

INSTRUMENTAÇÃO HÍBRIDA E CONTROLE VIA REDE DE UMA PLANTA DE CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Eliane Crepaldi Rodrigues, eliane.crepaldirodrigues@yahoo.com.br

Raul Katayma Mansano, rkmansano@yahoo.com.br

Thiago de Almeida Oliveira, thiago3008@gmail.com

Eduardo Paciência Godoy, epgodoy@sorocaba.unesp.br

GASI-Grupo de Automação e Sistemas Integráveis, UNESP- Univ. Estadual Paulista, Sorocaba-SP

Paulo Ulisses Marques Liduário, paulo_liduario@hotmail.com

Diego Colón, diego@lac.usp.br

LAC-Laboratório de Automação e Controle, USP- Universidade de São Paulo, São Paulo-SP

Resumo: Na automação industrial, o uso de redes de comunicação tem sido importante para a melhoria das ações de controle e de monitoramento. Objetiva-se com as redes permitir uma maior integração entre o nível de gerenciamento e supervisão da planta industrial com os controladores e instrumentos de campo. A tecnologia de redes de sensores sem fio vem conquistando espaço, devido às vantagens associadas como remoção de cabos e flexibilidade. Desta forma, uma solução de instrumentação híbrida abrangendo a coexistência de redes com fio e sem fio se torna necessária. Este trabalho consiste na instrumentação híbrida e controle via rede de uma planta didática de controle de processos disponível na UNESP Sorocaba, originando uma melhoria para o uso deste equipamento didático que atualmente não permite a comunicação em rede. Esta planta didática possui malhas de controle configuráveis e quatro variáveis devem ser monitoradas e controladas: o nível de água de um reservatório, a vazão de água na tubulação, a pressão num tanque e a temperatura da água. A instrumentação híbrida consiste no sensoriamento sem fio (medição e transmissão do dado) via rede ZigBee das variáveis controladas das malhas de controle e na atuação (recepção dos sinais de controle e acionamento) via rede baseada no protocolo CAN sobre os processos da planta. Uma interface de supervisão, desenvolvida no ambiente LabVIEW e com capacidade de comunicação nas redes ZigBee e CAN, permite a visualização dos resultados obtidos e a análise desempenho dos controladores PID projetados para cada malha de controle da planta didática.

Palavras-chave: Planta de processos; ZigBee; CAN; Instrumentação Híbrida.

1. INTRODUÇÃO

Na automação industrial, o uso de redes de comunicação tem sido importante para a melhoria das ações de controle e de monitoramento. Objetiva-se com as redes permitir uma maior integração entre o nível de gerenciamento e supervisão da planta industrial com os controladores e instrumentos de campo (SAUTER, 2011). A instrumentação em rede constitui um conceito importante no domínio industrial, pois permite a distribuição do processamento e controle pelos instrumentos que estão ligados à rede. Atualmente a comunicação em redes como Profibus, Modbus e CAN tornou-se um requisito para implementação de sistemas de automação e controle (MOYNE & TILBURY, 2007). Aplicações recentes de controle distribuído demonstram o surgimento de uma nova abordagem para a utilização de redes industriais. Nessa abordagem, o controlador e a planta ficam fisicamente separados e são conectados por uma rede, sendo denominada de Sistema de Controle via Redes (NCS - *Networked Control System*) (YANG, 2006). NCS representa a evolução das arquiteturas de controle em rede, fornecendo maior modularidade e descentralização do controle, facilidade de diagnóstico e manutenção e menor custo (GUPTA & CHOW, 2010).

Dentro do contexto de redes de comunicação, as redes de sensores sem fio têm sido tema de intensa pesquisa recentemente (SAUTER et al., 2010). Essas redes sem fio possuem o potencial de revolucionar vários segmentos da economia e atividades através de aplicações que vão desde monitoramento ambiental e agrícola, controle de processos industriais, automação em transporte, redes inteligentes de energia e até aplicações em saúde (BARONTI et al., 2007). Os sistemas sem fio podem ser usados também em lugares de difícil acesso e remotos, onde a capacidade de roteamento do protocolo possibilita a instalação de dispositivos wireless sem a necessidade de equipamentos de repetição.

Avanços recentes na tecnologia de redes de sensores sem fio levaram ao desenvolvimento de dispositivos multifuncionais de baixo custo e baixo consumo de energia. Com esses avanços, uma nova tendência surgiu com o uso de redes sem fio em NCSs (JOHANSSON, 2011), promovendo interoperabilidade entre redes com fio já existentes e novas redes sem fio. Estes sistemas são conhecidos como sistema de controle via redes sem fio (*WNCS - Wireless*

Networked Control Systems). WNCSS ultimamente têm atraído esforços de pesquisa e desenvolvimento, conduzidos principalmente pela crescente evolução e padronização de redes sem fio como ZigBee, Bluetooth e Wi-Fi (PAAVOLA & LEIVISKA, 2010). Muitas características interessantes inerentes às redes sem fio estão motivando o desenvolvimento de WNCSS (NAGHSHTABRIZI & HESPANHA, 2011). NCSs usando redes sem fio podem eliminar todos os problemas decorrentes de fios no sistema, como o risco de cortar o barramento de comunicação que liga todos os dispositivos. WNCSS podem operar em uma ampla gama de ambientes, permitindo a interoperabilidade entre sistemas e fornecendo vantagens em termos de potência, mobilidade e flexibilidade quando comparado ao sistema com fio (FISCHIONE et al. 2011). Outra vantagem para WNCSS é a viabilidade de instalação em lugares onde cabeamento é impossível ou inviável, tais como sensores em ambientes perigosos e instalações de segurança intrínseca (PAAVOLA & LEIVISKA, 2010).

