



## UNINDO A TEORIA E A PRÁTICA NO ENSINO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E CONTROLE DE PROCESSOS

**Jacqueline Pinho Paixão de Souza** – [jacqueline\\_paixao@hotmail.com](mailto:jacqueline_paixao@hotmail.com)

UTFPR - CPGEI

Av. Sete de Setembro, 3165

80230-901 Curitiba – PR

**Eduardo Ledoux Rosa** – [ledoux@petrobras.com.br](mailto:ledoux@petrobras.com.br)

PETROBRAS – REPAR

Rodovia do Xisto BR 476, km 16, cx p. 9

83707-440 Araucária – PR

**Guilherme Alceu Schneider** – [guilherme@utfpr.edu.br](mailto:guilherme@utfpr.edu.br)

**Simone Massulini Acosta** – [acosta@utfpr.edu.br](mailto:acosta@utfpr.edu.br)

**Lúcia Valéria Ramos de Arruda** – [lvrarruda@utfpr.edu.br](mailto:lvrarruda@utfpr.edu.br)

**Flávio Neves Junior** – [neves@utfpr.edu.br](mailto:neves@utfpr.edu.br)

UTFPR – DAELN/CPGEI

Av. Sete de Setembro, 3165

80230-901 Curitiba – PR

***Resumo:** Este artigo propõe a integração de um sistema supervisorio (800xA system do fabricante ABB), com o software MATLAB e uma rede industrial com protocolo Foundation Fieldbus, composta por instrumentos de campo fabricados pela empresa SMAR, em um ambiente educacional para simulações e controle de modelos de plantas industriais. A troca de informações entre os softwares e equipamentos é realizada através da tecnologia OPC. O principal objetivo deste ambiente é proporcionar aos estudantes um ambiente o mais próximo possível da realidade industrial. Com esse ambiente é possível realizar treinamentos sobre configurações, estratégias de controle, utilização de interface homem-máquina (IHM) e intertravamento de processos, demonstrando aos estudantes de engenharia, tecnologia e, mesmo operadores industriais, métodos para a implementação, testes e validações de configurações de controle e supervisão de processos complexos multivariáveis, parecidas com as encontradas nas indústrias. Os processos são simulados no MATLAB, e algumas variáveis do processo são fornecidas pelos instrumentos Foundation Fieldbus (FF).*

***Palavras-chave:** Matlab, Foundation Fieldbus, OPC, ensino de controle e automação.*

### 1. INTRODUÇÃO

Os cursos educacionais voltados à área de Automação Industrial e Controle de Processos, geralmente abordam estratégias de controle de sistemas, modelos matemáticos, algoritmos de controle e softwares de simulação e controle a partir de uma base matemática fortemente

Realização:



Organização:



**O ENGENHEIRO  
PROFESSOR E O  
DESAFIO DE EDUCAR**



teórica. Ao contrário do que acontece nas indústrias, onde a implementação de um sistema de automação é feita a partir das configurações diretamente para o código de controle específico e em seguida é feita a verificação na planta industrial. Visando minimizar as diferenças encontradas no cenário educacional e na indústria, é proposto um ambiente que integra o sistema 800xA da ABB (ABB, 2012), o software MATLAB (MATLAB, 2010) e uma rede industrial com protocolo *Foundation Fieldbus* (FF), composta por instrumentos de campo fabricados pela empresa SMAR (SMAR, 2012), e tecnologia OPC.

