



Implementação de um Controlador Fuzzy para um Sistema de Controle de Nível

Josué da Silva Souza¹, José Soares Batista Lopes²

¹IFPB. e-mail: josue.souza@cear.ufpb.br

²IFRN. e-mail: jlopes0@gmail.com

Resumo: Este artigo tem como objetivo a implementação e simulação de um Controlador Fuzzy (Nebuloso) no software Matlab 7.4 cujos resultados obtidos serão comparados aos do Controlador Clássico (PID), aplicados para um Sistema de Controle de Nível. O sistema a ser controlado é composto por um reservatório, dois tanques acoplados em cascata (Tanque 1 e Tanque 2) e uma bomba que fornece água para o Tanque 1, este sistema permite trabalhar em duas configurações: a primeira é controlar o nível do Tanque 1, este se comporta como um sistema de primeira ordem; já a segunda é controlar o nível do Tanque 2 a partir do Tanque 1, neste caso o comportamento é de um sistema de segunda ordem. O nosso objeto de estudo neste artigo é controlar o Tanque 1.

Palavras-chave: Controlador Fuzzy, Controlador Clássico, Controle de Nível

1. INTRODUÇÃO

O desejo do homem em desenvolver técnicas e equipamentos que substituíssem o seu trabalho de forma a aumentar a segurança de seu ambiente profissional, obter maior qualidade e rapidez na produção, tem sido determinante para o progresso tecnológico ao longo da história. Na indústria, a necessidade de se controlar sistemas e processos revelou-se de fundamental importância na enorme expansão de bens de disponíveis.

Devido à necessidade de obter mais precisão em processos industriais devido à sofisticação das máquinas para atividades de operadores humanos, o desenvolvimento de diferentes métodos de controladores baseados em lógica Clássica e/ou lógica Fuzzy surgiram para solucionar esses problemas.

Segundo Simões e Shaw (2007), a lógica Clássica cujo fundador foi o filósofo grego Aristóteles, estabeleceu um conjunto de regras rígidas, para que conclusões pudessem ser logicamente válidas e aceitas. Esta lógica assume atributos de bivalência, isso significa a utilização de dois valores: algo é verdadeiro ou não verdadeiro, preto ou branco, ou é um ou zero, ou seja, na lógica Clássica espera-se que determinada afirmação seja verdadeira ou falsa.

A lógica Fuzzy surgiu em 1965 com a publicação de um artigo sobre a teoria dos conjuntos Fuzzy por L.A. Zadeh, com o objetivo de fornecer um ferramental matemático para tratamento de informações de caráter vago ou impreciso, pois no mundo real existem muitos tons de cinza entre o preto e o branco, muitos graus de incerteza entre o verdadeiro e o falso, ou seja, o mundo real não é bivalente, é na realidade multivalente com infinitos espectros de opções em vez de duas. Em termos técnicos, o mundo real é análogo e não digital.

A lógica Clássica e lógica Fuzzy são técnicas de controle totalmente diferentes entre si, a primeira utiliza-se de um conjunto regras rígidas, enquanto a segunda usa o conhecimento que o operador tem sobre o processo para poder controlá-lo, por esse motivo uma comparação entre as duas técnicas de controle se faz necessário.

2. CONTROLADOR CLÁSSICO

Segundo DORF e BISHOP (1998), o Controlador Clássico é conhecido como controlador de três termos ou PID (Proporcional-Integral-Derivativo).

Cada termo do Controlador Clássico forma uma ação de controle com características bem definidas e distintas entre si, proporcionando um sinal de controle mais preciso nas aplicações industriais.

A ação de controle Proporcional (K_p) é aquela cujo sinal de saída do controlador é proporcional ao erro atuante do sistema. Nesta ação de controle quanto maior o ganho, menor será o erro em regime



permanente, ou seja, melhor a precisão do sistema em malha fechada. Este erro pode ser diminuído com o aumento do ganho, mas nunca anulado. Conclui-se que a ação de controle proporcional mantém um erro de off-set ou erro de regime.

