

Classificação e controle fuzzy com aplicação em Processos Industriais

Fuzzy classification and control with application in Industrial Processes

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é o estudo de métodos de classificação automática e sua aplicação em uma planta industrial. Neste contexto, este trabalho propõe o estudo do método de classificação *fuzzy* e sua aplicação no controle de uma válvula de vazão de uma planta industrial didática, utilizando como variáveis de entrada a vazão e a porcentagem de abertura da válvula. A saída do sistema desenvolvido classifica a temperatura do tanque de mistura deste processo. Desta forma, os resultados descrevem a atuação do sistema desenvolvido em um processo de aquecimento da planta industrial didática, buscando a melhoria da qualidade de um processo industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação automática. Lógica *Fuzzy*. Planta Industrial. Processo de Aquecimento

ABSTRACT

The main objective of this work is the study of automatic classification methods and their application in an industrial plant. In this context, this work proposes the study of the fuzzy classification method and its application in the control of a flow valve of a didactic industrial plant, using as input variables the flow rate and the percentage of valve opening. The output of the developed system classifies the mixing tank temperature of this process. Thus, the results describe the performance of the system developed in a heating process of the didactic industrial plant, in order to improve the quality of an industrial process.

KEYWORDS: Automatic classification. Fuzzy Logic. Industrial Plant. Heating Process

INTRODUÇÃO

O controle automático de processos se mostra essencial para qualquer campo da engenharia ou ciência, já que está presente em sistemas robóticos, sistemas de manufatura modernos e em sistemas industriais que envolvem controle de variáveis como temperatura, vazão, pressão, entre outros (OGATA, 2000). A principal função desse controle é regular o comportamento das variáveis de interesse em um sistema ou uma planta, onde estes normalmente possuem uma ou mais entradas (WOLOVICH, 1994). Controlar uma grandeza ou variável, é o ato de alterar seu valor de acordo com uma intenção ou até que se encontre no ponto de operação desejado (CASTRUCCI et al., 2011).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é o estudo do método de classificação *fuzzy* (KLIR; YUAN, 1995) e sua aplicação no controle de uma válvula de vazão de planta industrial, utilizando como variáveis de entrada: vazão e porcentagem de

Guilherme Mosaner da Silva
guilherme.mosaner@outlook.com
Universidade Tecnológica do
Paraná, Cornélio Procópio, PR,
Brasil

Gláucia Maria Bressan
glauciabressan@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica do
Paraná, Cornélio Procópio, PR,
Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

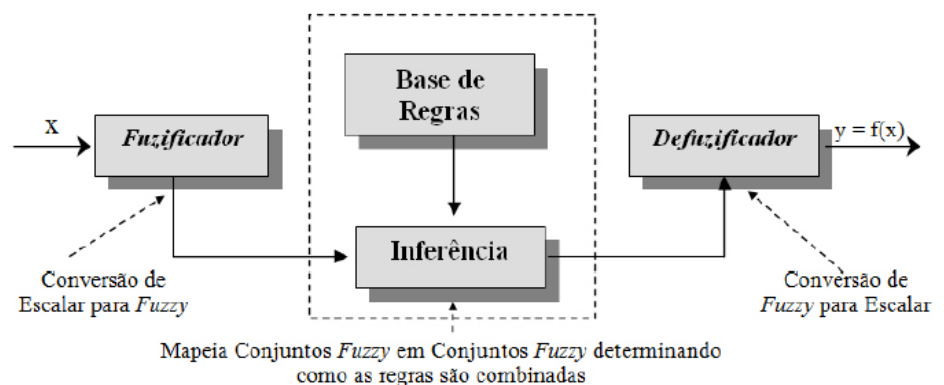


abertura da válvula. O sistema de classificação deve fazer uso de sistemas híbridos *neurofuzzy* (JANG; MIZUTANI, 1997) - os quais utilizam redes neurais e lógica *fuzzy* - para o ajuste dos parâmetros das funções de pertinência. O principal objetivo é atuar em um processo de aquecimento, buscando a melhoria da qualidade de um processo industrial. O MATLAB (MATHWORKS, 2015) é utilizado para coletar os dados diretamente da planta industrial. Esta proposta é uma alternativa às técnicas tradicionais de controle, como a PID (Proporcional, Integral e Derivativa), pois alguns problemas práticos da válvula, como o atraso e a histerese gerada pelo posicionador, podem ser compensadas ou melhoradas pelo controle *fuzzy*, posicionando a válvula de forma mais eficiente, por meio de variáveis linguísticas, e compensando assim os seus erros de posicionamento.

