



## **APLICAÇÃO EM SALA DE AULA DE UM MODELO NEURAL A UMA PLANTA DIDÁTICA COM MODELAGEM COMPLEXA**

**Larissa Moura Andrade** – lma.encaut@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Rua José Peres, nº 558 - Centro

36.700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

**Marlon José do Carmo** – marlon@lepoldina.cefetmg.br

**Murillo Ferreira dos Santos** – murilloferreiradossantos@gmail.com

Universidade Federal de Juiz de Fora

Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário Bairro São Pedro

36.036-900 – Juiz de Fora – Minas Gerais

**Resumo:** *As inúmeras aplicações de Redes Neurais Artificiais e suas vantagens e características peculiares, frente às técnicas convencionais, nos mais diversos ramos do conhecimento, elegem esta ferramenta como uma importante técnica alternativa e de alto desempenho. Nas áreas relacionadas às engenharias, as redes neurais desempenham um importante papel, podendo ser aplicadas em problemas de classificação de padrões, ajustes de controladores, modelagem de sistemas complexos e/ou não lineares, etc. O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Campus Leopoldina conta com o curso de Engenharia de Controle e Automação e visando o melhor conhecimento na área da tecnologia, propõe-se com esse trabalho a inclusão da disciplina Controle Avançado na grade curricular do curso. Essa disciplina daria oportunidade aos alunos de utilizarem a Inteligência Artificial, nesse caso técnicas de identificação por RNA's em uma planta didática que simula processos industriais reais, podendo verificar seu desempenho em um problema prático que pode ser encontrado em uma indústria.*

**Palavras-chave:** *Educação em engenharia, Automação e controle, Redes Neurais Artificiais, Planta didática SMAR.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A identificação de sistemas constitui-se em uma atividade complexa, a qual busca-se estimar modelos matemáticos representativos com a melhor precisão possível. São muitos os fatores que afetam a precisão deste modelo, como: propriedades do modelo, presença de ruídos, critérios a serem minimizados na identificação, etc. Um bom modelo, muitas das vezes possui uma definição subjetiva, o que faz com que a tentativa e erro seja uma regra bastante empregada na engenharia (JOHANSSON, 1993).

Alguns sistemas não lineares são classificados como de difícil identificação e opõem-se a procedimentos matemáticos clássicos. Nestes casos, a obtenção do modelo do sistema com as ferramentas disponíveis é complicada e o projetista tende a

simplificar a realidade observada. Como consequência, o modelo obtido não é totalmente fiel ao comportamento real do sistema.

A área de Inteligência Artificial apresenta-se como uma alternativa promissora para a identificação e controle de sistemas que envolvem não linearidades, uma linha de pesquisa que podemos destacar é a Redes Neurais Artificiais (RNA's) (FOLGER, 1988).

As Redes Neurais Artificiais são modelos computacionais dotados de inteligência inspirados no neurônio biológico com o objetivo de resolverem problemas de forma racional (SILVA *et al*, 2010). Nos últimos anos, a modelagem matemática ou identificação de sistemas dinâmicos usando redes neurais artificiais é uma ferramenta não convencional que tem entusiasmado pesquisadores (CERQUEIRA, 2001).

As RNA's podem ser aplicadas em diversos problemas relacionados às engenharias, como: aproximador universal de funções, controle de processos, agrupamento de dados, sistemas de previsão, otimização de sistemas, memórias associativas, reconhecimento/classificação de padrões, ajustes de controladores, modelagem de sistemas complexos e/ou não lineares, etc (SILVA *et al*, 2010). Essas aplicações servem para que os sistemas alcancem os requisitos ótimos do processo controlado (qualidade, eficiência e segurança).

O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Campus Leopoldina conta com o curso de Engenharia de Controle e Automação e visando o melhor conhecimento na área da tecnologia, propõe-se com esse trabalho a inclusão da disciplina Controle Avançado na grade curricular do curso. Essa disciplina daria oportunidade aos alunos de utilizarem a Inteligência Artificial, nesse caso técnicas de identificação por RNA's em uma planta didática que simula processos industriais reais, podendo verificar seu desempenho em um problema prático que pode ser encontrado em uma indústria. O CEFET-MG já possui em suas dependências duas plantas didáticas SMAR, uma com protocolo de comunicação *Foundation Fieldbus* e a outra com o protocolo de comunicação *HART*.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: na seção dois apresenta a planta didática SMAR *Foundation Fieldbus*, a qual foram realizados os experimentos; na seção três apresenta-se a metodologia da rede neural aplicada na identificação de um processo (AGUIRRE, 2007); logo após, na seção quatro apresenta resultados da implementação da rede na planta; e na seção cinco conclui-se este trabalho.

