



## DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA PILOTO TÉRMICA COM REDE WIRELESSHART PARA USO EM ENSINO E PESQUISA

**Rafael B. C. Lima** – [rafael.lima@ee.ufcg.edu.br](mailto:rafael.lima@ee.ufcg.edu.br)

**Henrique C. Barroso** – [henriquec.barroso@gmail.com](mailto:henriquec.barroso@gmail.com)

**Péricles R. Barros** – [prbarros@dee.ufcg.edu.br](mailto:prbarros@dee.ufcg.edu.br)

Universidade Federal de Campina Grande

Rua Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário

CEP: 58429-900 – Campina Grande – Paraíba

**Resumo:** É apresentada nesse trabalho a construção de uma planta térmica didática usada em aulas práticas para alunos de Engenharia de Controle e Automação. O módulo desenvolvido permite que os alunos tenham contato com situações o mais próximo possível da realidade industrial e conheçam aplicações para os conteúdos teóricos ministrados em sala de aula. A planta construída é centrada em um trocador casco tubos e tem como objetivo integrar diversas áreas de ensino nas disciplinas de sistemas de controle, eletrônica e redes industriais.

**Palavras-chave:** Trocador de calor, Planta piloto, WirelessHart, OPC.

### 1. INTRODUÇÃO

O módulo didático desenvolvido neste trabalho busca integrar os conteúdos teóricos e práticos ministrados nas disciplinas do curso de Engenharia de Controle e Automação, favorecendo a interdisciplinaridade e propiciando um ambiente de testes, para ensino e pesquisa, que seja o mais próximo possível do encontrado no chão de fábrica industrial.

Com o auxílio deste módulo é possível abordar tópicos em Redes Industriais usando o padrão WirelessHart, Hart e 4-20mA, porém a sua principal finalidade é o estudo prático de sistemas de controle em geral. É possível aplicar na planta uma série de estratégias de identificação e controle propostas nas disciplinas teóricas. Pode-se ainda explorar a interface homem-máquina por meio do desenvolvimento de sistemas de supervisão.

Trocadores de calor são estruturas mecânicas cuja finalidade é transferir calor de um fluido para outro de forma eficiente. Normalmente os fluidos não se misturam, sendo separados por uma barreira sólida. Tais dispositivos são empregados em inúmeras aplicações, tanto industriais como residenciais, por exemplo, condicionadores de ar, radiadores automotivos, termoeletrônicas, plantas químicas, refinarias de petróleo, indústrias alimentícias, etc.

Devido à tamanha importância dos mecanismos de troca de calor, foi proposta a construção da planta didática, centrada em um trocador de calor do tipo Casco-Tubos, esquematizado na Figura 1.

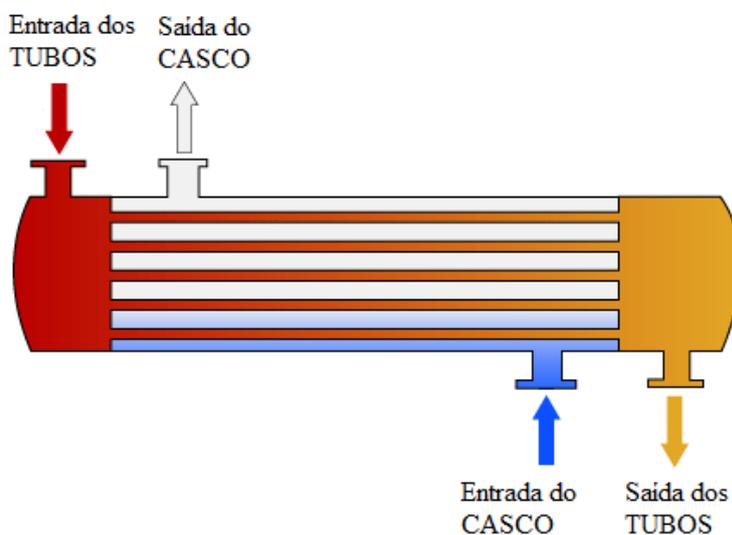


Figura 1 – Trocador de calor do tipo Casco-Tubos.