METODOLOGIA

O Sistema de Inferência *Fuzzy* é uma estrutura computacional popular baseada nos conceitos de teoria de conjuntos *fuzzy*, regras *fuzzy* e raciocínio *fuzzy* (SIMÕES; SHAW, 2007). O mecanismo de inferência *fuzzy* consiste em quatro estágios: *fuzzy*ificação, base de regras, inferência e defuzzificação, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de um modelo de inferência



Fonte: adaptado de (SIMÕES; SHAW, 2007)

De forma geral, as variáveis de entrada de um sistema *fuzzy* adotam valores numéricos contínuos. Assim, é necessária a conversão dos valores discretos em valores *fuzzy* pré-definidos para cada variável, uma vez que regras *fuzzy* são capazes somente de relacionar conjuntos *fuzzy* (KLIR; YUAN, 1995). A interface de *fuzzy*ificação captura os valores das variáveis de entrada (valores discretos), transformando números em conjuntos *fuzzy*, de modo que possam se tornar variáveis linguísticas.

Na segunda etapa, ocorre o desenvolvimento da base de regras do tipo, “Se <antecedente> Então <consequente>”, que demonstram as relações de entrada e saída. Também são definidas as chamadas *funções pertinência*, as quais indicam o grau de equivalência de um elemento a um determinado conjunto *fuzzy*. Logo em seguida, na etapa de inferência, os dados subjetivos (variáveis linguísticas) previamente definidas na base de regras são avaliados matematicamente, empregando as regras de inferência da lógica *fuzzy*. A última etapa, defuzzificação, é um processo de transformação do valor agregado de saída em um único valor discreto que representa um compromisso entre os diferentes valores *fuzzy* contidos na saída do controlador (JANG et al., 2012).

Neste trabalho, todas as análises foram desenvolvidas em torno da planta didática da SMAR, que reproduz processos industriais para fins didáticos e é munida de equipamentos e ferramentas iguais aos usados em processos industriais, permitindo simular experimentos muito próximo de situações reais.

A planta didática foi adquirida no ano de 2009, pela UTFPR campus Cornélio Procópio, quando ocorreu o REUNI (Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federal) e está localizada no laboratório G103, como ilustra a Figura 2.

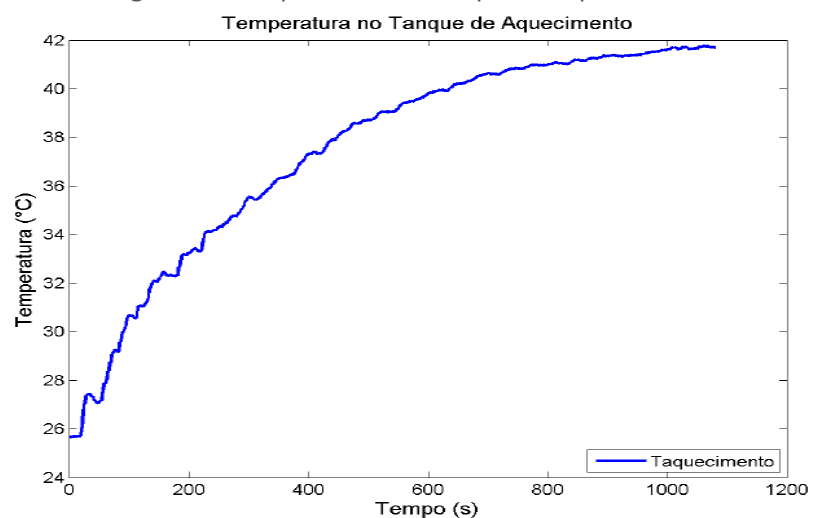
Figura 2 - Planta didática industrial SMAR



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2008)

Tendo em vista que a malha de aquecimento da planta industrial é um sistema de primeira ordem, é possível determinar uma função de transferência que rege seu comportamento. Este tipo de função nos permite simular de maneira muito fiel o comportamento de um sistema, de forma relativamente simples, que pode ser conferido em (JANG et al., 2012). A função de transferência foi obtida a partir da análise gráfica da Figura 3, em que a curva representa o tanque de aquecimento.

