

SISTEMA DIDÁTICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE APLICADO NAS AULAS DE LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Tárcio D. Q. da Costa – tarciodevid@hotmail

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica

Endereço: Rua Augusto Correa s/nº, Campus Universitário do Guamá

CEP: 66075-110 – Belém - PA

Renan L. P. de Medeiros – renan_landau@hotmail.com

Elionilce C. Maia – nilce10@globo.com

Paulo S. N. Filho – paulosnf@gmail.com

Prof. Dr. Orlando F. Silva – orfosi@ufpa.br

Alex V. Menezes – vilarindo.alex@gmail.com

Universidade de São Paulo, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Endereço: Avenida Trabalhador São-carlense, 400

CEP: 13566-590 - São Carlos - SP

Resumo: *O trabalho apresenta o processo construtivo, aplicação e a proposta de inclusão da ferramenta didática denominada de Sistema de Aquisição de Dados (SAD) nas aulas das disciplinas de Laboratório de Sistemas de Controle e Controle Digital através de uma construção sistemática, visando enriquecer o processo de ensino e aprendizagem. O SAD foi concebido a partir do objetivo de trabalhar com um equipamento que proporcionasse as funcionalidades básicas de um sistema de aquisição e controle e facilidades de operação, oferecendo ao discentes a oportunidade de consolidar seus conhecimentos em diversas áreas da Engenharia Elétrica. Por conseguinte, para a consolidação da proposta foram feitas algumas melhorias adaptativas na interface do protótipo, visando seu uso em laboratório. Com isso, o SAD foi aplicado em três sistemas distintos para testar sua versatilidade e desempenho: Na própria Planta do SAD, num Sistema Térmico e em um Módulo Analógico de Primeira Ordem. Logo, para avaliar as experimentações metodológicas, a motivação dos participantes e a viabilidade de utilização do SAD como uma ferramenta de ensino e aprendizagem, foram aplicados questionários aos docentes e discentes das disciplinas de Laboratório de Sistemas de Controle e Controle Digital da Faculdade de Engenharia Elétrica. Então, para finalizar, são expostos os resultados das aplicações do SAD, os resultados das informações coletadas com os questionários, as conclusões sobre estes resultados e um parecer acerca da validação da proposta.*

Palavras-chave: *Identificação, Sistemas de Controle, Protótipo Didático e Laboratório de Controle.*

1 INTRODUÇÃO

O uso de protótipos didáticos no ensino e pesquisa de sistemas de controle é importante tanto para motivar alunos e professores como para não limitar o ensino e a aulas de teoria. O processo de aprendizagem deve possibilitar ao acadêmico um conhecimento qualitativo, de tal forma que ele torne-se um profissional habilitado para

desenvolver, com eficácia, as atividades específicas do engenheiro. A lógica está em passar para o aluno os conteúdos para que, então, possa aplicá-los e dar soluções para os diferentes problemas na sua vida profissional (ROTHER-NEVES et al., 2004).

Neste contexto, de busca de um equilíbrio entre teoria e prática no processo ensino-aprendizagem em disciplinas de controle e automação, o SAD foi concebido com o objetivo de trabalhar com um equipamento que proporcionasse um processo de aquisição de dados, comunicação com o usuário e geração de sinais de referência e controle. Proporcionando um meio de identificar o modelo de uma planta e controlá-la, a princípio com qualquer estratégia de controle, oferecendo aos alunos a oportunidade de consolidar seus conhecimentos no estudo de sistema de controle incentivando o ensino e a pesquisa nessa área. Com isso esse trabalho tem por objetivo:

- Apresentar as informações acerca do desenvolvimento e construção de um Sistema Eletrônico de Aquisição de Dados, ou seja, documentá-lo descrevendo seus elementos construtivos tanto de hardware como de software;
- Apresentar aplicações do SAD com protótipos existentes no LACOS (Laboratório de Controle de Sistemas da UFPA) que servirão como experimentos adicionais das referida disciplinas;
- Avaliar o seu emprego nas aulas das disciplinas de graduação: Laboratório de Sistemas de Controle e Controle Digital, junto aos alunos do curso de Engenharia Elétrica. Do ponto de vista do grau de aceitação da ferramenta bem como de possíveis melhorias que se possa fazer no SAD.

