

O USO DE LABORATÓRIO DE LUMINOTÉCNICA PARA ESTUDOS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Márcio Zamboti Fortes,¹ José Ernesto Viqueti Fassarela,² Adriano Pinheiros Fragoso,³
Geraldo Martins Tavares⁴

RESUMO

Este trabalho aborda a experiência de uso do Laboratório de Luminotécnica (LABLUX) para capacitação de alunos de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense (UFF). São apresentados o estudo de caso da extensão da atividade de ensaios luminotécnicos desse laboratório para a avaliação das distorções harmônicas geradas por reatores e lâmpadas em ensaio, e o estudo de qualidade de energia nos circuitos alimentadores do laboratório. Os resultados obtidos com estágios, iniciação científica e Trabalhos de Conclusão de Curso mostram que o processo de ensino e aprendizagem, inicialmente focados em luminotécnica, podem ser estendidos a áreas de estudos de conservação e qualidade de energia, propiciando a formação de profissionais com conceitos diferenciados em relação aos currículos de graduação em Engenharia Elétrica.

Palavras-chaves: luminotécnica; qualidade de energia; laboratório; engenharia elétrica.

THE USE OF LABORATORY OF LIGHTING TECHNIQUE FOR POWER QUALITY STUDIES

ABSTRACT

This paper discusses the experience of using the Laboratory of Lighting (LABLUX) to train undergraduate students in Electrical Engineering from Universidade Federal Fluminense (UFF). In this work we present the case study of the extent of lighting activity of this laboratory in order to evaluate the harmonic distortions generated by ballasts and lamps in test trials, and also the study of quality power feeder circuits in this laboratory. The results obtained with internships, undergraduate research works and End of Course show that the process of teaching and learning, initially focused on lighting technique can be extended to areas of conservation studies and power quality, providing training professionals with different concepts regarding the undergraduate curricula in Electrical Engineering.

Keywords: lighting; energy quality; laboratory; electrical engineer.

¹ Doutor. Universidade Federal Fluminense; mzf@vm.uff.br

² Engenheiro. Universidade Federal Fluminense; joseernesto_inf@yahoo.com.br

³ Engenheiro. Universidade Federal Fluminense; adrianofragoso@gmail.com

⁴ Doutor. Universidade Federal Fluminense; gtavares@vm.uff.br

INTRODUÇÃO

O governo brasileiro, em 1985, através dos ministérios de Minas e Energia e Indústria e Comércio, criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com o objetivo de promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais.

Com a crise que ocorreu no setor elétrico brasileiro em 2001, foi publicada a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que estabelecia uma política nacional de eficiência energética voltada para máquinas e aparelhos consumidores de energia no Brasil. Logo em seguida, foi publicado o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Por meio deste, ficou regulamentada a lei que define os pontos a serem abordados na regulamentação específica de cada produto e também que o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) será o órgão responsável pelos programas de fiscalização e avaliação da conformidade. A partir de então, cresce a demanda de laboratórios para a realização de ensaios nas diversas categorias de produtos e equipamentos.

Em 2005, o INMETRO concedeu à Universidade Federal Fluminense (UFF) o direito de participar do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com seu Laboratório de Luminotécnica (LABLUX), através de ensaios em lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) com reator integrado, para comprovar os índices mínimos de eficiência energética estabelecidos pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE).

Por natureza construtiva, as LFC possuem componentes semicondutores que produzem harmônicos que podem afetar os equipamentos ligados próximos essa carga ou ao sistema alimentador. Os resultados de estudos em consumidores residenciais e comerciais, incluindo uma análise do uso de LFC são apresentados por Pomilio e Deckmann (2006). Os efeitos dessas cargas não lineares, em especial, iluminação, são

acentuados quando do uso de equipamentos de “dimerização”, e uma análise técnica deve ser efetuada para avaliar as distorções, como apresentado por Demoulias e outros (2005). Um exemplo da caracterização do conteúdo harmônico em LFC e outros sistemas de iluminação é apresentado por Santos e outros (2011).

