



AMBIENTE DE SISTEMAS MOTRIZES: INTERDISCIPLINARIDADE PARA O ENSINO DE ENGENHARIA

Israel Filipe Lopes – ifilipelopes@yahoo.com.br
Thiago Barbosa de Assis – tbassis@yahoo.com.br
Cristiano Gomes Casagrande – casagrandejf@yahoo.com.br
Danilo Pereira Pinto – danilo.pinto@ufjf.edu.br

Universidade Federal de Juiz de Fora
Laboratório de Eficiência Energética – LEENER
Faculdade de Engenharia
Campus Universitário, 4º Plataforma, Bairro Martelos
CEP 36030-330 – Juiz de Fora – Minas Gerais

Resumo: *A Engenharia moderna, altamente dinâmica e de rápidos avanços tecnológicos, requer de seus profissionais conhecimento em várias áreas da ciência. O uso conjunto dessas áreas mostra-se como um diferencial para o estudante de engenharia, ajudando-o na solução de problemas cotidianos e capacitando-o profissionalmente para atender às demandas exigidas pelo mercado. A proposta deste artigo é apresentar o Ambiente de Sistemas Motrizes, vinculado ao Laboratório de Eficiência Energética (LEENER) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) como ferramenta de interdisciplinaridade capaz de fomentar a pesquisa em diversos ramos da ciência, estreitando a relação conhecimento teórico versus conhecimento prático, vital para a completa formação dos profissionais de engenharia.*

Palavras-chave: *Sistemas Motrizes, Educação em Engenharia, Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia, Interdisciplinaridade, Eficiência Energética.*



1 INTRODUÇÃO

A educação para a engenharia passa por um momento ímpar em sua história: desenvolvimento de tecnologias levando os futuros engenheiros a trabalharem com uma grande gama de informações, nas mais diferentes áreas da Engenharia. Portanto, saber relacioná-las é de suma importância para o profissional em desenvolvimento na atualidade.

Para a engenharia elétrica, de um modo especial, um aspecto de grande importância está relacionado ao setor industrial, que é responsável pelo consumo de 46% da energia elétrica produzida no país. Desse percentual, os sistemas motrizes (acionamento eletro-eletrônico, motor elétrico, acoplamento motor-carga e cargas mecânicas acionadas) são responsáveis pelo consumo de 50% da energia elétrica (PROCEL, 2009). Atrelado a esse contexto, estão questões como a Eficiência Energética e meio ambiente, que buscam o Desenvolvimento Sustentável. Todos esses aspectos culminaram na criação, em 2001, do Laboratório de Eficiência Energética (LEENER) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), que, juntamente com a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS), implementou, a partir de 2006, o Ambiente de Sistemas Motrizes, compondo o espaço físico do laboratório.

A parceria entre a UFJF e a Eletrobrás permitiu o desenvolvimento de um espaço educacional que reproduz as principais características dos ambientes industriais, voltado para as atividades de ensino, pesquisa e extensão, onde são avaliados aspectos relacionados à Eficiência Energética, beneficiando consumidores industriais da região com a realização de simulações, diagnósticos e cursos visando, principalmente, a eficiência energética em sistemas motrizes, propondo reduzir o desperdício de energia nas indústrias (ELETROBRÁS-UFJF, 2006).

O Ambiente de Sistemas Motrizes tem como principais objetivos (ELETROBRÁS-UFJF, 2006):

- Formação e capacitação de recursos humanos com a finalidade de desenvolver consultorias em eficiência energética;
- Realização de cursos de extensão e palestras com a finalidade de levar os conceitos e técnicas de eficiência energética aplicadas aos sistemas motrizes industriais;
- Conscientização de consumidores industriais com a finalidade do reconhecimento da importância da eficiência energética, difundindo em seus ambientes melhores hábitos de combate ao desperdício;
- Promoção de estudos e pesquisas setoriais das tecnologias industriais empregadas atualmente, com a finalidade de uma proposta de utilização de tecnologias mais eficientes;
- Simulação de índices de eficiência para bombas centrífugas, compressores, ventiladores e esteiras transportadoras, através de ensaios laboratoriais;



- Estudos comparativos da eficiência de motores convencionais e de alto rendimento através de diferentes tipos de acionamentos, mediante ensaios laboratoriais;
- Desenvolver atividades de capacitação, desenvolvimento e transferência de tecnologia;
- Contribuir para a formação dos estudantes de engenharia, reproduzindo, na escola, a prática profissional dos engenheiros.

