



LABORATÓRIO DIDÁTICO DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS MOTRIZES NA UFSJ

José Tarcísio Assunção – tarcisio@ufs.br

Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

Praça Frei Orlando, 160.

36.307-352 – São João del-Rei – Minas Gerais

Tereza Cristina Bessa Nogueira Assunção – bessa@ufs.br

Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

Praça Frei Orlando, 160.

36.307-352 – São João del-Rei – Minas Gerais

Resumo: Este artigo apresenta o projeto final das bancadas de ensaio propostas para o Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes (LOSIM) da UFSJ, destacando as principais características e capacidade de cada bancada. O LOSIM possui quatro bancadas de carga; Bombas hidráulicas, Compressor de pistão e de parafuso; Ventilador centrífugo e uma Correia transportadora e, além disso, uma bancada com um Dinamômetro para testes de máquinas motrizes. Estas bancadas, além de serem uma planta didática para o ensino e treinamento, são também adequadas à pesquisa em qualidade de energia e eficiência energética, pois sua instrumentação possui precisão suficiente e capacidade para validação dos modelos teóricos.

Palavras-chave: *eficiência energética, sistemas motrizes.*

1 INTRODUÇÃO

Diversas ações têm sido propostas com o objetivo de aumentar a eficiência energética, através do uso racional da energia e pela redução do enorme desperdício de energia, tais como: Gestão Energética, Energia nas Edificações, Eficiência Energética na Indústria, Educação, Saneamento, dentre outras [PROCEL, 2009]. No Brasil, para o setor elétrico, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL é o programa do Governo Federal vinculado ao Ministério das Minas e Energia e gerido pelas Centrais Elétricas Brasileiras S. A. - Eletrobrás, que tem como objetivo promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, eliminar os desperdícios e reduzir os custos e os investimentos setoriais. Alguns programas desenvolvidos pelo PROCEL, são voltados para o setor industrial, que é responsável pela maior parte do consumo de energia elétrica no país, alcançando cerca de 46,7 % do consumo global. O setor residencial vem a seguir, com um consumo de 22,1% e o setor comercial consome cerca de 14,2%. Os restantes 17% distribuem-se entre o setor agropecuário, iluminação pública, órgãos públicos e outros [MME, 2009]. Além de representar parte considerável do consumo total do país, conforme já mencionado, o setor industrial é responsável por expressiva parcela de desperdício de energia. Os sistemas motrizes, responsáveis por

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



quase 50% do consumo do setor industrial, são constituídos por motores elétricos, acionamentos eletroeletrônicos, acoplamentos motor-carga, cargas mecânicas acionadas (bombas, compressores, correias transportadoras, ventiladores e exaustores) e instalações, e são, portanto, responsáveis por 23,35% da energia total consumida no país [PROCEL, 2009]. Estes dados revelam a importância dos sistemas motrizes como fonte consumidora de energia elétrica e como campo para a implementação de medidas, objetivando o aumento de sua eficiência energética e justificam plenamente o empenho da Eletrobrás em desenvolver programas que visem alcançar estes objetivos, tais como o PROCEL INDÚSTRIA [PROCEL, 2009]. Neste cenário, foi estabelecido um convênio entre as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobrás e a Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ, que tem como objetivo a cooperação técnico-financeira entre os conveniados, visando à implantação do Laboratório de Otimização de Sistemas Motrizes (LOSIM), destinado às atividades de ensino, pesquisa e extensão, onde aspectos relacionados a eficiência energética em consumidores industriais possam ser avaliados. O desafio deste laboratório é garantir a capacidade de “tornar-se referência para estudos de eficiência energética de consumidores industriais”, além de proporcionar aos nossos pesquisadores, alunos e técnicos de indústrias da região, um laboratório capaz de proporcionar, uma experimentação com equipamentos, instrumentos e tecnologias, que realmente são usadas na indústria.