2 ELEMENTOS DE HARDWARE DO SAD

O SAD foi construído dentro de uma caixa de plástico, como mostrado na Figura 1 e apresenta duas entradas, denominados “IN1” e “IN2” que fazem a leitura de sinais analógicos provenientes da planta e uma saída “OUT1” analógica que envia sinais para a planta com a qual se deseja fazer o experimento. O SAD é conectado a um computador pessoal (PC) através de uma conexão serial RS232 e é alimentado por uma fonte de corrente contínua de +5, -15 e +15 volts, como mostrados na Figura 2. A fonte de alimentação além da saída para alimentar o SAD, apresenta outras saídas auxiliares com tensões de +5, -15 e +15 volts para a alimentação de outros equipamentos como, por exemplo, algumas plantas com as quais serão realizados os experimentos.



Figura 1 – Vista frontal do SAD



Figura 2 – (I) Vista da parte traseira e (II) Fonte de Alimentação do SAD

Na Figura 3 tem-se a vista interna do Sistema de Aquisição de Dados que é constituído por: (A) interface de comunicação serial com o (MAX232), (B e C) dois circuitos condicionadores de sinais analógicos de entrada, (D) circuito condicionador de sinais analógicos de saída, (E) conversor digital analógico (MCP4921) e (F) microcontrolador dsPIC30f3014.

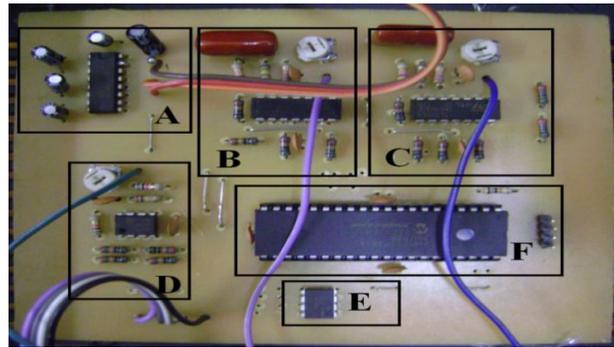


Figura 3 – Imagem da placa de circuito impresso do SAD

O sistema recebe sinais analógicos pelo circuito condicionador de entrada “IN1” ou “IN2”, esses sinais são condicionados e enviados ao microcontrolador dsPIC, que através de seu Conversor Analógico Digital interno converte os sinais recebidos em sinais digitais, e dependendo do comando recebido do computador pessoal, através da interface de comunicação serial, o dsPIC processa e envia o sinal de controle requerido para o Conversor Digital Analógico que converte os sinais digitais em analógicos e envia para o condicionador de saída, que por sua vez encaminha esses sinais tratados para a planta. O diagrama da Figura 4 sintetiza o funcionamento do SAD.

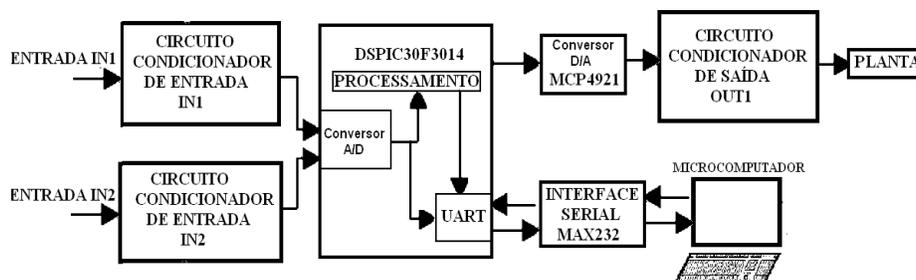


Figura 4 – Esquema de funcionamento do SAD

3 INTERFACE DIDÁTICA DO LABVIEW

A interface construída no ambiente do LabVIEW foi desenvolvida para tornar mais amigável a relação homem-máquina, além de tornar mais fácil o manuseio e um maior entendimento do sistema. Esta ferramenta foi escolhida porque proporciona o desenvolvimento de aplicações de aquisição de forma bastante eficaz, graças à facilidade de uso de seus módulos de acesso ao hardware. Além disso, as funcionalidades do *LABVIEW* proporcionam diversas possibilidades de modularização do programa, tornando-o organizado e passivo a pequenas manutenções corretivas ou inclusão de novas telas.

