

# Sistema Fuzzy para Controle de Ventilação em Ambientes Fechados

MATHEUS COELHO E RODRIGO SILVA

# Metodologia

## ▶ **A. Definição das Variáveis Linguísticas**

- ▶ O sistema fuzzy proposto utiliza três variáveis de entrada:
- ▶ Temperatura interna (T), em °C, variando de 15 a 35.
- ▶ Umidade relativa (U), em %, variando de 20 a 80.
- ▶ Número de pessoas (P), variando de 0 a 20.
- ▶ A variável de saída é a intensidade da ventilação (V), em % da potência do ventilador.
- ▶ Cada variável foi particionada em três conjuntos fuzzy, conforme Tabela I.

TABLE I  
CONJUNTOS LINGUÍSTICOS DAS VARIÁVEIS

| <b>Variável<br/>Entrada</b> | <b>Conjuntos Fuzzy</b> |                   |                   |
|-----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
|                             | <i>Conjunto 1</i>      | <i>Conjunto 2</i> | <i>Conjunto 3</i> |
| Temperatura                 | baixa                  | média             | alta              |
| Umidade                     | baixa                  | média             | alta              |
| Pessoas                     | poucas                 | moderadas         | muitas            |
| Ventilação (Saída)          | fraca                  | moderada          | forte             |

## B. Funções de Pertinência

As funções de pertinência foram definidas utilizando funções trapezoidais e triangulares, conforme Equação (1) e (2).

$$\mu_{trap}(x; a, b, c, d) = \max \left( \min \left( \frac{x - a}{b - a}, 1, \frac{d - x}{d - c} \right), 0 \right) \quad (1)$$

$$\mu_{tri}(x; a, b, c) = \max \left( \min \left( \frac{x - a}{b - a}, \frac{c - x}{c - b} \right), 0 \right) \quad (2)$$

Exemplo para a variável temperatura:

- *baixa*: trapezoidal [15, 15, 18, 22]
- *média*: triangular [18, 25, 30]
- *alta*: trapezoidal [24, 28, 35, 35]

## ► C. Base de Regras Fuzzy

- A base de regras foi construída com base em conhecimento comum sobre conforto térmico, totalizando 27 regras do tipo:
- *Se temperatura é alta e umidade é alta e pessoas são muitas, então ventilação é forte.*
- A Tabela II ilustra exemplos de regras implementadas.

TABLE II  
EXEMPLOS DE REGRAS FUZZY

| Regra<br>Número | Entradas           |                |                | Saída<br><i>Ventilação</i> |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------------|
|                 | <i>Temperatura</i> | <i>Umidade</i> | <i>Pessoas</i> |                            |
| 1               | baixa              | baixa          | poucas         | fraca                      |
| 2               | alta               | alta           | muitas         | forte                      |
| 3               | média              | média          | moderadas      | moderada                   |

## ► D. Inferência Fuzzy

- O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, com operadores lógicos AND (mínimo) e OR (máximo). A agregação das saídas das regras foi feita pelo operador máximo, e a defuzzificação foi realizada pelo método do centroide (centro de área).

# Resultados e discussão

## ▶ A. Simulações

- ▶ Foram realizados experimentos com cinco cenários distintos de entrada, conforme Tabela III.

TABLE III  
CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

| Cenário | Temperatura (°C) | Umidade (%) | Pessoas |
|---------|------------------|-------------|---------|
| 1       | 20               | 35          | 1       |
| 2       | 24               | 50          | 4       |
| 3       | 28               | 55          | 8       |
| 4       | 30               | 70          | 2       |
| 5       | 26               | 40          | 15      |

## ▶ B. Processo de Inferência Fuzzy: Exemplo do Cenário 3

▶ Para o cenário 3 ( $T=28^{\circ}\text{C}$ ,  $U=55\%$ ,  $P=8$ ):

▶ **Fuzzificação:** Calcula-se o grau de pertinência de cada entrada nos conjuntos fuzzy correspondentes. Para  $T=28^{\circ}\text{C}$ :

▶  $\mu_{\text{baixa}}(28)=0$

▶  $\mu_{\text{media}}(28)\approx 0.4$

▶  $\mu_{\text{alta}}(28)\approx 1$

▶ (Valores ilustrativos; ver Fig. 1)

▶ Para  $P=8$ :

▶  $\mu_{\text{baixa}}(8)=0$

▶  $\mu_{\text{media}}(8)\approx 0.8$

▶  $\mu_{\text{alta}}(8)=0$

▶ (Valores ilustrativos; ver Fig. 2)

▶ Para  $U=55\%$ :

▶  $\mu_{\text{baixa}}(55)=0$  ;  $\mu_{\text{media}}(55)\approx 0.33$  ;  $\mu_{\text{alta}}(55)\approx 0.33$

▶ (Valores ilustrativos; ver Fig. 3)



•**Regras Disparadas:** São ativadas todas as regras cujos antecedentes têm pertinência não nula.

•Por exemplo: Se temperatura é alta (0.5) e umidade é média (0.6) e pessoas são moderadas (0.7), então ventilação é forte.