Entre as soluções de redes sem fio, o protocolo ZigBee (BARONTI et al., 2007), desenvolvido pela ZigBee Alliance para aplicações wireless de baixo custo e baixo consumo de energia tem obtido destaque e uso crescente em aplicações de instrumentação industrial. A tecnologia utilizada é comparável às redes Wi-Fi e Bluetooth, porém possui as vantagens de desenvolver menor consumo de energia por alcance (cobertura) e de a comunicação entre duas unidades poder ser repetida sucessivamente pelas unidades existentes na rede até atingir o destino final (rede mesh).

Baseando-se nas necessidades e oportunidades citadas, este trabalho desenvolve a instrumentação e controle via redes CAN e ZigBee de uma planta didática de controle de processos composta por malhas de controle de nível, temperatura, vazão e pressão.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Planta Didática de Controle de Processos FESTO

Em variados processos industriais, é comum haver necessidade de controlar diferentes variáveis. Normalmente, não são sistemas de controle isolados, mas interligados, formando complexas plantas industriais. Entretanto, não importa quão complexo seja o sistema, ele é sempre composto de subsistemas mais simples. A planta de controle de processos da empresa FESTO, cuja imagem é mostrada na Fig. 1, é um exemplo desse tipo de sistema e foi usada como base para o desenvolvimento deste trabalho.

A planta FESTO possui malhas de controle configuráveis e quatro variáveis podem ser controladas: o nível de água de um reservatório, a vazão de água na tubulação, a pressão num tanque e a temperatura. Não é possível realizar o controle das quatro variáveis ao mesmo tempo, pois para cada tipo de controle, há uma configuração da planta diferente (que deve ser mudada manualmente). Os seguintes sensores são usados: sensor ultrassônico para medição de nível, sensor optoeletrônico para medição de vazão, sensor piezoresistivo para medição de pressão e sensor PT100 para medição de temperatura. Os sinais analógicos de todos os sensores são padronizados em 0 a 10VDC. Os atuadores utilizados são: bomba d'água centrífuga e válvula proporcional com sinal de controle analógico de 0 a 10VDC e dispositivo aquecedor com acionamento digital. Há ainda várias entradas e saídas digitais referentes a sensores e atuadores que podem ser monitorados para intertravamentos (por exemplo, para evitar transbordamento dos tanques). Todos os equipamentos da planta estão disponíveis em um dispositivo de conexão, incluindo borneira de I/Os, conversores de sinais dos sensores e módulos de acionamento dos atuadores.

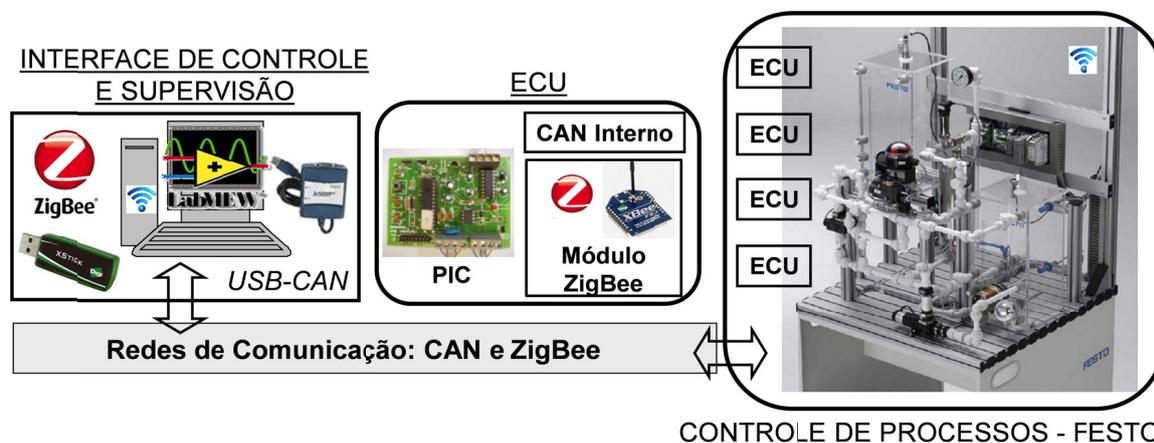


Figura 1. Arquitetura do Sistema de Controle via rede da Planta de Processos.

