



DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA O ENSINO MULTIDISCIPLINAR EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Diogo Leonardo Ferreira da Silva – diogoleonardof@unifei.edu.br

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia de Sistemas e de Tecnologia da Informação (IESTI)

Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho,
37500-903 – Itajubá – Minas Gerais

Bruno Carlos da Silva – brunoc_silva@yahoo.com.br

Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá (FEPI)

Av. Dr. Antônio Braga Filho - 687, bairro Varginha,
37501-002 – Itajubá – Minas Gerais

Gabriela da Fonseca de Amorim – gabi@unifei.edu.br

Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG)

Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho,
37500-903 – Itajubá – Minas Gerais

Resumo: *Este trabalho apresenta o planejamento, o desenvolvimento e a construção de um módulo didático de caráter interdisciplinar a ser usado em aulas práticas para alunos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecatrônica ou áreas afins. A metodologia de pesquisa usada foi a pesquisa-ação visando suprir a necessidade de compreender a inter-relação de disciplinas e assuntos relevantes nestes cursos. O módulo desenvolvido permite que os alunos tenham contato com situações mais próximas das reais e conheçam aplicações para os conteúdos teóricos ministrados em sala de aula. A principal característica deste trabalho é a integração de diversas disciplinas da grade curricular em um único módulo didático. É possível abordar tópicos de Instrumentação e Controle Industrial através da operação de instrumentos utilizados em aplicações industriais e de malhas de controle realimentado, a saber: temperatura, nível, pressão e vazão. Além disso, o módulo pode ser usado para o aprendizado na área de Redes Industriais e para o desenvolvimento de Software Supervisório.*

Palavras-chave: *Módulo Didático, Controle, Automação, Instrumentação, Redes Industriais.*

1. INTRODUÇÃO

De maneira a facilitar a compreensão e favorecer o aprofundamento do ensino, o conteúdo geral a ser aprendido pelos alunos foi dividido em módulos ou disciplinas. Desta forma, cada disciplina passou a ser planejada e lecionada de maneira individual e independente. A preocupação em esclarecer seu sentido e sua importância no contexto global foi se perdendo, mas este fato pode ser fundamental no estímulo ao aprendizado.

A capacidade a ser desenvolvida pelo ensino é de ligar as partes ao todo e o todo às partes (MORIN, 2000). A participação dos docentes é necessária para que os alunos compreendam o papel de cada disciplina num contexto global da engenharia.

Cabe aos docentes, então, a tarefa de despertar o interesse dos alunos não somente apresentando o conteúdo de sua disciplina mas também a forma como ela se integra com as demais. A interdisciplinaridade se caracteriza pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas e, por isso, é necessário um trabalho conjunto entre os docentes para realizar esta tarefa (JAPIASSU, 1976).

O módulo didático desenvolvido neste trabalho busca integrar o ensino na prática de disciplinas distintas dos cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecatrônica e áreas afins favorecendo a interdisciplinaridade e possibilitando o contato com situações mais próximas da realidade encontrada nas indústrias para aplicação dos conteúdos teóricos ministrados em sala de aula. Para atingir este objetivo foi projetado um módulo para controle de variáveis como temperatura, nível, pressão e vazão de água.

Com o auxílio deste módulo é possível abordar tópicos em Redes Industriais usando o protocolo de comunicação *Foundation Fieldbus* e também tópicos em Sistemas de Controle, verificando o funcionamento e a parametrização das principais malhas de controle encontradas na indústria. Além disso, os sensores utilizados no módulo exemplificam as disciplinas que abordam Instrumentação e é possível ainda trabalhar com Desenvolvimento de Sistemas Supervisórios criando *softwares* que auxiliam no monitoramento e no controle das principais variáveis dos sistemas.