## 2. PLANTA DIDÁTICA COM PROTOCOLO FOUNDATION FIELDBUS

A Planta Didática da SMAR com protocolo *Foundation Fieldbus* foi desenvolvida para simular processos industriais em escala menores, dentro de um laboratório. Por se tratar de uma planta didática, ela realiza multiprocessos, possibilitando a simulação de diversos processos comumente encontrados na indústria e utilizando os mesmos instrumentos e ferramentas de configuração utilizadas em processos industriais reais. Na "Figura 1" encontra-se a Planta Didática da SMAR.

A Planta Didática SMAR utilizada para demonstrar didaticamente a operação de diversas malhas de controle é composta por dois tanques de processo, na qual um tanque é de aquecimento e um tanque de mistura; o tanque de armazenamento e dois conjuntos moto-bomba. A mesma possui sensores de medição de variáveis como vazão, temperatura e nível na parte de instrumentação e equipamentos como posicionadores para atuadores de válvulas de controle, transmissores, conversor estático para controlar um resistor de imersão e CLP que executa os comandos.

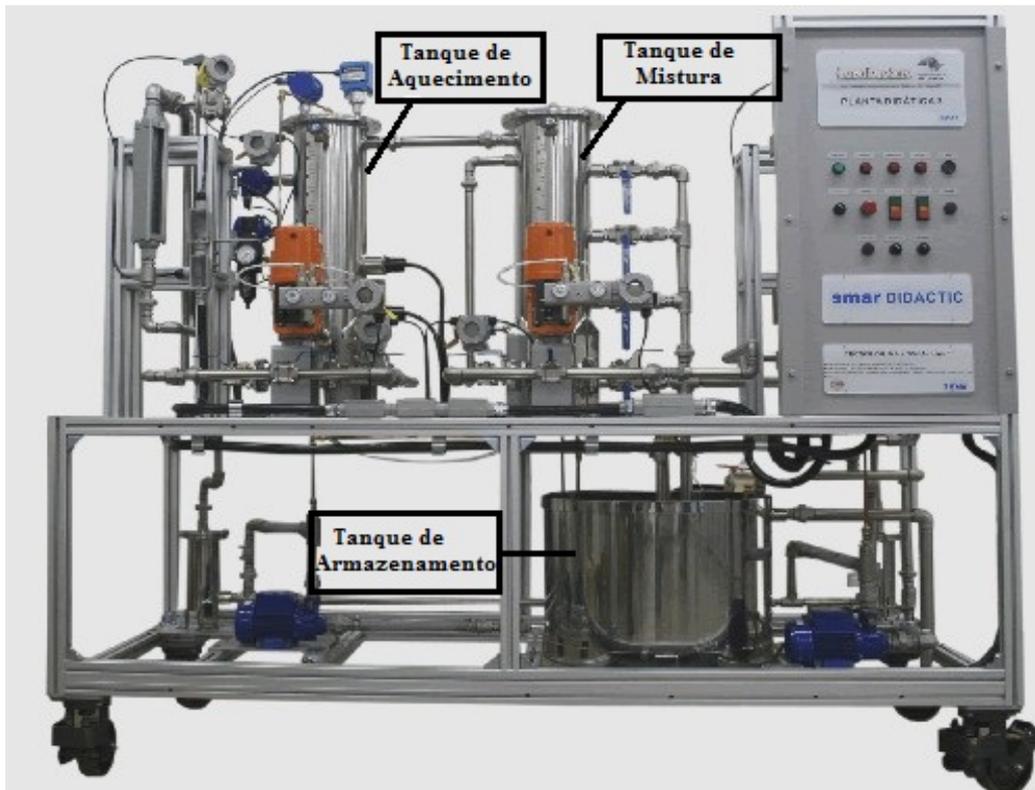


Figura 1 – Planta Didática SMAR com Protocolo *Foundation Fieldbus*.