Conhecer os conceitos de qualidade de energia faz parte de disciplinas obrigatórias ou optativas em cursos de graduação em Engenharia Elétrica, nas escolas que possuem enfoque para estudos de impactos em rede, energia renovável, eletrônica de potência e áreas correlatas. O impacto na qualidade de energia com sistemas de iluminação passa a ser um estudo mais específico e as avaliações desses aspectos são atividades complementares ao curso, apresentadas ao discente por intermédio de disciplinas eletivas, estágios curriculares ou iniciação científica. De modo particular, na UFF, esses conceitos são apresentados em disciplinas optativas, ainda na graduação, intituladas Eficiência Energética I e Eficiência Energética II, bem como em estágios curriculares no LABLUX e Iniciação Científica, para alunos de graduação a partir do 3º período, tendo o LABLUX como laboratório e referência para estudos. A cada semestre, as turmas iniciais do curso de Engenharia Elétrica participam de visita a esse laboratório, dentro da disciplina de Introdução à Engenharia, para os alunos do 1º período. Existe, ainda, anualmente, a apresentação de palestras sobre luminotécnica e minicursos dentro das atividades da Semana de Engenharia.

Como aspectos motivadores, cita-se que o ensino, pela utilização da estrutura do laboratório de luminotécnica, estimula os estudantes a pensar de uma forma diferente com relação à eficiência energética, ou seja, não analisar somente o ganho em relação em uma grandeza, mas sim o cenário como um todo. Por exemplo, após as medições realizadas em amostras que estão no laboratório, para teste, identifica-se rapidamente que a eficiência da lâmpada fluorescente compacta

se dá pela relação lumens/Watts, comparando-a com a lâmpada incandescente. Também se confirma o nível de “poluição” que estas causam no sistema. Além disso, podem-se conhecer os efeitos danosos que os harmônicos causam na infraestrutura elétrica da instalação.

O aprendizado, dessa forma, proporciona ao acadêmico uma maneira de conhecer, na prática, alguns dos problemas que as cargas não lineares causam no sistema elétrico. Entre eles, destacam-se: aquecimento nos condutores, corrente no neutro, avarias nos dispositivos de acionamento e proteção, e também problemas nas fontes de alimentação estabilizadas.

Os estudantes que participam de alguma das diversas atividades do laboratório desfrutam da oportunidade de realizar medições, cálculos de incertezas, e, acima de tudo, podem comparar a teoria adquirida em sala de aula com o resultado obtido em medição de campo, e, assim, familiarizam-se com as possíveis discrepâncias e comprovam que nem sempre o que acontece em campo se comporta de forma ideal, como se apresenta em alguns conceitos teóricos. Em uma linha de atividades gerais, o estudante passa a adquirir prática em equipamentos de medição e técnicas para operá-los. Logo em seguida, é introduzido no tratamento dos dados obtidos, em ensaios e minimização de incertezas; como fechamento da atividade, em alguns casos, propõe-se conclusões para os relatórios de ensaios.

METODOLOGIA

Apresentar ao aluno de graduação os conceitos de luminotécnica e capacitá-lo a medir, identificar e buscar soluções para os problemas de qualidade de energia que os sistemas de iluminação podem causar; e aspectos de eficiência energética de sistemas de iluminação é o objetivo da formação do discente.

O fato de a Instituição de Ensino Superior (IES) possuir um laboratório de luminotécnica apresenta uma facilidade para os estudos dessa área. Em complemento ao laboratório, é necessário um acesso facilitado

aos periódicos acadêmicos que abordem temas afins. Alguns exemplos de artigos e temas são repassados aos alunos para estudo e comparação com resultados e testes efetuados no laboratório. A seguir, apresentam-se alguns desses temas, com referências bibliográficas indicadas.

- Perdas em reatores com simuladores usando simuladores (SHAFI e outros, 2007);
- Impactos da LFC nos sistemas (SCHINKELSHOEK e outros, 2010; SHARMA e outros, 2011);
- Redimensionamento de componentes (POLLOCK e SULLIVAN, 2006);
- Melhoria do fator de potência em equipamentos de iluminação (LAM e outros, 2012; LAM e JAIN, 2010);
- Modelagem de sistemas de iluminação (WEI e outros, 2008; YONG e outros, 2010);
- Parâmetros elétricos em componentes de equipamentos de iluminação (DILAI e outros, 2005);
- Interferências eletromagnéticas (COCA e outros, 2011);
- Qualidade de energia por sistemas de iluminação (JABBAR e outros, 2008; RIGO-MARIANI e outros, 2010).

