vital importância que ocorra uma maciça conscientização por parte dos educadores e dos gestores das instituições de ensino de que é preciso vencer a cristalização do modelo dominante e investir numa instrução profissional que concilie satisfatoriamente a necessidade das formações teórica e prática.

Sendo assim, verifica-se a incomensurável importância das práticas e experimentos laboratoriais na formação técnica, deixando de ser apenas uma obrigatoriedade curricular e alcançando papel crucial num modelo educacional inovador a ser executado em resposta às exigências do mercado.

Seguindo essa premissa, o novo modelo educacional proporcionaria ao estudante um extenso contato, sem prejuízo de sua formação teórica, com questões práticas. Uma alternativa seria, por exemplo, a proposição de uma situação real e a busca por uma solução econômica e tecnicamente viável. Outra forma de incentivar o desenvolvimento prático do aluno seria estimular sua participação em projetos de pesquisa referentes à sua área de formação ou, ainda, estimular o desenvolvimento de projetos de extensão que visem equacionar particularidades do cotidiano das comunidades onde a instituição está inserida. Exemplo do amplo potencial de expansão que poderia ser realizada no ensino é o índice de participação do Brasil nas pesquisas em engenharia no mundo. Em 2009, o país apresentava uma marca de apenas 1,4% de participação em pesquisas neste âmbito, ante uma participação de 28,1% dos Estados Unidos, 10,3% do Japão e 8,6% da China. (TELLES, 2009).

Adotando-se essa postura, foi proposto aos alunos do curso técnico de eletrotécnica do CEFET-MG / Campus III um estudo sobre os efeitos na qualidade da energia elétrica decorrentes do uso difundido de lâmpadas fluorescentes no sistema de distribuição de energia elétrica por meio da medição das componentes de distorções harmônicas e do fator de potência causados por esses equipamentos.

O trabalho está dividido da seguinte forma: a seção dois trata do diagnóstico da situação problema, a seção três discorre sobre as consequências da utilização das lâmpadas fluorescentes compactas e à seção quatro conclui-se este trabalho.

2. DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

Ao longo do desenvolvimento experimentado pela humanidade, sobretudo nos dois últimos séculos, foi sendo percebida a importância da energia por proporcionar tal revolução econômica e social. As crises do petróleo ocorridas nos anos 70 foram o estopim da percepção da escassez deste recurso e o início de um processo de conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. (PNEE, 2011). Quanto maior passou a ser a dependência da energia como forma de garantir os avanços conquistados, maior passou a ser a conscientização do consumo, a busca por fontes alternativas e a preocupação com o futuro dos recursos já existentes, o que levou à procura e ao desenvolvimento de alternativas mais econômicas em muitas aplicações. Pode-se citar como um dos maiores exemplos desse processo tecnológico a utilização de iluminação artificial por meio de lâmpadas.



A tecnologia de iluminação inicialmente utilizada, em meados do século XIX, foi a lâmpada incandescente. Entretanto, com o impulso tecnológico experimentado por esse mercado, foi desenvolvida em 1938 a lâmpada fluorescente, que sobressaia a lâmpada incandescente em luminosidade, eficiência e consumo. A partir de 1986 iniciou-se a fabricação das lâmpadas fluorescentes compactas com reatores integrados, iniciando-se assim um processo de diversificação do mercado consumidor de lâmpadas. (MASCIA, 2011).

Com a busca pela otimização dos custos cada vez mais manifesto no setor produtivo, é crescente o interesse em reduzir o desperdício de forma a minimizar seu impacto econômico e contribuir para a preservação de recursos naturais importantíssimos. Tal preocupação também chegou ao ambiente doméstico, onde a aceitação dos equipamentos com melhor eficiência energética é unânime. Ou seja, com o passar do tempo reforçou-se o entendimento de que o aumento da eficiência energética é a forma mais econômica e ambientalmente favorável ao uso da energia. (PNEE, 2011). Dessa forma, devido aos fatores mencionados acima, à acessibilidade financeira e ao incentivo decorrente da crise energética de 2002 houve uma expansão vertiginosa na aquisição desses dispositivos. Entretanto, apesar das vantagens já explicitadas no tocante à sua eficiência energética, o uso das lâmpadas fluorescentes ocasiona várias deformações indesejadas no sinal da rede elétrica de distribuição, o que impacta diretamente na qualidade da energia fornecida. Essas deformações são conhecidas como componentes harmônicas ou, simplesmente, harmônicas.