Foi escolhido o padrão de comunicação WirelessHART para o sistema de aquisição de dados. Tal tecnologia oferece um protocolo wireless robusto destinado a todo tipo de aplicações em medição, controle de processos e gerenciamento de ativos. Baseado no comprovado e conhecido protocolo de comunicação HART, o WirelessHART possibilita aos usuários um acesso rápido e fácil aos benefícios da tecnologia sem fio, sem perder a compatibilidade com dispositivos, ferramentas e sistemas HART existentes.

Com o intuito de padronizar os protocolos e diminuir a dependência de drives proprietários, utilizou-se o protocolo de comunicação OPC entre os equipamentos de controle e aquisição de dados.

## 2. ESTRUTURA FÍSICA DA PLANTA

A planta didática combina uma série de situações industriais nas quais são necessárias a aplicação de técnicas de identificação e controle. Estão presentes malhas de vazão, nível e temperatura, esquematizadas conforme a Figura 2.

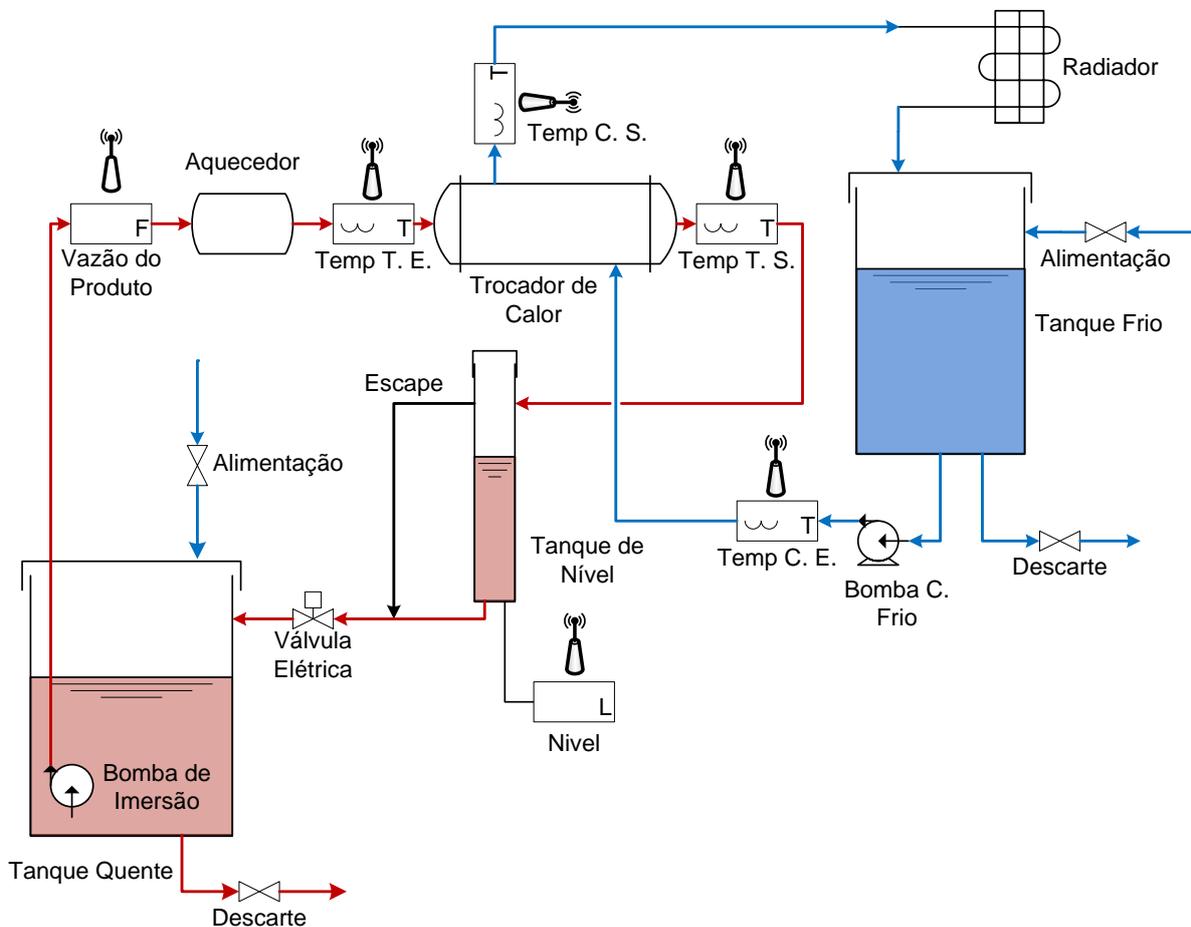


Figura 2 – Diagrama da planta didática.