A Figura 5 mostra o ambiente de interface entre o usuário e o protótipo, ou seja, meio pelo qual possibilitará a entrada de comandos e parâmetros e a visualização das respostas fornecidas durante cada experimento. As abas mostradas nesta interface correspondem a controladores e tipos de plantas que são disponibilizados. Vale ressaltar que os dados coletados pela interface são mostrados em tempo real e podem ser salvos e utilizados em outros programas como, por exemplo, o software *MATLAB*.

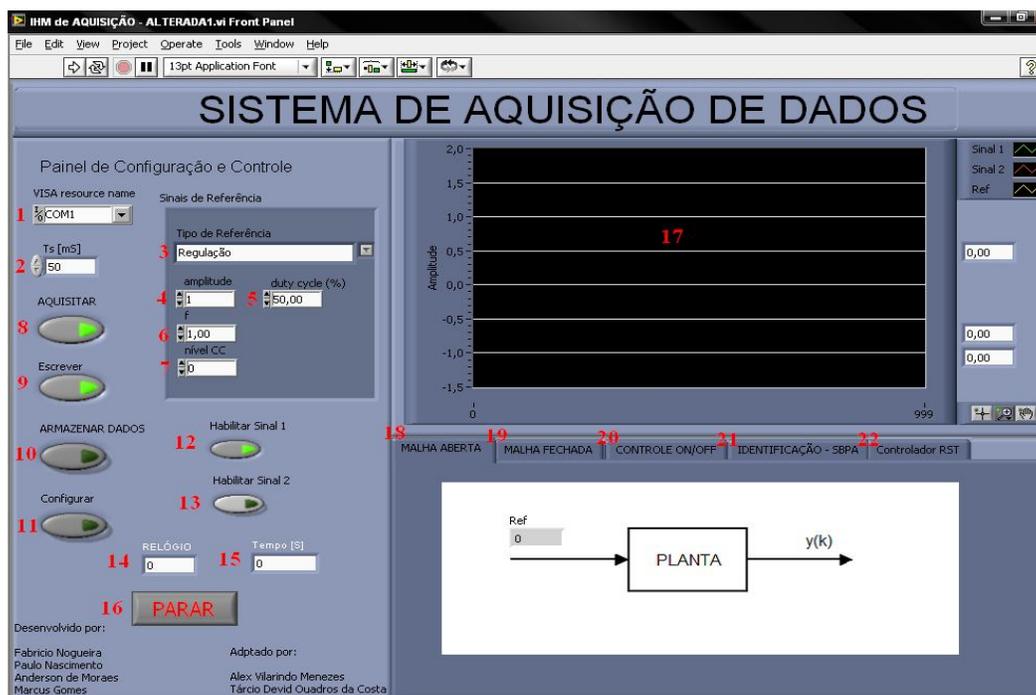


Figura 5 - Interface amigável construída no *LABVIEW*

4 SAD APLICADO EM PROTÓTIPOS DIDÁTICOS

A necessidade de aplicar e aperfeiçoar o conhecimento adquirido durante as aulas teóricas, referente à identificação e controle de sistemas, torna extremamente importante o contato dos alunos com um equipamento real. O Sistema de Aquisição de Dados é uma ferramenta preponderante nesse contexto, pois apresenta uma gama de conhecimentos que fornecem aos alunos uma referência prática considerável. Com isso, para mostrar a finalidade do SAD, ele será aplicado em planta que representa um Sistema Analógico de primeira ordem configurado para trabalhar com um sistema de

segunda ordem, ou seja, foram interligados dois Módulos de primeira ordem para forma um sistema de segunda ordem. Mas primeiramente será mostrado a identificação e controle do próprio Sistema de Aquisição de Dados aplicando a saída do sistema em sua própria entrada.