2 O AMBIENTE DE SISTEMAS MOTRIZES

O Ambiente de Sistemas Motrizes é composto por quatro estações, ou seja, quatro bancadas didáticas que simulam cargas comumente utilizadas nos processos industriais, reproduzindo fenômenos eletromecânicos e analisando suas implicações no consumo de energia elétrica quando em operação (SOUZA *et al.*, 2008).

As bancadas didáticas são:

- Bomba centrífuga e Dinamômetro;
- Bancada de Ar Comprimido;
- Ventiladores e “Ar Condicionado”;
- Esteira Transportadora;

As bancadas são compostas por quadro de medição e sistemas de automação e medição integrados, que controlam automaticamente a execução, coleta de dados e emissão de relatórios, formando um sistema de acionamento completo.

Integrado ao LEENER existe o Laboratório de Controle de Processos, que por sua vez tem como objetivo estudar e simular o controle de processos industriais, com especial atenção à otimização, segurança e estabilidade operacional dos processos. O Laboratório de Controle de Processos permite que o aluno se torne capaz de operar sistemas de controle e automação em ambientes industriais, basicamente associados à indústria de processos contínuos, com domínio das variáveis fundamentais de processo: vazão, pressão, temperatura e nível (GOMES & PINTO, 2008).

Os processos envolvidos na operação das estações de simulação agregam conhecimento de diversas áreas da engenharia, contribuindo para a formação dos estudantes. Adicionalmente, a relação de dependência existente entre os conceitos físicos envolvidos na operação das bancadas contribui para o aumento da interdisciplinaridade dos conteúdos lecionados no curso de engenharia.

O conjunto formado pelas bancadas simula os fenômenos que ocorrem na indústria, englobando uma multiplicidade de conceitos físicos associados a cada tipo de processo. Dessa forma, os estudantes de engenharia são capazes de desenvolver atividades integralizadoras de conhecimento.

Nos itens subseqüentes, serão apresentadas as tecnologias utilizadas no Ambiente de Sistemas Motrizes e sua relação com as diversas áreas da engenharia.

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



2.1 Sistema Supervisório

As bancadas do laboratório são acionadas através de um computador que, por intermédio de um sistema supervisório, faz a comunicação com o Controlador Lógico Programável (CLP) da bancada. Em cada bancada o sistema supervisório contém uma tela principal com o desenho esquemático referente ao fluxograma do sistema, contendo atalho para abertura das telas de comando, medições, banco de dados, gráficos das grandezas envolvidas nos processos, entre outros, apresentando em tempo real todas as informações advindas dos sensores de sinais elétricos e mecânicos.

2.2 Redes Industriais

Todas as bancadas dispõem de rede de comunicação entre o CLP e micro computador, onde se encontra instalado o software supervisório, do tipo Ethernet Industrial TCP-IP (com mecanismo de camadas superiores para dar características determinísticas, ou seja, a rede garante um tempo máximo de resposta), padrão Modbus TCP. O padrão Modbus (protocolo desenvolvido em 1979 pela Modicon e que atualmente é gerenciado e mantido pela Modbus-IDA) é atualmente o mais utilizado na indústria, por ser um protocolo aberto, simples, implementado rapidamente, encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido através de redes padrão ethernet com controle de acesso ao meio por CSMA/CD do tipo mestre-escravo. A comunicação entre o CLP e os acionamentos (partida suave, inversor de frequência e partida direta) e o medidor de energia é modbus RTU com velocidade de 19.200 bps, 8 data bits, 1 stop bit, sem paridade (não detecta erro na transmissão). Utiliza como base para transmissão as interfaces seriais EIA-232 (ponto-a-ponto) e EIA-485 (multiponto).

O conhecimento na área de redes capacitará o aluno, depois de formado, a atuar em diversos segmentos industriais, pois é crescente e irreversível a utilização de sistemas automatizados para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores.

2.3 Motores e Acionamentos

Cada uma das estações de simulação possui dois motores para alimentar sua respectiva carga mecânica: um motor do tipo convencional e um motor de alto rendimento.

Os motores podem ser acionados de três formas: Partida Direta, Partida Suave e Partida com Inversor de Frequência.