Para possibilitar o uso da planta didática FESTO neste trabalho, foi necessário adaptá-la para uso como um WNCS, onde a comunicação entre o controlador e a planta (sensor e atuador) é realizada através de redes de comunicação. Essa adaptação consistiu na inclusão de uma unidade de controle (ECU) para cada variável controlada da planta, que seria responsável pelas comunicações nas redes CAN e ZigBee, resultando na arquitetura da Fig.1. Para melhor entendimento da estrutura da Fig. 1, cada WNCS é composto de um controlador implementado num computador desktop e por um conjunto sensor, planta e atuador, disponíveis na planta de controle FESTO. Conforme a arquitetura de um WNCS, o controlador está fisicamente separado da planta e os dados de medição (sensor) e atuação (atuador) necessitam ser transmitidos através de mensagens enviadas nas redes de comunicação definidas. Portanto tanto o controlador quanto as ECU das malhas de controle de controle (sensor e atuador) necessitam ter a capacidade de comunicação através da rede CAN (com fio) e da rede ZigBee (sem fio).

2.2. Interface de Controle e Comunicação com Rede CAN

Para o desenvolvimento experimental deste trabalho, foram utilizadas interfaces eletrônicas ou ECU (GODOY, 2011) compostas por um microcontrolador com controlador CAN incorporado, além de outros dispositivos para comunicação e interface com sensores e atuadores (I/O, RS232, SPI, I2C). Essa ECU, mostrada na Fig. 2, é responsável pelas tarefas de medição dos sensores (sinal analógico 0 a 10VDC) e acionamento dos atuadores (sinal analógico 0 a 10VDC e digital) da planta a ser controlada e comunicação através das redes CAN e ZigBee.

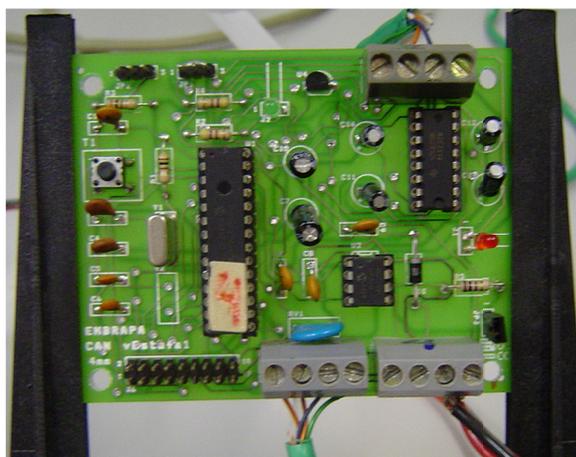


Figura 2. Interface microcontrolada com comunicação CAN

2.3. Módulos XBee

A incorporação da comunicação ZigBee a essa ECU foi realizada através de módulos de comunicação ZigBee (XBee), usando sua API serial RS-232 de comunicação. Módulos de comunicação sem fio XBee são projetados para operar dentro do protocolo ZigBee, mantendo as necessidades de RSSF de baixo custo e baixa potência. Por se tratar de dispositivos de pequeno consumo de corrente, reduzido custo e tamanho, e dispor das necessidades de comunicação entre dispositivos remotos, estes módulos foram escolhidos para realizar a comunicação sem fio entre os sensores e o sistema central de supervisão.

Os módulos ZigBee possuem para utilização cinco portas I/O dentre as quais três podem ser entradas para conversor A/D. O módulo pode ser configurado para amostrar a leitura dessas portas a um período estabelecido de 50 a 65535ms (XBEE, 2013). Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados módulos XBee Série 2 com antena tipo Whip como nós sensores e um módulo XBee-XStick Série 2 como módulo coordenador.

O uso de computadores desktop para o desenvolvimento do controlador foi definido visando facilitar a implementação digital dos mesmos e viabilizar a criação da interface de supervisão objetivada. Nesse computador são utilizadas interfaces de comunicação USB para redes CAN (USB-CAN) e ZigBee (XStick).

Para a comunicação sem fio pelos módulos ZigBee, foi definida a existência de um módulo coordenador (XStick – computador) que faz a coleta das informações dos módulos sensores (ECU) e as envia a uma interface de supervisão e controle. Esta interface processa as informações coletadas via ZigBee, implementa os controladores PID e transmite via rede CAN as respectivas ações de controle para as ECUs que acionam os atuadores. Na interface de supervisão são

mostradas as variáveis monitoradas e controladas, além de o operador ter a possibilidade de mudança do setpoint e parâmetros de sintonia dos controladores PID projetados para cada malha de controle da planta.

2.4. Estrutura de cada WNCS da Planta Didática

Para cada malha de controle da planta de processos FESTO (variáveis nível, vazão, temperatura e pressão), foi implementado o esquemático apresentado na Fig. 3. De acordo com a Fig. 3, em cada um dos WNCS da planta de processos FESTO, o sensor periodicamente realiza a medição da planta e envia a informação através de mensagens na rede ZigBee para o controlador. Após o recebimento da mensagem, o controlador calcula o sinal de controle através do algoritmo de controle configurado e envia a informação pela rede CAN para o atuador. O atuador então recebe a mensagem e atua na planta do sistema. Adicionalmente, foram necessários o desenvolvimento de circuitos eletrônicos para condicionamentos dos sinais, fornecimento da potência de acionamento adequados e adaptação dos sinais elétricos entre os diferentes circuitos (sensor - XBee e ECU –atuador). Tanto o controlador como o atuador operam baseado em evento.

