

UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

**S. Yamagishi, C. Domienikan, R. M. Schoueri, A. W. Carbonari,
R. N. Saxena, A. L. Lapolli**

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CRPq, Caixa Postal 11049, 05422-970, São Paulo – SP
e-mail: alapolli@ipen.br

Resumo- O Laboratório de Interações Hiperfinas (LIH) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) trabalha com a técnica de Correlação Angular Perturbada (CAP) há mais de 20 anos. Em um dos processos, durante o estudo de interações hiperfinas, há a necessidade da utilização de um forno de pequeno volume para submeter determinadas amostras radioativas a variações de temperatura para aquisição de dados. Desta forma, este projeto apresenta o procedimento para criação de um sistema de controle de temperatura com base na lógica fuzzy, que consistiu na determinação das variáveis lingüísticas de entrada (*temp*, $\Delta temp$), de saída (*pot*) e de suas respectivas funções de pertinência, que serão utilizadas no software que será implementado futuramente no sistema de controle de temperatura.

Palavras-chave: Lógica fuzzy, sistemas de controle fuzzy

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

A lógica é a ciência que tem por objetivo o estudo das leis do raciocínio humano (AGUIAR; JÚNIOR, 2007). Entre outras, a Ciência da Computação aplica os conceitos da lógica em sistemas de controle e automação com a finalidade de simular o comportamento humano em sua habilidade nas tomadas de decisões, mediante a um conjunto de soluções possíveis sobre um determinado problema. A utilização da lógica, em aplicações tecnológicas, permite auxiliar ou até mesmo substituir as operações humanas repetitivas. Além disso, o seu desenvolvimento torna os sistemas de controle mais simples e flexíveis, podendo ser reprogramados sem a necessidade de alteração do hardware associado.

Em seus estudos, a lógica divide-se em lógica padrão, onde está associada a lógica de Boole (George Boole), que consiste em dois valores lógicos na aplicação de conjuntos, permitindo assim um evento ser verdadeiro ou falso, exclusivamente, ou seja um conceito bivalente onde o meio termo é excluído. Sendo assim, suas notações são mais utilizadas em aplicações precisas. Já a lógica fuzzy (ou lógica nebulosa), assunto deste trabalho, está associada à lógica não padrão, outra divisão dos estudos da lógica, que consiste em valores multivalentes na aplicação de conjuntos, ou seja, seu conceito vem a abranger a teoria lógica de Boole, onde os extremos entre o verdadeiro e falso, o meio termo é introduzido ao conceito para a modelagem dos eventos ditos ambíguos e incertos, possibilitando a criação de conjuntos de valores que permita a

definição de um evento ser 80% verdadeiro e 20% falso simultaneamente (SIMÕES, SHAN, 2007).

Nos últimos anos, o Laboratório de Interações Hiperfinas (LIH) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) vem automatizando o seu sistema de aquisição e análise de dados. Em um dos processos de aquisição há necessidade de submeter-se uma amostra radioativa, inserida no interior de um forno de pequeno volume, a temperaturas variando entre a ambiente e 1200°C aproximadamente.

De acordo com o exposto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de software, baseado na lógica fuzzy para controlar a temperatura do forno de pequeno volume.

Materiais e Métodos

Para situar melhor a metodologia adotada, será descrito a seguir o forno de pequeno volume a ser controlado e um software desenvolvido e utilizado no laboratório para a criação da base de dados do sistema de controle fuzzy deste projeto.

Forno de pequeno volume: Desenvolvido no Laboratório de Interações Hiperfinas (LIH), é baseado no modelo da Universidade de Bonn. Sua temperatura alcança o limite máximo de 1200°C. Este forno é alimentado por uma fonte de tensão associada a um controlador de temperatura da marca Contemp, modelo CPM45, em malha aberta, que por sua vez está interligado a um microcomputador PC, através da interface serial RS485 (protocolo ModBus-RTU). O forno de pequeno volume está detalhado na figura 1 a seguir:

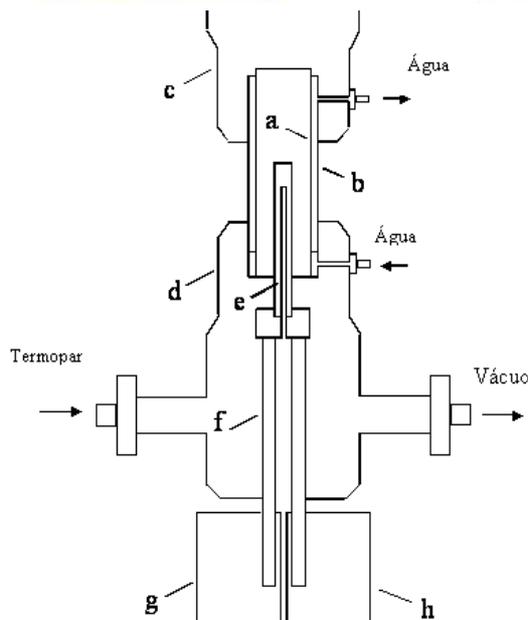


Figura 1 – Desenho esquemático do forno de pequeno volume

O forno é formado por dois tubos concêntricos de alumínio (a,b), com espaço entre os tubos destinado a circulação de água. Nas extremidades dos tubos há duas câmaras: a superior (c) para conexão ao sistema de vácuo e introdução das amostras a serem medidas, e a inferior (d) que é destinada a conexão com o sistema de refrigeração de água, o vácuo, a conexão com o termopar e a fonte de tensão elétrica. No interior do tubo (a), onde há vácuo, é conectada uma resistência (e) de grafite alimentada por dois pólos elétricos (f), com extremidades conectadas a dois blocos de cobre dissipadores de calor (g,h), refrigerados a água. No interior da resistência cilíndrica de grafite é inserida a amostra para ser aquecida, medida e analisada.

Software de análise de temperatura do forno: Para a definição de dados (variáveis linguísticas) e de seus respectivos parâmetros foi necessária a análise de variação de temperatura do forno a diferentes valores de potência aplicada à sua resistência. Neste sentido, foi desenvolvido um software em Visual Basic, com o objetivo de enviar, através do aplicativo, comandos de potência ao sistema de controle e este retornar graficamente com as medidas de temperatura do forno em função do tempo.

Nestas condições, foi possível a realização das medidas preliminares da base do conhecimento do sistema de controle fuzzy.

A construção deste projeto consistiu na aplicação dos conceitos da lógica fuzzy, baseados no conhecimento do esquema geral de controle fuzzy (WEBER, 2003), apresentado na figura 2.

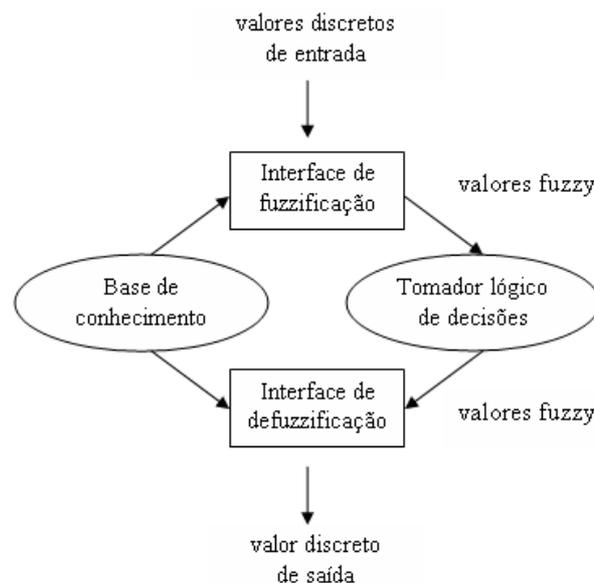


Figura 2 - Esquema geral de um sistema de controle fuzzy.

Seguindo a estrutura da figura 2 para a criação da base de conhecimento, foi necessária a análise do comportamento do forno e sistema associado. Para isso, foram realizados experimentos de levantamento das curvas de temperatura em função do tempo e potência fornecida através do software em Visual Basic (VB). Desta forma, variou-se a potência entre 1 a 100% da potência máxima (65 KW), utilizando-se passos de 0,1%, 5% e 10%, dependendo da região de interesse. Foi ainda coletado dados para o decréscimo da temperatura, variando de um determinado valor (acima da temperatura ambiente) até a ambiente, definindo-se a potência de 0%. Nestas condições, efetuou-se o levantamento de 136 curvas de temperatura em função do tempo.