A possibilidade do acionamento através do motor do tipo convencional e do motor de alto rendimento possibilita que sejam avaliados os índices de economia de energia quando comparados os dois motores em operação.

A versatilidade do acionamento possibilita a realização de estudos relativos ao comportamento do sistema em partidas com/sem carga, analisando-se o efeito das quedas de tensão advindas de correntes elevadas e suas conseqüências para a estabilidade de tensão do sistema, além de se poder comparar as características de cada

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-

330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



um dos acionamentos. Mais ainda, é possível avaliar os efeitos oriundos das componentes harmônicas de tensão e corrente quando da utilização de acionamentos eletrônicos. Por fim, a possibilidade do controle de velocidade com inversores de frequência permite que alguns métodos de controle sejam realizados de forma mais eficiente.

O Ambiente de Sistemas Motrizes permite o estudo das novas tecnologias utilizadas no acionamento de motores elétricos, colaborando para a difusão do uso de equipamentos mais eficientes na indústria brasileira. Vale salientar que a preocupação existente com a otimização energética no país exige que os profissionais de engenharia fiquem cada vez mais atualizados quanto ao surgimento de novas tecnologias.

2.4 Instrumentação

As estações de simulação do ambiente de sistemas motrizes reproduzem processos industriais, nos quais é necessário monitorar uma série de grandezas (mecânicas e elétricas), tais como pressão, velocidade, temperatura, vazão, rotação, torque, tensão, corrente, potência, entre outros. Por isso, cada sistema possui medidores e sensores capazes de realizar a leitura das grandezas físicas desejadas. Além disso, cada sistema possui, também, dispositivos capazes de atuarem, modificando os valores das grandezas monitoradas, a fim de reproduzir as operações que rotineiramente ocorrem nas indústrias. Para isso, as bancadas contam com componentes, equipamentos atuadores, sensores e medidores de instrumentação industrial. A seguir, são apresentados alguns dos componentes que fazem parte da instrumentação do ambiente de sistemas motrizes:

- Medidor/analizador de energia elétrica;
- Medidor de torque;
- Medidor de rotação;
- Medidor de velocidade de ar;
- Medidor de temperatura;
- Medidor de pressão;
- Medidor de nível;
- Medidor de vazão de placa de orifício;
- Válvula solenóide on/off;
- Válvula proporcional de estrangulamento eletropneumática;
- Válvula do tipo “damper”;
- Célula de carga;
- Sensores do tipo PT100.

Vale ressaltar que cada um dos instrumentos existentes no laboratório possui um grau de proteção compatível com os instrumentos utilizados industrialmente.

Como pode ser observado, todas as grandezas fundamentais para o processo industrial podem ser monitoradas, visando a perfeita operação e reprodução dos fenômenos eletromecânicos presentes nas indústrias modernas.

Portanto, através dos conceitos físicos atrelados ao funcionamento dos sensores e demais componentes da instrumentação industrial, o laboratório contribui para a formação de profissionais cada vez mais capacitados para atuar na área prática da engenharia.

2.5 Controle e Automação

Cada uma das bancadas permite controlar um processo específico. Na bancada de Bomba Centrífuga, por exemplo, pode-se realizar o controle de vazão, de forma manual e automática através de dois métodos: por meio de válvula de estrangulamento e por meio de inversor e frequência. Para realizar o controle, o sistema supervisório possui uma tela específica, conforme é mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Quadro de controle PID

Na Figura 1 existem parâmetros que estão relacionados diretamente ao processo de controle (alguns relacionados com a condição manual e outros com a automática), a saber:

- SP (*Set Point*): é o valor desejado de vazão (para o controle em automático);
- PV: é variável de processo. Indica o valor atual de vazão do sistema;
- MV: é variável manipulada. Indica, em valores percentuais, a medida da “abertura” da válvula de estrangulamento (para o controle em manual);
- PID: Proporcional-Integral-Derivativo.

No controle manual o campo MV fica habilitado para a operação. Nele é inserido um valor que representa uma porcentagem da capacidade de operação do dispositivo controlador da vazão, tais como abertura da válvula de estrangulamento ou rotação da bomba. Não obstante, o campo SP fica desabilitado, pois só é utilizado na operação em

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



automático. Por fim, o campo PV, somente de leitura, indica o valor da variável de processo (vazão do sistema) em função do valor presente no campo MV. Nota-se que este tipo de processo atua diretamente no dispositivo controlador, realizando um controle indireto da vazão. Como o dispositivo de controle é acionado diretamente, o PID não atua na configuração em manual.