Com isso teoricamente o sistema apresentaria um modelo matemático igual a 1, mas ele possui um filtro analógico de primeira ordem (ALEXANDER & SADIKU, 2003) na entrada que modifica o comportamento do sistema. Esse filtro passa-baixa RC apresenta constante de tempo de 0.0761s e um ganho de 0.9963. É importante mencionar que o sistema foi programado para operar com um período de amostragem de 0.05 segundos. Com isso fazendo a análise detalhada do gráfico de ensaio em malha aberta, verificou-se que o SAD apresenta um atraso de transporte de quatro períodos de amostragem. Essa busca pela precisão no modelo é necessária para melhor aproximação quando forem validados os controladores, a Figura 6 apresenta a validação do modelo da planta em malha aberta.

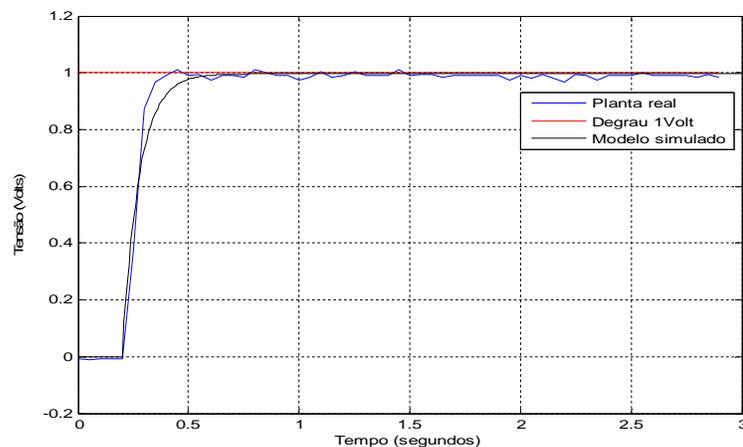


Figura 6 - Validação da Planta em malha aberta

Com o intuito de verificar o comportamento do Sistema de Aquisição de Dados quando em malha fechada e principalmente verificar se algoritmo de controle implementado está funcionando corretamente, utilizou-se um controlador Proporcional e um controlador Proporcional Integral (PI) (NISE, 1998). Sendo que no primeiro utilizou-se ganho proporcional (K_p) igual a 1, e no segundo K_p utilizado foi igual a 0.0696 e o ganho integral (K_i) igual a 2.612, onde aplicou-se na entrada do sistema um gerador de sinais configurado para gerar uma onda quadrada com amplitude 1 e frequência 0.1Hz. E como a intenção desses ensaios (malha aberta e fechada) era testar o algoritmo de controle implementado no Sistema de Aquisição de Dados, conclui-se que o algoritmo de controle implementado no *LABVIEW* do Controlador Proporcional e Proporcional-Integral funcionando perfeitamente, pois todos os requisitos necessários forma obedecidos e os resultados esperados foram alcançados.

O SAD também foi aplicado em um Sistema Analógico de Segunda Ordem concebido a partir da interligação de dois Módulos Analógicos de Primeira Ordem que são constituídos basicamente de resistores, capacitores e amplificadores operacionais e seu circuito equivalente de segunda ordem mostrado na Figura 7.