Outro aspecto negativo do amplo emprego das lâmpadas fluorescentes compactas, ou LFC's, como são mais conhecidas no meio técnico, é a queda brusca do fator de potência em relação às lâmpadas incandescentes, o que também causa grandes distúrbios ao sistema elétrico em que a mesma está conectada.

Diante desta situação, passa a ser imprescindível o mapeamento dos reais efeitos do uso das LFC's no sistema elétrico.

3. LÂMPADAS FLUORESCENTES E DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Com o advento da eletrônica de potência tornou-se possível a utilização em massa do controle de potência variável, uma vez que seu princípio de funcionamento baseia-se no controle da aplicação da tensão alternada (C.A) sobre a carga. Este tipo de controle gera uma corrente deformada aplicada à carga, o que consequentemente gera uma tensão deformada aplicada à mesma e esta é repassada à rede, causando as distorções harmônicas.

A principal causa do comprometimento da qualidade da energia elétrica nos sistemas de distribuição pode ser atribuída à presença das harmônicas. As componentes harmônicas podem ser encaradas, de forma didática, como uma espécie de “poluição”, geradas pelos chamados equipamentos não lineares, os quais são conectados ao sistema elétrico. Exemplos de equipamentos não lineares que têm seu princípio de funcionamento fundamentado na eletrônica de potência são os inversores de frequência, variadores de velocidade e conversores eletrônicos de potência.

Entre estes podemos incluir, também, a lâmpada fluorescente compacta, que possui sistema de partida realizado por um reator eletrônico em seu interior. A “Figura 1” abaixo mostra uma lâmpada fluorescente compacta e o seu circuito eletrônico interno de partida.



Figura 1 Lâmpada fluorescente e seu circuito eletrônico interno de partida

Como já dito anteriormente, o uso das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC's) ocasiona muitos distúrbios elétricos ao sistema de distribuição. Essas harmônicas são, na verdade, componentes de frequências múltiplas da onda fundamental da rede elétrica, que é de 60HZ. O principal efeito das distorções harmônicas na rede elétrica pode ser verificado na inconstância das formas de onda senoidais da rede, na defasagem desequilibrada entre as fases de um sistema trifásico e na queda do fator de potência.

3.1. Distorções harmônicas e a série de Fourier

Como os sinais sob influência das distorções harmônicas são sinais compostos pelo somatório de várias componentes de frequências múltiplas à frequência fundamental da rede, podemos decompor cada um desses sinais em uma soma infinita de senóides a serem representadas matematicamente por uma série infinita denominada série de Fourier.

Considerando-se um sinal fundamental distorcido por várias componentes harmônicas, temos que este sinal resultante é na verdade a soma da componente fundamental com seus componentes múltiplos. A “Equação (1)” abaixo mostra a forma geral da série de Fourier.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots \quad (1)$$

Abaixo, na “Equação (2)”, segue um exemplo de um sinal $f(t)$ distorcido.

$$f(t) = 2 \frac{V}{\pi} \left\{ \sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{4} \sin 4\omega t + \dots \right\} \quad (2)$$

Dessa forma, temos que o sinal acima pode ser decomposto em um sinal fundamental de frequência de 60HZ denominado $f(1)$ e a expressão do segundo harmônico, denominado $f(2)$. As expressões de ambos os sinais são mostradas abaixo na “Equação (3)” e na “Equação (4)”.

$$f(1) = 2 \frac{V}{\pi} \{\sin \omega t\} \quad (3)$$

$$f(2) = -\frac{V}{\pi} \{\sin 2\omega t\} \quad (4)$$

A partir do sinal original ou fundamental são enumerados vários sinais de frequência múltiplos à sua frequência e que tem seu número dado em virtude do seu valor múltiplo. Por exemplo, o sinal que tem frequência três vezes maior que o fundamental é chamado de terceira harmônica. Cada harmônica, normalmente, possui amplitude diferente das demais e, à medida que vão aumentando sua multiplicidade em relação ao sinal original, as amplitudes das harmônicas vão decaindo de valor.

3.2. Cálculo dos efeitos das distorções harmônicas

Entre as principais consequências práticas das distorções harmônicas podemos enumerar o aumento das perdas magnéticas em máquinas rotativas, diminuição da eficiência e torques disponíveis, a redução da vida útil de capacitores, transformadores e medidores, menor confiabilidade dos sistemas de disparo entre outros. Em cabos elétricos ocorre um fenômeno chamado de Efeito Pelicular, que consiste na redução da área da seção transversal efetivamente condutora do cabo, que se dá em resposta ao aumento da frequência da corrente, origem dos aquecimentos causados em condutores e pontos de conexão submetidos a essas distorções.