Atualmente, a busca contínua por melhorias em controle de sistemas industriais geram a necessidade de integrar diversos equipamentos de diferentes fabricantes (PUDA, 2008). Com o surgimento do protocolo *Foundation Fieldbus* (FF), essa interoperabilidade, ou seja, possibilidade de integrar equipamentos que não sejam do mesmo fabricante em um mesmo sistema, foi finalmente alcançada (SCOTT e BUCHANAN, 2011). Como exemplo, pode ser citado a utilização do software *Fieldbus Builder*, desenvolvido pela ABB, o qual é capaz de configurar, controlar e monitorar um processo que possua equipamentos padrão FF, de diversos fabricantes, como por exemplo da SMAR. Além disso, a FF é uma rede digital de comunicação bi-direcional (SAMSON, 2005), podendo transmitir diversos sinais por apenas um canal de comunicação, reduzindo custos com fiação, instalação e engenharia (SCOTT e BUCHANAN, 2011) e, por ser digital, proporciona menos distorções e variações indesejáveis no sinal transmitido (HENRIQUE, 2005). Essa rede é dividida em duas subredes: H1 (velocidade baixa de 31,25 kbps) utilizada para comunicação entre equipamentos de campo padrão FF (o controle do processo pode ser feito por esses instrumentos) (SCOTT e BUCHANAN, 2011) e HSE (*High Speed Ethernet*, velocidade alta de 100Mbps) utilizada para comunicação entre equipamentos que necessitam de uma comunicação com velocidade superior, como por exemplo, o CLP (Controlador Lógico Programável) (KAFOORI et al., 2009). Neste contexto, a proposta de um ambiente educacional que utiliza o padrão FF para integrar diversos componentes comerciais, a fim de criar um ambiente prático próximo aos encontrados nas indústrias vem de encontro às necessidades atuais do ensino de automação industrial e controle de processos. O uso do ambiente possibilita ao estudante simular situações decorrentes do meio industrial, podendo elaborar, simular, controlar e testar vários modelos de plantas industriais.

A arquitetura do ambiente é mostrada na figura 1 e é formada pelos seguintes blocos: simulador, supervísório, kit de instrumentos e rede FF.

O simulador é realizado no MATLAB em plataforma Windows, que permite desenvolver e simular modelos para os diversos processos contínuos e discretos através de representação por funções de transferências contínuas e/ou discretas ou ainda por espaço de estado (Ogata, 1985)

O supervísório corresponde ao sistema industrial da ABB. Neste sistema são desenvolvidas as malhas de controle (PID), os intertravamentos e a Interface Homem Máquina de supervisão. A estrutura do sistema de controle Industrial IT System 800xA da ABB é construída baseada na tecnologia *AspectObject* (AO), proprietária da ABB. Resumidamente, os *aspects* relacionam dados e funções da planta, os *objects* representam os ativos das plantas. A denominação AO representa unidades de processo, dispositivos, equipamentos e controladores. Os diversos objetos são organizados numa estrutura hierárquica e possibilitam diferentes visões da planta. Além de diversas outras estruturas, tais como *Functional Structure*, *Control Structure* e *Location Structure*, existem várias interfaces e componentes de software disponíveis para o controle de processos no sistema 800xA. Por exemplo, existem estruturas dedicadas para a conexão com o processo (OPCDA – *Data*



Access, acesso a variáveis), para o tratamento de tendências e históricos de dados (OPCHDA - *Trend&History Data Access*) e para o tratamento de alarmes e eventos (OPCAE – *Alarm and Events*).

O kit de instrumentos foi desenvolvido na UTFPR e é composto por instrumentos SMAR reais ligados a uma rede FF, conforme descrito na sessão 3. Neste artigo são utilizados como entrada de perturbações.

