

# Lógica nebulosa - Mamdani

Denise Cristina Henrique de Freitas, 90248

ELT 460 – Inteligência computacional

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG

E-mail: denise.henrique@ufv.br

**Resumo-** O controlador nebuloso do tipo Mamdani vem cada vez mais sendo objeto de estudo, uma vez que, quando bem projetado representa uma alternativa robusta aos controladores convencionais. Através da Toolbox Fuzzy do Matlab é possível modelar tais controladores para sua utilização em distintos processos. Assim, este trabalho realiza a comparação entre os controladores fuzzy e PID, tendo como base o desempenho dos mesmos no controle de duas plantas distintas.

## I. INTRODUÇÃO

Na lógica clássica as afirmações são classificadas entre verdadeiras e falsas, entretanto, grande parte das experiências humanas apresentam infinitos graus de incerteza entre estes dois extremos. Assim, a imperfeição relacionada a linguagem natural estimulou ao longo dos anos o desenvolvimento de outras formas de representação de tais imprecisões [1].

A lógica nebulosa (lógica fuzzy, difusa) é amplamente empregada na modelagem de diversos sistemas e caracteriza-se por transformar expressões verbais imprecisas em valores numéricos. Nela as proposições podem apresentar valores intermediários entre “verdadeiro” e “falso”, uma vez que esta lógica considera funções de pertinência que representam o grau de possibilidade de cada elemento do universo de discurso pertencer a um determinado subconjunto[1].

Entre as distintas possibilidades de aplicação dos conceitos de lógica fuzzy, o seu uso em sistemas de controle vem ganhando espaço no contexto atual, uma vez que nas teorias de controle clássica e moderna o sucesso do projeto depende significativamente do conhecimento do modelo matemático que descreve o processo, algo que nem sempre é possível [2].

Assim, as técnicas para manuseio de informações qualitativas advindas da modelagem e do controle fuzzy, representam uma boa alternativa para casos em que o modelo do sistema estudado é incerto. Desse modo, considerando que o controle de sistemas é indispensável para distintos segmentos do mercado na atualidade, evidencia-se a importância do estudo e aprimoramento das técnicas empregadas e justifica-se a abordagem desse trabalho, que apresenta uma análise da aplicação do controlador fuzzy para dois processos distintos, comparando o seu desempenho com o controlador PID.

## II. OBJETIVOS

Modelar controladores nebulosos Mamdani, através do Matlab, para dois processos distintos e comparar o desempenho dos mesmos com o controlador PID, em termos da resposta do sistema as entradas degrau e rampa.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para implementação do controlador nebuloso utilizou-se a Toolbox Fuzzy do Matlab. O comando *fuzzy* possibilita a abertura de uma janela para ajuste das entradas, saídas e regras de acordo com a inferência Mamdani ou Sugeno, sendo que, nesse trabalho utilizou-se a primeira. A análise do comportamento do sistema após inserção do controlador modelado foi realizada através do *Simulink*. Adotou-se para análise duas plantas distintas, possuindo, respectivamente, as seguintes funções de transferência.

$$H(s) = \frac{1}{(s+1)^3} \quad (1)$$

$$H(s) = \frac{2s + 0.1}{s(s^2 + 0.1s + 4)} \quad (2)$$

### A. Controlador PID

O controlador PID é atualmente um dos mais empregados industrialmente, fato este que é uma consequência do seu desempenho satisfatório para distintos processos e condições de funcionamento. Ele resulta da combinação das ações proporcional, integral e derivativa, cujos parâmetros devem ser sintonizados afim de obter a resposta desejada do sistema [2]. Matematicamente, o controlador PID pode ser expresso por

$$g_{PID}(t) = K_p + K_i \times \int e(t)dt + K_d \times \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

A figura 1 mostra os componentes utilizados no Simulink para representação de um sistema de controle em malha fechada, empregando o controlador PID. Entretanto, vale destacar que este trabalho não tem por objetivo se aprofundar nas técnicas de sintonização para este tipo de controlador, assim, o ajuste foi realizado por tentativa e erro até obtenção de uma resposta próxima a desejada. Desse modo, para a primeira função de transferência, indicada pela equação (1), os parâmetros adotados foram  $K_p=3.5$ ,  $K_i=1.5$  e  $K_d=3$ . Já para a segunda função de transferência, conforme a equação (2), estes parâmetros foram ajustados com os valores  $K_p=30$ ,  $K_i=10$  e  $K_d=17$ .

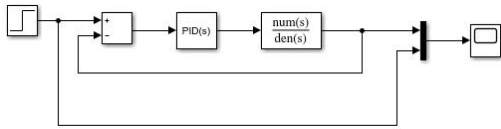


Figura 1 - Sistema de controle em malha fechada com controlador PID

### B. Controlador nebuloso Mamdani

Baseado no trabalho pioneiro de Mamdani, publicado em 1973, no algoritmo fuzzy deste controlador, cada regra é uma proposição condicional fuzzy, e diferentes relações fuzzy em  $U \times V \times W$  podem ser dela derivadas [1].