Este artigo apresenta o LOSIM da UFSJ, destacando as principais características e capacidade de cada bancada. Estas bancadas, além de serem uma planta didática para o ensino e treinamento de Sistemas de Instrumentação e Controle, Automação Industrial, Sistemas de Supervisão e Controladores Lógicos Programáveis (CLP), são também adequadas à pesquisa, pois sua instrumentação possui precisão suficiente e capacidade para validação dos modelos teóricos em um ambiente com características muito próximas das encontradas em instalações industriais.

2 DESCRIÇÃO DAS BANCADAS

No LOSIM os módulos de carga são bancadas didáticas, mas construídas com equipamentos, sensores, transdutores e instrumentos usados atualmente na indústria, reproduzindo no laboratório um modelo de uma planta industrial. Os módulos de carga são montados com materiais e tecnologia industrial comercialmente disponível, e trabalham dentro da faixa nominal de operação de cada equipamento; monitorados e controlados por sensores e transdutores com grau de precisão menor ou igual a 0,5%. São quatro as bancadas de carga; Bombas hidráulicas, Compressor de pistão e de parafuso; Ventilador centrífugo e uma Correia transportadora e, além disso, há uma bancada com um Dinamômetro para testes de máquinas motrizes. Todas as bancadas são controladas por um sistema supervisor em rede “modbus ethernet”; disponibilizando uma planta industrial tecnologicamente atual, indispensável para o estudo de automação, controle, instrumentação e otimização de processos industriais.

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 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

As fontes de alimentação das bancadas são ligadas à rede trifásica local, com tensão de 220 V; 3F+N+T; 60 Hz e foram projetadas e especificadas para o acionamento simultâneo de duas bancadas de carga, sendo que a bancada do dinamômetro é especificada para ensaios de motores elétricos de até 5 cv. Esta capacidade é suficiente também para o acionamento da bancada de correias transportadora que para operar em um ciclo fechado exige a operação de duas correias, ou seja, a operação simultânea e sincronizada de dois motores de indução trifásicos de 2cv. Cada fonte permite a seleção de três tipos de partida a saber: partida direta; partida suave (“*soft-starter*”) e partida controlada por um inversor. As fontes têm capacidade de sobrecarga de até 20% com proteção individual e proteção contra raios e sobretensões transitórias e permanentes e com os circuitos terminais comutáveis entre as cargas. O diagrama unifilar da fonte (Centro de Comando de Motores - CCM) de 5 cv é mostrado na Figura 1. A fonte de 2 cv é semelhante e possui a mesma estrutura mostrada na Figura 1. Destaca-se que, o multimedidor de energia da Schneider usado, modelo CM3350, possui capacidade de medidas de distúrbios de tensão (“*sag/swell*”) e oscilografia podendo ser chaveado entre a entrada e a saída do inversor, permitindo o estudo e a análise da qualidade de energia e eficiência energética.

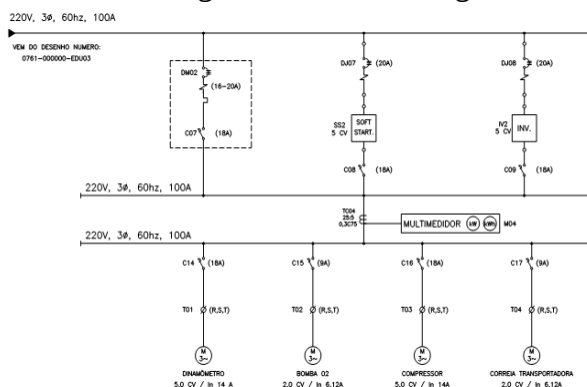


Figura 1. Diagrama unifilar da fonte de 5 cv.