Pode-se dividir a planta em duas regiões quanto a sua temperatura. O circuito quente, representado em vermelho e o circuito frio em azul. O objetivo principal do sistema de controle da planta é controlar a temperatura do fluido na saída dos tubos.

Por simplicidade, todos os fluidos da planta são água. O circuito quente inicia-se no tanque quente, a água é então bombeada por um aquecedor, é parcialmente resfriada no trocador de calor, passa por um tanque de nível e retorna para o tanque quente. O circuito frio por sua vez inicia-se no tanque frio, a água é aquecida no trocador, em seguida resfriada no radiador e volta para o tanque frio. As variáveis medidas e manipuladas são expostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis medidas e manipuladas.

Variável	Unidade	Tipo
Vazão do produto	Litros/hora	Medida
Nível do produto	mm	Medida
Temp. de entrada dos Tubos	°C	Medida
Temp. de saída dos Tubos	°C	Medida

Temp. de entrada do Casco	°C	Medida
Temp. de saída do Casco	°C	Medida
Tensão na bomba de imersão	Volts	Manipulada
Rotação da bomba c. fria	RPM	Manipulada
Tensão na resistência	Volts	Manipulada
Abertura da válvula de nível	%	Manipulada

Dentre as inúmeras combinações de entradas e saídas possíveis, escolheu-se três malhas de controle:

### 2.1. Malha de nível

É composta do tanque de nível, a medição de nível e a atuação na válvula de nível. Assumindo que a vazão de entrada do tanque é uma perturbação, o objetivo do controlador da malha é manter o nível num determinado valor de referência, atuando na válvula de saída. (Ver Figura 3)

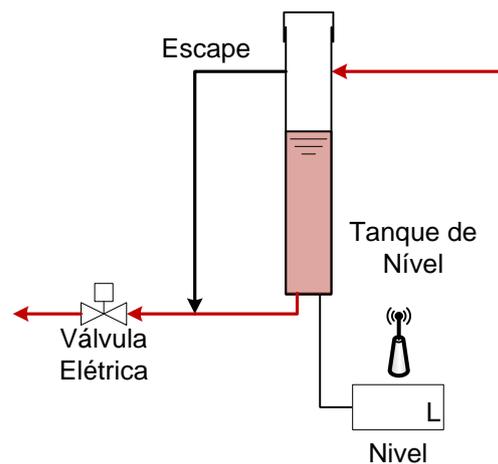


Figura 3 – Diagrama da malha de nível.

### 2.2. Malha de vazão

É composta da medição de vazão do produto e da atuação na bomba de imersão. O objetivo do controlador da malha é manter a vazão do produto num determinado valor de referência, atuando na tensão de entrada da bomba de imersão (Ver Figura 4)

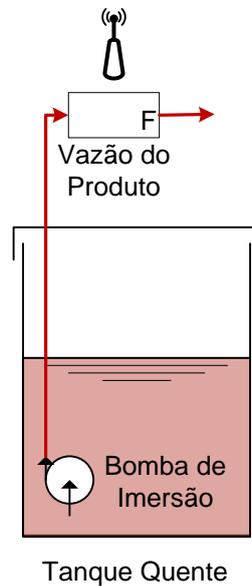


Figura 4 – Diagrama da malha de vazão.

### 2.3. Malha de temperatura

É composta da medição de temperatura da saída dos tubos e da atuação na bomba da corrente fria. Assumindo que a temperatura de entrada dos tubos, assim como a vazão do produto são perturbações, o objetivo do controlador da malha é manter a temperatura de saída dos tubos num determinado nível de referência, atuando na tensão de entrada da bomba da corrente fria.