Esta configuração da planta nos permite fazer inúmeros experimentos, seja aplicando estratégias de controle, métodos de identificação, desenvolvimento de sistemas supervisórios, testes com instrumentos de medição, enfim, é uma ferramenta multidisciplinar muito útil para ensino e desenvolvimento de pesquisas podendo abordar diversos assuntos em várias áreas das engenharias como a de instrumentação e controle, automação, redes industriais, sistemas supervisórios, pneumática etc.

A comunicação dos dispositivos de campo é estabelecida a partir do MATLAB®, que é o cliente OPC (*OLE for Process Control*) (FONSECA, 2002) que irá monitorar e escrever os valores dos dispositivos da planta, assim não é necessário o uso de CLP. Os dispositivos da planta possuem TAGs fornecidas pelo fabricante que são configuradas no servidor OPC. O *software* MATLAB® possui uma *toolbox* específica que permite tal comunicação, a qual possibilita realizar experimentos com resultados que podem ser observados na prática, tornando assim uma motivação a desenvolvimento de pesquisas.

### 2.1. Descrição do processo a ser modelado

A “Figura 2” possui o esquema do processo analisado no presente trabalho no qual: B1 - Bomba hidráulica; TA - tanque de armazenamento; T1 – tanque de processo; FIT-31- Medidor de vazão de entrada do TP; FY-31 - Posicionador da válvula de controle e LIT-31- Medidor de nível do tanque de processo.

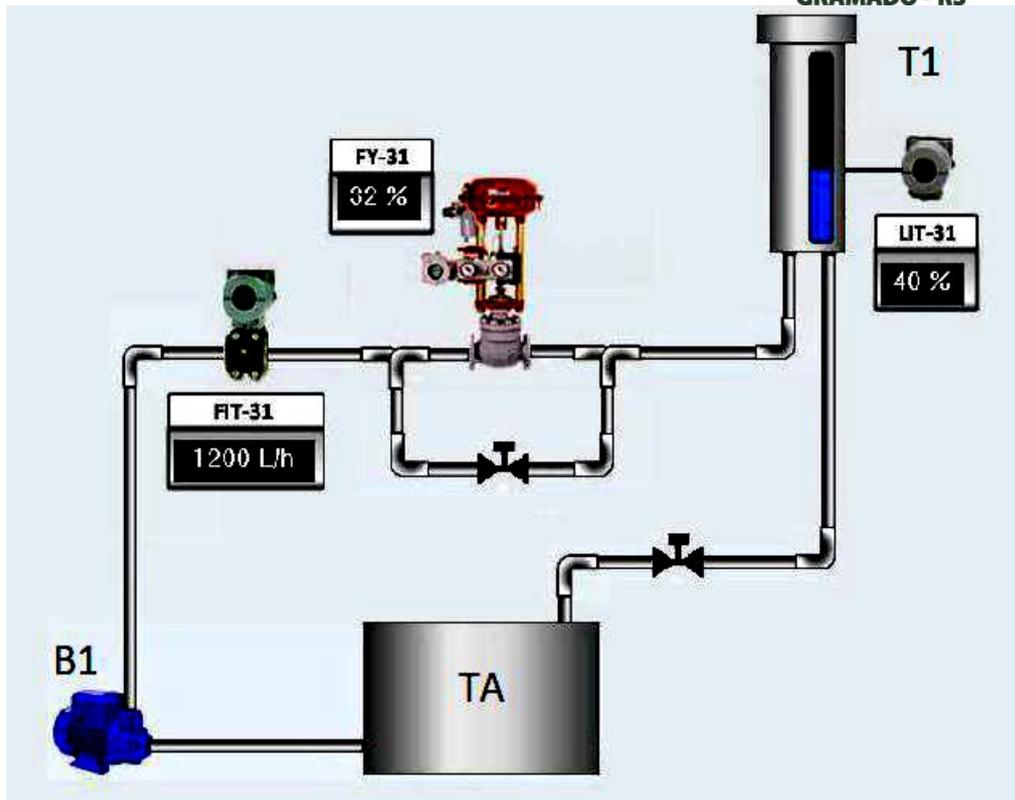


Figura 2 - Esquema do processo a ser modelado.