RESULTADOS

Podem-se dividir os resultados alcançados com as atividades do laboratório de luminotécnica em:

Estágios curriculares

Em 2011, foram avaliadas mais de 5.000 lâmpadas fluorescentes, compactas, de trinta fabricantes. Nessa atividade, estiveram envolvidos treze alunos de graduação, do curso de Engenharia Elétrica, do 3º ao 10º período. Entre as atividades desempenhadas pelos alunos, destacam-se: medição de fluxo luminoso em esfera integradora; programação via supervisor de ciclos de funcionamento de grupos de lâmpadas em teste; medição de fator de potência; harmônicos, tensão e corrente de amostras em testes; e emissão de certificados de conformidade atendendo à normatização vigente. A Figura 1 ilustra uma visão da sala de sazonalização de lâmpadas em teste no laboratório.



Figura 1 – Sala de sazonalidade.

Outra atividade característica no estágio curricular é o acompanhamento de atividades de manutenção nos equipamentos do laboratório. Com essas atividades, os estudantes podem identificar na prática os reais problemas encontrados em instalações elétricas, detectar as causas, e também participar das possíveis soluções para a minimização ou eliminação completa dos defeitos.

Alguns dos dispositivos de automação para os ensaios de sazonalidade e fotométricos foram elaborados por estagiários. Como exemplos, temos ilustrados, nas figuras 2, 3 e 4, dispositivos para ensaios de lâmpadas vapor de sódio, LFC e controle de sazonalidade, respectivamente.

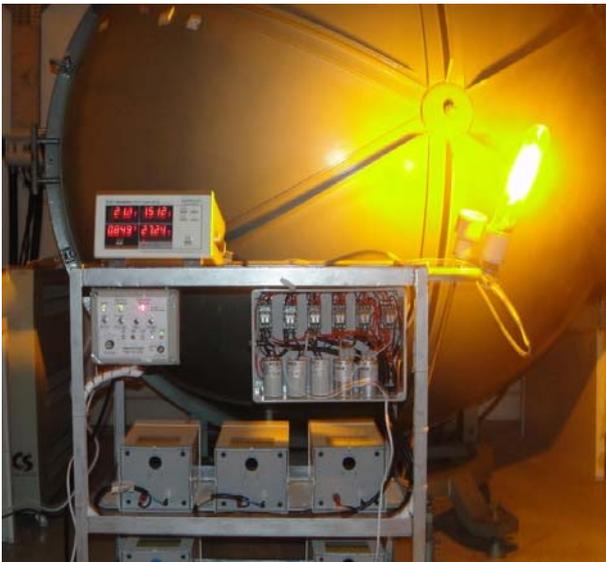


Figura 2 – Dispositivo para ensaios fotométricos em lâmpadas vapor de sódio.



Figura 3 – Dispositivo para ensaios fotométricos em LFC.



Figura 4 – Controle de sazonalidade.

Deve-se registrar que, em todo o processo de estágio de capacitação, existe um corpo docente acompanhando, orientando e validando as atividades desenvolvidas.

Iniciação Científica

Como exemplos de atividades relacionadas à Iniciação Científica, citam-se trabalhos desenvolvidos com quatro alunos de graduação, com três temas em destaque:

- Técnicas de manutenção aplicadas a ações de eficiência energética, com o foco de identificação de equipamentos de medição e verificação que podem ser utilizadas em ações de efficientização, com medições e verificações de grandezas elétricas no laboratório. Esse estudo gerou trabalho apresentado em congresso nacional (FORTES e outros, 2011).
- Avaliação harmônica de reatores eletrônicos, com medições em amostras de mercado e ensaio no laboratório. Esse estudo gerou trabalhos

apresentados em congressos nacionais como: Santos e outros (2011) e Fortes, Santos e Entringer (2011).

- Avaliação através de *software* dos harmônicos em reatores eletrônicos, que consiste em testar, desmontar, modelar e simular reatores eletrônicos disponíveis no mercado e comparar a resposta simulada com a grandeza efetivamente medida em laboratório.

Trabalhos de Conclusão de Curso

Alguns exemplos de desenvolvimento de Trabalhos de Conclusão de Curso são os intitulados:

- “Filtro passivo de harmônicos para equipamentos de TI”, no qual foi medida e simulada a qualidade de energia em equipamentos instalados no laboratório. As figuras 5 e 6 ilustram alguns aspectos dos resultados obtidos no trabalho, em que foi desenvolvido um *software* em *Delphi* para dimensionamento de filtros passivos, a partir dos resultados medidos em ensaios.