A fim de cumprir o objetivo proposto, este trabalho está estruturado em sete seções sendo a primeira delas a Introdução, seguida pela Metodologia de Pesquisa usada no desenvolvimento do trabalho. A seção 3 descreve o Módulo através de um esquemático e da explicação dos seus principais componentes e as seções 4, 5 e 6 abordam conceitos teóricos de Controle, Redes Industriais e *Softwares* Supervisórios, respectivamente, bem como a relação destes com o módulo desenvolvido. Enfim, na seção 7 o trabalho é concluído com as considerações finais.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa usada na condução deste trabalho foi a pesquisa-ação pois partiu de um problema real para buscar na literatura possíveis soluções. A ideia central desta metodologia é usar uma abordagem científica para estudar a resolução de um problema identificado previamente (COUGHLAN & COGHLAN, 2002).

Na pesquisa-ação, o termo pesquisa se refere à produção do conhecimento e o termo ação, à uma modificação intencional da realidade. A pesquisa-ação é a produção de conhecimento guiada pela prática e as mudanças ocorrem como parte do processo de pesquisa (MELLO *et al.*, 2012).

O problema a ser solucionado foi identificado por professores e alunos e pode ser resumido na dificuldade de compreender e visualizar a inter-relação de disciplinas e assuntos relevantes nos cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecatrônica e áreas afins. A proposta de solução foi a criação de um módulo didático que permitisse o estudo em conjunto de várias disciplinas na prática.

3. O MÓDULO DIDÁTICO

O módulo foi desenvolvido para fins didáticos e além da construção do módulo físico propriamente dito também foi desenvolvido um guia de utilização para os usuários, no caso, alunos e professores. Em suma, o módulo permite visualizar e parametrizar a operação de diversas malhas de controle, sensores e outros instrumentos utilizados em aplicações industriais que se comunicam através do *Foundation Fieldbus* e têm seu funcionamento monitorado por um *software* supervisorio desenvolvido em ambiente Indusoft®, que é um conjunto de ferramentas para a criação da interface entre operador e máquina. Deu-se ao módulo o nome “Módulo Fieldbus”.

Algumas malhas que se aproximam de situações reais no ambiente industrial estão pré-configuradas e acompanham o módulo mas, além disso, ele é totalmente configurável e permite que o aluno crie novas estruturas e experimentos colocando em prática seu conhecimento acerca de topologia de redes industriais e de controle e supervisão de processos.

O controle do módulo pode ser realizado de maneira local ou remota. Localmente o controle é feito através de uma interface *touchscreen* instalada no painel que possui um *software* de supervisão; de maneira remota, o controle é feito através de um computador que também contém um *software* de supervisão. Em ambos os casos, o *software* foi desenvolvido em ambiente Indusoft®. Além do *software* de supervisão que acompanha o módulo, também é possível criar uma nova versão para controle e supervisão de qualquer topologia de rede configurada por ele, integrando assim o ensino prático de redes industriais, técnicas de controle e também o desenvolvimento de *softwares* de supervisão e controle.

O esquemático da estrutura básica do módulo pode ser visto na Figura 1.

