

PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DAS PONTES CONVERSoras DE HVDC EM ATIVIDADES DE EAD

Rodrigo Alessandro Nunes **Oliveira**¹
Luís Carlos Origa de **Oliveira**¹
Érica Vasconcelos de **Morais**¹
Luiz Fernando **Bovolato**¹
Aleciana Vasconcelos **Ortega**¹

¹ Universidade Estadual Paulista, 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, a constante evolução da *Internet* tem viabilizado a criação e utilização de novas ferramentas corporativas direcionadas para a educação a distância (EaD) em diversas áreas do conhecimento. Particularmente na área das engenharias, novos recursos têm sido utilizados para apoio experimental ao ensino e pesquisa, por meio de laboratórios capacitados para acesso remotos. Tais recursos surgiram, principalmente, com o intuito de solidificar os conceitos teóricos veiculados pelos sistemas de (EaD) com vistas à concretização de uma aplicação prática. Como ilustração do uso desta ferramenta de apoio, apresenta-se neste trabalho os resultados obtidos utilizando-se objetos de aprendizagem (OA) relacionados ao estudo do comportamento das pontes conversoras trifásicas. A plataforma experimental pode ser acessada remotamente e possui grande flexibilidade operacional. É disponibilizado para o usuário total controle sobre as tensões de alimentação e os ângulos de disparo dos tiristores, no sentido de viabilizar uma base comparativa entre os resultados colhidos experimentalmente e os conceitos teóricos preconizados.

Palavra chaves – Ensino à distância, laboratórios remotos, objetos de aprendizagem

ABSTRACT

Over the past decades, the constant evolution of the *Internet* has made possible the creation and use of new corporative tools directed to distance education (EaD) in various areas of knowledge. Particularly in the engineering area, new features have been used for experimental support for education and research, through qualified laboratories with remote access capabilities. These resources have emerged, mainly, in order to solidify the theoretical concepts transmitted by the (EaD) systems, with a view to implementing a practical application. To illustrate the use of this support tool, this paper presents the results obtained using learning objects (OA) related to the study of the behavior of the three-phase converter bridges. The experimental platform can be remotely accessed and has great operational flexibility. The user has total control over the supply voltages and the thyristor firing angles, individually, in order to enable a comparative basis between the experimentally harvested results and the theoretical concepts.

Keywords - Distance learning, remote labs, learning objects

1 INTRODUÇÃO

A grande conquista do milênio foi o surgimento da rede mundial de computadores (*Web*), que evolui dia-a-dia com a soma de pequenas conquistas tecnológicas feitas por diversos cientistas.

Sabe-se das enormes transformações que a internet vem causando nas comunicações, no trabalho, no comércio, no entretenimento. Essa rede de computadores descentralizada, quase desordenada, é um verdadeiro fenômeno mundial.

No campo da educação também ocorrem mudanças em ritmo acelerado. Os professores assim como os alunos devem estar preparados para absorver essas transformações, no mesmo ritmo que elas ocorrem, principalmente nos dias de hoje, de um mundo virtual e interativo. Dentre os incontáveis benefícios resultantes do crescente aperfeiçoamento dos computadores pessoais, da expansão do mundo digital e do desenvolvimento da *Web*, destaca-se a ensino à distância (EaD).

A maioria das críticas quanto ao uso do EaD referem-se ao seu uso indiscriminado, desrespeitando algumas prerrogativas básicas tais como: preparação dos educadores para o uso dos recursos oferecidos nas plataformas, qualidade técnica e científica dos conteúdos disponibilizados, necessidade de um mediador ou tutor para manter contato interativo constante. Por outro lado, atualmente destaca-se também como grande deficiência nos cursos com EaD a ausência de aulas práticas em laboratórios.

O laboratório acessível pela *Web* é um conceito relativamente recente, desenvolvido a partir da generalização do uso das novas tecnologias da informação e comunicação na educação. Esta classe de laboratórios pode ser dividida fundamentalmente em dois tipos: laboratórios remotos e laboratórios virtuais. Ambos podem ser acessados remotamente, via *Web*, mas apresentam diferenças claras na estrutura e na forma como são implementados e utilizados.