2.2 SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÃO

O sistema de Controle e Supervisão consiste de dois CLP's, modelo Modicon Premium da Schneider, com duas Estações de Supervisão com um sistema SCADA da Elipse, como ilustrado na Figura 2. Os CLP's têm a função de gerenciar automaticamente todas as etapas dos ensaios das bancadas, ligar e desligar o sistema, selecionar as bancadas e o modo de partida, comandar o estado dos dispositivos de comando e controle de grandezas elétricas e mecânicas e monitorar, em tempo real, todas as etapas dos ensaios de cada bancada. Os parâmetros que podem ser adquiridos em cada bancada são: tensões e correntes trifásicas de linha e de fase, potências ativa e reativa, fator de potência, frequência, conteúdo harmônico de tensão e corrente, torque e

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

velocidade angular do motor, além das grandezas associadas a cada carga (pressão, vazão, velocidade, nível e carga, temperatura e posição das válvulas e dampers).

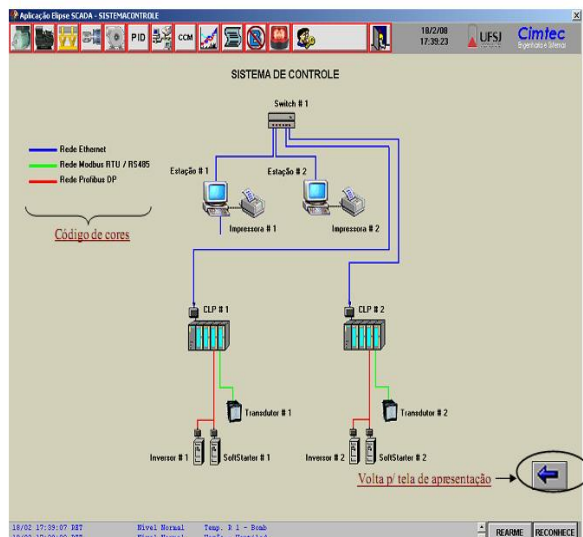


Figura 2. Tela do Sistema de Controle e Supervisão.

Na Figura 3 são mostradas fotos dos painéis do CCM e dos CLPs.



Figura 1. Foto dos painéis do CCM e CLP.

2.3 BANCADA DE BOMBAS

O objetivo desta bancada é o estudo do acionamento elétrico de bombas hidráulicas que, inicialmente, permite as seguintes operações: Levantamento das curvas características da bomba: Altura manométrica x Vazão, Vazão x Pressão, Altura manométrica x Velocidade; Associação de bombas: série/paralelo; Estudo de sistemas de bombeamento e Estudo das características bomba e sistema, em função da velocidade de operação x estrangulamento da tubulação. Para atender estes objetivos a

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

bancada de Bombas Hidráulicas Centrífugas, foi montada como um circuito fechado de bombeamento de água, como esquematizado na Figura 4, sendo: BA-BB = Bomba hidráulica centrífuga; VPP = Válvula proporcional de pistão a ar; VS1, VS2 e VS4 = Válvula elétrica solenóide “on-off”, normalmente aberta; VS3 = Válvula elétrica solenóide, “on-off”, normalmente fechada; VSP = Válvula de pistão a ar "on-off; NR e NS = Transmissor de nível; MA, MB e MR = Transmissor de pressão (manômetro); QR = Conjunto medição de vazão para água limpa; VA e VB = Transmissor de pressão (vacuômetro); QR = Conjunto medição de vazão para água limpa; VR = Válvula de retenção; VGM = Válvula globo reta; VPC = Válvula de pé com crivo; VGR e VGS = Válvula de gaveta e Reservatório de água.