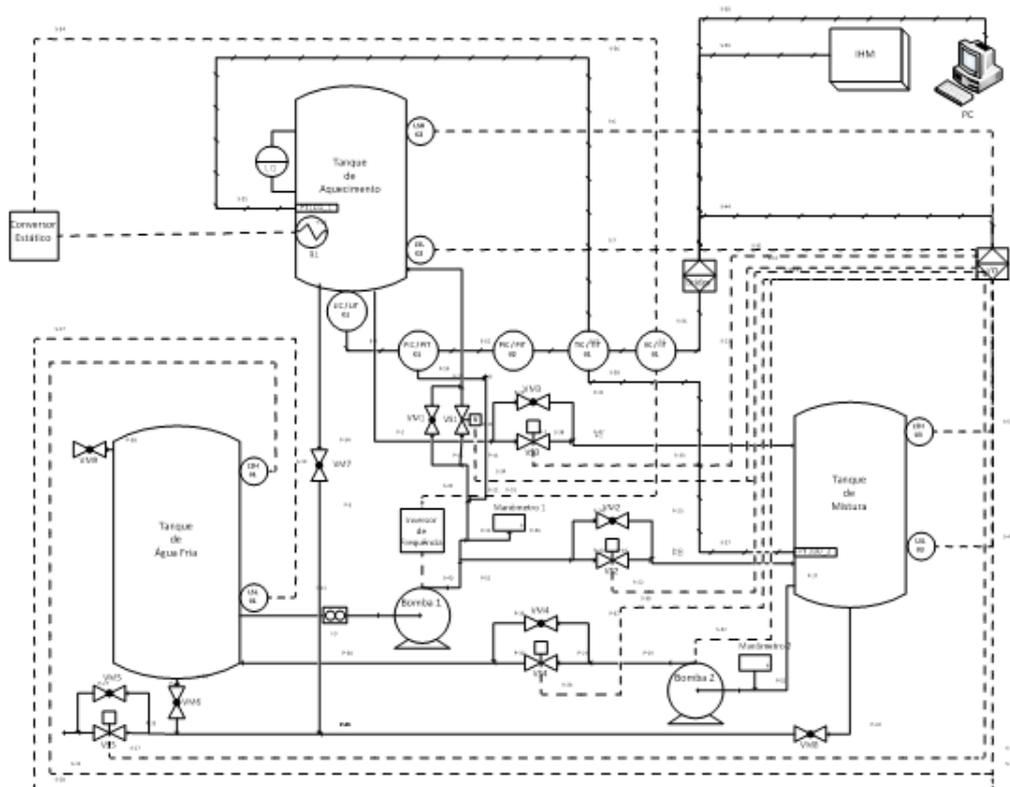


Figura 1 - Estrutura básica do “Módulo Fieldbus”

As estratégias pré-configuradas que acompanham o módulo são: Controle realimentado de temperatura, controle realimentado de nível, controle realimentado de pressão, controle realimentado de vazão e controle de temperatura por mistura de água quente e fria. A Figura 2 mostra o “Módulo Fieldbus” construído.



Figura 2 – “Módulo Fieldbus” construído

O módulo possui tanques e tubulação em aço inox, a fim de proporcionar maior durabilidade ao equipamento, e está montado sobre uma mesa modular de alumínio com rodízios para facilitar o deslocamento. Possui também um painel que abriga todos os equipamentos de acionamento elétrico e de comando, além de uma interface *touchscreen* para controle local. Todas as botoeiras e sinaleiros estão devidamente identificados para facilitar a compreensão do usuário. Seus componentes são detalhados na sequência:

Conjunto de Tanques

Responsável pelo armazenamento da água, os tanques contidos no módulo são construídos em aço inox e com capacidade de 60[l] para os tanques de aquecimento e de mistura e de 120[l] para o tanque de água fria.

Bomba Hidráulica

Responsável por bombear a água do tanque de água fria para o tanque de aquecimento ou para o tanque de mistura, variando de acordo com as posições das válvulas solenoides VS1, VS2 e VS3. Cada válvula solenoide (VS) numeradas de 1 a 5, possui uma válvula manual (VM) em paralelo para eventuais emergências. Possui vazão

de até 45[l/min] e elevação em até 70[m]. Opera com um motor trifásico 220/380[V] e com a temperatura máxima do líquido bombeado de 60[°C].

Bomba Hidráulica de Recalque

Responsável por bombear a água do tanque de mistura para o tanque de água fria. Opera com um motor monofásico de 127[V].

Resistência de Aquecimento

Responsável por elevar a temperatura do líquido do sistema (água) contido no tanque de aquecimento. A resistência de aquecimento contida é de 3000[W] de potência.

Termo resistência PT100

Responsável pela medição da temperatura da água no tanque de aquecimento e também no tanque de mistura. Tem resistência nominal de 100[Ohm] a 0[°C] com sinal de saída de 4 a 20[mA].

Conjunto medidor de vazão

Responsável pela transformação de grandezas físicas de vazão do sistema em sinais elétricos proporcionais. Consiste em um medidor de pressão diferencial LD302 que opera em uma faixa de -0.5 a 0.5[bar] com sinal de saída no padrão *Foundation Fieldbus* ligado a uma placa de orifício integral.

Sensor de Pressão LD302

O sensor de pressão opera em uma faixa de -2.5 a 2.5[bar] com sinal de saída no padrão *Foundation Fieldbus* e medindo a pressão na saída da bomba.