A ação de controle Integral (K_i) está ligada diretamente a melhoria da precisão do sistema, pois atua na correção do erro que a ação proporcional não consegue anular. A velocidade com que o sinal da ação Integral varia é proporcional ao erro atuante no sistema. Se o valor do erro é dobrado, o sinal de controle varia duas vezes mais rápido. Se o erro for zero, significa que o sinal de controle fica constante, diferentemente da ação proporcional em que o sinal de controle iria também para zero.

A ação de controle Integral é também denominada de ação de restabelecimento ou reset. A ação integral, apesar de eliminar o erro de off-set, tem o inconveniente de ter uma atuação muito lenta. Por isso, essa ação não é utilizada de forma isolada em um controlador e geralmente ela funciona como um complemento da ação proporcional.

A ação de controle Derivativa (K_d) corresponde à aplicação de um sinal de controle proporcional a derivada do sinal de erro, atuando no fornecimento de uma correção antecipativa ao erro e diminuindo assim o tempo de resposta para eliminar o problema do overshoot, segundo GUERRA (2009).

A ação derivativa não pode ser utilizada sozinha em um controlador. Pela sua natureza ela só consegue reagir à existência de um erro variável, ou seja, se houver um erro constante a ação derivativa não percebe este erro.

Segundo DORF e BISHOP (1998), a popularidade dos controladores PID pode ser atribuída parcialmente ao seu desempenho robusto sobre uma grande faixa de condições operacionais e em parte a sua simplicidade funcional, que permite aos engenheiros operá-los de uma maneira simples e correta. Para implementar um controlador desse tipo é necessário determinar três parâmetros para o processo: ganho proporcional, ganho integral e ganho derivativo.

O Controlador PID utiliza o que há de melhor nas três ações de controle. A ação proporcional elimina os ruídos do sistema, a ação integral é responsável por eliminar o erro de off-set e a ação derivativa trabalha fornecendo uma ação antecipativa ao sistema. Por ser um controlador de fácil utilização e implementação o PID é muito utilizado para correção e eliminação de erros existentes em processos indústrias.

3. CONTROLADOR FUZZY

A lógica Fuzzy proposta por Lotfi A. Zadeh foi desenvolvida devido à necessidade de automatizar atividades, antes incapazes de serem controladas com recursos da época, de forma mais simples para problemas que envolviam situações ambíguas.

Segundo Simões e Shaw (2007), um Controlador Fuzzy é composto dos seguintes blocos funcionais: Fuzzyficação, Base de conhecimento, Lógica de tomada de decisões e Defuzzyficação.

A interface de Fuzzyficação faz a identificação dos valores das variáveis de entrada. Estes valores são “Fuzzyficados” em conjuntos Fuzzy para que possam se tornar instâncias de variáveis linguísticas.

A base de conhecimento representa o modelo do sistema a ser controlador. Consistindo de uma base de dados e uma base de regras. A base de dados fornece as definições numéricas às funções de pertinências usadas no conjunto de regras fuzzy. A base de regras caracteriza os objetivos de controle e a estratégia de controle utilizada por especialistas na área, por meio de um conjunto de regras de controle em geral linguísticas.

Lógica de tomada de decisões é a etapa que é gerada a ação de controle a partir da estrutura de base de regras, são decisões que simulam a atitude de um ser humano controlando o sistema.

A Defuzzyficação consiste em obter-se um único valor discreto, utilizável numa ação de controle concreta no mundo real, a partir de valores Fuzzy de saída obtidos. A obtenção destes valores Fuzzy de saída são realizados através de dois princípios básicos de Defuzzyficação. O primeiro é baseado no centróide e o segundo em valores máximos.

4. SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL

O sistema a ser controlado pode ser visualizado na “Figura 1”.