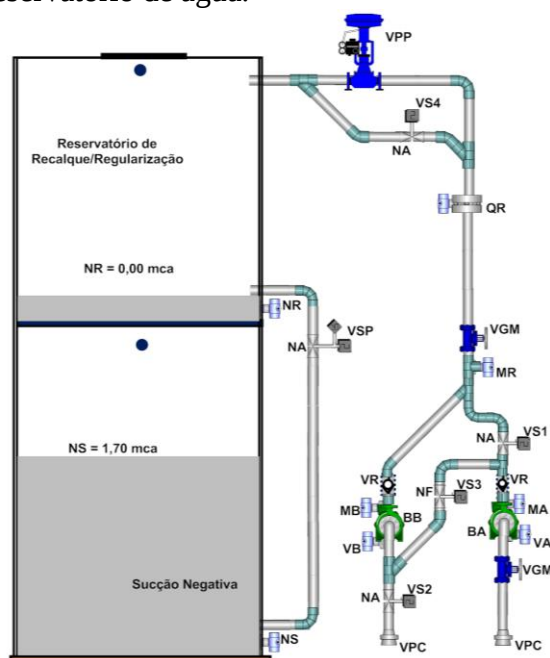


Figura 4. Esquema do circuito fechado de bombeamento de água.

Este sistema fechado de bombeamento de água possui duas bombas hidráulicas idênticas que podem operar isoladamente; em paralelo ou em série. Uma bomba é acionada por um motor de alto rendimento de 2cv; 220V; 60Hz; 4 pólos e a outra, por um motor padrão de mesmas características nominais. Uma altura de sucção positiva ou negativa (bomba afogada) pode ser programada transferindo água do reservatório de sucção para o reservatório de regularização através do controle da válvula de retorno (válvula VSP). Detalhes do sistema de bombeamento são mostrados através da montagem fotográfica mostrada na Figura 5.

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

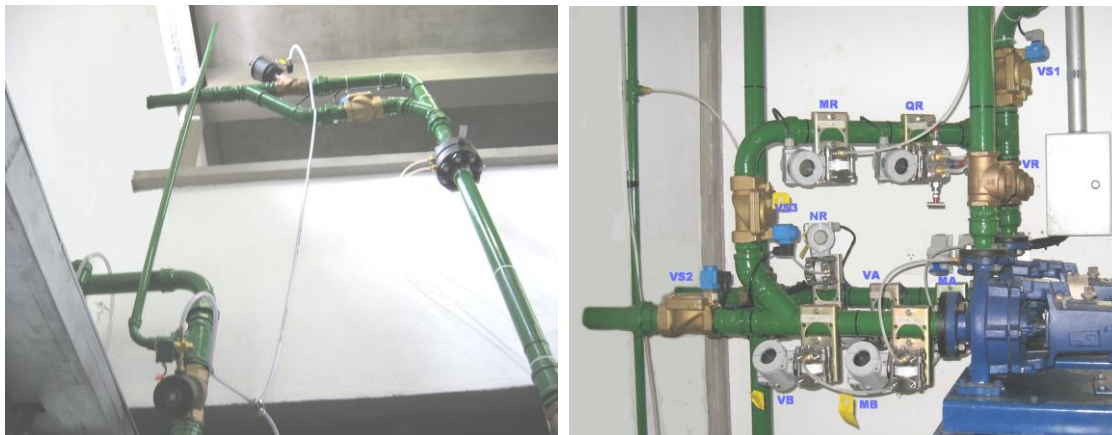


Figura 5. Detalhes do sistema fechado de bombeamento de água.

2.4 BANCADA DE CORREIAS TRANSPORTADORAS

As correias transportadoras ou transportadores contínuos são classificados como máquinas de elevação e transporte e são empregadas, principalmente, no transporte de produtos a granel e, esta bancada inicialmente foi projetada para: Avaliação e análise das forças (tensões mecânicas) estáticas e dinâmicas na operação do transportador em regime permanente e transitório; Estudo e avaliação das normas de especificação e construção das correias transportadoras; Estudo e avaliação dos métodos de cálculo da capacidade da correia transportadora; Estudo dos métodos de seleção e especificação das correias; Estudo e avaliação dos sistemas de acionamento elétrico e mecânico; Estudo e avaliação dos motores elétricos no acionamento de correias transportadoras, em regime permanente e transitório. Para atender a estes objetivos, a bancada foi montada com características construtivas especiais, mas usando materiais e recursos industriais, hoje disponíveis e usados no mercado, além de dispor de instrumentos de medidas e monitoramento. O transportador de correias opera em um sistema fechado; constituído por dois transportadores de 5,5 m de comprimento com correias de 400 mm de três lonas e capacidade de 100 ton/hora de pedra britada. O transportador principal é monitorado e descarrega em um transportador secundário, que é usado apenas para o retorno do material. A pedra britada foi escolhida como carga por ser um material barato e fácil de ser adquirida em várias granometrias. Os transportadores são articulados de modo a permitir a variação do ângulo de inclinação das correias entre 0 e 22°. O carregamento do transportador principal é monitorado por uma balança dinâmica com um integrador digital. A velocidade linear da correia, o conjugado mecânico e a velocidade de rotação do motor de acionamento são monitorados por um transdutor de torque e velocidade. A montagem fotográfica mostrada na Figura 6 registra detalhes da bancada do sistema de correias transportadoras.