Conjunto medidor de nível

Consiste em um medidor de pressão LD302 acoplado a uma flange no fundo do reservatório e utilizado para medir nível através da pressão da coluna d'água.

Sensor de Temperatura TT302

O sensor de temperatura opera de acordo com a faixa de trabalho do transdutor utilizado e neste caso é a termorresistência PT100 que opera entre -200 e 850[°C].

Conversor Fieldbus/4 a 20[mA] FI302

Opera convertendo sinais de comando analógicos do padrão *Fieldbus* para o padrão 4 a 20[mA] a fim de acionar a bomba hidráulica trifásica e a resistência elétrica de acionamento através do conversor estático.

Conversor Estático de Potência

O conversor opera através de um trem de impulsos controlado por um sinal 4 a 20[mA] e realiza o controle de potência na carga, neste caso, a resistência elétrica no tanque de aquecimento.

Manômetros de Bourdon

Utilizado como indicador de pressão cuja medida máxima de pressão é de 142[psi].

Bridge Fieldbus

Responsável pelo gerenciamento das informações do sistema.

Inversor de Frequência:

Responsável por controlar a variação da velocidade do motor de indução trifásico. O inversor de frequência contido no módulo é do tipo escalar. A lógica de acionamento utilizada mantém constante a relação V/F (tensão/frequência) de modo a manter a característica de torque e estabelecer a velocidade desejada. O inversor é empregado para acionar o motor elétrico da bomba hidráulica.

4. CONTROLE

Controlar automaticamente um processo ou sistema (planta) significa medir o valor da grandeza a ser controlada de maneira a modificar a excitação de entrada do sistema com a finalidade de corrigir ou limitar o desvio entre o valor medido e o desejado (PINHEIRO *et al.*, 2012). O módulo possui as principais grandezas controladas na indústria, a saber, temperatura, nível, pressão e vazão.

As estratégias de controle implementadas no módulo ilustram o funcionamento e as características das principais malhas de controle industriais. Além de estratégias de controle pré-configuradas, o aluno poderá atribuir outros ganhos aos controladores PID e verificar seus efeitos na prática. O *software* supervisor que acompanha o módulo permite a supervisão e o controle de todas as malhas, bem como a modificação de ganhos e parâmetros.

4.1. Controle realimentado de temperatura

A finalidade desta malha de controle é manter constante a temperatura do tanque de aquecimento a partir da informação de temperatura medida pela termo resistência PT100 imersa. Com a informação de temperatura da água, a malha atua na corrente enviada ao conversor estático conectado a uma resistência elétrica de aquecimento, também imersa no tanque.

4.2. Controle realimentado de nível

Esta malha de controle visa manter constante o nível no tanque de aquecimento a partir da informação de nível medida pelo transdutor de pressão LD302 acoplado no fundo do tanque. Com a informação de nível, a malha atua na corrente enviada ao inversor de frequência e, conseqüentemente, no nível de água ao controlar a velocidade da bomba centrífuga que envia água ao reservatório.

4.3. Controle realimentado de pressão

O objetivo desta malha de controle é manter um valor fixo de pressão na tubulação de entrada do tanque de aquecimento a partir da informação medida pelo transdutor de pressão LD302. Com esta informação, a malha atua na corrente enviada ao inversor de frequência que controla a velocidade da bomba centrífuga responsável por enviar água ao reservatório e, conseqüentemente, controla a pressão da água.

4.4. Controle realimentado de vazão

Esta malha de controle busca manter um valor fixo de vazão na entrada do tanque de aquecimento a partir da informação medida pelo conjunto medidor de vazão fixado

na tubulação de alimentação do tanque de aquecimento. Com esta informação, a malha atua na corrente enviada ao inversor de frequência que controla a velocidade da bomba centrífuga responsável por enviar água ao reservatório e, conseqüentemente, controla também a vazão de água.

4.5. Controle de temperatura por mistura de água quente e fria

A finalidade desta malha de controle é estabelecer uma determinada temperatura no tanque de mistura a partir da informação medida pela termo resistência PT100 imersa no tanque. Primeiramente uma quantidade de água quente é transferida do tanque de água quente para o tanque de mistura e na sequência inicia-se a transferência de água do tanque de água fria. Com a informação da temperatura no tanque de mistura, a malha atua na corrente enviada ao inversor de frequência que controla a velocidade da bomba centrífuga responsável por enviar água fria para o tanque e, conseqüentemente, controla a temperatura da água.