Na área das engenharias, o laboratório virtual está fundamentado exclusivamente na utilização de aplicativos computacionais para simulação de fenômenos físicos, algumas vezes associados e dependentes de uma base de dados previamente conhecida.

A despeito do reconhecido potencial pedagógico oferecido por este recurso, sabe-se que muitas vezes o ideal seria colocar o estudante em uma condição de prática experimental real. Neste sentido, recentemente algumas iniciativas estão sendo encaminhadas no sentido de proporcionar o acesso remoto a laboratórios experimentais, onde o aluno dispõe de recursos operacionais para desenvolver um experimento real (SCHNAID; TIMM; ZARO, 2003).

A tecnologia de laboratórios remotos tem viabilizado para a EaD a possibilidade de realização de um experimento à distância, dentro de um panorama real e sem as limitações dos softwares de simulação. Utilizando-se dos recursos de comunicação via *Web* um ou mais estudantes em locais geograficamente distantes podem controlar dispositivos e equipamentos remotamente. Nestas aplicações, além do controle remoto de experiências, é comum dispor também de equipamentos auxiliares para visualização das experiências reais através de imagens ao vivo capturadas por *WebCams*.

Contando, pois, com a flexibilidade de horário, o aluno pode construir gradativamente seu conhecimento a partir de uma base experimental e, de acordo com seu perfil, administrar os conteúdos na busca de uma aprendizagem significativa e orgânica.

Neste cenário desenvolve-se este trabalho, que tem como principal objetivo o desenvolvimento e implantação de uma plataforma experimental para acesso remoto, direcionada para o estudo do comportamento das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC).

2 LABORATORIO REMOTO DE QUALIDADE DA ENERGIA

Com o objetivo de atender as demandas experimentais dos cursos de graduação, pós-graduação e atualização, o grupo de estudo da qualidade da energia, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP), vem sistematicamente capacitando seu laboratório de qualidade de energia para acesso remoto segundo Domijan; Shoults (1988), atualmente denominado LrQEE.

Entre os equipamentos disponíveis destaca-se, a fonte de alimentação programável de trifásica, 6 kVA, 0-400Vca, modelo 6000L da *California Instruments*. Nesta fonte é possível configurar um sistema trifásico composto de tensões com diferentes formas de onda, definindo-se, individualmente, as amplitudes e ângulos de fase de cada componente harmônica das tensões de saída, Figura1.

Figura 1 - Fonte de alimentação programável



Fonte: Dos Próprios Autores.

O LrQEE também dispõe de sistemas de aquisição de dados, dentre eles um *WaveBook 516* da *Iotech*®, com 16 entradas analógicas, taxa de aquisição de até 1 *Msample*, resolução de 16 *bits* e oito saídas digitais. Os sinais de corrente e tensão são captados por nove transdutores tipo *Hall* (0-50A) e 6 transdutores de tensão (0-300V), respectivamente.

Como suporte computacional, o LrQEE utiliza o aplicativo *DasyLab12* para o processamento dos sinais, controle da fonte de alimentação, controle do sistema de aquisição de dados, acionamento dos relés de configuração dos experimentos e definição das interfaces interativas.

3 OBJETOS DE APRENDIZAGEM

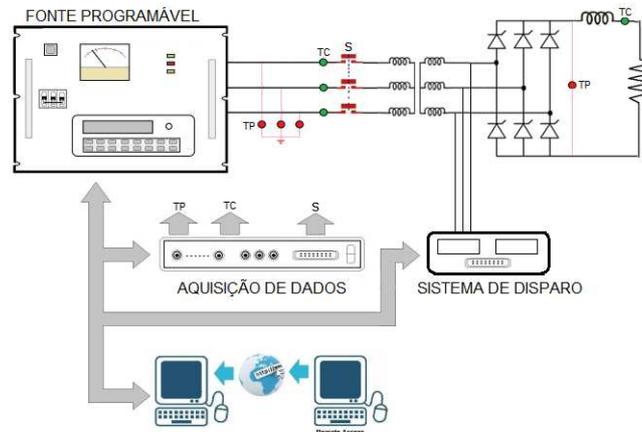
A implementação de atividades experimentais no LrQEE é realizada por meio dos denominados Objetos de Aprendizagem (OA). Os OA's são compostos de diversos módulos experimentais, direcionados para temas específicos e contém basicamente a configuração visual da plataforma experimental, os *Setups* de configuração física do experimento, a descrição dos procedimentos experimentais, sequenciamento de atividades programadas, bem como questionários de avaliação de aprendizagem e do ambiente instrucional.