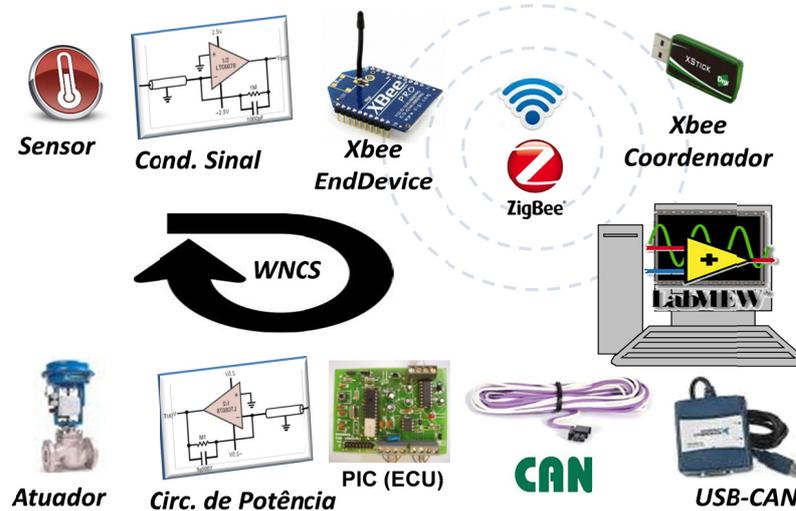


Figura 3. Esquemático de Implementação dos WNCS

3. DESENVOLVIMENTO E PROJETO

3.1. Controlador PID Discreto

Os controladores usados em controle de processos podem ter diversas estruturas. A escolha de uma estrutura pode determinar quão bem uma planta pode ser controlada. A planta impõe alguns requisitos sobre o controlador utilizado e a escolha do controlador e sua sintonia podem definir o melhor desempenho possível que pode ser alcançado.

Conforme citado, neste trabalho serão controladas as quatro variáveis (não necessariamente ao mesmo tempo): nível, vazão, temperatura e pressão. Entre as diversas técnicas de controle são utilizadas em plantas industriais, a mais comum é o controle multimalha Proporcional + Integrativo + Derivativo (PID).

Em aplicações de controladores PID para NCS, algumas modificações na estrutura do controlador e na forma de implementação de seu algoritmo têm sido propostas e discutidas. O único conhecimento já consolidado e difundido é a necessidade do desenvolvimento de controladores PID no tempo discreto, devido ao fato de, em NCS, as medições serem transmitidas através de mensagens na rede de comunicação e o controlador ser discretizado de acordo com esse período de amostragem das mensagens (ERIKSSON, 2008).

Com base nestas informações, neste trabalho foi utilizado um controlador PID discreto para os WNCS da planta FESTO. O controlador PID usado no software LabVIEW foi o instrumento virtual (VI - Virtual Instrument) PID (NI, 2013) que possui as seguintes modificações:

- Aproximação trapezoidal para cálculo da ação integrativa;
- Ponderação de referência na ação derivativa;
- Anti-Windup da ação integral.

O sinal de entrada usual de cada parte (proporcional, integrativo e derivativo) do controlador PID é o erro entre o sinal de referência e o sinal de saída medido.

A modificação na parte integrativa de controladores PID chamada de Anti-Windup, consiste em atenuar o efeito produzido pela saturação do sinal de controle no desempenho do sistema (ASTRÖM & HÄGGLUND, 1995). Um das formas de aplicar essa ação é evitar que o modo integral mantenha o atuador saturado mesmo quando o erro diminui.

3.2. Métodos empíricos de sintonia de PID

Em determinados casos, devido a alguma restrição, quando não se tem um modelo analítico da planta a ser controlada, podem ser utilizadas abordagens práticas, a partir de métodos empíricos para se determinar um controlador aplicável ao sistema (ASTRÖM & HÄGGLUND, 1995). Ziegler e Nichols propuseram um método de sintonia baseado na resposta da planta a uma entrada em degrau. Para processos que podem ser caracterizados por três parâmetros, dados pelo ganho K, pelo atraso de transporte ou θ e pela constante de tempo τ , os parâmetros do controlador podem ser determinados facilmente através de formulas de sintonia.

A sintonia pelo método ZN, é considerada boa para processos em que o tempo morto não é muito significativo, apresentando fator de incontabilidade (θ/τ) entre 0.1 e 1. Definindo o parâmetro a de acordo com a Eq. (1):

$$a = \frac{K\theta}{\tau} \tag{1}$$

Os ganhos do controlador PID para o método de Ziegler-Nichols são obtidos de acordo com a Tab. 1:

Tabela 1. Parâmetros do controlador PID segundo o método de Ziegler-Nichols.