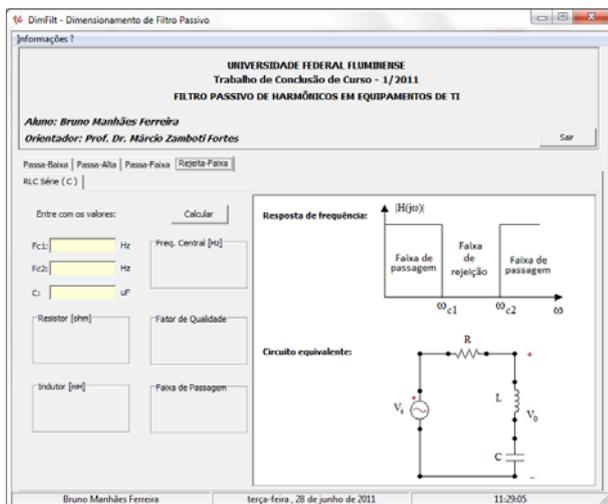


Figura 5 – Tela para dimensionamento de filtro rejeita-faixa.

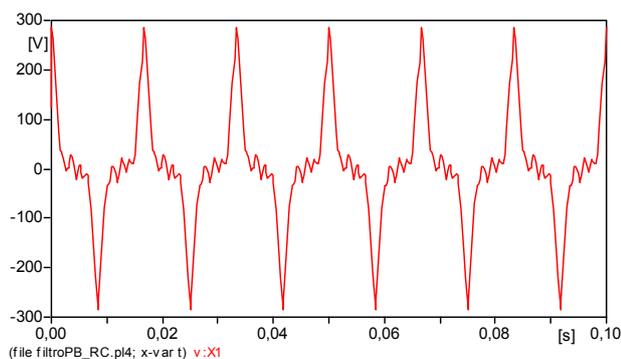


Figura 6 – Forma de onda de tensão em conjunto de cargas de TI.

- “Análise da aplicação de filtro ativo em sistemas não lineares”, em que foram medidos, modelados e simulados os circuitos de distribuição interna do laboratório, nos diversos circuitos em 127 e 220 volts, e avaliados os conteúdos harmônicos dos mesmos. Após os resultados, simulou-se, por *software* PSIM, as possíveis soluções, e os resultados da implementação são avaliados para dimensionamento, compra e avaliação econômica do projeto de instalação do filtro para melhoria da qualidade de energia e redução do consumo por mitigação de harmônicos. As figuras 7, 8 e 9 ilustram alguns aspectos dessa análise de projeto.

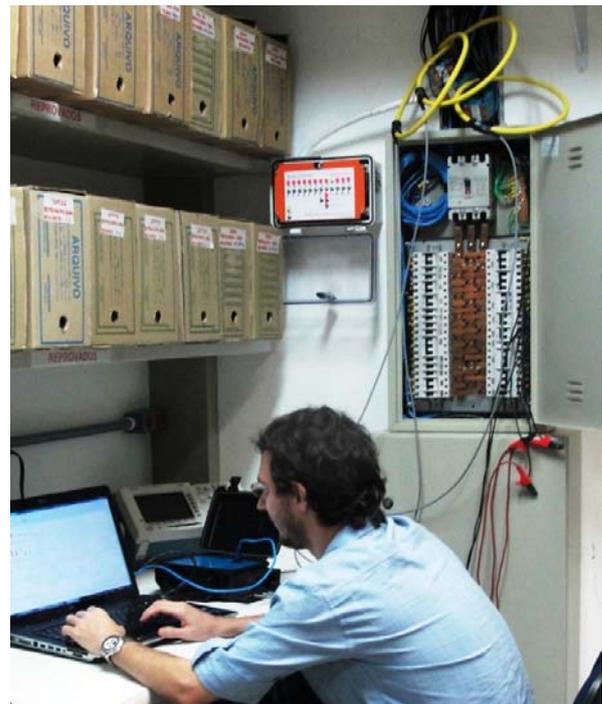


Figura 7 – Coleta de dados em quadro de distribuição do laboratório.