No controle automático o campo SP fica habilitado para operação. Nele é inserido o valor de vazão que se deseja para o sistema e, agora, o controle PID, que naturalmente é realizado através de realimentação, atua para estabilizar a vazão no valor desejado para o SP. Novamente o campo PV indica o valor da variável de processo (vazão do sistema) em função do valor presente no campo SP, mostrando a evolução da variação do valor de vazão, cujo tempo dependerá dos valores pré-estabelecidos nos campos P, I e D. Nota-se que este tipo de processo atua diretamente na variável vazão e através do controle de malha fechada, o acionamento do dispositivo controlador é realizado automaticamente em função do erro existente entre o valor de referência (SP) e o valor físico real (PV). Portanto, o processo em automático é caracterizado pelo controle direto da vazão.

O controle dos processos das outras bancadas é realizado de forma similar ao descrito para o sistema de bombeamento. O que distingue os outros processos são as variáveis de controle que dependem do tipo de carga e do sistema em operação, conforme mencionado a seguir:

Variáveis de controle:

- Dinamômetro: torque
- Ventiladores: vazão
- Esteira transportadora: força por unidade de comprimento da correia.
- Compressor: vazão.

Por fim, além dos métodos citados anteriormente, existe também o controle do tipo liga/desliga, para outros fins, que é realizado nas bancadas:

- Ar Comprimido, cuja variável de controle é a pressão do reservatório;
- Ar condicionado, cuja variável de controle é a temperatura do ar.

Vale salientar que o controle PID é realizado através de uma função específica do CLP da bancada, que por sua vez comanda toda a parte relacionada à automação.

O CLP de cada bancada pode ser programado em cinco linguagens diferentes, porém, atualmente, está sendo utilizada a linguagem *Ladder*. Todas as informações coletadas através dos transdutores são transmitidas para o CLP em sinais de corrente de 4 a 20 mA que, posteriormente, são interpretados os valores das grandezas medidas.

Portanto, o Ambiente de Sistemas Motrizes, juntamente com o Laboratório de Controle de Processos, elaboram atividades que englobam as principais complexidades

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



existentes na realidade industrial, permitindo que os estudantes tenham uma educação em engenharia adequada àquela exigida de um profissional que vá atuar na área de controle industrial.

2.6 Hidráulica, Pneumática e Termodinâmica

Como se pode perceber, o sistema formado pelo conjunto das bancadas abrange conhecimentos acerca das diferentes áreas de Engenharia, principalmente das Engenharias Elétrica e Mecânica. Os processos mecânicos envolvidos nas operações das bancadas proporcionam um conhecimento e entendimento voltados para a prática.

As situações reproduzidas na bancada de Bomba Centrífuga, por exemplo, envolvem estudos de mecânica dos fluidos, projeto de instalações hidráulicas, dimensionamento de bombas, entre outros.

Já a bancada de Ar comprimido abrange conceitos relativos a instalações pneumáticas e a estudos relacionados a vazamentos nos sistemas de ar comprimido.

Além disso, os conceitos relativos às leis da termodinâmica estão presentes nos sistemas de ar condicionado, nos ciclos de refrigeração.

2.7 Eficiência Energética

O Ambiente de sistemas motrizes permite que sejam desenvolvidas atividades na área de eficiência energética em sistemas motrizes voltadas para o ensino, pesquisa e extensão, além de capacitar multiplicadores para o combate ao desperdício de energia elétrica. Os estudos realizados nas bancadas podem contribuir, consideravelmente, na redução dos desperdícios de energia elétrica nas indústrias.

Além disso, o laboratório apóia o desenvolvimento da disciplina Eficiência Energética, ministrada para os alunos da Faculdade de Engenharia (PINTO *et al.*, 2007), estreitando a relação entre as diversas áreas existentes na engenharia, formando profissionais cada vez mais conscientes quanto ao uso eficiente da energia.

3 CONCLUSÃO

A criação desse novo espaço dentro do LEENER, o Ambiente de Sistemas Motrizes, possibilita um estudo integrado dos sistemas elétrico, mecânico, térmico e hidráulico, uma vez que a construção das bancadas é baseada na associação e interação desses sistemas. Assim, o laboratório vem desenvolvendo diversas atividades complementares na formação do engenheiro, integrando outras áreas de conhecimento.