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



Figura 6. Detalhes do sistema de correias transportadoras.

2.5 BANCADA DO VENTILADOR

A bancada do ventilador como mostrado na Figura 7, é baseada na norma AMCA 210 [ANSI/AMCA 210, 2007] e, inicialmente, deve atender os seguintes objetivos: Levantamento das curvas características do ventilador; Estudo de sistemas de ventilação; Estudo das características do conjunto ventilador-sistema em função da velocidade do ventilador x abertura do registro (damper); e Estudo de eficiência em instalações de ventilação..

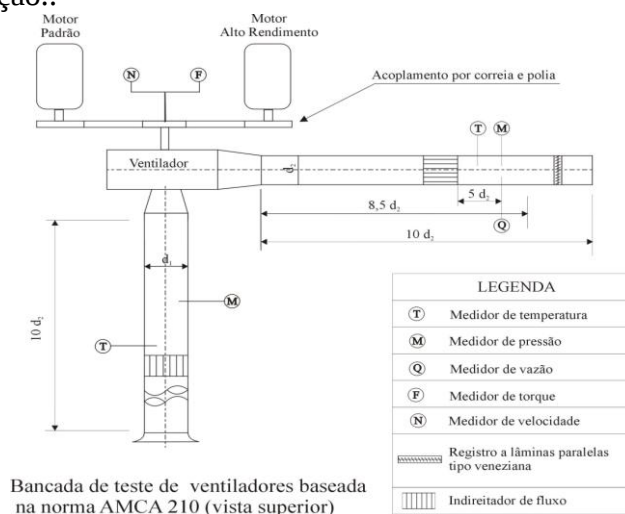


Figura 7. Diagrama esquemático da bancada do ventilador.

Esta bancada foi montada com um ventilador industrial centrífugo, tipo sirocco, com tubulação de sucção ($\varnothing = 280$ mm) e descarga ($\varnothing = 252$ mm) de chapas galvanizadas. As montagens fotográficas mostradas nas Figuras 8 e 9 destacam alguns detalhes da bancada.

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



Figura 8. Fotografia da bancada do ventilador com detalhes da tubulação de descarga e motor de acionamento.



Figura 9. Fotografia da bancada do ventilador.

2.6 BANCADA DE COMPRESSOR

A principal hipótese levantada e a ser pesquisada nesta bancada é a possibilidade de utilizar o modelo da planta e o regime típico de trabalho, para a proposição de uma estratégia de controle ótimo, cuja função custo considere, principalmente, o consumo do sistema. Pode-se avaliar, por exemplo, a relação entre pressão de trabalho e produtividade x eficiência energética e o seguintes experimentos: Estudo de sistemas geração e distribuição de ar comprimido com reservatório e/ou de ar direto; Simulação de perfis de cargas típicas de compressores por meio do controle das válvulas; Investigação de estratégias de controle ótimo, cuja função custo leve em conta principalmente o consumo do sistema; Comparação e avaliação dos dois tipos de compressores; Simulação e avaliação de perdas. A montagem da bancada do compressor, como mostrado na Figura 10, é constituída por um compressor tipo pistão em paralelo com um compressor tipo parafuso. Este sistema pode alimentar uma rede de ar comprimido, que simula uma instalação industrial. A vazão de ar para rede pode ser controlada por meio de uma válvula proporcional a pistão. A fotografia mostrada na Figura 10, registra os detalhes da montagem da bancada dos compressores, sendo: CP1 = Compressor de ar tipo pistão; CP2 = Compressor de ar rotativo tipo parafuso; Q = Transmissor digital de vazão de ar comprimido; VPP = Válvula de controle proporcional de pistão a ar; P1 e P2 = Transmissor de pressão para ar comprimido; NF e NF = Válvula solenóide; VE = Válvula de isolamento; RT = Válvula de retenção.