As estradas e saídas do controlador encontram-se representadas na figura 2, sendo elas,  $e(t)$  que corresponde ao erro do sistema, isto é, a diferença entre a saída e o valor de setpoint estabelecido,  $de(t)$  que representa a derivada do erro e  $u(t)$  que corresponde a saída do controlador, a qual posteriormente atuará como entrada para a planta do sistema. A derivada do erro foi empregada como entrada, de modo a possibilitar um ajuste mais fino dos controladores.

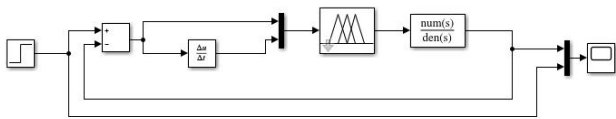


Figura 2 - Esquema do controlador Fuzzy montado no Simulink

Para estabelecimento das regras de inferência foram considerados os conjuntos nebulosos dispostos na tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura dos conjuntos fuzzy

NG	Negativo Grande
N	Negativo
NP	Negativo Pequeno
Z	Zero
PP	Positivo Pequeno
P	Positivo
PG	Positivo Grande

Na modelagem dos controladores de ambas as plantas estudadas utilizou-se 9 regras de inferência, sendo elas indicadas na tabelas 2.

Tabela 2 - Regras de inferência empregadas para a planta 1.

$e(t)/de(t)$	N	Z	P
N	Z	NG	NP
Z	NP	Z	PP
P	PP	PG	Z

Conforme indicado nas figuras 3 e 4, para o ajuste do controlador da planta descrita pela equação (1) utilizou-se apenas funções de inferência do tipo triangular, já no caso do segundo controlador, ajustado de modo a adequar a resposta da planta representada pela função de transferência (2),

empregou-se funções de pertinência tanto triangulares quanto trapezoidais, o que encontra-se ilustrado nas figuras 5 e 6.

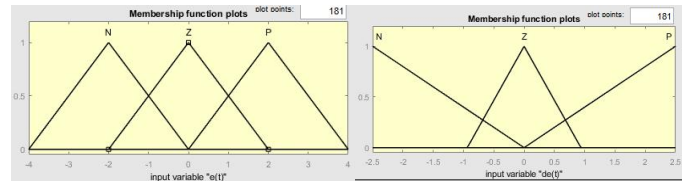


Figura 3 - Ajuste das curvas de pertinência para as entradas do controlador do primeiro sistema. a)  $e(t)$  e b)  $de(t)$ .

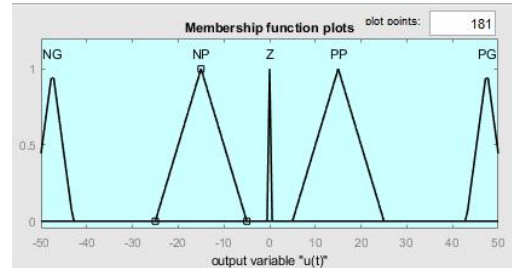


Figura 4 - Ajuste das curvas de pertinência para saída do controlador do primeiro sistema.

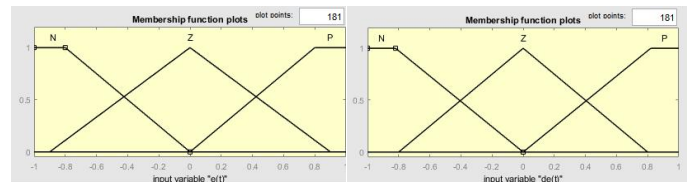


Figura 5 - Ajuste das curvas de pertinência para as entradas do controlador do segundo sistema. a)  $e(t)$  e b)  $de(t)$ .

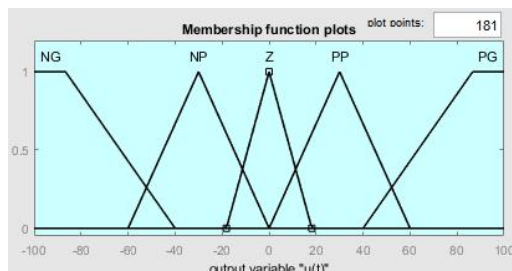


Figura 6 - Ajuste das curvas de pertinência para saída do controlador do segundo sistema.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos obtidos através da simulação dos dois processos abordados neste trabalho, empregando, ora o controlador fuzzy, ora o controlador PID, para as entradas rampa e degrau, encontram-se dispostos a seguir.

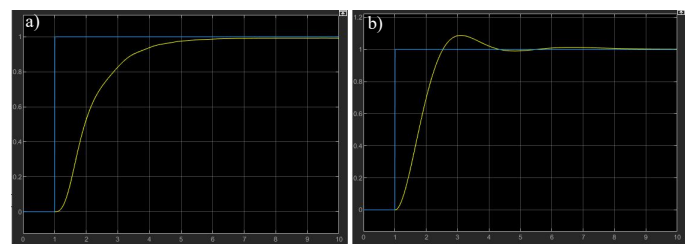


Figura 7 - Resposta da primeira planta ao degrau empregando: a) Controlador fuzzy e b) Controlador PID

De acordo com a figura 7, observa-se que o emprego do controlador fuzzy na primeira planta permitiu eliminar o overshoot, entretanto, o tempo de resposta do sistema foi maior quando comparado a resposta da planta com controlador PID.