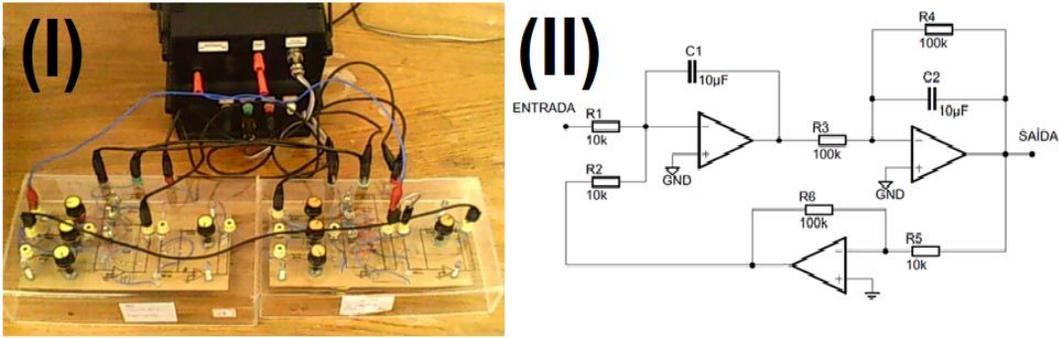


Figura 7 – (I) Interligação de dois módulos de 1º Ordem e (II) circuito equivalente

Com a auxílio do Sistema de Aquisição de Dados foi realizada a identificação do Sistema de 2º Ordem, que apresenta frequência natural igual a 0.94 rad/s e coeficiente de amortecimento igual a 0.483. A validação do modelo da planta está mostrada na Figura 8.

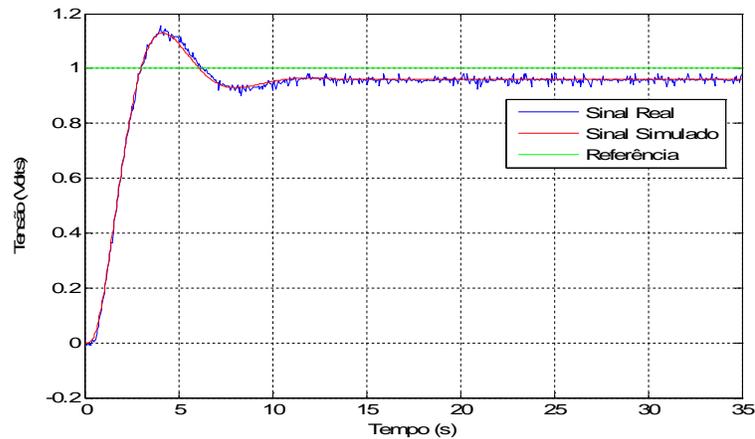


Figura 8 – Validação da Planta em malha aberta

Então, partindo dos valores de ultrapassagem percentual ($M_p\% = 17,7\%$) e de tempo de assentamento ($T_s = 9,93s$), verificados a partir da resposta em malha aberta, foi projetado um Controlador Proporcional Integral (PI) utilizando a ferramenta *RLTOOL* do software *MATLAB*, com K_p igual a 0.7078 e K_i igual a 0.4078.

Também foi projetado um controlador RST (LANDAU, 2006) que apresenta os polinômios $R(q^{-1})$, $S(q^{-1})$ e $T(q^{-1})$ mostrados na Equação (1), Equação (2) e Equação (3) respectivamente.

$$R(q^{-1}) = (5,7952 - 10,9433q^{-1} + 5,6271q^{-2} + -0,3515q^{-3}) \quad (1)$$

$$S(q^{-1}) = 1 - 1,6891q^{-1} + 1,1928q^{-2} - 0,4393q^{-3} + 0,0994q^{-4} - 0,0549q^{-5} - 0,0977q^{-6} - 0,0112q^{-7} \quad (2)$$

$$T(q^{-1}) = \frac{(P(1) + P(2) + P(3) + P(4) + \dots + P(9) + P(10) + P(11))}{(b_1 + b_2 + b_3)} = 0,1276 \quad (3)$$

A validação dos controladores PI e RST estão mostradas nas Figuras 9. Em que percebe-se que a resposta do sistema real e o modelo simulado estão bem próximas, para os dois casos, sendo que o controlador RST apresentou uma considerável melhora na resposta do sistema, fazendo o valor do sobresinal máximo ficar praticamente nulo e diminuindo o tempo de assentamento para aproximadamente 5,2 segundos.