Embora todo o sistema seja projetado para um curso de graduação, sua flexibilidade permite utilização em trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, trabalhos de conclusão de curso, capacitação de operadores, bem como elaboração de dissertações de mestrado e teses de doutorado. Adicionalmente, por suas características e aspecto diferenciado,

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



com ambiência industrial, pode-se constatar forte motivação e empolgação dos alunos em sua utilização.

Vale salientar que os Laboratórios Integrados da Faculdade de Engenharia da UFJF abriram novas perspectivas para a graduação em engenharia, possibilitando a realização de atividades complementares e integralizadoras de conhecimento, bem como a realização de projetos diferenciados, a exemplo do Programa de Mobilidade Acadêmica, realizado em 2009, onde alunos de diferentes universidades, de todo o país, permaneceram por um período na UFJF, desenvolvendo um programa de capacitação nos laboratórios.

Por fim, espera-se que as habilidades e competências que podem ser desenvolvidas no laboratório, em todas as áreas de conhecimento, sejam um diferencial na formação dos engenheiros eletricitistas da UFJF, complementando a formação dos egressos nas áreas de controle, sistemas industriais, redes de computadores, instrumentação, dentre outras.

Um dos objetivos do PROCEL INDÚSTRIA é incentivar o combate ao desperdício de energia nos sistemas industriais. Por isso, espera-se também que as atividades de capacitação, desenvolvimento e transferência de tecnologia, desenvolvidas no Ambiente de Sistemas Motrizes/LEENER, permitam aliar o objetivo da mudança na cultura dos consumidores de energia elétrica no âmbito industrial (atingindo os objetivos propostos pelo PROCEL INDÚSTRIA) com o grande propósito da educação continuada e desenvolvimento de novas formas de ensino em Engenharia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PROCEL/Eletróbrás e a UFJF pelo apoio ao desenvolvimento de trabalhos nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELETRÓBRÁS-UFJF. Convênio ECV-224/2006, Cooperação Técnico-Financeira. Juiz de Fora, MG, 2006.

GOMES, F. J.; PINTO, D. P. El Papel de los Laboratorios en el Proceso de Educación en Ingeniería de Control Automático: Estudio de Caso de una Implementación Concreta. In: XIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE CONTROL AUTOMÁTICO (CLCA) e VI CONGRESO VENEZOLANO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL (CAC). Ciudad de Mérida, Venezuela, 2008.

PINTO, D. P.; BRAGA, H. A. C.; SILVA JÚNIOR, J. P. A Disciplina Eficiência Energética: Características e Metodologia de Ensino-Aprendizagem. **Revista de Ensino de Engenharia Abenge, Associação Brasileira de Ensino de Engenharia**, v. 26, n.1, p.43-51, 2007.

Secretaria Executiva: Factos Eventos.

Rua Ernesto de Paula Santos 1368, salas 603/604. Boa Viagem Recife - PE CEP: 51021-330

PABX:(81) 3463 0871

E-mail: cobenge2009@factos.com.br



PROCEL INDÚSTRIA. Disponível em:

<<http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={FBFB8D50-65B6-4135-9477-B0B2711D7AD8}>> Acesso em: 19 jun. 2009.

SOUZA, L. A. F.; CARMO, D. T.; LOPES, I. F.; PINTO, D. P. Utilização do Inversor de Frequência Como Agente no Aumento da Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. In: VIII CONFERÊNCIA NACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS (INDUSCON), Poços de Caldas, MG, 2008.

ENVIRONMENT OF MOTOR DRIVEN SYSTEMS: INTERDISCIPLINARITY FOR ENGINEERING TEACHING

***Abstract:** The modern Engineering, highly dynamic and rapid technological advances, requires knowledge of its professionals in various fields of science. The combined use of these areas show up as a spread for the student of engineering, helping it in the solution of everyday problems and enabling him professionally to meet the demands required of it by the market. The purpose of this paper is to present the Environment of Motor Driven Systems, linked to the Laboratório de Eficiência Energética (LEENER) of the Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) as a tool for interdisciplinary research and development of various branches of science, strengthening the link theoretical versus practical knowledge, vital for the complete training of engineering.*

***Key-words:** Motor Driven Systems, Engineering Education, Development and Technology Transfer, Interdisciplinarity, Energy Efficiency.*