O processo se baseia no bombeamento da água do tanque TA ao tanque T1 através da bomba B1. No início do processo, a água passa pela válvula de controle FY-31, na qual a abertura desta válvula vai definir a vazão que varia de 0 a 1400 litros/h. O valor da vazão é medido através do medidor FIT-31. A abertura no fundo do tanque simula o consumo de água e é feita através de uma válvula do tipo *manifold*. Uma pequena abertura da válvula estabelece a vazão de saída.

A vazão de entrada inicialmente deve ser maior que a vazão de saída para que o nível no tanque aumente. À medida que o nível no tanque T1 aumenta o peso da água devido à gravidade também aumenta e dificulta a entrada de água no tanque e, conseqüentemente, a vazão na saída da água aumenta. Devido a estes comportamentos, o processo analisado é não linear com dinâmica assimétrica, ou seja, a resposta ao degrau possui crescimento rápido no início e lento próximo à região de estado estacionário. Assim o presente trabalho descreve o projeto de uma malha de controle de nível na qual o controlador vai atuar nas válvulas de abertura e fechamento de água afim de que o *Set Point* de nível seja o desejado utilizando redes neurais.

### 3. METODOLOGIA UTILIZADA

Com a difusão cada vez mais ascendente do ensino tecnológico, o professor é exigido a se capacitar frequentemente para se manter atualizado com a evolução tecnológica, o que requer práticas de laboratório onde são demonstrados os conceitos trabalhados em sala de aula e sua aplicação na indústria (SILVA et al, 2012). A introdução da disciplina Controle Avançado na grade curricular do curso de Engenharia



de Controle e Automação tem esse objetivo, colocar em prática os conhecimentos teóricos adquiridos dentro da sala de aula.

Há na atualidade uma preocupação cada vez maior, na indústria, para obter uma qualidade cada vez melhor do produto final gastando menos energia. Assim, de forma crescente, também é o monitoramento de desempenho das malhas de controle industriais. Na expectativa de que estas operem de forma satisfatória, ou seja, dentro da margem de desempenho esperado, conseguindo o melhor resultado possível, o que impacta diretamente na qualidade final do produto (CARMO, 2006). Sendo assim, é de fundamental importância tais conhecimentos e necessidades serem difundidos no meio acadêmico, proporcionando sempre que possível aprimorar e facilitar o aprendizado de discentes no meio estudantil.

Pelo descrito previamente, a variável de processo nível, manipulada neste trabalho, apresenta não linearidade com característica de dinâmica assimétrica, o que se caracteriza por apresentar crescimento rápido no início e lento próximo à região de estado estacionário. Isto se dá devido ao fato da pressão aumentar sobre a tubulação de alimentação do tanque de nível (SANTOS 2011).

Dessa forma, é de fundamental importância para uma boa sintonia de um controlador, a correta identificação do sistema manipulado.

Quando o modelo matemático da planta em questão não é conhecido, é fundamental saber no mínimo um modelo aproximado em ordem para ser executado o que se deseja. Um modelo aproximado da planta é chamado modelo identificado (NGUYEN et al, 2003).

Como o sistema possui complexidade alta e sua estrutura é desconhecida, a sua análise limita-se em relações dos valores de entrada e saída. Em teoria de sistemas são denominadas caixa preta e o algoritmo de aprendizagem que é utilizado para constituir a rede é geralmente uma versão de retropropagação (*backpropagation*) modificado por *Levenberg-Marquardt*. Ele é baseado na regra de delta, os ajustes dos pesos são realizados utilizando o método do gradiente. A função de ativação da rede escolhida foi a logística por causa de suas características (FLAUZINO et al, 2010).

Uma rede neural é treinada para classificar o comportamento da planta, é na fase de treinamento onde os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os dados apresentados.

O próximo passo é selecionar um modelo de rede neural a ser utilizado. Uma das famílias mais utilizadas para definir modelos não lineares são *Perceptrons* Multi-Camadas, a estrutura dessa rede pode ser visualizada na “Figura 3” (NGUYEN et al, 2003).