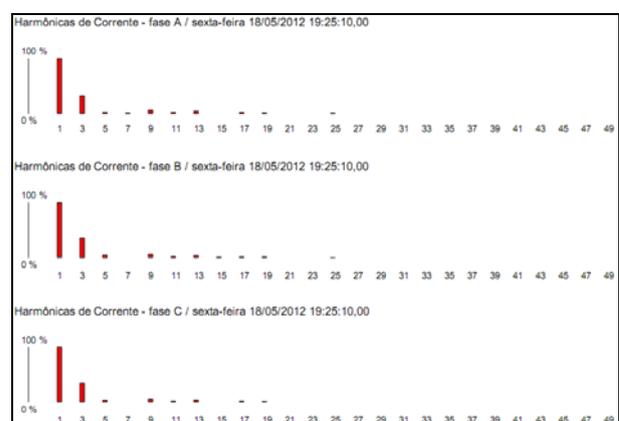


Figura 8 – Espectro harmônico de corrente no QDL-1.

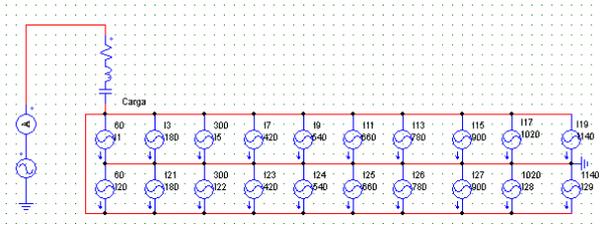


Figura 9 – Modelo simulado no software PSIM.

CONCLUSÕES

Os resultados iniciais dessa ação de uso de um laboratório de luminotécnica estão apresentados anteriormente. É importante ressaltar que, em setembro de 2012, esse laboratório possuía um grupo de onze alunos em atividades discentes. Pretende-se expandir as ações de capacitação para outros itens de estudo e pesquisa, como: ensaios mecânicos em reatores, avaliação técnica de luminárias e ensaios em lâmpadas LED.

Deve-se destacar que esse laboratório é o primeiro acreditado pelo INMETRO em universidade no Brasil. Os professores pesquisadores que atuam nessa área estão credenciados em grupo de pesquisa cadastrado no CNPq, nomeado GASE (Grupo de Análise de Sistemas Elétricos). Estão em início de pesquisa duas dissertações de Mestrado Profissional, com temas relacionados a modelo de certificação e interferência e aspectos de montagem de sistemas elétricos sob efeito de harmônicos, com o estudo de caso das instalações com LFC.

REFERÊNCIAS

COCA, E.; POPA, V.; BUTA, G. Compact fluorescent lamps electromagnetic compatibility measurements and performance evaluation, **Proceedings of IEEE International Conference on Computer as a Tool (EUROCON)**, p. 1-4, 2011.

DEMOULIAS, C.; SAMOLADAS, S.; KOURAMANIS, K. Harmonic-induced problems in theatrical lighting installation: real-case measurements and proposed solutions, **Proceedings of IEEE Power Tech SPPT-2005**, p. 1-6, 2005.

DILAI, L.; LANXIANG, Z.; ZISSIS, G.; ZHIGUO, L. Investigation of electrical parameters in compact fluorescent lamps. **Proceedings of 40th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference**, v. 4, p. 2.335-2.339, 2005.

FORTES, M. Z.; ENTRINGER, E. S.; SANTOS, T. L. Ações do profissional de manutenção para conservação de energia em empresas de pequeno

porte. **Anais do 26^o Congresso Brasileiro de Manutenção**, TT-018, v. 1, 2011.

FORTES, M. Z.; SANTOS, T. L.; ENTRINGER, E. S. Aspectos a considerar na aplicação de lâmpadas fluorescentes compactas com respeito à conservação/Qualidade de Energia. **Anais do o 26^o Congresso Brasileiro de Manutenção**, TT-017, v. 1, 2011.

JABBAR, R. A.; AL-DABBAGH, M.; KHAWAJA, R. H.; AKMAL, M.; ARIF, M. R. Impact of compact fluorescent lamp on power quality. **Proceedings on Power Engineering Conference (AUPEC'2008)**, p. 1-5, 2008.

LAM, J. C. W.; HUI, J. C. Y.; JAIN, P. K. A dimmable high power factor single-switch electronic ballast for compact fluorescent lamps with incandescent phase-cut dimmers. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 59, n. 4, p. 1.879-1.888, 2012.

LAM, J. C. W.; JAIN P. K. A novel high-power-factor single-switch electronic ballast. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 46, n. 6, p. 2.202-2.211, 2010.