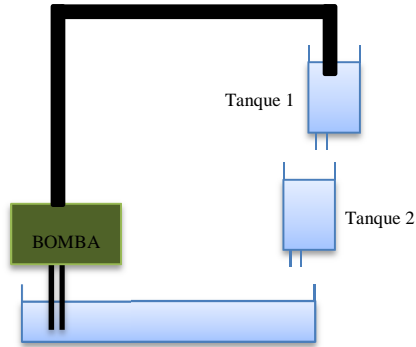


Figura 1 – Sistema de Controle de Nível

Para representarmos o sistema de primeira ordem da “Figura 1” em diagrama de blocos e realizar a simulação do processo no Simulink é necessário modelar o Sistema.

Para modelar o sistema vamos utilizar as etapas do modelo matemático de sistema de primeira ordem que é utilizado por SOUZA (2006).

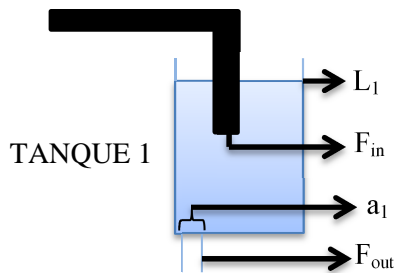


Figura 2. Tanque com as especificações do processo.

A vazão ou fluxo de entrada é dado por:

$$[1]$$

Onde K é a constante da bomba e V é a tensão aplicada na bomba. A velocidade do fluxo de saída para pequenos orifícios pode ser calculada pela equação de Bernoulli:

$$[2]$$

Sendo g a aceleração da gravidade em m/s^2 e h é a altura do nível em m . Para obter o fluxo de saída basta multiplicar esta velocidade pela área do orifício de saída A dado em m^2 , portanto:

$$[3]$$

A variação do volume de água dentro do tanque será:

$$[4]$$

Portanto, a variação do nível é dada através da “Equação (5)”, onde A_1 é a área da base tanque dada em cm^2 .

$$L_1 = -\frac{a_1}{A_1}\sqrt{2gL_1} + \frac{K_m}{A_1}V_p \quad [cm/s] \quad [5]$$

Linearizando em torno de um ponto de operação L_{10} , obtém-se:

$$L_1 = -\frac{a_1}{A_1}\sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} + \frac{K_m}{A_1}V_p \quad [cm/s] \quad [6]$$

Os valores adotados para os parâmetros estão descritos na “Tabela 1”.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros do sistema.

Parâmetros	Valores
A_1	15,518 cm^2
a_1	0,178 cm^2
L_{10}	15 cm
K_m	4,6 $cm^3/s.V$
g	981 cm/s^2

Substituindo os valores dos parâmetros na “Equação (6)”, obtemos:

$$L_1 = -0,0656L_1 + 0,2964V_p \quad [7]$$

A partir da “Equação (7)” encontramos a planta do sistema, que é representado na “Figura 3”.

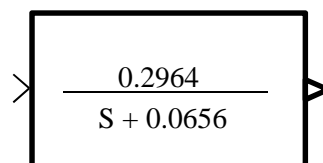


Figura 3 – Planta do sistema de primeira ordem de Controle de Nível.

5. RESULTADOS

O Controlador Fuzzy e o Controlador Clássico foram implementados e simulados dentro do ambiente de simulação SIMULINK do Matlab 7.4. As Figuras 4 e 5 mostram a representação em diagrama de blocos e os gráficos das respostas dos Controladores Fuzzy e Clássico respectivamente.

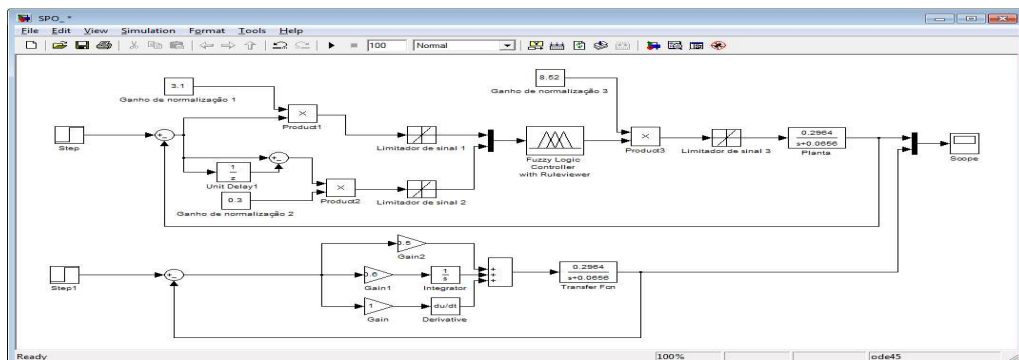


Figura 4 – Diagrama de blocos do Controlador Fuzzy em paralelo ao Controlador Clássico.