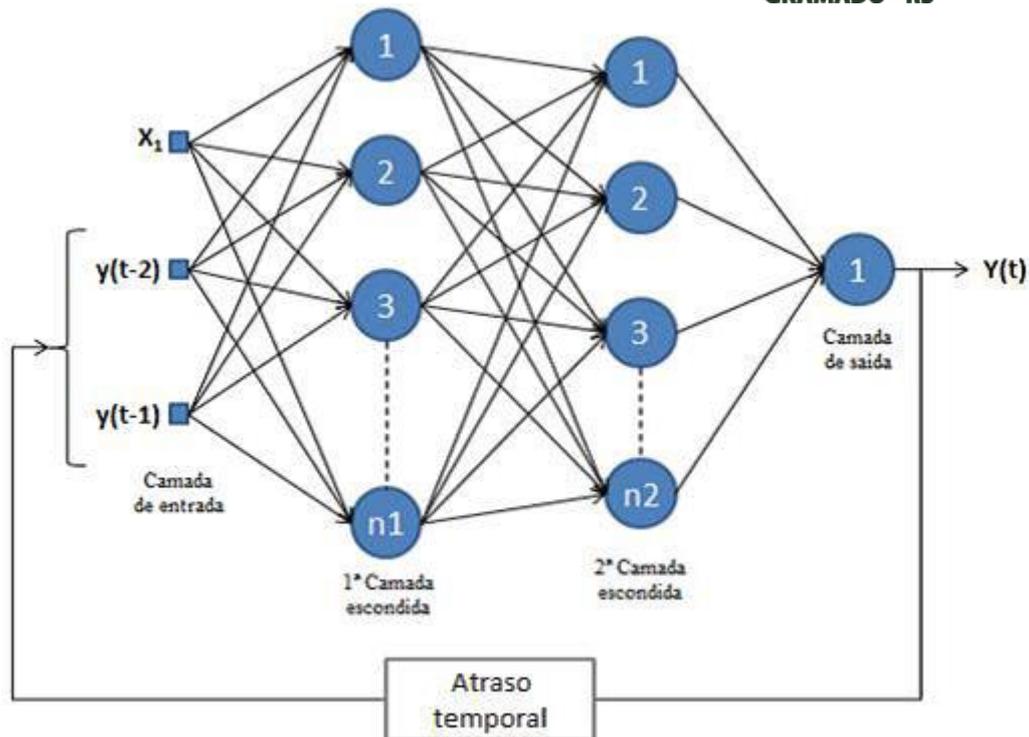


Figura 3 – Rede *Perceptron* Multicamadas.

Dessa forma, o modelo desta rede neural pode ser representado da seguinte pela “Equação (1)” abaixo:

$$y(t) = g(x(t, \theta), \theta) + e(t) \quad (1)$$

Onde:

- $x(t, \theta)$  é o vetor de regressão;
- $\theta$  é vetor de pesos.

Uma forma de vetor de regressão que pode ser tomado é apresentada na “Equação (2)”:

$$x(t, \theta) = [y(t), \dots, y(t-n), u(t-d), \dots, u(t-d-m), e(t, \theta), \dots, e(t-k, \theta)]^T \quad (2)$$

O modelo então é treinado com os dados que foram obtidos em experimentos, onde logo após o treinamento, o modelo deve ser validado para checar o quanto eles conferem com o critério de necessidade utilizado nos requisitos desejados previamente (NGUYEN et al, 2003).

Contudo, muitos toolboxes oriundos do MATLAB® são aconselhados de serem utilizados em prol de uma melhor compreensão do estudante, entre elas, por exemplo, *newff* e a estrutura *net* com suas funções ajuntas.



#### **4. RESULTADOS OBTIDOS NA FASE DE OPERAÇÃO NA PLANTA DIDÁTICA**

Para realizar a identificação, foi desenvolvida uma aplicação utilizando o software *Matlab®/Simulink*, que, através da interface OPC realiza a comunicação entre o CLP *SMAR LC700* da planta didática *Foundation Fieldbus* e o software que realiza a identificação da planta. Neste caso, o cliente OPC é o software *Matlab®/Simulink*, que irá escrever e ler valores diretamente da saída e da entrada periférica do servidor OPC, que é a *Tag List* fornecida pela *SMAR*.