Uma maneira de realizar a medição do grau da distorção harmônica a que um dado sistema elétrico é submetido se dá pelo cálculo da Distorção Harmônica Total, conhecida pela sigla DHT ou THD, do inglês *Total Harmonic Distortion*. Este cálculo é dado abaixo pela “Equação (5)”.

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (5)$$

Outra forma de mensurar o grau de distorção harmônica de um sistema pode ser feito através do cálculo do fator de potência da instalação ou rede. Este cálculo é realizado pela “Equação (6)”.

$$FP = \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{1 + DHT^2}} \quad (6)$$

Analisando a Equação dada acima nota-se facilmente que existe uma relação intrínseca entre a Distorção Harmônica Total e Fator de Potência (FP), onde os valores máximos das componentes harmônicas de corrente que os equipamentos podem fornecer à rede de alimentação elétrica são limitados por normas internacionais, visto que o Brasil carece deste tipo de legislação ou normatização.

3.3. Classificação das lâmpadas fluorescentes compactas

As Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC's) podem ser classificadas de acordo com o índice da Distorção harmônica Total da corrente que elas podem produzir. A “Tabela 1” abaixo apresenta a classificação das LFC's de acordo com os seus índices da DHT da corrente e divide as mesmas em três classes distintas.

Tabela 1 – Classificação das LFC's de acordo com a DHT da corrente

Classificação das LFC's	
Nível de Distorção	DHT (corrente)
Baixa	$< 20\%$
Média	$20\% \leq DHT \leq 40\%$
Alta	$DHT > 40\%$

4. DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

Visando uma melhor assimilação do conceito de qualidade da energia por parte dos estudantes, o estudo realizado efetuou a medição das harmônicas geradas por lâmpadas fluorescentes compactas, medindo-se a distorção harmônica da corrente, segundo a série de Fourier.

Antes de iniciarem-se os experimentos foi preciso tomar conhecimento das condições do sistema elétrico que fornecerá a energia necessária que alimentará as lâmpadas utilizadas. Foi observada a qualidade da tensão nominal aplicada às lâmpadas que compuseram o circuito, que é de 127VAC e 60HZ, sendo que o fator que possui maior potencial para afetar a real interferência das LFC's no sistema elétrico é a Distorção Harmônica Total (DHT) da tensão aplicada, que foi medida em 4,55% com auxílio de um analisador de qualidade da energia. Todas as lâmpadas permaneceram acesas por cinco minutos antes de serem coletados os dados elétricos.

O primeiro passo dos experimentos que visam à determinação do impacto sobre a qualidade de energia no uso das lâmpadas fluorescentes compactas foi realizado utilizando-se de três lâmpadas fluorescentes compactas (LFC's) ligadas em paralelo à tensão alternada de 127VAC, conforme dito acima, onde em série com o conjunto de lâmpadas foi conectado um resistor de baixo valor ôhmico e alta potência. A “Figura 2” abaixo ilustra a topologia do circuito adotada para o estudo.

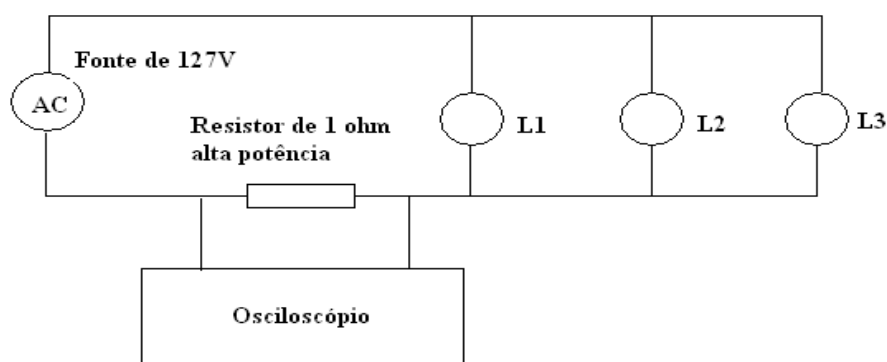


Figura 2 – Topologia do circuito adotado nos experimentos

Para verificar a eficiência energética de todo o circuito foram efetuadas medições das grandezas elétricas necessárias com o uso de osciloscópio, conforme mostra a Figura acima. O modelo escolhido foi um equipamento modelo TDS 2014, fabricante Tektronix e os

resultados obtidos listados em tabelas e analisados de forma minuciosa. A “Figura 3” abaixo mostra uma imagem promocional deste aparelho de medição.