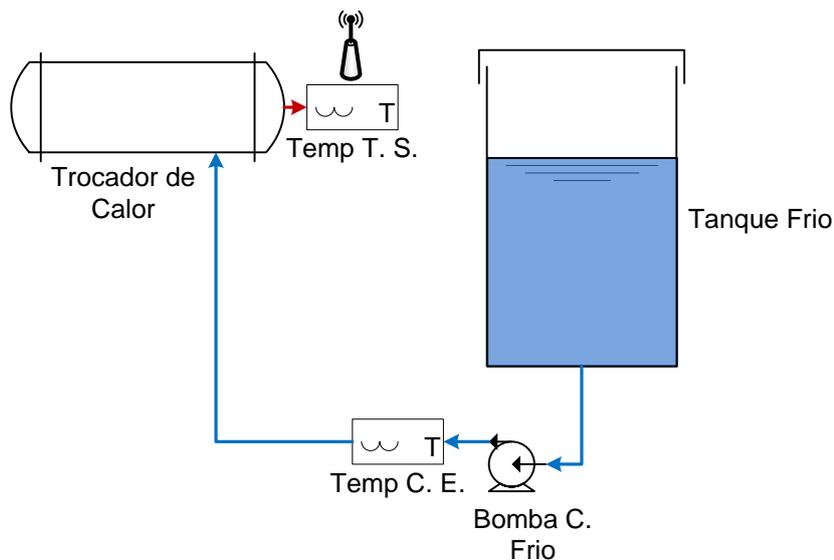


Figura 5 – Diagrama da malha de temperatura.

### 3. ESTRUTURA DE REDE DA PLANTA

Foi montada uma rede WirelessHart para a etapa de aquisição de dados, em redundância com uma rede Hart utilizada para configuração dos transmissores. Os atuadores por sua vez são comandados por saídas analógicas e digitais através do CLP 1769 da série CompactLogix do fabricante Allen-Bradley. É mostrado na Figura 6 uma foto real da planta.



Figura 6 – Foto da Planta didática.

#### 3.1. Protocolo WirelessHart

O padrão de comunicação sem fio WirelessHART se destaca como um dos pioneiros em termos de redes industriais wireless. Derivado do conhecido protocolo HART esse integra os benefícios das redes cabeadas convencionais à praticidade das novas tecnologias wireless sem perder confiabilidade ou segurança das informações.

##### *Simplicidade*

A tecnologia WirelessHART é robusta e de simples implementação. Ela disponibiliza os benefícios da tecnologia wireless de maneira rápida e fácil aos usuários, ao mesmo tempo em que mantém a compatibilidade com dispositivos, ferramentas e sistemas HART existentes.



- Facilidade de Instalação e Comissionamento
- Múltiplas opções de alimentação
- Redução de custos de instalação e fiação elétrica
- Coexistência com redes sem fio baseadas em outras tecnologias
- Suporte a topologias em estrela e em malha (mesh)
- Autorganização e auto-recuperação
- Ajusta-se a novos instrumentos adicionados

### ***Confiabilidade***

Instalações industriais com infraestruturas densas, freqüentes movimentações de grandes equipamentos, condições em constante mudança ou muitas fontes de interferência eletromagnética ou de radiofreqüência podem enfrentar problemas de comunicação. A tecnologia WirelessHART inclui diversos recursos que proporcionam 99,9% de confiabilidade integrada de ponta a ponta em todos os ambientes industriais.

- Rádios em conformidade com o padrão IEEE 802.15.4-2006
- Faixa de freqüência de 2,4 GHz isenta de licença
- “Saltos” entre canais de freqüência para evitar interferências
- Testes de avaliação de canais livres para os canais disponíveis
- Criação de lista negra para evitar canais já utilizados
- Monitora a degradação de caminhos e se auto-recupera
- Encontra caminhos alternativos para contornar obstruções
- Rede mesh e múltiplos pontos de acesso

### ***Segurança***

A tecnologia WirelessHART emprega medidas de segurança sólidas para proteger a rede e preservar os dados em todos os momentos. Estas medidas incluem as mais recentes técnicas de segurança para proporcionar os mais altos níveis de proteção disponíveis.

- Criptografia AES de 128 bits padrão
- Chave de criptografia exclusiva para cada mensagem
- Integridade de dados e autenticação de dispositivos
- Alternância de chaves de criptografia utilizadas para acessar a rede
- Salto de canais (de freqüência)
- Múltiplos níveis de chaves de segurança para acesso
- Indicação de tentativas de acesso fracassadas
- Notificação de falhas na integridade de mensagens
- Notificação de falhas de autenticação
- Segurança contra ataques de internet do tipo Wi-Fi

É ilustrado na Figura 7 a arquitetura da rede de sensores utilizada. Para medições de temperatura foi utilizado o transmissor Rosemount 648 do fabricante Emerson Process e para medições de vazão e nível foi utilizado o transmissor diferencial de pressão Rosemount 3051 também da Emerson Process.