A comunicação com o CLP da planta é feita através da utilização de 3 blocos da OPC *toolbox*. Estes são: *OPC Configuration*, *OPC Read* e *OPC Write*. Através dessa comunicação conseguimos adquirir a curva de reação para o nível e realizar a identificação do sistema. Para isso, criou-se uma malha no *Simulink* para simular o acionamento da bomba da planta. Isso ocorreu devido a utilização do bloco *OPC Configuration*, onde foi selecionado o servidor da planta *HART SMAR.LC700 Server*, o bloco *OPC Write*, onde foi selecionada a tag da bomba que é *SD012.01*, e um bloco de constante, onde o valor 1 liga a bomba e o valor 0 a desliga. Dessa forma, ao iniciar a simulação da malha, a bomba da planta será ligada quando for forçada a entrada 1 ou desligada quando for forçada a entrada 0.

A próxima malha desenvolvida no *Simulink*, foi para adquirir a curva de reação para o nível. Para tal, foi utilizado o bloco *OPC Configuration*, onde foi selecionado o servidor da planta *SMAR.LC700 Server*, ou seja, o bloco *OPC Write*, onde foi selecionada a tag da válvula de controle da entrada do tanque que é *SA010.00* e foi selecionado um bloco de constante ligada ao bloco *Write*, onde se escolhe o valor de abertura da válvula, que varia de 0 (0%) a 10.000 (100%), já que o valor é analógico. Utilizamos também o bloco *OPC Read*, onde foi selecionada a tag do sensor de nível, que é *EA003.02* e ligado a ele foi colocado um *Scope* para visualizar a curva e salvá-la.

Dessa forma, ao iniciar a o método de identificação para a simulação da malha, aplica-se um sinal PRBS na válvula e acompanha-se a resposta do nível pelo *Scope*. Tendo-se os dois sinais: o PRBS e o sinal de nível, aplica-se o método dos mínimos quadrados não recursivo.

#### 4.1. Aplicação do método na planta

Como supracitado, foi necessário a aplicação de um sinal PRBS sobre a válvula que faz parte de malha de nível da planta didática *Foundation Fieldbus*. A Figura 3 mostra a o sinal aplicado.

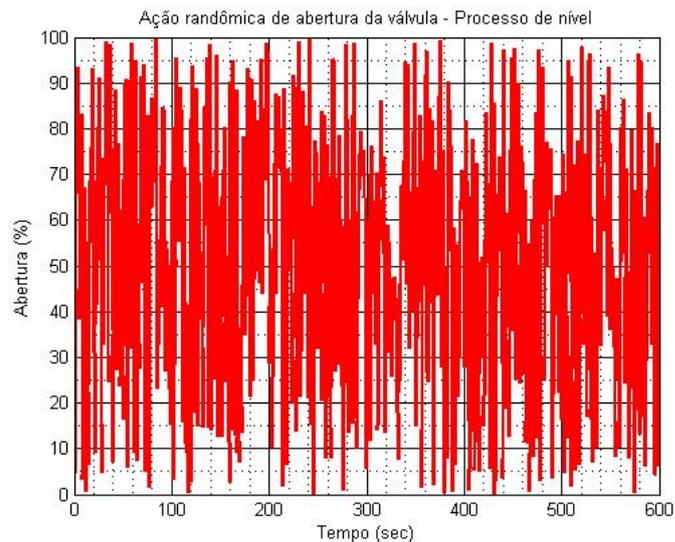


Figura 3 – Sinal PRBS aplicado

Para aplicar o sinal PRBS utilizou os seguintes blocos no Simulink, com as tags já configuradas anteriormente:

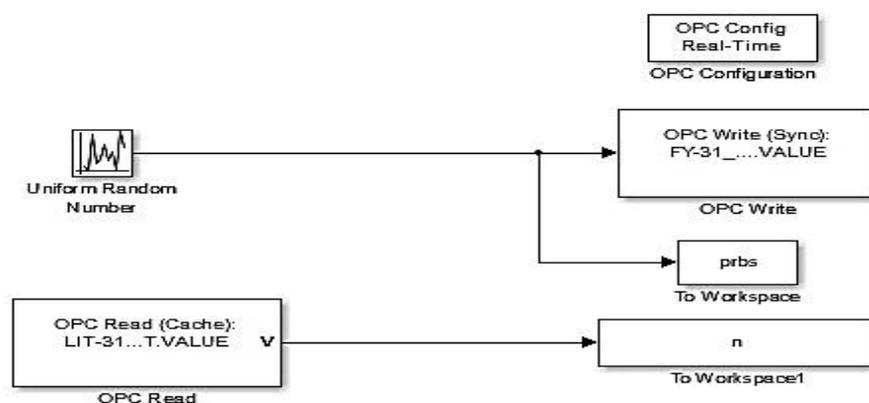


Figura 4 – Diagrama de blocos do Simulink para aplicação do sinal PRBS e leitura do sinal de nível.

Ao aplicar o sinal PRBS na válvula, obteve-se a seguinte resposta no tocante ao sensor de nível:

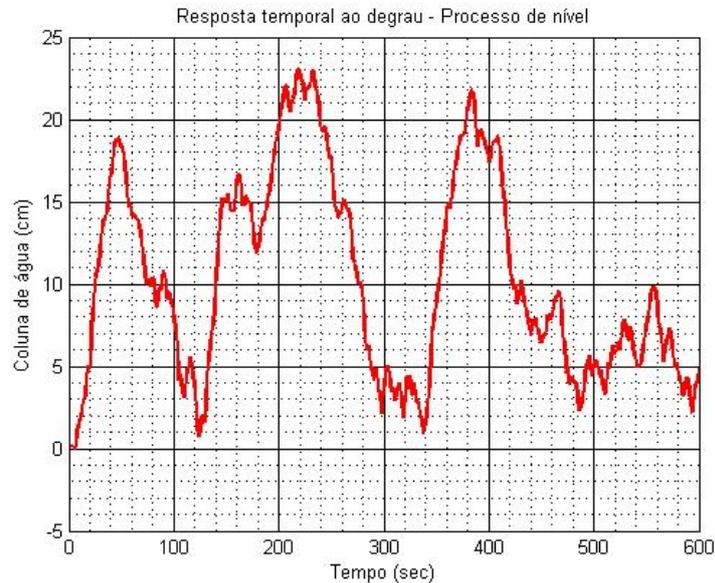


Figura 5 – Resposta da planta de nível

Estes sinais são utilizados para o treinamento da rede segundo metodologia proposta por (NGUYEN et al, 2003).

A Figura 6 apresenta as respostas comparativas entre o sinal real aplicado à planta e o sinal obtido a partir do modelo neural.

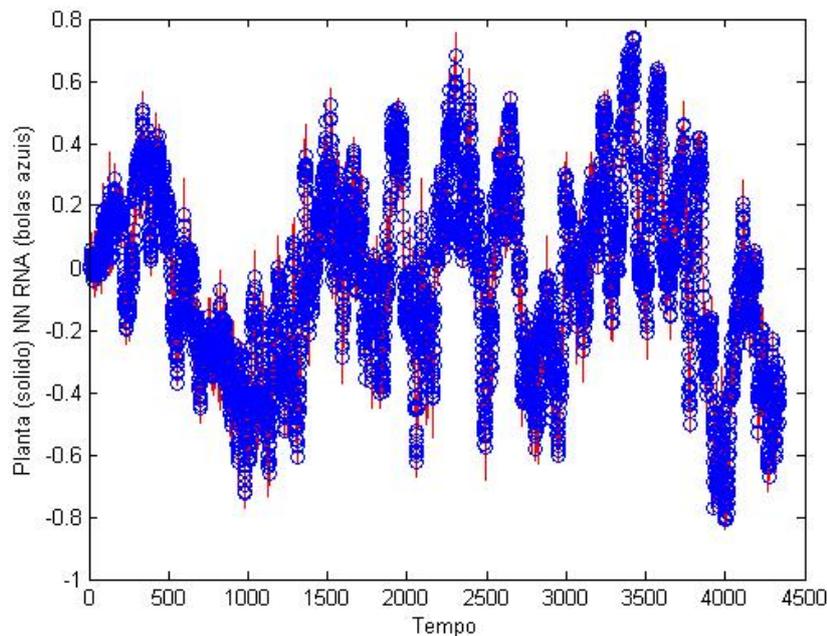


Figura 6 – Modelo neural versus modelo real da planta mediante sinal variável



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As habilidades das redes neurais de aprendizagem e generalização de complexos sistemas não lineares têm feito com que esta técnica seja cada vez mais aplicada na área de identificação de sistemas.