Controlador	Kp	Ti	Td
P	1/a		
PI	0.9/a	3 θ	
PID	1.2/a	2 θ	$\theta/2$

O método de Chien, Hrones e Reswick (CHR) é uma modificação do método de Ziegler-Nichols, baseado no amortecimento do sistema em malha fechada. Este método é usado para que a resposta apresente pouco, ou nenhum sobressinal, sendo conhecidos pelos critérios de “resposta mais rápida sem sobressinal” e “resposta mais rápida com sobressinal de 20%”. Os parâmetros do PID são determinados de acordo com a Tab. 2:

Tabela 2. Parâmetros do controlador PID segundo o método CHR

Sobressinal	0%			20%		
	Kp	Ti	Td	Kp	Ti	Td
P	0.3/a			0.7/a		
PI	0.35/a	1.16 τ		0.6/a	τ	
PID	0.6/a	τ	$\theta/2$	0.95/a	1.357 τ	0.473 θ

O método de Cohen-Coon, também baseado na resposta em malha aberta do sistema, tem como principal critério de projeto a rejeição de perturbação de carga. Desta forma, o ganho integral é maximizado, reduzindo o erro integral devido à perturbação de carga.

O método apresenta desempenho razoável para fatores de incontabilidade com valores entre 0.6 e 4.5, entretanto com robustez ruim para valores menores que 2. Trata-se de um método desenvolvido para sistemas com tempo morto elevado. Os parâmetros do controlador são obtidos de acordo com a Tab. 3.

Tabela 3. Parâmetros do controlador PID segundo o método de Cohen-Coon.

Controlador	Kp	Ti	Td
P	$\frac{1}{a} \left(1 + \frac{0.35\tau}{1-\tau} \right)$		

PI	$\frac{0.9}{a} \left(1 + \frac{0.92\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{3.3 - 3\tau}{1 + 1.2\tau} \theta$	
PD	$\frac{1.24}{a} \left(1 + \frac{0.13\tau}{1-\tau}\right)$		$\frac{0.27 - 0.36\tau}{1 - 0.87\tau} \theta$
PID	$\frac{1.35}{a} \left(1 + \frac{0.18\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{2.5 - 2\tau}{1 - 0.39\tau} \theta$	$\frac{0.37 - 0.37\tau}{1 - 0.81\tau} \theta$

3.3. Índices de Desempenho

O primeiro critério é definido como Integral absoluta do erro (*integral of the absolute magnitude of the error*)-IAE, como mostrado na Eq. (2). O qual é útil para implementação em computador, mas não pode ser utilizado para otimizar sistemas altamente subamortecidos ou sobreamortecidos.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \tag{2}$$

Outro critério é o ITAE-Integral do tempo multiplicado pelo erro absoluto (*integral of time multiplied by the squared error*), como mostrado na Eq. (3).

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \tag{3}$$

Este critério é utilizado para reduzir a contribuição de grandes erros iniciais no valor da integral de desempenho, bem como enfatizar os erros que acontecem posteriormente na resposta.

3.4. Projeto de Controle

Após a definição da estrutura da planta didática FESTO de controle via WNCS (Fig. 3), foi realizado o projeto das malhas de controle da plataforma. Esse projeto consistiu no desenvolvimento de controladores PID para todos os WNCS da plataforma de forma a se atingir requisitos de controle. A malha de controle de temperatura do kit FESTO não permite uma variação na potência do dispositivo de aquecimento, de forma que somente controle on/off pode ser implementado.

As malhas de controle de vazão e pressão de líquido apresentam uma dinâmica muito rápida, sem tempo morto. Para essas malhas, o método utilizado na sintonia do PID foi o método manual. Para calcular os parâmetros dos PIDs da malha de nível foram utilizados os seguintes métodos empíricos: método manual, método de Ziegler-Nichols, método de CHR e método de Cohen Coon.

Para obter os parâmetros utilizados em cada método, foi usado a resposta do WNCS a uma entrada degrau. Dessa forma, foi aplicado um degrau de 5 VDC na entrada do sistema (atuador – bomba d’água) e foram coletados os gráficos da resposta do sistema em malha aberta (nível do reservatório). A resposta de nível pode ser vista na Fig. 4.

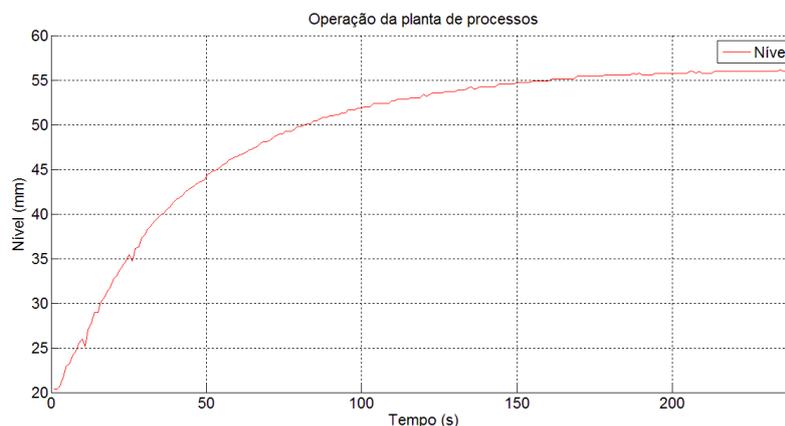


Figura 4. Resposta ao degrau do sistema em malha aberta para nível.