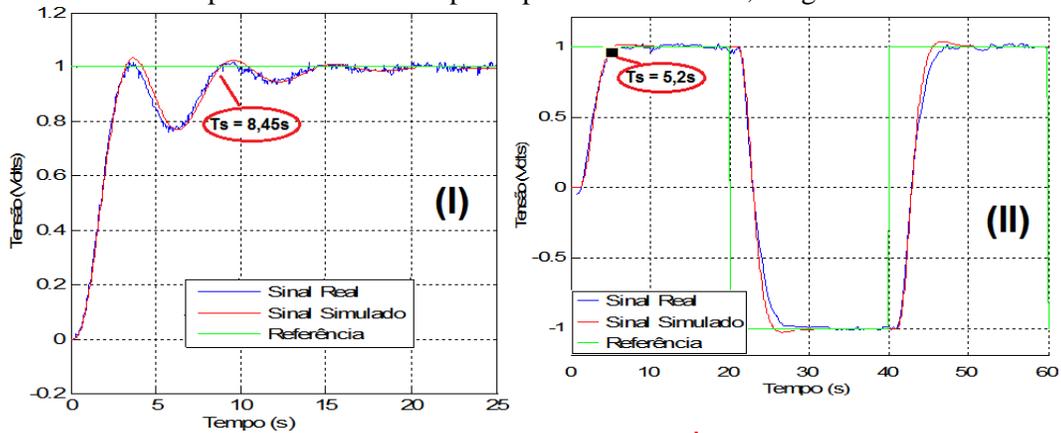


Figura 9 – Resposta do sistema Real e simulado com controlador PI (I) e RST (II)

5 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DO USO DO SAD NAS AULAS DE LABORATÓRIO

A principal funcionalidade do SAD é a utilização nas aulas de laboratório para consolidar os conhecimentos adquiridos em sala de aula e desta forma auxiliar a capacitação prática. O modo tradicional como os conteúdos são ministrados, normalmente não é capaz de prender a atenção de alunos mesmo que estes tenham afinidade natural pela engenharia, daí a necessidade da construção de tal protótipo para ser explorado em ensino e pesquisa nas áreas de identificação de sistemas, análise e projeto de sistemas de controle. Um protótipo construído numa Instituição de Ensino Superior, pelos seus alunos e professores, resulta num equipamento de mais fácil manutenção, permitindo um contato com as tecnologias mais atuais.

A metodologia de avaliação do Sistema de Aquisição de Dados foi baseada em sua aplicação nas aulas de Laboratório de Sistemas Controle e Controle Digital onde ministrou-se aulas para alunos do curso de Engenharia Elétrica. Foi necessária a aplicação de duas aulas, sendo que na primeira foi realizada uma apresentação dos equipamentos que iriam ser utilizados, bem como o experimento referente à identificação dos mesmos. Na segunda aula, foi realizado um experimento referente ao projeto do controlador, onde foi realizada uma apresentação aos alunos sobre como seria o projeto de um controlador Proporcional Integral (PI) digital para o modelo da planta identificado.

A abordagem nas aulas de laboratório foi realizada através de uma breve apresentação do equipamento contendo: introdução teórica, funcionamento, principais elementos, modo de usar e finalidade. Após apresentação foi proposto aos alunos um roteiro contendo os passos do experimento a ser realizado na referida aula.

Tomando como base que o conhecimento dos alunos era apenas teórico ou através de simulações computacionais, a metodologia utilizada para aulas de Laboratório de Sistemas de Controle e Controle Digital foi construída especificamente para proporcionar o contato direto do discente com a prática, onde a experiência e o roteiro foram adaptados às necessidades da disciplina seguindo o conteúdo programático. Com

base nesse método, os ensaios aplicados em laboratório abordaram os assuntos requeridos pela ementa da disciplina e o roteiro experimental foi elaborado de forma que atendesse as expectativas tanto do professor quanto dos alunos.

Para obtermos uma referência quanto ao nível de aceitação do SAD entre os alunos e professores, foi elaborado um questionário onde as questões contidas neste estão dispostas de forma direta e suas respostas estão limitadas entre “SIM” e “NÃO” com espaços para comentários. Com o emprego dos questionários, esperou-se obter dos alunos informações sobre sua aceitação do sistema tendo como base primeiramente sua afinidade em relação à disciplina em questão. Perguntas referentes ao manuseio do SAD, procedimentos experimentais apresentados em forma de roteiro e da experiência de inclusão do Protótipo Didático nas aulas, foram empregadas aos alunos.