A RNA, quando bem projetada, mostra-se bastante robusta e flexível, pois é capaz de mapear sistemas dinâmicos e não-lineares complexos de uma maneira simples através de uma arquitetura recorrente e do treinamento supervisionado com o algoritmo *backpropagation*.

O trabalho apresentado pôde mostrar estas capacidades da rede a partir dos resultados demonstrados onde foram aplicadas entradas degrau no modelo neural, e este se comportou muito próximo do processo real, atingindo assim o seu objetivo. Além disto, a execução deste artigo na planta didática mostrou que é possível aplicar tais técnicas de identificação em um processo real e pode servir como um instrumento de aprendizagem da Disciplina Controle Avançado no curso de Engenharia de Controle e Automação do CEFET-MG Campus Leopoldina, a qual foi a maior motivação para a realização do trabalho.

Através do padrão de comunicação OPC foi possível fazer vários testes com o software MatLab-Simulink®, mostrando de fato como cálculos que antes eram apenas aplicados na simulação de processos podem ser aplicados em processos industriais reais.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, INMETRO, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2007.

CARMO, Marlon José, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Ambiente Educacional Multifuncional Integrado para Sintonia e Avaliação do Desempenho de Malhas Industriais de Controle, 2006. Dissertação de Controle.

CERQUEIRA, JÉS DE JESUS FIAIS, Unicamp, Campinas, SP. Identificação de Sistemas Dinâmicos Usando Redes Neurais Artificiais: Uma Aplicação a Manipuladores Robóticos, 2001. Tese de Doutorado.

FLAUZINO, R. A., Silva, I. N., Spatti, D. H. Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas. Editora ArtLib, 2010.

FOLGER, T. A.; Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, State University of New York, Binghamton, Prentice Hall International, 1988.

FONSECA, MARCO. Relatório sobre Desempenho da Comunicação OPC, documento de projeto da ATAN Sistemas, 2002.

JOHANSSON, R. System Modeling and Identification. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 1993.

NGUYEN, Hung T., PRASAD Nadipuram R., WALKER Carol L., WALKER, Elbert A. A First Course in FUZZY and NEURAL CONTROL. CHAPMAN & HALL/CRC, 2003.

SANTOS, Murillo Ferreira dos, CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, Campus III Leopoldina. Ambiente GUIDE-MATLAB<sup>®</sup> para controle de um processo dinâmico assimétrico, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, I. N., SPATTI, D. H., FLAUZINO, R. A., Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas. Editora ArtLib, 2010.

SILVA, Rodrigo Baleeiro; LOPES, Murillo Pereira; AMARAL, Leonardo Santos. Projeto e construção de uma planta didática para ensino de estratégias de controle de nível, vazão e temperatura em cursos de engenharia. Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém, 2012.

SMAR. Manual Planta Didática. Disponível em: <http://www.smar.com.br>. Acesso em 21 maio 2013.

## **CLASSROOM APPLICATION OF A NEURAL MODEL FOR A TEACHING PLAN WITH COMPLEX MODELING**

***Abstract:** The large number of applications of Artificial Neural Networks (ANNs) and their peculiar advantages and characteristics, along with conventional techniques in many fields of knowledge, point out this tool as an important high performance alternative technique. Crossing the barrier between computational simulations and the development of networks for hardware, the use in real-time systems has become a reality. In automation and controlling, neural networks play an important role, and may be used for selecting standards, adjustments of controllers, modeling of complex and/or non-linear systems, etc. The CEFET-MG Campus Leopoldina has the course of Control and Automation Engineering and aiming the best knowledge in the area of technology, it is proposed that paper with the inclusion of Advanced Control discipline in the curriculum of the course. This discipline would give opportunity for students to use Artificial Intelligence, in which case identification techniques for ANN's in a Didactic Plant that simulates real industrial processes and can verify its performance in a practical problem that can be found in an industry.*



**Key-words:** *Engineering education, Automation and Controlling, Artificial Neural Networks, SMAR's Instructional Didactic Plant.*