Figura 3 - Temperatura no tanque de aquecimento



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2008)

A partir da curva exibida na Figura 3, foi calculada a função de transferência $G(s)$, descrita na Eq (1).

$$G(s) = \frac{0.05}{s + 0.003} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, um exemplo de aplicação dos conceitos estudados é desenvolvido com o objetivo de classificar a temperatura do tanque de aquecimento. A partir de variáveis de entrada como vazão e abertura da válvula, é possível classificar a temperatura do tanque de aquecimento (saída do sistema). As variáveis de entrada foram coletadas diretamente na planta e a variável de saída é obtida por meio da Eq (1). Foram coletadas 750 linhas de dados numéricos, os quais foram divididos em conjunto de treinamento – utilizando 80% dos dados – e conjunto de teste – 20% dos dados. Tanto as variáveis de entrada (abertura da válvula e vazão) quanto a de saída (temperatura) são discretizadas em cinco classes linguísticas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. De acordo com as combinações das entradas, seriam geradas vinte e cinco regras do tipo “Se-Então”, porém, algumas combinações das variáveis de entrada não são cabíveis na prática e essas regras são podadas. Por esse motivo, são geradas treze regras linguísticas, descritas a seguir:

1. Se Abertura é muito baixa E Vazão é muito baixa ENTÃO Temperatura é muito baixa
2. Se Abertura é muito baixa E Vazão é baixa ENTÃO Temperatura é muito baixa
3. Se Abertura é baixa E Vazão é muito baixa ENTÃO Temperatura é baixa
4. Se Abertura é baixa E Vazão é baixa ENTÃO Temperatura é baixa
5. Se Abertura é baixa E Vazão é média ENTÃO Temperatura é baixa
6. Se Abertura é média E Vazão é baixa ENTÃO Temperatura é média
7. Se Abertura é média E Vazão é média ENTÃO Temperatura é média
8. Se Abertura é média E Vazão é alta ENTÃO Temperatura é média
9. Se Abertura é alta E Vazão é média ENTÃO Temperatura é alta
10. Se Abertura é alta E Vazão é alta ENTÃO Temperatura é alta
11. Se Abertura é alta E Vazão é muito alta ENTÃO Temperatura é alta
12. Se Abertura é muito alta E Vazão é alta ENTÃO Temperatura é muito alta
13. Se Abertura é muito alta E Vazão é muito alta ENTÃO Temperatura é muito alta

Os parâmetros de entrada das funções pertinência são obtidos por meio de treinamento supervisionado de dados, aplicando o sistema *neurofuzzy* (JANG; MIZUTANI, 1997) O tipo de função escolhido para este exemplo foi a triangular, pois é o formato de onda mais indicado para se usar com variáveis que possuem picos, como vazão e temperatura. Os parâmetros das funções de pertinência obtidos são inseridos no sistema de classificação *fuzzy*, que trabalham com o sistema de inferência do tipo Mamdani, cujas saídas são conjuntos *fuzzy*.

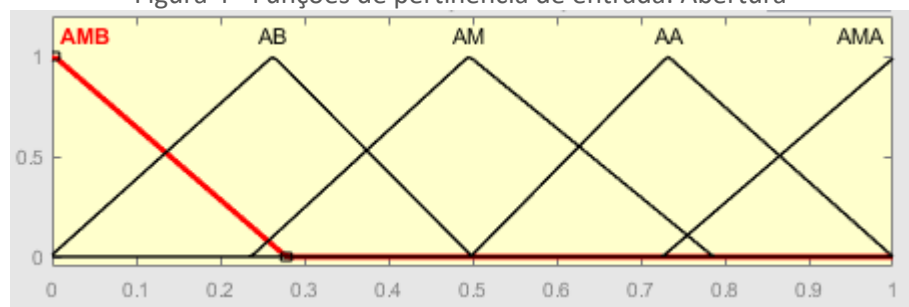
A Tabela 1 exibe os parâmetros das funções de pertinência de entrada, obtidos pelo treinamento do sistema *neurofuzzy*, e de saída, construída com base na temperatura do tanque de aquecimento da planta. As Figuras 4 e 5 apresentam o comportamento das funções de pertinência de entradas, geradas por estes parâmetros, e a Figura 6 apresenta o comportamento da função de saída.