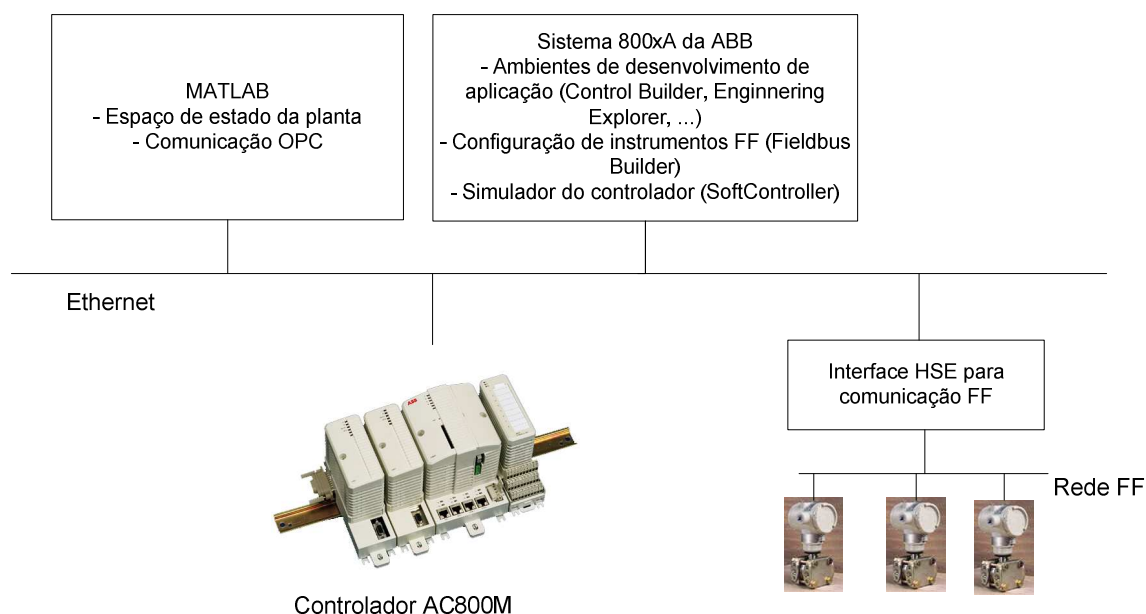


Figura 1: Arquitetura do ambiente educacional

Para evidenciar as principais características do ambiente proposto neste artigo será utilizado como exemplo, o modelo de um evaporador de circulação forçada mostrado na figura 2.