A partir do gráfico de malha aberta de nível foram obtidos os parâmetros mostrados na Tab. 4.

Tabela 4. Parâmetros obtidos da resposta do sistema em malha aberta

τ	Θ	K
24	1	11,2

Em que τ é a diferença entre o tempo em que o sistema atinge 63% do valor final da resposta e o tempo morto, Θ é o tempo morto e K é a razão entre o valor máximo da resposta e o degrau aplicado (tensão).

Repetindo os procedimentos de coleta de resposta em malha aberta para todas as variáveis e utilizando as equações de sintonia das Tab. 1, Tab. 2 e Tab.3 para calcular os parâmetros do controlador, foram obtidos os parâmetros mostrados na Tab.5.

Tabela 5. Parâmetros do controlador PI para cada variável e método.

	Nível				Vazão	Pressão
	Ziegler Nichols	CHR	Cohen Coon	Manual	Manual	Manual
K_p	1,929	0,750	6,197	3	1,8	0,025
T_i	3,330	27,840	0,698	1,1	1	0,5

4. RESULTADOS

Após a obtenção dos parâmetros dos PIDs, foram obtidos os gráficos de cada variável em malha fechada. Os setpoints foram variados ao longo do tempo, fazendo com que o controle assumisse uma característica de problema servomecanismo. Foram medidos os índices de desempenho ITAE e IAE para cada variável, os quais podem ser vistos na Tab. 6.

Tabela 6. IAE e ITAE para os diferentes métodos

	Nível				Pressão	Vazão
	Manual	ZN	CHR	Cohen Coon	Manual	Manual
IAE	27123,6	27216,9	27725	26826,4	2951,35	5830,11
ITAE	9,75E+06	9,77E+06	9,97E+06	9,65E+06	175415	347028

O gráfico da resposta em malha fechada da vazão com o PI definido por método manual é mostrado na Fig. 5.

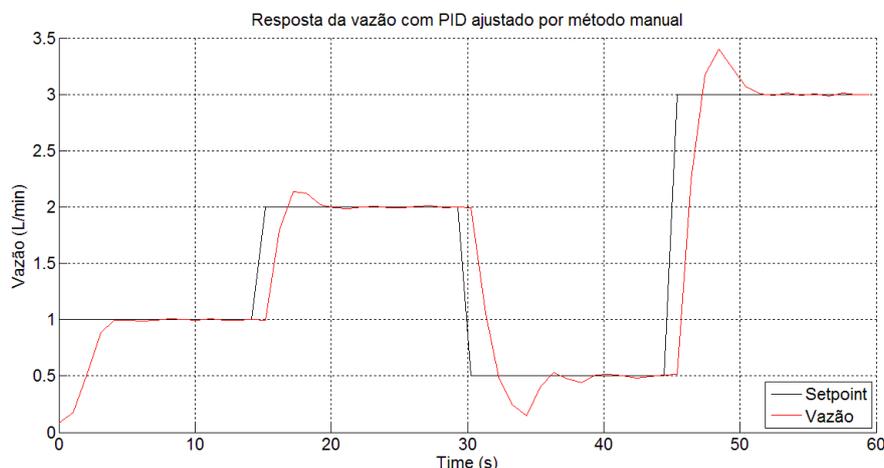


Figura 5. Resposta da vazão com PID ajustado com método manual

Observa-se na Fig. 5 que para valores mais altos de setpoint, próximos ao valor máximo da variável, no caso 3,5L/min, o overshoot apresenta valor mais alto que para valores mais baixos. O tempo de acomodação mostrou-se satisfatório, bem como o tempo de subida, ou seja, o PI apresentou uma resposta rápida.

Na Fig. 6 pode ser visto o gráfico da resposta da pressão com PI sintonizado por método manual.