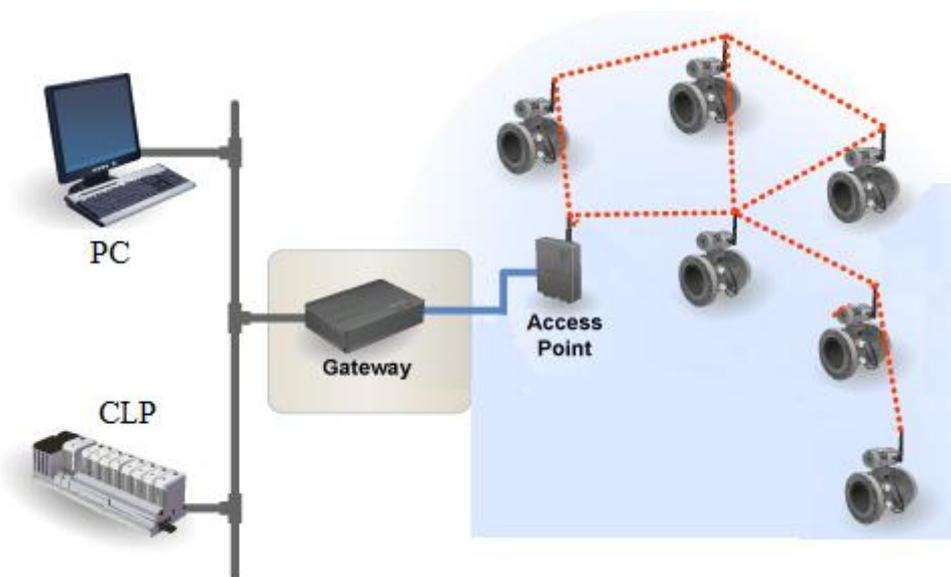


Figura 7 – Arquitetura da rede WirelessHart utilizada.

### 3.2. Protocolo OPC

OPC (OLE for Process Control) é um conjunto de protocolos de comunicação industrial especificamente desenvolvido para possibilitar um alto grau de interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, dispensando a necessidade de drives específicos para cada aplicação.

A comunicação entre o gateway WirelessHart, o CLP e o PC de supervisão ocorre por meio de uma arquitetura cliente servidor OPC. É ilustrado na Figura 8 o fluxo de informações na planta.

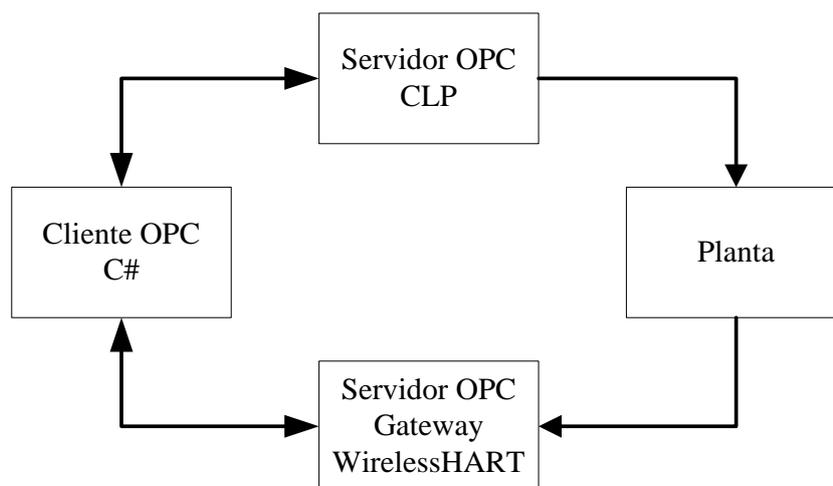


Figura 8 – Fluxo de informações.