Neste sentido, com base nos dados iniciais e no modelo de esquema geral de um sistema de controle fuzzy, foram definidas as variáveis linguísticas de entrada e saída do sistema desenvolvido neste projeto.

Variáveis de entrada:

- *temp*: indica a temperatura do forno durante a coleta de dados.
- $\Delta temp$: indica a variação de temperatura em função do tempo, também durante a coleta de dados.

Variável de saída:

- *pot*: variável de potência a ser fornecida conforme o comportamento de *temp* e $\Delta temp$.

Sintetizando a idéia, os valores discretos de entrada: *temp* e $\Delta temp$, serão respectivamente fuzzificados (escalar-fuzzy), tomando como base suas respectivas funções de pertinência contidas na base do conhecimento, aliás, é nesta estrutura que se encontram a base de dados e regras.

Depois desta fase de fuzzificação, mediante a um conjunto de variáveis lingüísticas retornadas por esta interface, o Tomador Lógico de Decisões, que está incorporada na estrutura de inferência da base de regras, utiliza as implicações fuzzy, através da estratégia de Mamdani, para simular a tomada de decisões humanas. Finalmente, na interface da defuzzificação (fuzzy-escalar) será feito o cálculo pelo método do Centro do Máximo, onde ocorrerá a conversão dos valores fuzzificados em um único valor numérico, neste caso a obtenção do valor numérico de saída *pot*.

Resultados

As curvas de temperatura em função do tempo estão apresentadas na figura 3.

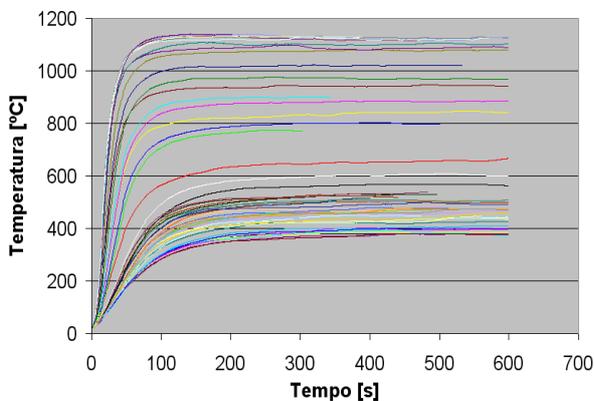


Figura 3 – Gráfico de temperatura em função do tempo para diferentes potências aplicadas.

A variável de entrada *temp* indica o valor da temperatura atual do forno, sendo este intervalo compreendido entre a ambiente e 1200°C. A função de pertinência da variável *temp* está apresentada na figura 4.

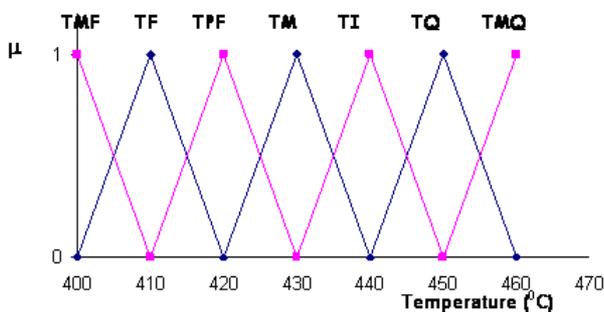


Figura 4 – Função de pertinência da variável de entrada: temperatura (*temp*).

Observa-se que o intervalo de aplicação desta variável é de 60°C (400°C a 460°C). As simbologias de pertinência do gráfico significam: TMF (temperatura muito fria), TF (temperatura

fria), TPF (temperatura pouco fria), TM (temperatura média), TI (temperatura ideal), TQ (temperatura quente) e TMQ (temperatura muito quente).

A variável de entrada $\Delta temp$ representa a variação da temperatura (°C) em função de um intervalo de tempo em segundos (s). Assumiram-se valores entre -30°C/s a +30°C/s, onde: valores positivos para $\Delta temp$ indica que *temp* está aumentando e valores negativos para $\Delta temp$ indica que *temp* está diminuindo.