O grau de ativação da regra é  $\min(0.5, 0.6, 0.7) = 0.5$ .

•**Agregação:** As saídas das regras são agregadas pelo operador máximo.

•**Defuzzificação:** O valor crisp da ventilação é obtido pelo método do centroide:

$$V^* = \frac{\int v \cdot \mu_V(v) dv}{\int \mu_V(v) dv}$$

•**Resultado:** Para este cenário, o sistema sugeriu ventilação de X% (valor obtido na simulação), classificada como forte.

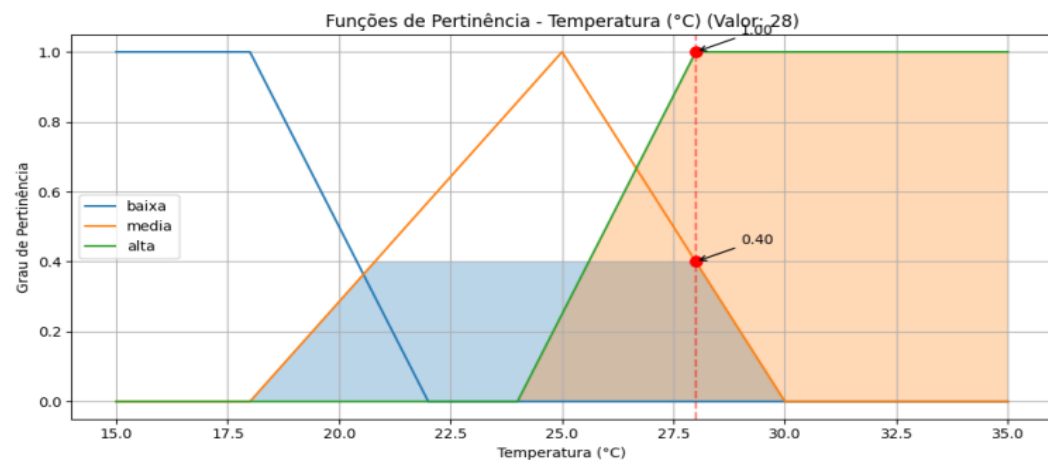


Fig. 1. Funções de pertinência para a variável temperatura e ativação para  $T = 28^{\circ}\text{C}$ .

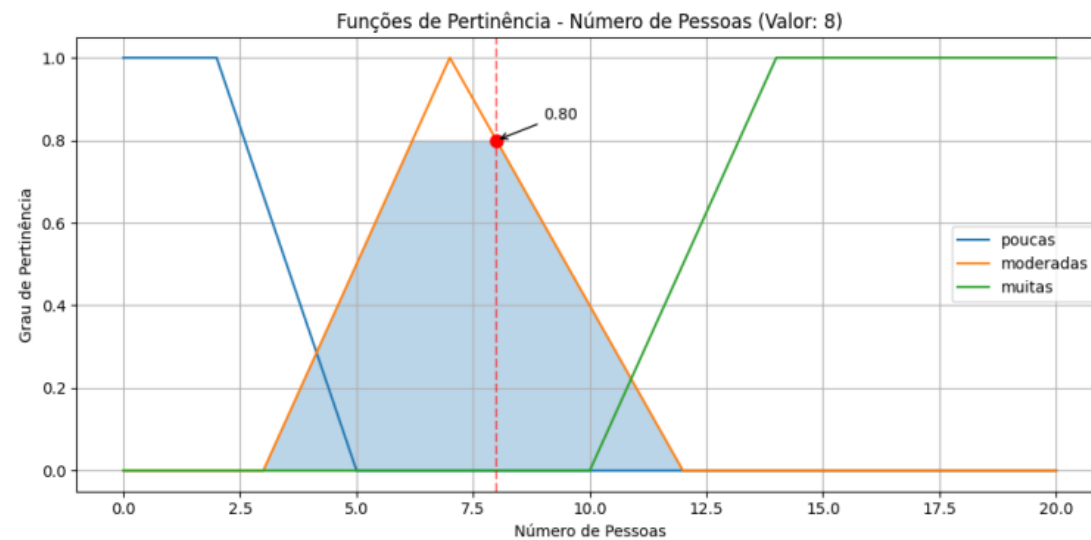


Fig. 2. Funções de pertinência para a variável pessoas e ativação para  $P=8$ .