POLLOCK, J. D.; SULLIVAN, C. R. Optimized magnetic components improve efficiency of compact fluorescent lamps. **Proceedings of 41st IAS Annual Meeting Industry Applications Conference**, p. 265-269, 2006.

RIGO-MARIANI, R.; RAYUDI, R. K.; WITHERDEN, M. S.; LAI, E. M., Power quality indices of compact fluorescent lamps for residential use – a New Zealand study. **Proceedings of 10th Region 10 Conference (TENCON 10)**, p. 647-652, 2010.

POMILIO, J. A.; DECKMANN, S. M. Caracterização e compensação de harmônicos e reativos de cargas não lineares residenciais e comerciais. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 11, p. 9-16, 2006.

SANTOS, T. L.; FORTES, M. Z.; ENTRINGER, E. S. Avaliação de espectros harmônicos em sistemas de iluminação disponíveis no mercado, **Anais da IX Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica**, v. 9, 2011.

SCHINKELSHOEK, M.; WATSON, N.; HEFFERNAN, B. The characteristics of CFLs: beyond the harmonics. **Proceedings of IEEE Universities Power Engineering Conference (AUPEC)**, p. 1-6, 2010.

SHAFI, M. A.; McMAHON, R. A.; WEIER, S. Investigation of losses in commercially available self-resonant ballasts for compact fluorescent lamps, **Proceedings of IEEE Power Electronics**

Specialists Conference PESC-2007, p. 3.100-3.105, 2007.

SHARMA, H.; SUNDERMAN, W. G.; GAIKWAD, A., Harmonic impact of widespread use of CFL lamp on distribution systems, **Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting**, p. 1-5, 2011.

YONG, J.; CHEN, L.; NASSIF, A. B.; XU, W. A frequency-domain harmonic model for compact fluorescent lamps. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 2, 2010.

WEI, Z.; WATSON, N. R.; FRATER, L. P. Modeling of compact fluorescents lamps. **Proceedings of 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power**, p. 1-6, 2008.

DADOS DOS AUTORES



Márcio Zamboti Fortes – Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Severino Sombra em 1991. Mestre em Engenharia da Energia pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em 2000. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP), em 2007. Sua experiência profissional inclui atividades de gestão, projetos, manutenção, implantação e comissionamento nas empresas: Companhia Siderúrgica Nacional, Companhia Cervejaria Brahma, J. P. Engenharia, Surebeam Brasil, Optiglobe Tecnologia da Informação e Acelétron Irradiação Industrial. Atualmente é professor da Universidade Federal Fluminense (UFF) e vice-coordenador do curso de Engenharia Elétrica. Desenvolve estudos nas áreas de: conservação e qualidade de energia, manutenção industrial, máquinas elétricas e acionamentos.



José Ernesto Viqueti Fassarella – Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2012. Sua experiência profissional inclui atividades de projetos de subestações na empresa Leme Engenharia Ltda. Atualmente, é aluno do curso de Mestrado Profissional em Montagem Industrial da UFF. Desenvolve estudos nas áreas de montagem industrial, conservação e qualidade de energia.

Adriano Pinheiros Fragoso – Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF), em 2008; é mestrando em metrologia e qualidade pelo INMETRO. Sua experiência profissional inclui atividades de projetos e manutenção na Superintendência de Arquitetura e Engenharia da Universidade Federal Fluminense. Atualmente, é gerente técnico do Laboratório de Luminotécnica da Universidade Federal Fluminense (UFF) e responsável pela manutenção elétrica da UFF.



Geraldo Martins Tavares – Recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Doutor em Engenharia de Produção, em 1975 e 1998, respectivamente, pela COPPE/UFRJ. Sua experiência profissional inclui atividades, na iniciativa privada, em concessionárias de energia elétrica, como CHESF e ELETROSUL, e outras empresas de consultoria de engenharia, como MILDER KAISER, ENGEVISA, IESA e CNEC. Têm 40 anos de experiência profissional nas áreas de energias alternativas, eficiência energética, projetos de UHE, entre outros. Desde 1992, é professor da Universidade Federal Fluminense (UFF). Atualmente, é representante da UFF na Câmara Setorial de Infraestrutura e Energia do Fórum Permanente de Desenvolvimento Estratégico do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) e é o Chairman do Grupo de Trabalho em Energia Eólio-elétrica no Comitê de Energia da “World Federation of Engineering Organizations”.