#### 4. INTERFACE HOMEM MÁQUINA

A planta desenvolvida dispõe de uma interface homem máquina da Allen-Bradley modelo PanelView Plus 700. Foi implementado um software de supervisão que monitora e controla as principais funcionalidades do sistema.

Observa-se na Figura 9 que todas as variáveis são monitoradas de forma intuitiva, de modo a refletir o estado atual da planta real.

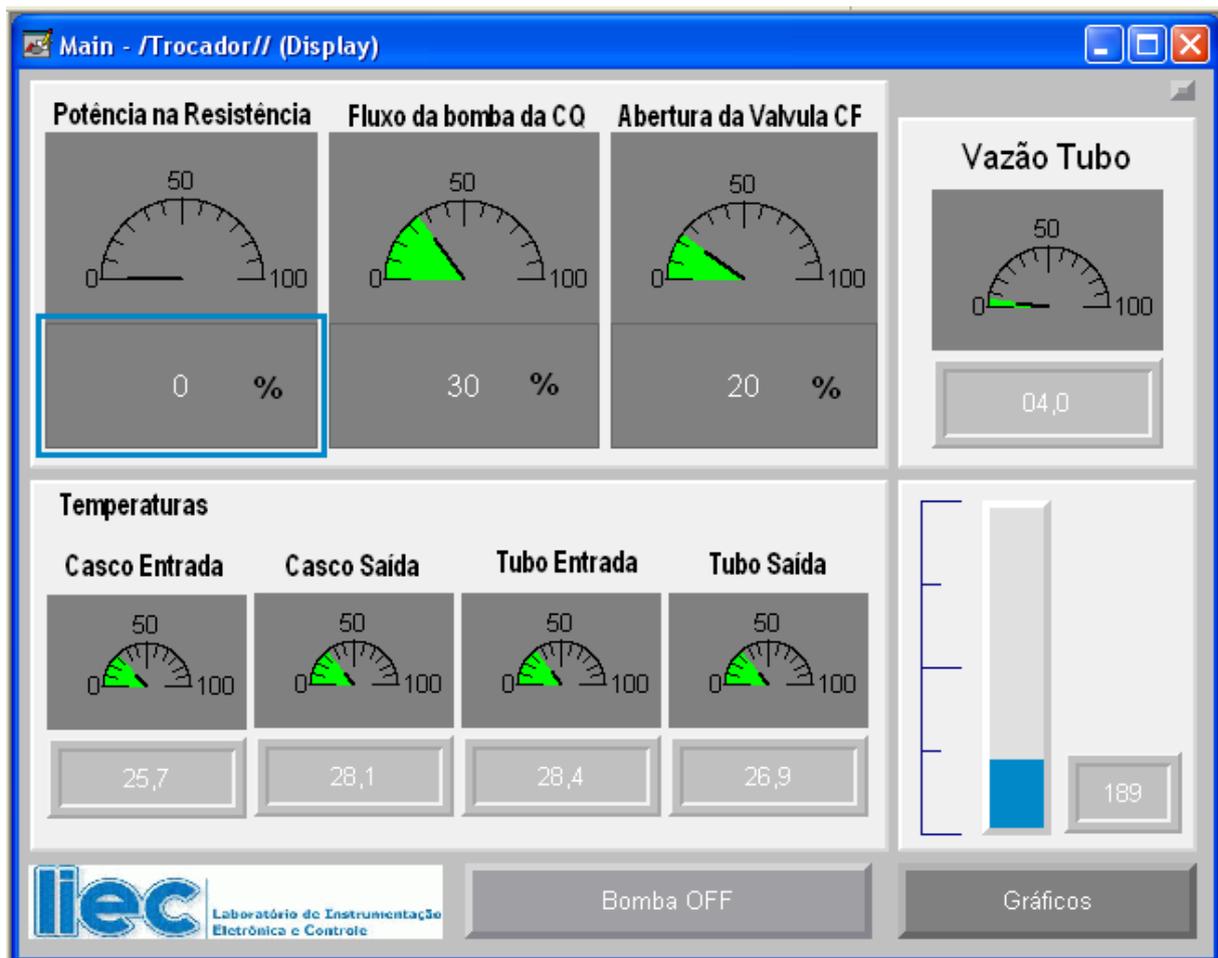


Figura 9 – Tela principal do supervisório.