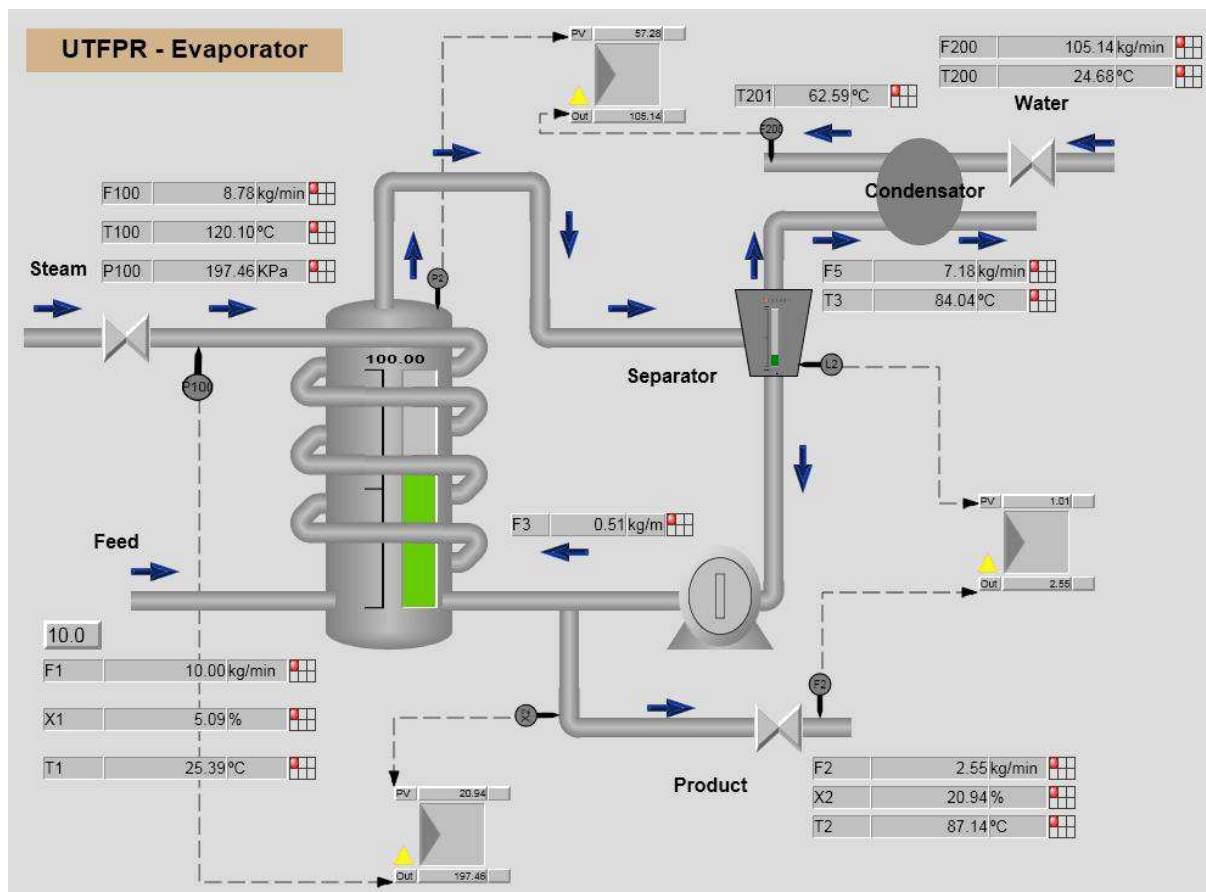
## 2. PROCESSO DO EVAPORADOR

O processo de evaporação encontrado em muitas indústrias de processo consiste em remover o solvente, normalmente a água, de uma solução para aumentar a concentração do soluto (HELDMAN E LUND, 2007). O processo pode ser descrito basicamente como a partir da entrada de uma solução dissolvida em outra, deve-se produzir uma solução mais concentrada e densa (VALENTAS et al., 1997). A evaporação é realizada dentro do Evaporador, que funciona como um trocador de calor, aquecendo a solução até a ebulição, passando em seguida para um Separador que retira o vapor formado pela fase líquida em ebulição do solvente que é devolvido ao trocador de calor como líquido de recirculação. O vapor retirado segue para um Condensador que fornece a saída final do processo como visto na figura 2. Esta figura corresponde a tela do sistema supervisor do processo, desenvolvida no ambiente 800xA-ABB a qual é desenvolvida pelos alunos que devem realizar o controle do processo.

O processo de evaporação é de difícil controle, sendo necessário realizar o desacoplamento das malhas de controle, bem como implementar estratégias do tipo



*feedforward* ou mesmo *backward*. No ensino, este processo apresenta características próximas da prática operacional, tais como: não linearidades, multivariável, forte interação entre as variáveis e com várias perturbações.





O conhecimento detalhado das equações diferenciais que regem o processo não é relevante para o aprendizado das técnicas de controle e automação, uma vez que o modelo é transparente para os estudantes. O bloco simulador recebe os sinais de controle e alimentação do supervisor e as perturbações do Kit SMAR e fornece ao supervisor os valores medidos (simulados) das variáveis relevantes do processo.

$$\frac{dL_2}{dt} = \frac{F_1 - F_4 - F_2}{20} \quad (1)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \frac{F_1 X_1 - F_2 X_2}{20} \quad (2)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{F_4 - F_5}{4} \quad (3)$$

$$T_2 = 0,5616P_2 + 0,3126X_2 + 48,43 \quad (4)$$

$$T_3 = 0,507P_2 + 55,0 \quad (5)$$

$$F_4 = \frac{Q_{100} - 0,07F_1(T_2 - T_1)}{38,5} \quad (6)$$

$$T_{100} = 0,1538P_{100} + 90,0 \quad (7)$$

$$Q_{100} = 0,16(F_1 + F_2)(T_{100} - T_2) \quad (8)$$

$$F_{100} = Q_{100}/36,6 \quad (9)$$

$$Q_{200} = \frac{0,9576F_{200}(T_3 - T_{200})}{0,14F_{200}} + 6,84 \quad (10)$$

$$T_{201} = T_{200} + \frac{13,68(T_3 - T_{200})}{0,14F_{200} + 6,84} \quad (11)$$

$$F_5 = \frac{Q_{200}}{38,5} \quad (12)$$

Equações (1) a (12) – Modelo matemático do evaporador (CAO e SEYAB, 2006)

### 3. CONFIGURAÇÃO DA REDE FOUNDATION FIELDBUS

O kit SMAR, Figura 3, é composto por um transmissor de pressão tipo D2 (LD302), um transmissor de temperatura (TT302) e um conversor de sinal *Fieldbus* para corrente 4-20mA (FI302). Este kit foi desenvolvido na UTFPR especificamente para ensino das disciplinas da área de automação e instrumentação industrial.

A temperatura  $T_1$  é simulada por um potenciômetro e a concentração  $X_1$  é simulada através de uma pequena bomba manual. Para configuração dos instrumentos SMAR, foi utilizado o software *Fieldbus Builder* ABB, e para a conexão entre os instrumentos e o software foi



utilizada uma *bridge* (LD800HSE) mostrada na figura 3. Esta *bridge* é responsável pela comunicação entre equipamentos de campo, conectados na rede H1, e o computador, conectado na rede HSE, que possui o software *Fieldbus Builder*. Um switch é utilizado para conectar o computador à *bridge*, pois os mesmos possuem protocolos diferentes.