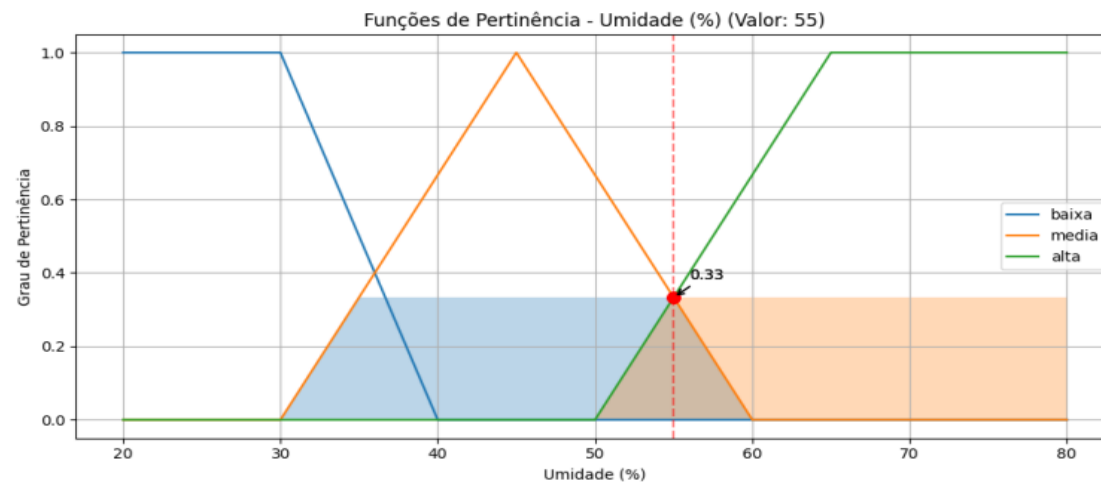


Fig. 3. Funções de pertinência para a variável umidade e ativação para  $U=55\%$ .

## ► **C. Análise dos Operadores e Técnicas de Defuzzificação**

- Foram testados diferentes operadores lógicos (AND/OR) e técnicas de defuzzificação (centroide, média do máximo, bissetriz). Observou-se que o método do centroide apresentou maior robustez e suavidade na resposta, enquanto a média do máximo pode gerar valores intermediários menos intuitivos.

## ► **D. Visualização dos Resultados**

- As superfícies fuzzy geradas (Fig. 4) ilustram a relação entre as variáveis de entrada e a saída do sistema, evidenciando a transição suave entre os níveis de ventilação. A figura foi gerada colocando pessoas como constante, variando temperatura e umidade apenas.

Temperatura x Umidade (Pessoas = 10)

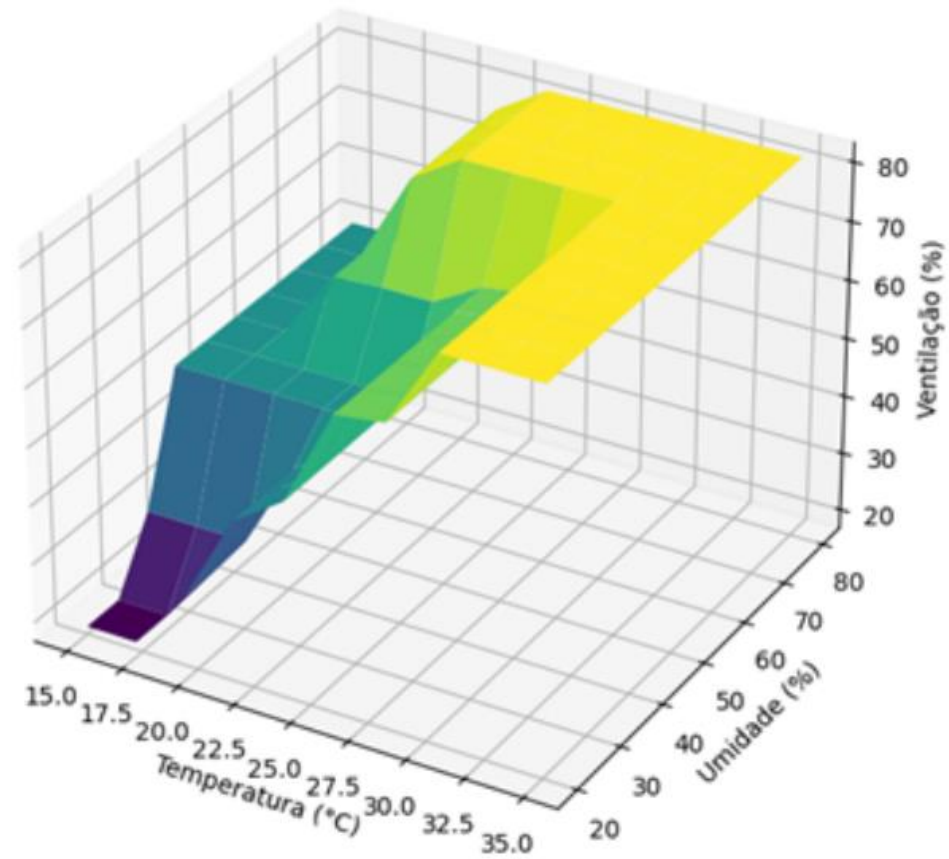


Fig. 4. Superfície fuzzy: ventilação em função da temperatura e umidade (pessoas fixo).

# Conclusão

- ▶ O sistema fuzzy desenvolvido demonstrou ser eficaz para o controle qualitativo da ventilação em ambientes fechados, promovendo conforto térmico e potencial economia de energia. A abordagem permite flexibilidade e adaptação a diferentes condições ambientais, sendo facilmente ajustável para outros contextos.

# Referências:

- ▶ [1] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- ▶ [2] E. H. Mamdani, “Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-26, no. 12, pp. 1182–1191, 1977.
- ▶ [3] H. R. Berenji, “Fuzzy logic controllers,” in *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*, Springer, 1992, pp. 69–96.