Neste trabalho, os OA's implantados no LrQEE foram direcionadas para o estudo do comportamento das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC). Estas pontes conversoras, são consideradas os principais equipamentos em um interligação em HVDC pois desempenham um importante papel no controle do fluxo de potência.

São constituídas basicamente por chaves eletrônicas controladas (tiristores), que permitem o ajuste dos níveis médios da tensão retificada e conseqüentemente da corrente pela linha de corrente contínua. A topologia tradicionalmente adotada para a constituição física destes conversores é a da ponte de seis pulsos, também referenciada como ponte de *Greutz*.

Para investigar experimentalmente o comportamento operacional das pontes de *Greutz* foi criada uma plataforma experimental contendo, uma fonte de alimentação programável, um sistema de aquisição de dados, o circuito de potencia de uma ponte conversora, os circuitos de controle e disparo, bem como as respectivas interfaces para o acionamento remoto do sistema. O diagrama esquemático da plataforma experimental citada é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama esquemático da plataforma experimental.



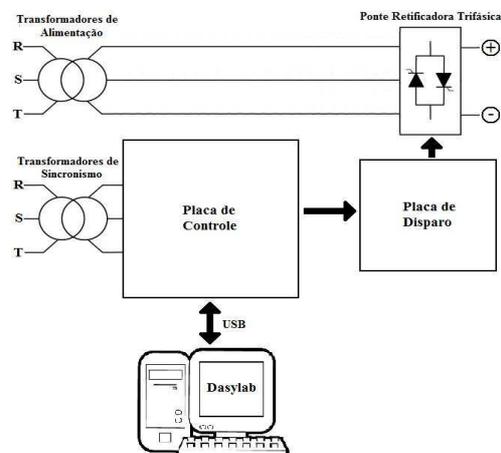
Fonte: Dos Próprios Autores.

A. Circuitos de potência e de controle

Os circuitos utilizados no objeto de aprendizagem desenvolvido foram divididos, basicamente, em três setores, notadamente, o controle geral, disparo de tiristores e a ponte de tiristores. Tal topologia foi adotada a fim de modularizar a montagem, fazendo com que cada etapa fosse desenvolvida independentemente da posterior.

Uma segunda vantagem desse tipo de construção, é facilitar a compreensão do funcionamento do circuito para futuras aplicações didáticas, visto que a montagem final também foi dividida em partes. Na Figura 3 apresenta-se um diagrama de blocos ilustrando o diferentes setores citados.

Figura 3 - Diagrama de blocos dos circuitos setoriais.