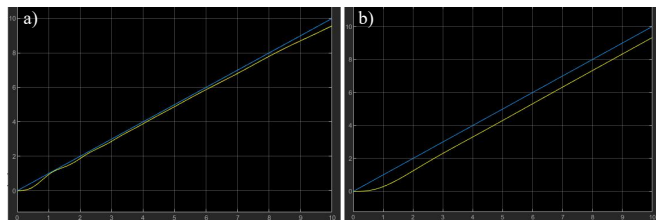


Figura 8 - Resposta da primeira planta à rampa empregando: a) Controle fuzzy e b) Controle PID

Em relação a resposta do primeiro sistema à rampa, percebe-se pela figura 8 que no caso do controlador fuzzy o valor da saída apresentou-se mais próximo ao desejado se comparado ao obtido através do controle PID. Entretanto, aumentando o tempo de simulação foi possível verificar que após 20s aproximadamente, a saída do sistema empregando controle fuzzy manifesta instabilidade, algumas tentativas de ajuste nas curvas de pertinência para correção deste comportamento foram realizadas, porém sem sucesso.

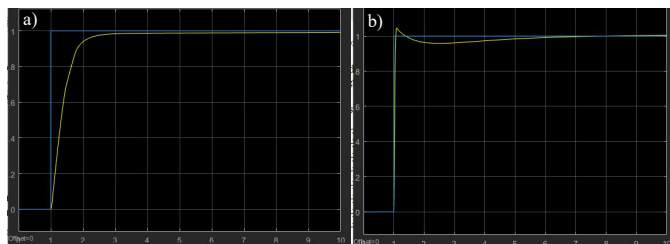


Figura 9 - Resposta da segunda planta ao degrau empregando: a) Controle fuzzy e b) Controle PID

No que se refere a segunda planta, o uso do controlador fuzzy, assim como no caso da primeira, possibilitou a eliminação do sobressinal, tal fato pode ser observado pela figura 9.

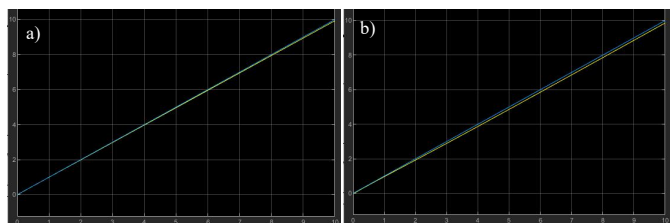


Figura 10 - Resposta da segunda planta à rampa empregando: a) Controle fuzzy e b) Controle PID

Por fim, de acordo com a figura 10, o uso do controlador fuzzy no segundo processo resultou no comportamento desejado em resposta à rampa, e, embora o controlador PID também tenha apresentado resultado satisfatório, a resposta obtida com o primeiro foi melhor.

## V. CONCLUSÕES

Assim, por meio da realização desta prática foi possível ajustar os controladores fuzzy para os dois processos estudados e analisar o comportamento dos mesmos para as entradas degrau e rampa. Além disso, foi realizada a comparação das respostas com aquelas obtidas empregando o controlador PID. É importante destacar que os parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  do controlador PID podem ser melhor ajustados utilizando-se regras de sintonização que não foram abordadas nesse trabalho, consequentemente, é possível obter melhores respostas com o uso deste controlador do que aquelas aqui apresentadas. Em relação ao controlador fuzzy, um ajuste mais cuidadoso das curvas relativas as funções de pertinência, bem como a alteração das regras de inferência podem ser estudadas em trabalhos futuros como possíveis soluções para os resultados indesejados, especialmente aquele referente a resposta à rampa do primeiro caso.

Portanto, a prática possibilitou a percepção de que um ajuste adequado das regras e funções de pertinência podem resultar em controladores fuzzy robustos e aplicáveis em distintos processos. Desse modo, o trabalho cumpriu os objetivos estabelecidos previamente, possibilitando a modelagem e comparação dos controladores por meio do Matlab.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOUSA, Andrei João Ribeiro de. Controladores Linguísticos Fuzzy. Orientador: João Manuel Ferreira Calado. 2014. 100 p. Trabalho conclusão de curso (Mestrado em Engenharia Mecânica) - INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4150/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- [2] GOMIDE, Fernando Antonio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. MODELAGEM, CONTROLE, SISTEMAS E LÓGICA FUZZY. SBA Controle & Automação, Campinas - SP, v. 4, n. 3, 11 out. 1994. Disponível em: <http://www.dca.fee.unicamp.br/~gudwin/ftp/publications/RevSBA94.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.