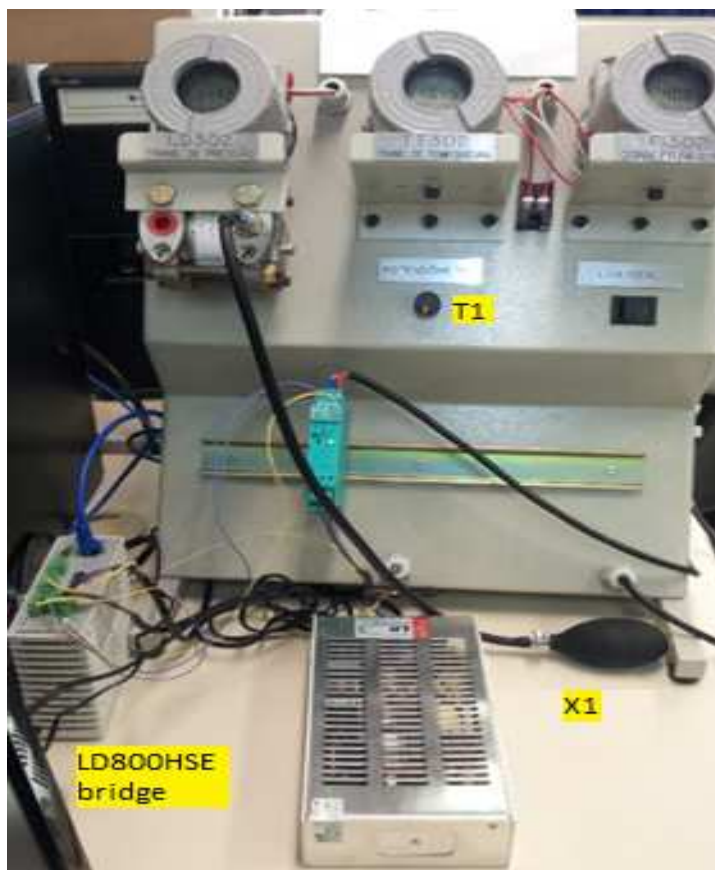


Figura 3 – Kit FF Smar, desenvolvido pela UTFPR

Os equipamentos de campo (LD302, TT302 e FI302) são conectados através de um único barramento, que fornece a transmissão de dados aos instrumentos e também a tensão de alimentação vinda de uma fonte de tensão 24 Vcc inserida entre a porta 1 do LD800HSE e o barramento. O modelo da fonte utilizada é o KLD2-PC 1.1IEC, fabricante PEPPERL+FUCHS. Esta fonte possui ainda condicionador de potência e um terminador (TID - Dispositivo Terminador de Impedância) (PEPPERL+FUCHS, 2012). Outro TID é colocado no final do barramento, obedecendo às normas *Fieldbus Foundation*. Depois de concluída a instalação dos equipamentos, a configuração do sistema é realizada no software *Fieldbus Builder*, através dos seguintes procedimentos.

- Criação de um novo projeto de rede *Foundation Fieldbus*;
- Configuração do OPC ;
- Inclusão no projeto dos equipamentos conectados à rede H1;
- Criação do diagrama de blocos;
- Parametrização dos blocos de recurso, transdutores e de funções.



#### 4. ESTRUTURA FUNCIONAL

Para tornar possível a integração de equipamentos de campo, sistemas de controle e softwares de gerenciamento, que utilizam plataforma Windows, de uma maneira mais prática, foi desenvolvido os protocolos OPC (CARVALHO et al., 2008) e OLE (*Object Linking and Embedding*) para controle de processos. O protocolo OPC possui uma estrutura aberta, baseada em tecnologias *OLE COM (Component Object Model)* e *DCOM (Distributed Component Object Model)* da Microsoft, que permite a interoperabilidade entre sistemas. Com o surgimento do OPC houve a padronização de uma infra-estrutura única, na qual a informação pode ser universalmente compartilhada (PUDA, 2009).

O ambiente aqui desenvolvido trabalha com o padrão OPC que é o responsável pela troca de informações entre softwares supervisorio, MATLAB e equipamentos de campo da rede Foundation Fieldbus. O supervisorio lê as informações dos equipamentos FF e também informações vindas do MATLAB, e o MATLAB por sua vez utiliza variáveis da rede FF como entrada  $X_I$  e  $T_I$ . Como exemplo, o fluxograma mostrado na figura 4, descreve o procedimento para a troca de informações do Matlab via OPC.