Foi realizada uma análise estatística construída a partir das informações extraídas dos questionários aplicados no final da aula, como mostrado nas Figuras 10 e 11. Tal análise foi estruturada visando quantificar as respostas e qualificar as justificativas e sugestões. As aulas foram ministradas para 14 alunos porem apenas 11 responderam ao questionário, logo para análise estatística dessa disciplina foi considerado como 100% o número total de alunos que responderam o questionário.

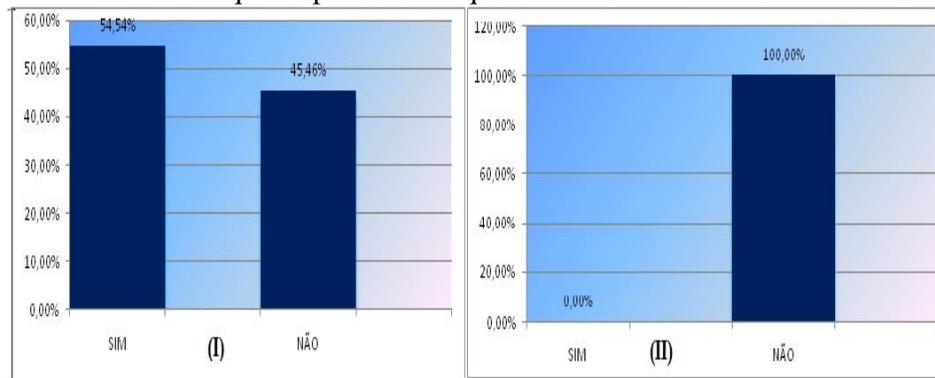


Figura 10 - (I) pesquisa relacionada a afinidade da disciplina; (II) dificuldade de operação dos sistemas.

Através dos dados levantados obtive-se os resultados onde 54,54% dos participantes declararam ter afinidade com a matéria e houve a unanimidade quanto à não dificuldade de operação do sistema.

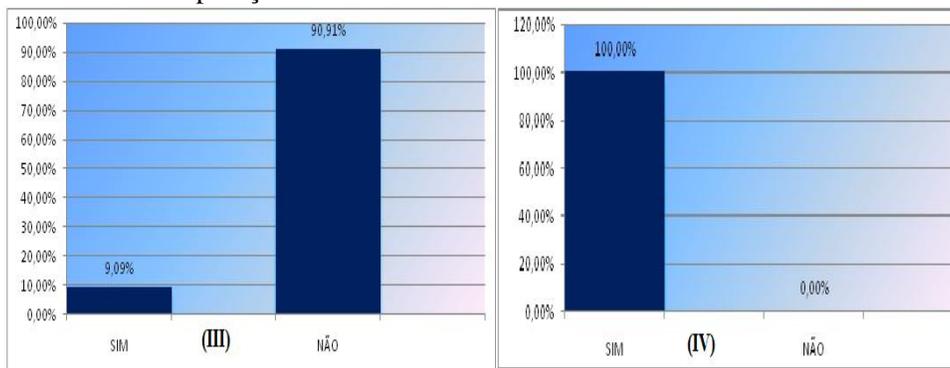


Figura 11 - (III) dificuldade em operar a interface em LABVIEW; (IV) metodologia aplicada nas aulas.

No gráfico (III) da figura 11 podemos observar que 90,91% dos entrevistados alegaram não possuir dificuldade no manuseio da interface, pois eles justificaram que ela esta bem detalhada, bem organizada e de fácil assimilação. A cerca da metodologia de apresentação dos equipamentos e dos objetivos propostos nas aulas, 100% dos alunos consideraram os procedimentos e a metodologia adequados justificando que houve correspondência dos assuntos apresentados com disciplina em questão, as apresentações foram bem claras e explicitas.