As resultados obtidos na implementação dos Controladores Fuzzy e Clássico pode ser visualizado de forma gráfica através da Figura 5.

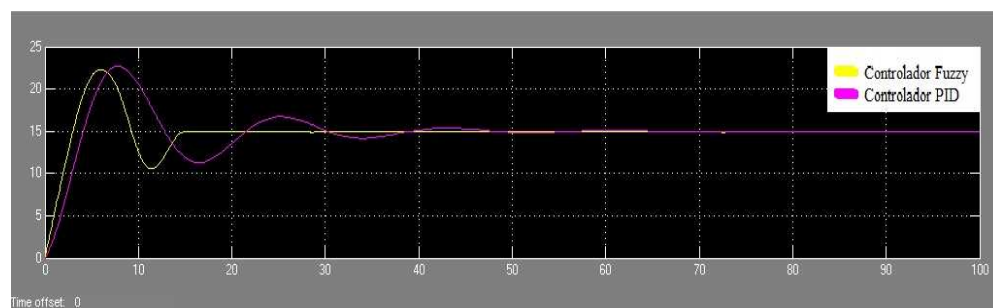


Figura 5 – Gráfico do comportamento do sistema mediante a ação dos Controladores Fuzzy e Clássico.

A “Tabela 2” mostra os resultados obtidos na saída do sistema com a implementação do Controlador Clássico e do Controlador Fuzzy que é mostrado de forma gráfica na Figura 5.

Tabela 2 – Respostas transitórias do sistema com a implementação dos Controladores Clássicos e Nebuloso.

	PID	Fuzzy
Tempo de atraso	2,3 segundos	1,5 segundos
Tempo de subida	4,1 segundos	3 segundos
Tempo de pico	8 segundos	6 segundos
Tempo de acomodação	46,5 segundos	15,5 segundos
Amplitude de pico	22,7	22,3

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados neste trabalho é possível verificar repostas satisfatórias ao sistema com a implementação dos controladores PID e Fuzzy, sob os aspectos de sobre-sinal, tempo de pico e tempo de retorno da variável ao set-point. Contudo, o Controlador Fuzzy obteve melhores respostas ao sistema que o Controlador Clássico, visto que com o Controlador PID o sistema obteve respostas mais lentas quando comparadas com as repostas e verificadas do Controlador Fuzzy.



As aplicações dos sistemas de controle baseadas em inteligência artificial dependem da verificação real das vantagens agregadas com sua utilização, logo este trabalho visa dar uma singela contribuição neste sentido, quando a comparamos com os sistemas de Controle Clássico.

Como perspectiva para trabalhos futuros, planeja-se desenvolver um protótipo em acrílico para implementar o controlador em linguagem C. Há possibilidade de implementar um Controlador Neuro-Fuzzy.

REFERÊNCIAS

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H., Sistemas de controle moderno. São Paulo: LTC, 2001.

SIMÕES, Marcelo G.; SHAW, Ian S. Controle e modelagem Fuzzy. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2007.

SOUZA, Francisco Elvis C.; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Estudo e implementação em plantas físicas de um controlador preditivo generalizado com restrições, 2006. Dissertação (Mestrado).

SHAW, Ian S. e SIMÕES, Marcelo Godoy, 2007, “**CONTROLE E MODELAGEM FUZZY**”, Editora Edgard Blücher Ltda.

GUERRA, Wladimir de Andrade, 2009, “**Implementação de Controle Proporcional, Integral e Derivativo Digital em Controladores Lógico Programáveis**”, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), BRASIL.