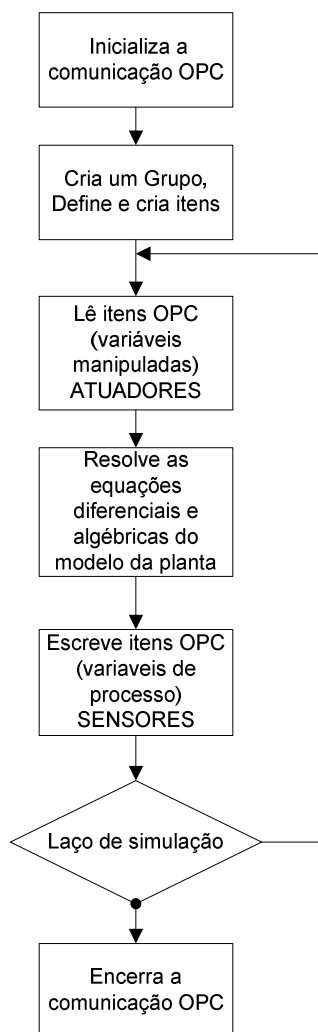


Figura 4: Procedimento para leitura das variáveis do Matlab via OPC.



## 5. CONTROLE PID DO EVAPORADOR

O controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é ainda hoje predominante no meio industrial. Mais que 90% de todas as malhas existentes são do tipo PI / PID atingindo uma larga faixa de aplicações: controle de processos, drivers para motores, indústria automobilística, controladores de vôo, pilotos automáticos, instrumentação, entre outros. Em especial, a indústria de processos tem adotado nos últimos anos, o controle preditivo como estratégia de controle avançado, a qual requer malhas PID bem sintonizadas na camada regulatória da planta. Além disso, os processos industriais, tais que o evaporador apresentado anteriormente, são naturalmente multivariáveis e com interações significantes entre as suas variáveis de entrada e saída, levando o futuro engenheiro de processos, responsável por centenas de malhas, a necessitar de uma estratégia de sintonia de fácil implantação e compreensão (Åstrom e Hagglund, 2004), (Arruda et al, 2008).

Assim um dos objetivos educacionais do ambiente descrito é permitir aos estudantes implementar, sintonizar e testar controladores PID no nível regulatório de processos. Para isto, o estudante tem que primeiramente entender o funcionamento da arquitetura do ambiente, a qual pode ser resumida da seguinte maneira:

1. A IHM (Interface Homem-Máquina), o intertravamento do processo e as malhas de controle são configurados e supervisionados pelo 800xA system da ABB. Os alarmes e eventos também são configurados e visualizados por esse software. Todas as soluções de estratégia de controle são criadas pelos estudantes através de blocos de funções e suas estruturas são sempre testadas.
2. O comportamento dinâmico do sistema é simulado através do Matlab, que com o auxílio do OPC, tem seus resultados da simulação enviados para 800xA system. Para esta aula prática, o modelo do evaporador é descrito pelas equações (1) a (12). Ruídos são adicionados nas variáveis  $F_1$  e  $T_{200}$ .
3. As perturbações T1 e X1 no sistema são simuladas por transmissores FF do kit SMAR, desenvolvido pela UTFPR (figura 3).

Em seguida, o estudante deve entender o funcionamento do processo, o qual é feito através da utilização de entradas do tipo degrau nas diversas variáveis do processo e da observação do comportamento de suas variáveis controladas. Essa observação é alcançada através de gráficos da evolução temporal das variáveis.

No próximo passo, o estudante testa rotinas de auto-sintonia do PID integradas ao ambiente 800xA-ABB ou mesmo desenvolve sua própria estratégia a qual pode ser por exemplo, baseada no experimento do relé (Åstrom e Hagglund, 2004) que é uma das mais utilizadas na indústria, principalmente por sua facilidade de implementação e interpretação.

Uma vez sintonizado os diversos controladores PIDs do processo, o estudante passa ao controle do processo propriamente dito. Neste momento, ele observa a evolução do comportamento dinâmico do evaporador sob a estratégia de controle por ele implementada a partir da observação de curvas como as mostradas na figura 5. Além da análise das curvas, o estudante poderá calcular índices de desempenho, tais que, por exemplo, o índice *ITAE*: *Integral Time of Absolute Value Error* (Ogata, 1985) que é largamente aceito na comunidade de controle para avaliação de desempenho de malhas PID, ou mesmo qualquer outro critério de avaliação da qualidade da produção. O estudante poderá ainda testar a robustez e a capacidade de rejeitar perturbações do seu controlador, ao variar através do Kit SMAR, a duração e intensidade das perturbações atuando processo.