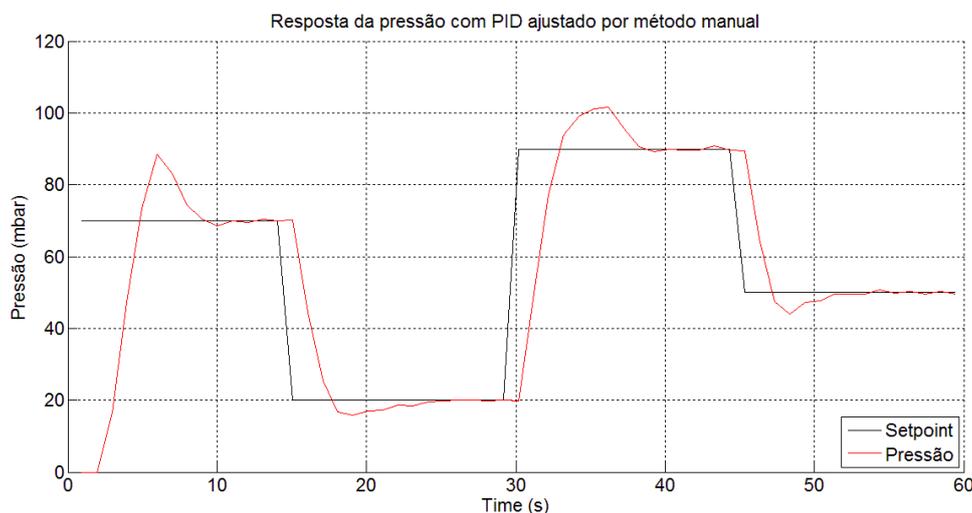


Figura 6. Resposta da pressão com PID ajustado por método manual

Observa-se na Fig. 6 que o overshoot para o sistema é alto no problema regulatório. O tempo de subida mostrou-se relativamente baixo e o tempo de estabilização ficou razoavelmente alto.

Na Fig. 7 é mostrado o gráfico da resposta do nível para cada método de sintonia de PID e os valores do índice IAE para cada caso.

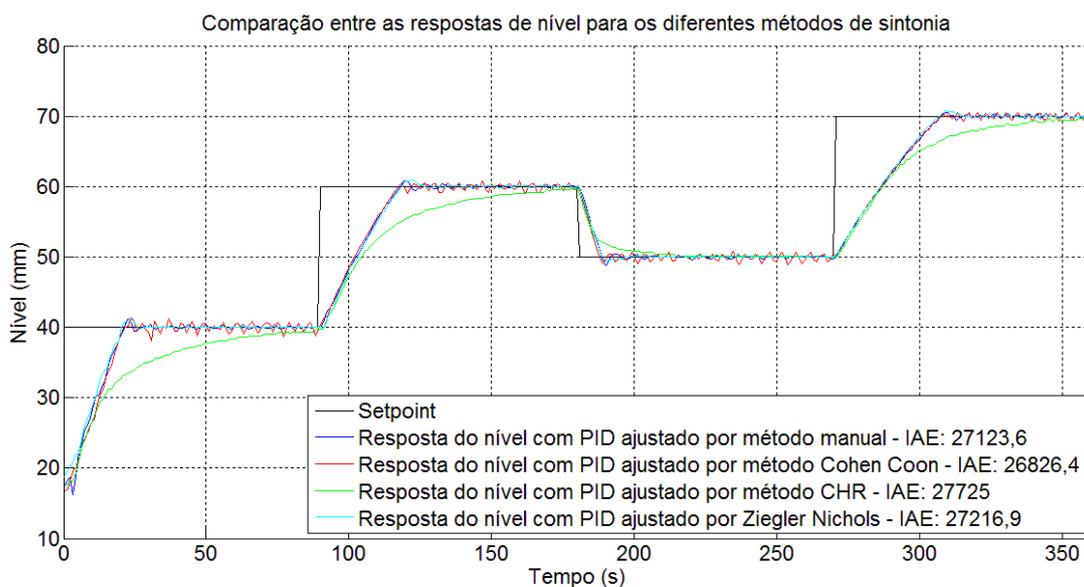


Figura 7. Comparação entre as respostas de nível para os diferentes métodos de sintonia e os respectivos índices de desempenho IAE.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a instrumentação híbrida e o controle via rede de uma planta didática de controle de processos disponível na UNESP Sorocaba, obtendo uma melhoria para o uso deste equipamento didático que não permitia a comunicação em rede. Esta melhoria representa a grande contribuição deste trabalho no sentido de atualizar a planta didática para possibilitar a comunicação dos dados em rede e permitir o desenvolvimento de sistemas de controle de via rede sem fio (WNCS).

A instrumentação híbrida consistiu no sensoriamento sem fio (medição e transmissão do dado) via rede ZigBee das variáveis controladas das malhas de controle e na atuação (recepção dos sinais de controle e acionamento) via rede industrial CAN sobre os processos da planta.

Módulos XBee de baixo custo para redes ZigBee foram utilizados para monitoramento sem fio, permitindo a aquisição de dados periódica das variáveis analógicas através de portas de comunicação incorporadas, diminuindo a quantidade de equipamento necessário e facilitando a comunicação através da API de comunicação padronizada. Uma interface de supervisão, desenvolvida no ambiente LabVIEW e com capacidade de comunicação nas redes ZigBee e CAN, foi implementada para a realização do controle via rede. Para isso foram projetados controladores PID discretos, sintonizados usando métodos empíricos, para cada malha da planta didática. Os controladores apresentaram respostas estáveis com desempenhos razoáveis, sendo que o desempenho obtido para o WNCS com as diferentes sintonias foram comparados através do uso de índices de desempenho.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio para desenvolvimento deste trabalho: 2011/23217-0, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

7. REFERÊNCIAS

Aström, K. J., Hägglund, T. 1995. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. 2ed, ISA – International Society for Measurement and Control, ISBN: 1556175167, pp. 134-181.