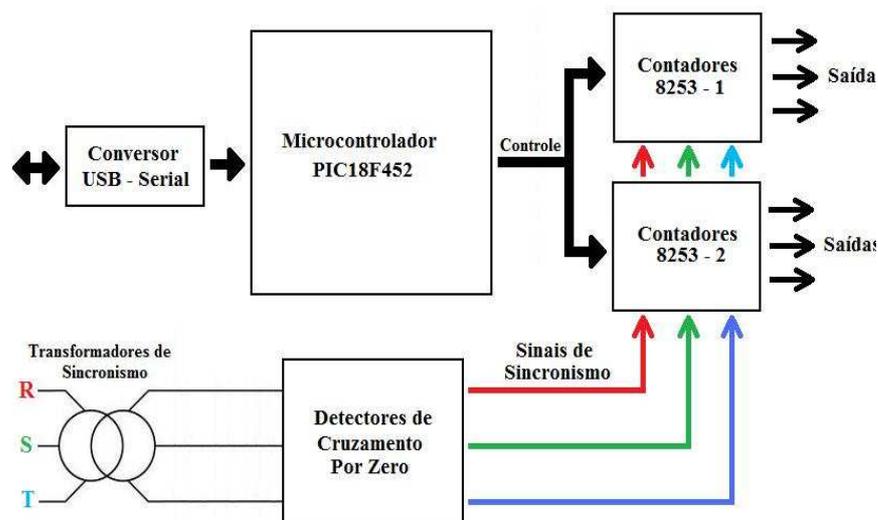
Fonte: Dos Próprios Autores

A placa de controle tem como finalidade gerar os pulsos para o disparo dos tiristores da ponte retificadora trifásica a ela associada. Tais pulsos são sinais digitais do tipo TTL, sendo que os mesmos são sincronizados com um sinal trifásico de referência, no caso, a rede elétrica.

Para o controle dos ângulos de disparos dos tiristores é utilizado um microcomputador pessoal, sendo a comunicação entre o mesmo e a ponte retificadora é feita via interface USB, a qual é convertida para RS232 por meio de um conversor de protocolos.

Para gerar o pulso de sincronismo, uma amostra do sinal da rede elétrica é comparada com uma referência interna, gerando um pulso digital com nível lógico “1” a cada ciclo, no caso, essa referência é o cruzamento por zero com derivada positiva. O diagrama de blocos da placa pode ser visualizado, simplificado na Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de blocos do sistema de controle.

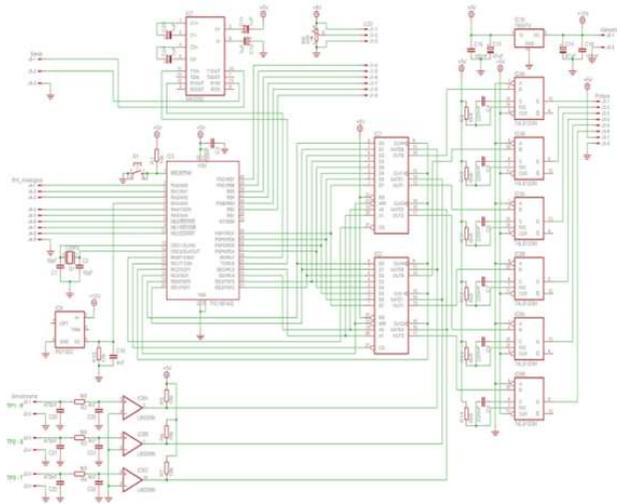


Fonte: Dos Próprios Autores

A montagem final foi dividida em dois módulos distintos, sendo que tal escolha foi feita com caráter didático, a fim de simplificar a compreensão do funcionamento da ponte retificadora como um todo.

O primeiro módulo é composto pelo microcontrolador, display e conversor USB/Serial, cujo diagrama esquemático é ilustrado na Figura 5. A visualização da montagem final deste módulo é apresentada na Figura 6.

Figura 5 - Diagrama esquemático do circuito de controle.



Fonte: Dos Próprios Autores.

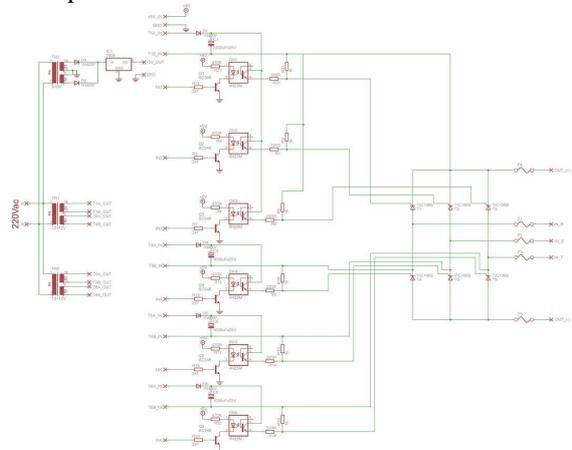
Figura 6 - Aspecto final da montagem do modulo de controle.



Fonte: Dos Próprios Autores.