#### 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram escolhidos dois exemplos experimentais para ilustrar as potencialidades da planta didática. Um experimento na malha de nível e outro na malha de temperatura.

### 5.1. Malha de nível

Assumindo que o sistema estava em um ponto de operação estável, foi aplicada uma excitação em degrau na abertura da válvula de saída do tanque de nível. A abertura passou de 30% para 25% o que perturbou o nível da planta conforme a Figura 10.

A partir dos dados coletados foi identificado, por mínimos quadrados, um modelo aproximado para o comportamento da planta. Tradicionalmente plantas de nível podem ser aproximadas por um modelo integrativo com atraso, conforme a Equação 1

$$G(s) = \frac{-0.0076e^{-33s}}{s} \quad (1)$$

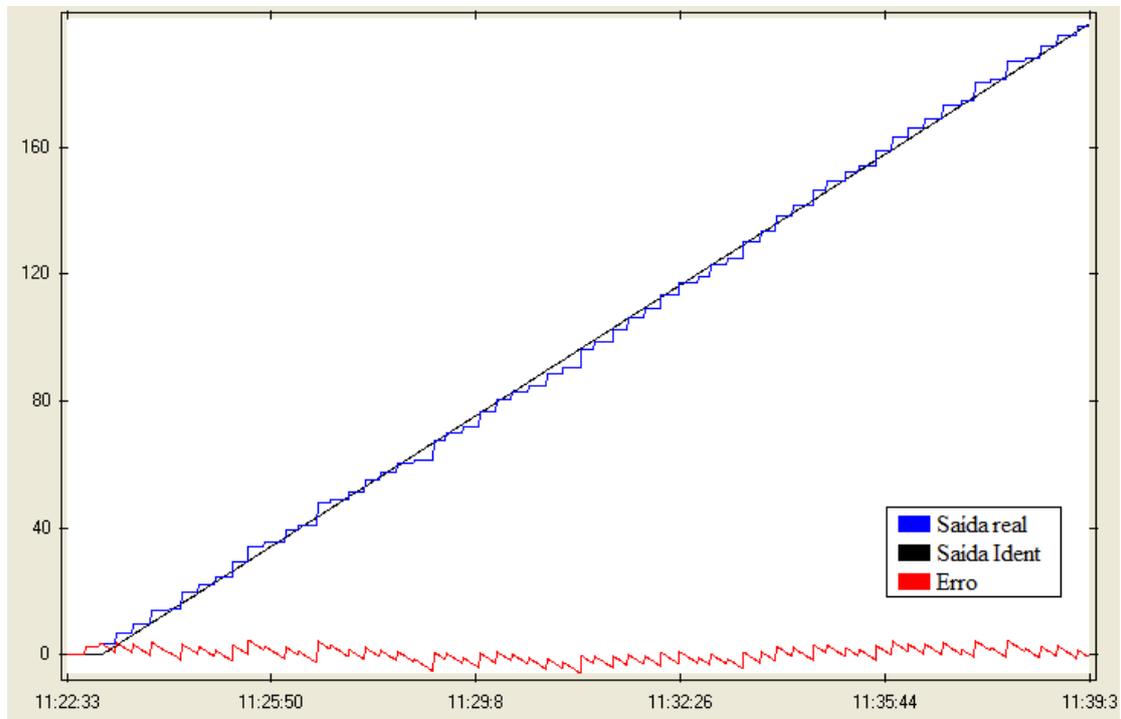


Figura 10 – Resposta ao degrau da malha de nível.

A tendência do nível é subir até que o fluxo de saída seja equilibrado pelo aumento da coluna de líquido no tanque. Como está sendo trabalhado numa faixa estreita de operação o sistema pode ser aproximado por um integrador.

### 5.2. Malha de temperatura

Assumindo que o sistema estava em um ponto de operação estável, foi aplicada uma excitação em degrau no fluxo da bomba do circuito frio. A vazão passou de 60% para 30% o que perturbou a temperatura de saída do tubo conforme a Figura 11.