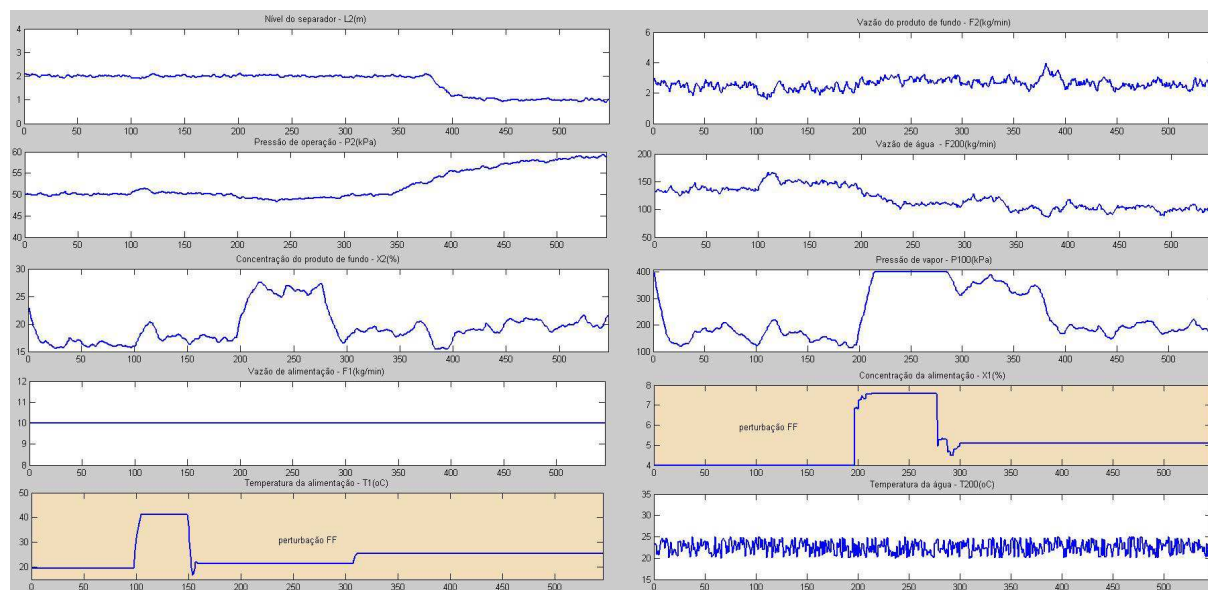


Figura 5– Comportamento dinâmico do sistema

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este artigo apresentou um ambiente didático para ensino na área de automação industrial e controle de processo. O objetivo é desenvolver uma plataforma em que conhecimentos teóricos possam ser testados na prática em um ambiente mais próximo da realidade industrial e desta forma fazer uma ponte entre o que se aprende na universidade e o que se aplica na indústria. Este ambiente é implementado em plataforma windows e permite executar modelos baseados em aplicativos do sistema industrial 800xA-ABB. Equipamentos reais, representados por componentes externos tais que transmissores e outros instrumentos, podem ser integrados ao ambiente através de uma rede FF e protocolo OPC. Os transmissores são utilizados para medição de algumas variáveis de processo e o protocolo OPC fornece componentes de software que estabelecem ligações entre controle industrial da modelagem física e simulação. Esse tipo de configuração (FF e OPC) está se tornando mais comum na maioria das indústrias de processos. No ambiente desenvolvido é possível testar estratégias de controle simples tais que o controle regulatório de malhas PID. Apesar de não ter sido abordado neste artigo, o ambiente também possibilita a implementação de estratégias avançadas de controle tais que DMC (*Dynamic Matrix Control*) para os quais existem restrições de otimização. Os dados de processo podem ainda ser salvos e usados para aplicações *off-line*, tais como dados experimentais utilizados para a estimativa de parâmetros. Além disso, a rede FF pode ser utilizada em diversas outras situações reais, permitindo por exemplo que controle do processo possa ser feito pelos próprios equipamentos de campo, ou ainda em aplicações em que é necessário realizar o diagnóstico de processo, já que permite a visualização e o acesso a toda a programação do controle a ser realizado.

O ambiente possui uma biblioteca de processos e controladores que está sempre em revisão e atualmente desenvolve-se uma conexão entre este e uma planta piloto da SMAR. Também planeja-se a inclusão do ambiente em uma plataforma *web* que permita a realização de experimentos a distância.