O segundo módulo, denominado módulo de potência, contém os contadores para acionamento geral da ponte, circuitos de disparo e os tiristores de potência. Na Figura 7 apresenta-se o esquema eletrônico que contempla o circuito amplificador de pulsos, fontes de alimentação do circuito de disparo, bem como a ponte retificadora controlada. A montagem final pode ser visualizada nas Figuras 8 e 9.

Figura 7 - Diagrama do circuito de potência e acionamento.



Fonte: Dos Próprios Autores.

Figura 8 - Detalhes da montagem do Módulo de potência.



Fonte: Dos Próprios Autores.

Figura 9 - Aspecto final da montagem do modulo de potência.



Fonte: Dos Próprios Autores.

Na Figura 10 pode ser visualizada a montagem do sistema completo para análise experimental, composto da ponte retificadora, sistema de aquisição de dados e uma carga resistiva/indutiva (RL).

Figura 10 - Visualização da plataforma experimental.



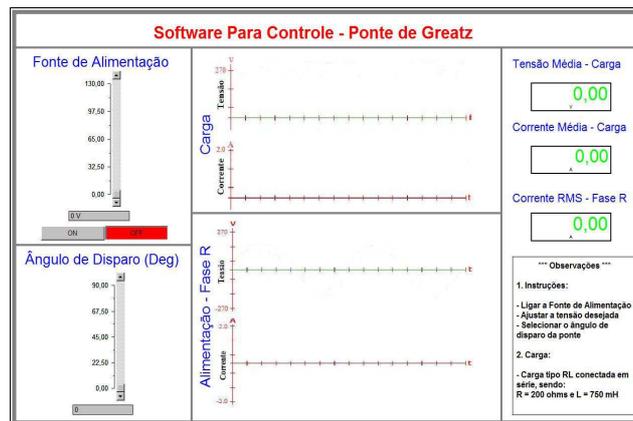
Fonte: Dos Próprios Autores.

B. Interface gráfica do objeto de aprendizagem

O software de controle e visualização de resultados desenvolvido com base no aplicativo *DasyLab*, o qual oferece grande flexibilidade no desenvolvimento, bem como uma excelente interface gráfica, o que permite a criação de um sistema de controle intuitivo e de fácil utilização, totalmente orientada a objetos.

A interface gráfica disponibilizada para acesso remoto pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 - Tela interativa da plataforma experimental.



Fonte: Dos Próprios Autores.

O usuário pode acessar a plataforma experimental e atuar sobre os principais controles da ponte, compreendendo, a energização da ponte, definição dos ângulos de disparo dos tiristores, entre outros.

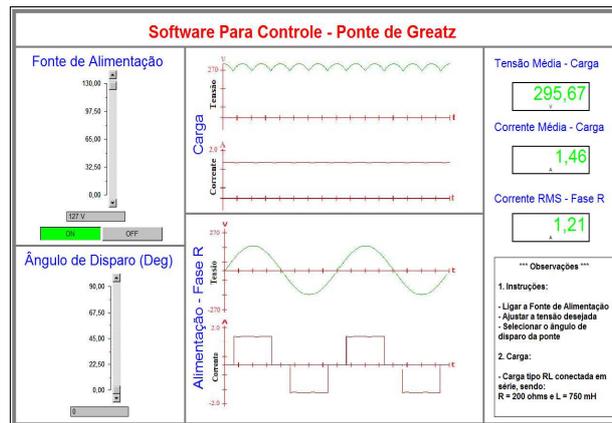
Como resultados, apresentam-se nesta interface gráfica, as formas de onda das tensões e correntes na fonte de alimentação e na carga, bem como os valores médios da tensão e correntes retificadas.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A partir do set experimental montado, foram levantados os resultados mostrados a seguir. As funcionalidades do objeto de aprendizagem desenvolvido forma testadas realizando-se um acesso remoto à plataforma experimental e impondo diferentes condições operacionais para a ponte conversora. Particularmente, a título de ilustração, apresenta-se nas figuras seguintes as telas interativas ativas para em três pontos distintos de funcionamento, com ângulos de disparo de 0, 30° e 55° graus respectivamente.