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



Figura 10. Fotografia da bancada do compressor.

2.7 BANCADA DO DINAMÔMETRO

A bancada do dinamômetro foi projetada, essencialmente, para pesquisas em máquinas elétricas rotativas. Esta bancada tem capacidade de ensaio de motores elétricos de até 5 CV, com grau de precisão igual ou inferior a 0,2%. Para a medida de torque e velocidade, é usado um transdutor contínuo de torque e velocidade integrado ao sistema de controle, aquisição de dados e supervisão. Para a simulação de carga, será usado um motor de indução, rotor gaiola, alimentado e controlado por um inversor, em frenagem dinâmica reostática ou regenerativa, ou um gerador de corrente contínua. O transdutor contínuo de torque e velocidade, modelo TMB 308 da Magtrol, apresenta as seguintes características técnicas: Torque nominal: 20,0 Nm precisão < 0,15%; torque máximo: 40,0 Nm; velocidade máxima rotacional: 6.000 rpm; alimentação: 20 a 32 Vcc / 100 mA. Sinal de torque $\pm 5/\pm 10$ V. Sinal de velocidade/frequência: coletor aberto (15 Ω em série) máximo 30 Vcc, protegido contra curto circuito. A montagem final da bancada do dinamômetro é registrada pela fotografia mostrada na Figura 11.



Figura 11. Detalhe da Bancada do dinamômetro.

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



3 CONCLUSÃO

O melhor aproveitamento da energia elétrica é um assunto de grande relevância e que afeta a todos. Os desperdícios provenientes da falta de informação dos consumidores residenciais e comerciais podem ser amenizados com programas de conscientização sobre a conservação de energia e eficiência energética. O LOSIM vem para aumentar a qualidade do curso e contribuir também com o aperfeiçoamento dos alunos na área de eficiência energética. Sua implantação abre novas possibilidades de pesquisa na Universidade ao tornar-se referência na área de eficiência energética, incentivando a pesquisa entre os alunos nesta importante e crescente área da engenharia elétrica.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/AMCA 210-07. “**Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating, Air Movement and Control**”, 2007.

ASSUNÇÃO, J. T. “**Relatório Final do Projeto – Convênio ECV–024/2007–ELETROBRÁS/UFSJ**”. 2009.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2009. “**Balanço Energético Nacional**”.

PROCEL, 2009. Disponível em <http://www.elektrobras.gov/procel>. Acesso em 05 de maio de 2009.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PROCEL/Elektrobrás, através do Convênio ECV - 0242007, que viabilizou a implementação do LOSIM, e à UFSJ pelo apoio ao desenvolvimento de trabalhos nesta área.

Abstract: *This paper shows the scheme of the test bench of Laboratório de Sistemas Motrizes (LOSIM) of UFSJ, emphasizing the main characteristics and capacity of the each bench. There are 4 load benches in LOSIM: hydraulic pumps, reciprocating compressor (piston and screw), centrifugal fan and conveyor belt and, then a bench with a dynamometer for tests of rotating machines. These benches, further from being a didactic plan for teaching and training, are proper for the research in the power quality and energetic efficiency as well, because its instrumentation has adequate precision for the validation of the theoretical models.*

Keywords: *energetic efficiency, rotating systems, industrial systems.*

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