5. REDES INDUSTRIAIS

Redes industriais são essencialmente sistemas distribuídos, ou seja, diversos elementos trabalhando de forma simultânea a fim de supervisionar e controlar determinado processo. Sensores, atuadores, CLP's, CNC's, computadores, etc, necessitam estar interligados para trocar informações de forma rápida e precisa.

Como o ambiente industrial é geralmente hostil, é fundamental que os dispositivos e equipamentos pertencentes a uma rede industrial sejam confiáveis, rápidos e principalmente robustos (BORDIM *et al.*, 2006).

As redes de campo surgiram da necessidade de interligar equipamentos usados nos sistemas de automação que se proliferavam operando independentemente. A interligação desses equipamentos em rede permitiu o compartilhamento de recursos e bases de dados, as quais passaram a ser únicas e não mais replicadas, conferindo mais segurança aos usuários da informação (ALBUQUERQUE & ALEXANDRIA, 2009).

Os fabricantes de sistemas de integração industrial, no entanto, tendem a lançar produtos compatíveis apenas com sua própria arquitetura, o que ocasiona graves problemas de compatibilidade entre as diversas redes e sub-redes do sistema em diferentes níveis de *hardware* e *software*. A vantagem das arquiteturas de sistemas abertos é a tendência a seguir padrões, desta forma, o usuário pode inclusive encontrar soluções diferentes para um mesmo problema.

As redes industriais podem ser divididas em três categorias: Sensorbus, devicebus e fieldbus (SMAR, 1998):

Rede Sensorbus

Trabalha com dados no formato de bits e conecta diretamente na rede equipamentos simples que necessitam de comunicação rápida em níveis discretos; tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Este tipo de rede não pretende cobrir grandes distâncias e a principal preocupação é manter os custos de conexão o mais baixo possível. Exemplos típicos incluem AS-i e INTERBUS.

Rede Devicebus

Esta rede preenche o espaço entre as redes Sensorbus e Fieldbus trabalhando com dados no formato de *bytes*. Os equipamentos conectados têm pontos discretos, dados

analógicos ou uma mistura de ambos. Esta rede também tem os requisitos de transferência rápida, mas consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos são DeviceNet, Profibus DP e LONWorks.

Rede Fieldbus

Este tipo de rede foi o escolhido para o módulo didático por interligar equipamentos mais sofisticados e cobrir distâncias maiores trabalhando com dados no formato de pacotes de mensagens. Os equipamentos acoplados à rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas de controle tais como *loops PID* ou controle de fluxo de informações e processos. O tempo de transferência pode ser longo, mas a rede comunica-se com vários tipos de dados: discreto, analógico, parâmetros, programas ou informações do usuário. Exemplos típicos incluem Fieldbus Foundation, Profibus PA e HART.

5.1. Criação e configuração da Rede *Fieldbus* do módulo didático

Fieldbus é uma rede local para automação e instrumentação de controle de processos com capacidade de distribuir o controle no campo, uma característica interessante frente a sistemas centralizados. O *Foundation Fieldbus* é um protocolo para sistemas de comunicação totalmente digital, em série e bidirecional que conecta equipamentos de campo tais como sensores, atuadores e controladores.

A tecnologia do *Foundation Fieldbus* é controlada pela *Fieldbus Foundation*, uma organização não lucrativa constituída de vários fornecedores e usuários de controle e instrumentação. O protocolo mantém muitas características operacionais do sistema analógico 4-20[mA] tais como interface física da fiação padronizada, dispositivos alimentados por um único par de fios e opções de segurança intrínseca, mas oferece uma série de benefícios adicionais aos usuários.

A ferramenta utilizada para criar e configurar a rede Fieldbus do módulo, seguindo o protocolo *Foundation Fieldbus*, é o *software* Studio302® da empresa Smar Equipamentos Industriais Ltda. Esta ferramenta de fácil utilização não tem a funcionalidade dos aplicativos, somente os inicializa.