A Figura12, ilustra as condições operativas para ângulo de disparo nulo e tensão de alimentação em 127V. Entre os resultados disponíveis é possível visualizar as formas de onda da tensão e da corrente de alimentação, bem como da tensão e corrente retificadas. Os valores médios medidos são 295,67V para a tensão terminal e 1,46 A para a corrente CC, como previsto pela teoria clássica sobre pontes conversoras.

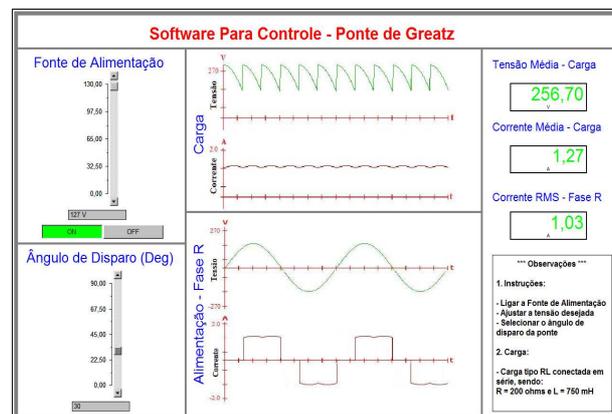
Figura 12 - Resultados para disparo com ângulo zero.



Fonte: Dos Próprios Autores.

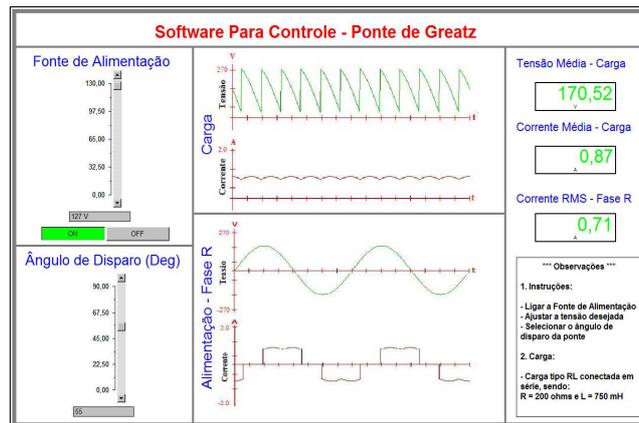
Na sequência, apresenta-se na Figura13, os resultados para as condições operativas com ângulo de disparo de 30° e tensão de alimentação em 127V. Na visualização das formas de onda, constata-se mais uma vez a coerência dos resultados obtidos com as previsões teóricas. Neste caso, como esperado, os valores médios medidos são 256,7V para a tensão terminal e 1,27 A para a corrente CC, menores que do caso anterior.

Figura 13 - Resultados para disparo com ângulo de 30°.



Fonte: Dos Próprios Autores.

Os resultados para as condições operativas com ângulo de disparo de 55° e tensão de alimentação em 127V, são ilustrado n Figura 14. Observa-se uma substancial redução dos valores médios da tensão e correntes retificadas devido ao elevado valor do ângulo de disparo. Mais uma vez, os resultados mostraram-se coerentes com as expectativas teóricas e o bom desempenho do arranjo experimental montado.

Figura 14 - Resultados para disparo com ângulo de 55° .

Fonte: Dos Próprios Autores.

5 CONCLUSÕES

A evolução da informática e a utilização da Internet vem sistematicamente inovando o processo educativo de EaD, disponibilizando ambientes específicos para gerenciamento de conteúdos, ferramentas de simulação e visualização de imagens. As atividades de EaD destacam-se por exigir o desenvolvimento da autonomia do aluno e proporcionar flexibilidade no processo de ensino e aprendizagem.

Entre as críticas sobre o uso intensivo de EaD nas áreas tecnológicas, notadamente de engenharia elétrica, reside no fato que normalmente as atividades de natureza prática experimental ficam prejudicadas. Um recurso frequentemente utilizado é a utilização de um sistema de Ead semipresencial, onde as atividades experimentais são realizadas no local onde o laboratório encontra-se fisicamente instalado, exigindo, portanto o deslocamento dos estudantes.