Baronti, P.; Pillai, P.; Chook, V.W.C.; Chessa, V.; Gotta, A.; Hu, Y.F. 2007. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. Computer Communications, vol. 30, no. 7, pp. 1655-1695.

Eriksson, L. 2008. PID Controller Design and Tuning in Networked Control Systems, PhD Thesis, Department of Automation and Systems Technology, Helsinki University of Technology.

Fischione, C.; Park, P.; Di Marco, P.; Johansson, K.H. 2011. Design Principles of Wireless Sensor Networks Protocols for Control Applications, S.K. Mazumder (ed.), Wireless Networking Based Control, Ch. 9, Springer, pp. 203-238.

Godoy, E. P. 2011. Desenvolvimento de Sistemas de Controle via Rede (NCS) para Aplicações em Redes com Protocolo CAN. 252f. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Gupta, R.A.; Chow, M.Y. 2010. Networked Control System: Overview and Research Trends. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 57, n. 7, pp. 2527-2535, July.

Johansson, K.H. 2011. Motivations, Challenges and Wireless for Control of Networked and Large Scale Systems, Proceedings of the 4th HYCON PhD School on Control of Networked and Large Scale Systems, June 21-24, Trento, Italy.

Moyne, J. R.; Tilbury, D. M. 2007. The Emergence of Industrial Control Networks for Manufacturing Control, Diagnostics, and Safety Data, IEEE Proceedings of Technology of Networked Control Systems, v. 95, n. 1, p. 29-47, January.

Naghshabrizi, P.; Hespanha, J.P. 2011. Implementation Considerations For Wireless Networked Control Systems, S.K. Mazumder (ed.), Wireless Networking Based Control, Ch. 1, Springer, pp. 1-27.

National Instruments. 2013. Implementing the PID Algorithm with the PID VIs - PID and Fuzzy Logic Toolkit. Disponível em: < http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370401J-01/lvpidmain/pid_vi_algs/>. Acesso em Junho 2013.

Paavola, M., K. Leiviska 2010. Wireless Sensor Networks in Industrial Automation, J.S. Blanes (ed.), Factory Automation, Ch 10, InTech, pp. 201-220.

Sauter, T. 2010. The Three Generations of Field-Level Networks—Evolution and Compatibility Issues, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.11, pp.3585-3595, Nov.

Sauter, T.; Soucek, S.; Kastner, W.; Dietrich, D. 2011. The Evolution of Factory and Building Automation, IEEE Industrial Electronics Magazine, vol.5, no.3, pp.35-48, Sept.

XBEE, 2013. “Digi Xbee® Wireless RF Modules”. Disponível em: <<http://www.digi.com/xbee>>; Acessado em junho de 2013.

Yang, T.C. 2006. Networked Control System: a Brief Survey. IEEE Proceedings of Control Theory and Applications, v.153, n4, July, p.403-412

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“O autor é o único responsável pelo conteúdo deste trabalho”.

HYBRID INSTRUMENTATION AND NETWORKED CONTROL OF AN INDUSTRIAL PROCESSES CONTROL PLANT

Eliane Crepaldi Rodrigues, eliane.crepaldirodrigues@yahoo.com.br

Raul Katayma Mansano, rkmansano@yahoo.com.br

Thiago de Almeida Oliveira, thiago3008@gmail.com

Eduardo Paciência Godoy, epgodoy@sorocaba.unesp.br

GASI-Grupo de Automação e Sistemas Integráveis, UNESP- Universidade Estadual Paulista, Sorocaba-SP

Diego Colón, diego@lac.usp.br

LAC-Laboratório de Automação e Controle, USP- Universidade de São Paulo, São Paulo-SP

Abstract. *In industrial automation, the use of communication networks has been important for the improvement of monitoring and control actions. The goal of networks is allowing a greater integration between the management and supervision levels of an industrial plant with the controllers and field instruments. The technology of wireless sensor networks is conquering space, due to the advantages such as cables removal and flexibility. In this way, a hybrid instrumentation solution covering the coexistence of wired and wireless networks becomes necessary. This work consists of hybrid instrumentation and networked control applied on a didactic processes control plant available at UNESP Sorocaba providing an improvement for the equipment use, which currently does not have any network communication capability. This plant consists of four configurable control loops and four variables must be controlled: the water level in a tank, the water flow in the pipes, the pressure in a tank and the water temperature. The hybrid instrumentation consists of a wireless sensing system (data measurement and transmission) of the controlled variables using a ZigBee network and the actuation on the plant (control signals) using a CAN-based network. A supervision interface developed in LabVIEW with capability of ZigBee and CAN network communication, make possible visualizing all the obtained results and analysing the performance of the PID controllers designed for each control loop of the didactic plant.*

Keywords: *Process Plant, ZigBee, CAN, Hybrid Instrumentation.*