Atualmente este ambiente é usado com sucesso na disciplina de Controle Supervisório a qual faz parte da grade curricular dos cursos de Engenharia Eletrônica e de Engenharia da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no câmpus Curitiba.

## 7. REFERÊNCIAS

ABB 2012, Industrial IT system 800xA. Disponível em: <<http://www.abb.com/>> Acesso em 20 mar. 2012.

ARRUDA, L.V.R.; SWIECH, M.C.S; NEVES-JR., F. **Um método evolucionário para a sintronia de controladores PI/PID em processos multivariáveis**, Revista Controle & Automação, Vol.19 no.1, 2008.

ÅSTRÖM, K.J.; HÄGGLUND T. Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control, Vol. 14, n° 6, pp. 635–650. 2004

CAO, Y; SEYAB, R. Al. **Nonlinear Model Predictive Control Using Automatic Differentiation**, 2006. Disponível em: <<https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/1491>> Acesso em 30 mai. 2012.

CARVALHO, A. S; SILVA, R. C.; NASCIMENTOS, D. B. **Sistema de comunicação OPC para uma Coluna de Destilação Piloto**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia-SeGet, 2008, Resende-RJ.

FIELDBUS FOUNDATION 2012. Disponível em: <[www.fieldbus.org/](http://www.fieldbus.org/)> Acesso em 20 mai. 2012.

HELDMAN, D.R.; LUND, D. B. Handbook of Food Engineering. ed. 2, editora CRC Press, 2007. 1023 p.

HENRIQUE, A. M. Escalonamento no Fieldbus. Tese apresentada a Escola Politécnica de São Paulo, 2005.

KAFOORI, K. E.; MOTAMEDI, S. A., ZIAEI, A. **Foundation Fieldbus H1 Physical Layer Diagnosis improvement**. IEEE Africon, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org.ez48.periodicos.capes.gov.br/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5308122>> Acesso em: 08 mar. 2012.

MATLAB 2010, version 7.10.0 (R2010a), The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro. RJ: Prentice-Hall do Brasil, 1985.

PERPPERL-FUCHS 2012. Disponível em: <[www.pepperl-fuchs.com.br/](http://www.pepperl-fuchs.com.br/)>.

PUDA, A. P. **Padronização da comunicação através da tecnologia OPC**. 2008. Disponível em: <[www.isarj.org.br/artigos/Padronizacao-da-Comunicacao-atraves-da-Tecnologia-OPC.pdf](http://www.isarj.org.br/artigos/Padronizacao-da-Comunicacao-atraves-da-Tecnologia-OPC.pdf)> Acesso em 09 de mar. 2012.



SAMSON. Technical Information Foundation Fieldbus. Manual Técnico elaborado pela empresa SAMSON, 2011. Disponível em: <[http://www.samson.de/pdf\\_en/l454en.pdf](http://www.samson.de/pdf_en/l454en.pdf)> Acesso em: 20 mar. 2012.

SCOTT, A.V.; BUCHANAN, W.J. **Truly Distributed Control System using Fieldbus Technology**. Disponível em: <<http://researchrepository.napier.ac.uk/3994/>> Acesso em: 19 mar. 2012.

SMAR 2012. Disponível em: <<http://www.smar.com.br/>> Acesso em 20 mar. 2012.

VALENTAS, K. J.; ROTSTEIN, E.; SINGH, R. P. Handbook of Food Engineering. ed. 2, editora CRC Press, 2007. 718 p.

## **BRINGING THE GAP BETWEEN THEORY AND PRACTICE IN AUTOMATION AND CONTROL EDUCATION**

**Abstract:** *This paper proposes a training environment that integrates an industrial tool to supervisory control (800xA system from ABB), simulated model of several plants (running in Matlab) and an industrial network based on Foundation Fieldbus with commercial transmitters from SMAR. The information exchange among the several software tools and instruments is carried out by means of OPC technology. The main goal of the environment is to learn automation to under graduated students and industrial operators. The classes focus on transmitter configuration, regulatory control strategies, included but not limited to man-machine interface and process interlocking. In this environment, the students can easily implement, test and validate several control configuration associated to multivariable complex process. The processes are simulated in MATLAB however some process variables are furnished by the FF transmitters.*

**Key-words:** *MATLAB, Foundation Fieldbus, OPC, teaching of control and automation.*