Tabela 1 – Parâmetros das Funções de Pertinência

	<i>Muito baixo</i>	<i>baixo</i>	<i>Médio</i>	<i>alto</i>	<i>Muito alto</i>
Abertura da válvula	[-0.25 0.002366 0.2786]	[-0.002525 0.2628 0.5001]	[0.2365 0.4959 0.7866]	[0.4976 0.7322 1]	[0.7257 1.003 1.25]
Vazão	[-0.1951 0.04563 0.2931]	[0.04241 0.2892 0.5523]	[0.297 0.5274 0.7671]	[0.5191 0.76 1.001]	[0.7722 0.9987 1.239]
Temperatura	[-0.25 0 0.25]	[0 0.25 0.65]	[0.2 0.5 0.8]	[0.5 0.75 1]	[0.65 1 1.75]

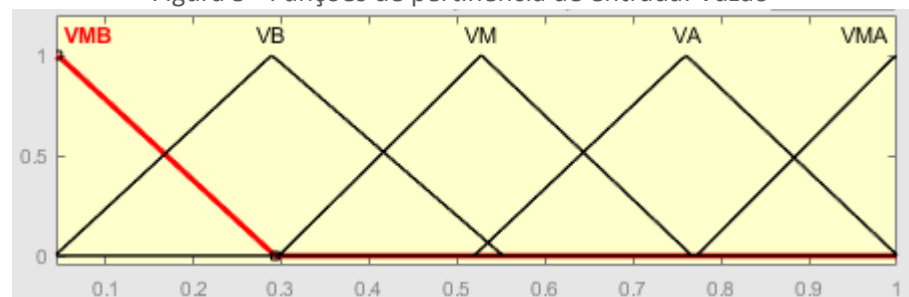
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 4 - Funções de pertinência de entrada: Abertura



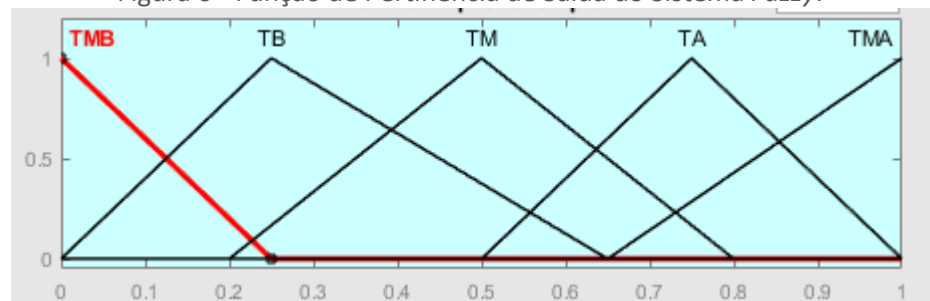
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 5 - Funções de pertinência de entrada: Vazão



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 6 - Função de Pertinência de Saída do Sistema Fuzzy.



Fonte: Autoria própria (2019)

Após o treinamento dos parâmetros e da construção do classificador *fuzzy*, o conjunto de teste foi aplicado para calcular o índice de acerto do sistema de classificação *fuzzy*. O modelo de classificação obteve uma taxa de acerto de 71%, mostrando-se um sistema robusto e aplicável a dados reais.

CONCLUSÃO

O processo de aquecimento da Planta Industrial está sujeito à diversos fatores externos, como entrada de ar nas tubulações e troca de calor dos equipamentos, que acabam causando uma grande variação em seus valores de temperatura. Em busca de amenizar estes problemas, os dados de temperatura, que são a saída do sistema, foram gerados a partir da função de transferência do tanque de aquecimento, dada pela Eq (1), logo nossos dados de saída são valores muito próximos da realidade.

REFERÊNCIAS

- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- WOLOVICH, W. A. **Automatic control systems: basic analysis and design**. Fort Worth: Saunders College Publishing, 1994.
- CASTRUCCI, P.; BITTAR, A.; SALES, R. M. **Controle automático**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- KLIR, G.J.; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. Prentice Hall, Binghamton, New York, 1995.
- JANG, J.S.R.; MIZUTANI, E. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall**. New York-USA, 1997.
- MATHWORKS, C. **Fuzzy Logic Toolbox TM User' s Guide R 2015 a**. Natick: Mathworks, 2015.
- SIMÕES, M.G.; SHAW, I.S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. Edgard Blucher, 2ª. ed. São Paulo, 2007.
- JANG, J. S.; SUN, C. T.; MIZUTANI, E. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing - A computational Approach to Learning and Machine Intelligence**. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2012.
- SILVA, L. R. B. **Estudo aplicado de topologias de controle de processos utilizando uma Planta Didática Industrial**. 2011. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2011.
- NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2002.