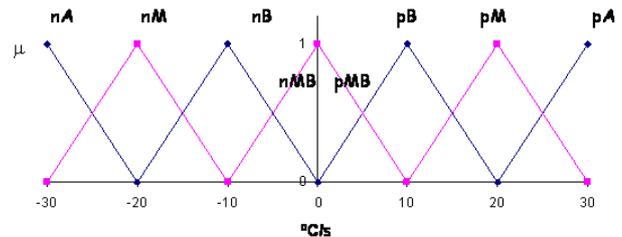


Figura 5 – Função de pertinência da variável de entrada: variação de temperatura ($\Delta temp$).

Da mesma forma que no caso da temperatura, os símbolos de pertinência (figura 5) indicam variação de temperatura: nA (negativa e alta), nM (negativa e média), nB (negativa e baixa), nMB (negativa e muito baixa), pMB (positiva e muito baixa), pB (positiva e baixa), pM (positiva e média) e pA (positiva e alta).

Para a variável de saída ficou definida a potência (*pot*), variando entre 0 e 100% da potência máxima. Seus conjuntos fuzzy ficaram definidos em: *pot_MAX* (potência máxima), *pot_MA* (potência muito alta), *pot_A* (potência alta), *pot_I* (potência ideal), *pot_MED* (potência média), *pot_B* (potência baixa), *pot_MB* (potência muito baixa) e *pot_NUL* (potência nula).

Discussão

Analisando-se o aspecto qualitativo, figura 3, verifica-se o comportamento uniforme de patamar de temperatura a partir de 380°C a 1100°C. Esta característica deve-se principalmente do forno ser de pequeno volume e, o gerador de tensão ser superdimensionado a baixas temperaturas, sendo necessário, a existência de uma carga em paralelo (resistência) associada ao forno, que não foi considerada nesta fase experimental. Observa-se também que cada curva refere-se a uma potência fornecida e que este comportamento é uniforme. Estas curvas são divididas em duas partes, sendo a primeira, reta inclinada, denotando a velocidade de variação da temperatura (temperatura/tempo) e a segunda, denota-se uma reta paralela ao eixo dos tempos, o que é adequado para sistemas deste tipo. Além disto, a velocidade de variação da temperatura e as temperaturas máximas são

proporcionais às potências aplicadas. Durante o experimento, verificou-se que o sistema começava a variar de temperatura com o fornecimento de potência apenas a partir de 1,9% da potência máxima.

Devido ao grande intervalo de variação de temperatura do forno (até aproximadamente 1200°C), adotou-se para a melhor aplicação do método da lógica fuzzy, um conjunto de 20 faixas com intervalos de 60°C cada. Em cada faixa, segue-se um padrão em relação aos conjuntos (termos lingüísticos) que irão representar os valores fuzzy para cada valor numérico da variável de entrada.

Com base nas curvas de variação das temperaturas (figura 3), tanto para o aumento como diminuição, nos cálculos realizados para a primeira parte da curva (reta inclinada) definiu-se para a variável $\Delta temp$ oito conjuntos fuzzy (termos lingüísticos) que representarão os valores discretos desta variável. Estes parâmetros foram divididos em dois grupos com intervalos entre 0 e -30°C/s e entre 0 e +30°C/s.

Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvido o procedimento para aquisição dos conceitos de lógica fuzzy. Além disso, foi descrita a estrutura do Laboratório de Interações Hiperfinas, onde estará associado o sistema de controle baseado nesta lógica.

O projeto ainda descreve os procedimentos experimentais, como o levantamento das curvas de temperatura em função do tempo e potência fornecida, além das análises qualitativas e quantitativas para a definição, a princípio, e posterior análise (simulação através do programa Matlab) e implementação (software em linguagem Java) das variáveis de entrada ($temp$ e $\Delta temp$) e de saída (pot).

Referências

- AGUIAR, H.; JÚNIOR, O. **Inteligência Computacional: Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- SIMÕES, M.G.; SHAW I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher: Fapesp, 2007.
- WEBER, L. **Aplicação da Lógica Fuzzy em Software e Hardware**. Canoas: Ulbra, 2003.