Este procedimento, embora viável em muitos casos, praticamente restringe a abrangência de um curso de Ead, sendo esta limitada pela localização geográfica do laboratório experimental. Uma solução alternativa seria a replicação dos laboratórios capacitados no sentido de viabilizar a adesão grupos de estudantes. Entretanto, este procedimento implica muita vezes em substancial aumento dos custos operacionais, o que se contrapõe às premissas de utilização do EaD.

A tecnologia de laboratórios remotos tem viabilizado para o EaD a possibilidade de realização de um experimento à distância, dentro de um cenário mais realista e sem as limitações dos softwares de simulação.

Este trabalho apresentou as diretrizes básicas para criação de um laboratório remoto direcionado para a análise experimental das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas HVDC.

A plataforma experimental desenvolvida garante uma grande flexibilidade para alteração de parâmetros operacionais da ponte conversora, permitindo ao estudante investigar diferentes situações operativas. Neste cenário, o estudante é estimulado a assumir uma postura construcionista, articulando os conteúdos teóricos e experimentais de forma autônoma na busca de um aprendizado significativo, orgânico e sistêmico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da FEPISA, Fundação de Ensino e Pesquisa de Ilha Solteira – Brasil.

REFERÊNCIAS

SCHNAID, F.; TIMM, M. I.; ZARO, M. Considerações sobre uso de modelo construtivista no ensino de Engenharia: disciplina de projeto com graduandos e mestrados. Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação, CINTED-UFRGS, V. 1 Nº 1, Fevereiro, 2003 Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, D. N.; CUNHA JR, H.; TEIXEIRA, V. S. C. Modelagem Bond Graph E O Ensino De Engenharia Elétrica - Representação Das Máquinas Elétricas. Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, COBENGE. Passo Fundo, Minas Gerais, Setembro de 2006. ISBN 85-7515-371-4

MARCHEZAN, A. R.; CHELLA, M. T.; FERREIRA, E. C. Laboratório Remoto aplicado ao Ensino de Engenharia Eletrônica. <http://www.nied.unicamp.br/~siros/doc/2211.pdf>, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) - Departamento de Eletrônica e Microeletrônica (DEMIC) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

RÖRING, C.; JOCHHEIM, A. The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawaii, USA, 1999.

DOMIJAN, A.; SHOULTS, R. R. Electric Power Engineering Laboratory Resources of the United States of America and Canada, IEEE Transactions on Power Systems, v. 3. n. 3, p. 1354-1360, August 1988.

DOMIJAN, A.; EMBRIZ-SANTANDER, E. A novel electric power laboratory for power

quality and energy studies: training aspects. IEEE Transactions on Power Systems. v. 7, n. 4, p. 1571-1578, novembro, 1992.

DOMIJAN, A. ; HEYDT, G. T. ; MELIOPOULOS, A. P. S. ; VENKATA, S. S.; WEST, S. Directions of Research on Electric Power Quality. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 8, n.1, n. 429-436, janeiro, 1993.

NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. Frontiers in Education. FIE 2003. 33rd Annual, v 1, p. 3-2.

POWEL, P.; WEENK, W. Project-Led Engineering Education. Lemma Publishers, Utrecht, 2003.

RÖRING, C.; JOCHHEIM, A. The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawaii, USA, 1999.

SUMPER, A.; VILLAFILA-ROBLES, R.; GOMIS-BELLMUNT, O.; RAMIREZ-PISCO, R.; PEREZ-JIMENEZ, R. Remote laboratory monitoring of rectifiers and harmonic current generation. 13th European Conference on Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. Barcelona, Espanha, Sept. 2009.

WILEY, D. Learning Object Design and Sequenceing Theory. 2000. 35 f. Tese (Doutorado em Filosofia). Brigham Young University, Provo, 2000.

AMCHIN, H. Increased Industry/University Interactions - A Solution for Today's Power Engineering Education Problem. IEEE Trans. on Power Systems, v. PWRS-2, n. 4, p. 1117-1124, November 1987.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Submetido em 07/10/2014
Aceito em 19/12/2014

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

Luis Carlos Origa de Oliveira
Universidade Estadual Paulista - Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP
15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil
origa@dee.feis.unesp.br