Para o professor da disciplina também foi aplicado um questionário referente ao SAD. E quanto perguntado se a experiência de inclusão do SAD tem potencialidade para servir como recurso didático para disciplina o professor justificou que sim da seguinte forma:

“O SAD tem se mostrado uma ferramenta de simples manuseio e que substitui osciloscópios com eficiência, portanto é um recurso imprescindível em disciplinas de controle”

No âmbito da viabilidade do SAD o professor afirmou que ele é uma alternativa viável para ser aplicado em várias disciplinas de controle e aprovou a metodologia aplicada destacando a utilização de um Datashow paralelamente ao uso do SAD dando mais dinamismo a aula.

“A descrição das principais características físicas do protótipo, enquanto é realizado o ensaio de malha aberta seguido do levantamento da função de transferência e comparação do modelo obtido com o ensaio real dá uma visão bastante completa do problema de controle as alunos.”

Quando perguntado sobre o interesse dos alunos a partir da inclusão de um sistema real nas aulas o professor respondeu que essa é uma alternativa que sempre é bem aceita pelos alunos, pois eles têm a possibilidade de ter contato com um sistema real e a oportunidade de confrontar resultados teóricos com resultados reais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após vários testes feitos com o auxílio do SAD, baseando-se em resultados simulados e experimentais, conclui-se que o sistema apresenta um aceitável desempenho no âmbito da identificação e controle de sistemas, comprovando sua aplicabilidade e funcionalidade.

Com relação aos dados obtidos pode-se concluir que a aplicação e utilização do protótipo nas aulas de laboratório mostrou-se um desafio alcançado visto que o nível de aceitação dos alunos com a aplicação do protótipo na aulas foi bastante elevado, proporcionando a alguns discentes um acréscimo considerável de conhecimento e uma motivação extra para o decorrer do curso.

A metodologia de exposição do Sistema de Aquisição de Dados alcançou os objetivos das aulas de forma organizada e bem adequada tomando como base os resultados coletados do professor da disciplina de Laboratório de Sistemas de Controle e Controle Digital. Além disso, constatou-se que o SAD constitui uma boa ferramenta didática, por envolver vários conteúdos das disciplinas e por sua simplicidade e flexibilidade de uso em laboratório.

Agradecimentos

Agrademos a todos que contribuíram de maneira positiva para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER Charles K. e SADIKU Matthew N.O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**, 1º Ed. Editora: Bookman, 2003.

LANDAU, Loan D.; ZITO, Gianluca, **Digital control systems: Design, Identification and Implementation**. - (Communications and Control Engineering), Series Editors, Saint Martin d'Herès, France, 2006.

NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle**, 3º ed, LTC, 1998.

ROTHE-NEVES, M., SILVA, O.F., BARREIROS, J.A.L. **Metodologia para a construção de protótipos didáticos para os cursos de controle e automação de sistemas**. Brasília: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE), 2004.

TEACHING SYSTEM OF DATA ACQUISITION AND CONTROL APPLIED TO LABORATORY LESSONS IN CONTROL SYSTEMS

***Abstract:** The paper presents the construction process, application and the proposed inclusion of the teaching tool called the Data Acquisition System (DAS) in the classes of subjects, Laboratory of Control Systems and Digital Control through a systematic construction, aiming to enrich the teaching process and learning. The DAS was designed from the goal of working with equipment that will provide the basic functionality of a system for acquisition and control and ease of operation, offering the students the opportunity to consolidate their knowledge in various areas of Electrical Engineering. Therefore, the consolidation of the proposal was made some improvements adaptive in interface prototype, to use in the laboratory. With this, the DAS was implemented in three different systems to test its versatility and performance: In plant itself from SAD, in a Thermal System and an Analog Module First Order. Thus, trials to assess methodological, motivation of participants and the feasibility of using SAD as a tool for teaching and learning, were applied questionnaires to teachers and students of the disciplines of Laboratory Control and Digital Control, Faculty of Electrical Engineering. Then, finally, are exposed to the results of applications of SAD, the results of information collected with the questionnaires, the findings on these results and an opinion on the validation of the proposal.*

***Key-words:** Identification, Control Systems, Prototype Teaching and Laboratory Control.*