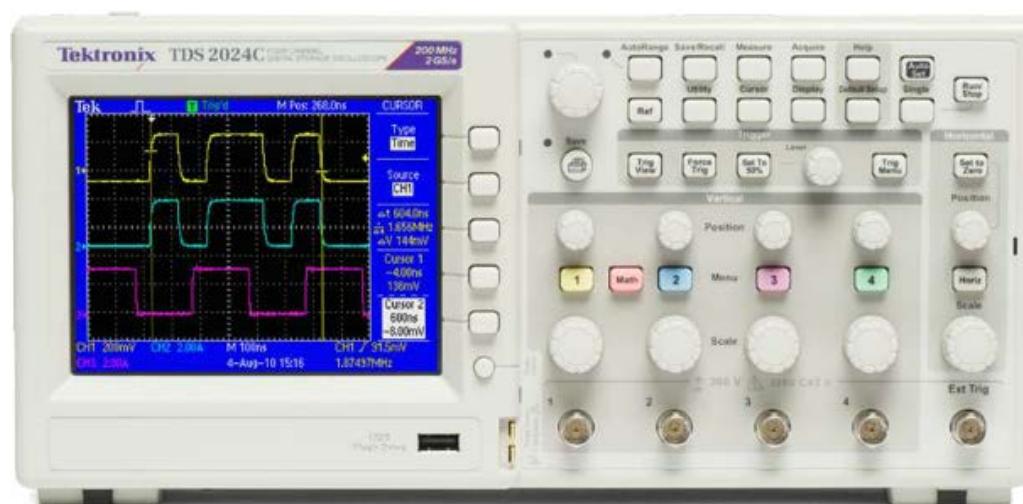


Figura 3 – Imagem do osciloscópio utilizado nos experimentos

O uso deste osciloscópio possibilitou a medição, o cálculo e o registro de grandezas elétricas tais como a tensão de alimentação do circuito, a corrente aplicada pela fonte de tensão, o fator de potência da instalação, a Distorção Harmônica Total (DHT) da tensão e da corrente aplicadas e o percentual de perdas elétricas. Além destes valores, também foi realizada a medição da eficiência luminosa das lâmpadas, à distância de um metro, o que se configura como a principal função de um dispositivo de iluminação artificial. Tal medição foi realizada com o uso de um luxímetro. A “Equação (7)” mostra como é realizado o cálculo da eficiência das lâmpadas.

$$Eficiência = \frac{Iluminância}{Potência} \quad (7)$$

A “Equação (8)” mostra como é realizado o cálculo do percentual das perdas ocorridas neste circuito.

$$Perda(\%) = \frac{Potência_{medida} - Potência_{no\ min\ al}}{Potência_{no\ min\ al}} \times 100 \quad (8)$$

Foi empregado o osciloscópio para realizar as medições das formas de onda de corrente e tensão resultante, que são mostradas na “Figura 4” a seguir.

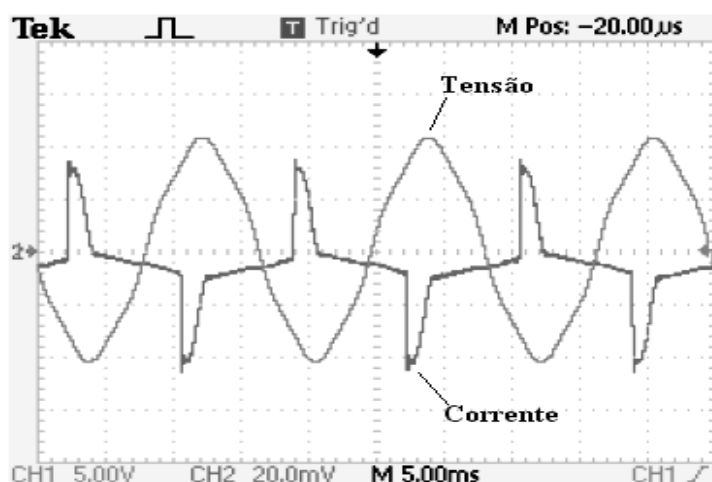


Figura 4 – Formas de onda e tensão encontradas durante realização dos experimentos
Abaixo seguem os valores relacionados às grandezas elétricas mencionadas acima, obtidos por medições realizadas com o circuito em funcionamento.