A partir dos dados coletados foi identificado, por mínimos quadrados, um modelo de primeira ordem com atraso, conforme a Equação 2.

$$G(s) = \frac{-0.042e^{-19s}}{(146.1s + 1)} \quad (2)$$

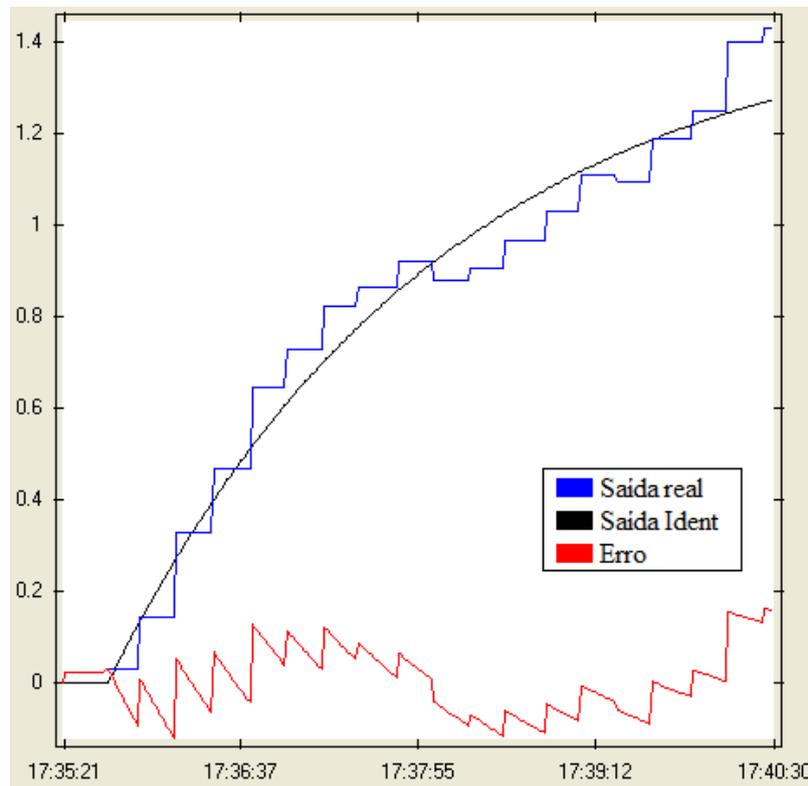


Figura 11 – Resposta ao degrau da malha de temperatura.

Com a diminuição do fluxo de fluido refrigerante no casco, é natural que a temperatura do tubo após a troca de calor seja crescente até um determinado regime permanente, conforme a Figura 11

## 6. CONCLUSÕES

Foi mostrado nesse trabalho que é possível elaborar uma planta piloto com o objetivo de ampliar as fronteiras da sala de aula e proporcionar um ambiente muito próximo do encontrado em situações industriais reais. O sistema proposto pode ser utilizado nas disciplinas de identificação, controle, redes industriais, automação entre outras. Devido a complexidade da montagem, diversos aspectos interdisciplinares podem ser abordados sem perder a conexão direta com os conteúdos teóricos abordados em sala de aula.



## 7. REFERÊNCIAS

Compact Logix user manual, Disponível em:

<<http://ab.rockwellautomation.com/programmable-controllers/compactlogix>> Acesso em: 21 maio 2014

Isermann, R e Munchhof, M. Identification of Dynamic Systems, Springer 2011

Mikleš, J. e Fikar, M. Process Modelling, Identification, and Control, Springer 2007

OPC Unified Architecture. Disponível em:

< <https://opcfoundation.org> > Acesso em: 21 maio 2014.

Roffel, B e , B. Process Dynamics and Control Modeling for Control and Prediction, John Wiley & Sons, Ltd 2006

Válvula Belimo, Disponível em:

<http://www.belimo.com.br/> Acesso em: 21 maio 2014

WirelessHART protocol Disponível em:

<<http://www.hartcomm.org/>> Acesso em: 21 maio 2014.

### **DEVELOPMENT OF A PILOT SCALE THERMAL PLANT WITH A WIRELESSHART NETWORK FOR EDUCATIONAL PURPOSES**

**Abstract:** *It is presented in this paper how to build a thermal plant used in teaching students of Control Engineering and Automation. The developed module allows students to have contact with industrial applications that are close to theoretical content taught in the classroom. The plant is centered on a heat exchanger and aims to integrate various areas of teaching in the disciplines of control systems, electronics and industrial networks.*

**Keywords:** *Heat exchanger pilot scale plant, WirelessHART, OPC.*