Uma característica importante do Studio302® é a de gerenciar as informações de vários projetos e armazenar em uma única base de dados, permitindo uma fácil operação e manutenção de todas as ferramentas de controle. Este *software* permite ainda a criação de grupos de usuários específicos e diferentes tipos de acesso, garantindo a integridade dos dados do projeto.

O Studio302® permite também o acesso simultâneo de diferentes usuários, minimizando o retrabalho na configuração do mesmo projeto em máquinas diferentes e permitindo um fluxo contínuo nas trocas de informações. Além disso, a manutenção e substituição de equipamentos são feitas de maneira eficiente através de um “*wizard*”, reduzindo as perdas por tempo ocioso da planta.

A principal ferramenta do Studio302® é o System302®, uma solução completa de automação desde plantas pequenas até processos industriais complexos que é largamente utilizada nas indústrias de Álcool e Açúcar, Petróleo e Gás, Química e de Alimentos, além de ser um dos poucos sistemas utilizados em centrais nucleares.

O System302® permite que o aluno não somente verifique o funcionamento do módulo pré-programado como também desenvolva projetos e crie redes ou sub-redes utilizando os instrumentos do módulo de forma total ou parcial para elaborar suas

estratégias de controle. Na Figura 3 é mostrado um exemplo de configuração da estratégia de controle no System302®.

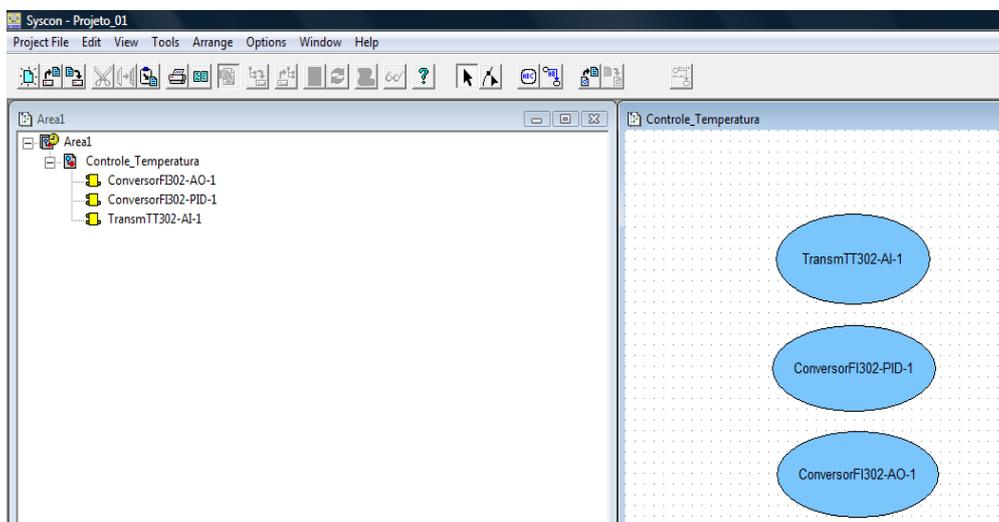


Figura 3 - Configuração da estratégia de controle no System302®

6. SOFTWARE SUPERVISÓRIO

Programas ou sistemas supervisórios permitem o monitoramento e rastreamento das informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, são manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao usuário (SILVA & SALVADOR, 2005).

O ambiente utilizado para o desenvolvimento do *software* supervisório do módulo didático é o InduSoft® que possui diversas ferramentas de automação incluindo todas as funções necessárias para a criação da integração entre operador e máquina, sistemas de supervisão, instrumentação embarcada e controle.

Além disso, o ambiente InduSoft® permite que o usuário crie supervisórios customizados para qualquer aplicação e topologia de rede, possibilitando também a integração dos conhecimentos em redes industriais, controle, instrumentação e confecção de *software* supervisório. A Figura 4 mostra um exemplo de criação de *software* no ambiente do InduSoft®.