- Tensão (V): 127
- DHT da tensão aplicada: 4,55%
- Corrente (A): 0,05
- Potência (W): 15
- Fator de potência: <0,45
- Iluminância a 1 m (lux): 140
- DHT da corrente: 87,33%
- Eficiência luminosa a 1 m (lux/W): 9,69
- Percentual de perdas: 6,67%

Analisando os dados acima podemos determinar alguns conceitos que ajudam a compreender as distorções pelas quais passam a rede elétrica. Como aspectos positivos do uso das LFC's destacam-se o valor de iluminância, que alcançou 140lux, e o valor da eficiência luminosa, que ficou em 9,69lux/W. Tal fato possibilita a constatação de que, como exposto anteriormente, as lâmpadas fluorescentes compactas são extremamente mais eficientes em comparação às lâmpadas incandescentes, que geralmente apresentam uma eficiência luminosa na faixa entre 1,5lux/W e 2lux/W. Esta alta eficiência também evidencia que, para um mesmo valor de luminosidade de uma lâmpada incandescente e de uma lâmpada fluorescente compacta, esta apresenta menor consumo em relação à outra, pois demandaria menor potência da rede elétrica.

Entretanto, como principais efeitos negativos da conexão das LFC's ao sistema elétrico da concessionária de energia local pode-se destacar o baixíssimo valor do Fator de Potência (FP) do circuito, que apresentou valor menor que 0,45 e o elevado valor da Distorção Harmônica Total da corrente, que alcançou um valor de 87,33%, o que classifica as lâmpadas utilizadas no experimento, de acordo com o exposto acima, como lâmpadas de elevada distorção de corrente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho mostra nitidamente que é possível uma integração entre a teoria e a prática que contemple o aprendizado nas instituições de ensino, almejando a formação dos profissionais que o mercado de trabalho busca.

Tal interação se daria pela proposição de atividades laboratoriais que vislumbassem a utilização dos conceitos teóricos já assimilados na solução de situações reais que exigissem reflexão para o seu desenvolvimento de forma viável do ponto de vista técnico e econômico. Esse incentivo à inovação traria uma enormidade de benefícios ao aprendizado, desde uma maior familiaridade do estudante com questões técnicas até o desenvolvimento de sua capacidade de raciocínio lógico.

Dessa forma, a vivência laboratorial é a melhor alternativa para iniciar o processo de adaptação pelo qual as instituições de ensino devem passar, a fim de adotar um novo modelo fundamentado na análise crítica e no discernimento durante a execução das soluções.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FALLEIROS, I. G. S. A formação do engenheiro. Anais: Debate: O Momento Atual da Engenharia Brasileira. São Paulo: ABECE, 2007.

GAIO, L. M.; SILVA, J. M.; ELS, R. ENGAMA – Proposta de integração entre a Faculdade UNB Gama e as escolas de ensino médio (Despertando o interesse nas engenharias nas escolas de ensino médio). Anais: XXXVIII – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Fortaleza: UFC, 2010.

LACERDA, F. D. C.; JOTA, P. R. S.; BEZERRA, E. K. B. R. Eficiência energética x qualidade de energia (lâmpadas fluorescentes compactas). Revista Educação Tecnológica, Belo Horizonte, v.8, n.1, p.46-51, 2003.

MANFREDI, V. Capacitação Técnica. Revista O Papel, São Paulo, n.6, p. 7-8, 2012.

MASCIA, A. R. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas incandescentes, considerando a viabilidade econômica, 2011. 70p, il. Monografia.

PNEE - PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – Premissas e diretrizes básicas. Brasília. MME – Ministério de Minas e Energia, 2011.

TELLES, M. Brasil sofre com a falta de engenheiros. Revista Inovação em Pauta, Rio de Janeiro, v.1, n.6, p.11-15, 2009.



TORRES, I. S. M.; SOUSA, F. P. F.; FERREIRA, T. V.; LUCIANO, B. A. Lâmpadas fluorescentes e distorções harmônicas: eficiência energética e qualidade de energia elétrica. Anais: VIII Conferência Brasileira Sobre Qualidade de Energia. Blumenau, 2009.

O SETOR ELÉTRICO. Fator de potência e distorção harmônica – parte II. São Paulo: Atitude, n.2, março, 2006.

DEVELOPING COMPETENCES AND ABILITIES IN ENERGY EFFICIENCY: A CASE STUDY IN CEFET-MG

Abstract: *The search for quality in teaching methods should include the maximum development and improvement of the students. The best alternative for achieving this standard of excellence is to insert in the daily activities of educational institutions able to develop theoretical concepts based on the ability to decide in a technically and economically feasible. This paper presents a case study proposed for students of the electrical engineering technician in CEFET-MG/Campus III on the effects of the use of CFLs in the distribution system of electricity.*

Key-words: *Power quality, Harmonic distortion, Experimentation*