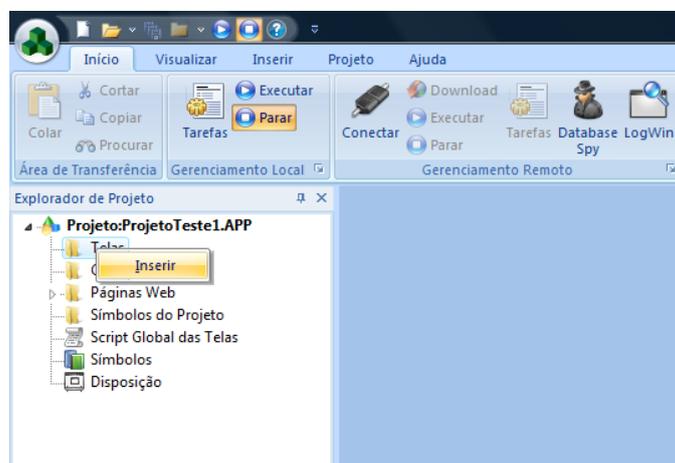


Figura 4 - Ambiente Indusoft®

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O módulo didático desenvolvido é uma ótima alternativa para o curso de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecatrônica ou áreas afins dado que, além de servir como bancada individual para o ensino prático em disciplinas isoladas, ainda permite a integração entre elas, proporcionando aos alunos maior contato com situações mais próximas da realidade encontrada nas indústrias, o que os faz mais preparados para o mercado de trabalho.

Além disso, espera-se que o módulo sirva como base pra pesquisas de iniciação científica e até mesmo para experimentos em trabalhos de mestrado e doutorado pois permite que sejam aplicadas diferentes técnicas de controle em malhas reais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e à empresa Datapool Eletrônica Ltda pelo suporte financeiro que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Pedro Braga; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo. Redes Industriais – Aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. 2. ed. Editora Ensino Profissional, 2009. 256 p.

BORDIM, Jacir Luiz; SILVA, Jones Yudi Mori Alves; CRUZ, Marcelo Messias; ROSADO, Rodrigo de Menezes. Redes Industriais: FIELDBUS. Monografia, Universidade de Brasília – UNB. Departamento de Ciências da Computação, 2006.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. International Journal of Operations & Production Management, p. 220-240, 2002.

JAPIASSU, Hilton. Interdisciplinaridade e patologia do saber. Rio de Janeiro: Imago, 1976. 220 p.

MELLO, C.H.P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F.; CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. Produção, p. 1-13, 2012.

MORIN, Edgar. Os sete saberes necessários à educação do futuro. 2. ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000. 115 p.

PINHEIRO, Carlos Alberto Murari; SOUZA, Antonio Carlos Zambroni; ROSA, Paulo César; LIMA, Isaías. Sistemas de Controle: Projetos, Simulações e Experiências de Laboratório. Editora ESETec, 2012. 190 p.

SILVA, A.P.G.; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios?, 2005. Disponível em: Elipse Knowledgebase. Acesso em: 3 jun. 2013.



SMAR (Equipamentos Industriais Ltda). Departamento de Engenharia de Aplicações da Área Nacional e Internacional & Departamento de Treinamento. Como implementar projetos com *Foundation Fieldbus*: manual de orientação, 1998. 163 p. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/system302/implementarprojetos.asp>>. Acesso em: 3 jun. 2013.

DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL MODULE FOR THE INTERDISCIPLINARY KNOWLEDGE IN CONTROL AND AUTOMATION ENGINEERING

Abstract: *This paper presents the design, development and construction of a interdisciplinary educational module to be used in practical classes for students of Control Engineering and Automation, Mechatronics Engineering or related fields. The research methodology used was action research in order to meet the need to understand the interrelationship of disciplines and relevant issues in these courses. The developed module allows students to have contact with closer to real situations and to know the applications of theoretical taught learned in the classroom. The main feature of this work is the integration of various disciplines of the curriculum in a single educational module. It is possible to address topics of Instrumentation and Control through the operation of instruments used in industrial and feedback control loops, namely, temperature, level, pressure and flow. In addition, the module can be used for learning in the area of Industrial Networks and the development of Supervisory Software.*

Key-words: *Educational Module, Control, Automation, Instrumentation, Industrial Networks.*