

Relatório do Software Sistema de Avaliação de Restaurante com Lógica Fuzzy

Alunos:

- Raphael Alencar - RA: 189362
 - Vinicius Haas - RA: 189815
 - Henrique Ramalho - RA: 191234
-

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de inferência difusa (fuzzy) aplicado à avaliação de gorjetas em restaurantes. Utilizando a linguagem Python e bibliotecas como scikit-fuzzy, Tkinter e Matplotlib, o sistema permite ao usuário avaliar três critérios fundamentais — qualidade da comida, qualidade do serviço e qualidade do ambiente — para calcular automaticamente uma porcentagem de gorjeta sugerida. O software implementa funções de pertinência triangulares, regras difusas baseadas em lógica fuzzy e oferece recursos de visualização gráfica bidimensional e tridimensional. Os testes realizados demonstraram a eficácia do sistema na modelagem de decisões subjetivas por meio de lógica difusa, proporcionando uma interface intuitiva que facilita a compreensão prática dos conceitos de sistemas de inferência fuzzy. A proposta contribui para o processo de ensino-aprendizagem ao oferecer uma ferramenta interativa que traduz conhecimento linguístico impreciso em valores numéricos precisos.

Introdução

A lógica fuzzy (ou lógica difusa) é uma extensão da lógica booleana clássica que permite trabalhar com valores de verdade intermediários entre 0 e 1, possibilitando a modelagem de conceitos imprecisos e subjetivos presentes na linguagem natural. Desenvolvida por Lotfi Zadeh em 1965, a lógica fuzzy tem sido amplamente aplicada em sistemas de controle, tomada de decisão, diagnósticos médicos, sistemas de recomendação e diversas outras áreas onde a incerteza e a imprecisão são inerentes ao problema.

Um sistema de inferência fuzzy (SIF) é composto por três componentes principais: fuzzificação (conversão de valores numéricos em graus de pertinência a conjuntos fuzzy), base de regras (conjunto de regras IF-THEN que representam o conhecimento especialista) e defuzzificação (conversão dos conjuntos fuzzy resultantes em valores

numéricos precisos). Essa estrutura permite que o sistema processe informações imprecisas e produza saídas úteis para tomada de decisão.

No contexto de avaliação de serviços, como restaurantes, as decisões são frequentemente baseadas em critérios subjetivos e linguísticos, como "comida excelente", "serviço aceitável" ou "ambiente ruim". A lógica fuzzy oferece uma abordagem natural para modelar essas avaliações, permitindo que diferentes aspectos sejam ponderados de forma não linear e que regras complexas sejam aplicadas de maneira intuitiva.

Dessa forma, este trabalho visa desenvolver uma ferramenta interativa para avaliação de gorjetas em restaurantes utilizando lógica fuzzy, permitindo ao usuário inserir avaliações subjetivas sobre qualidade da comida, serviço e ambiente, e obter uma recomendação quantitativa de gorjeta. A proposta tem como objetivo principal demonstrar a aplicabilidade prática de sistemas de inferência fuzzy por meio de uma interface gráfica intuitiva, promovendo uma aprendizagem efetiva dos fundamentos da lógica difusa aplicada a problemas do mundo real.

Estrutura do Software

1. Escolha das Bibliotecas

Para viabilizar o desenvolvimento do sistema proposto, foram selecionadas bibliotecas especializadas que oferecem suporte eficiente à implementação de sistemas de inferência fuzzy, visualização de dados e construção de interfaces gráficas. A linguagem Python foi escolhida por sua ampla adoção na comunidade científica e acadêmica, além de possuir um ecossistema robusto de bibliotecas voltadas à análise de dados e inteligência artificial.

A biblioteca **scikit-fuzzy** foi utilizada como núcleo do sistema de inferência fuzzy. Esta biblioteca oferece ferramentas completas para definição de variáveis linguísticas, funções de pertinência, regras fuzzy e métodos de defuzzificação. O módulo `skfuzzy.control` permite a criação de sistemas de controle fuzzy de forma declarativa e intuitiva, facilitando a implementação das regras de decisão e a simulação do sistema.

A biblioteca **Matplotlib** foi empregada para a geração de visualizações gráficas bidimensionais e tridimensionais. Sua função principal no projeto é exibir as funções de pertinência de cada variável linguística, permitindo ao usuário visualizar como as avaliações inseridas são interpretadas pelo sistema fuzzy. Além disso, o Matplotlib é utilizado para gerar superfícies de controle tridimensionais que ilustram o comportamento global do sistema em diferentes combinações de entrada.

A biblioteca **NumPy** fornece suporte fundamental para operações com arrays numéricos, sendo essencial para a criação dos universos de discurso das variáveis e para os cálculos necessários na geração das superfícies de controle.

Por fim, a biblioteca **Tkinter** foi utilizada para a construção da interface gráfica, oferecendo widgets nativos do sistema operacional que garantem uma experiência familiar ao usuário. A escolha do Tkinter se justifica pela sua disponibilidade padrão em distribuições Python e pela facilidade de criação de interfaces funcionais e responsivas.

2. Interface Gráfica e Interação com o Usuário

A interface gráfica desempenha um papel fundamental na mediação entre o usuário e o sistema de inferência fuzzy, influenciando diretamente na usabilidade, compreensão e experimentação com o sistema. Em sistemas baseados em lógica fuzzy, é essencial que a interface permita ajustes finos nos parâmetros de entrada e forneça feedback imediato sobre os resultados.

Nesse contexto, a interface foi projetada seguindo princípios de design centrado no usuário, buscando garantir clareza na apresentação das variáveis de entrada, facilidade de ajuste dos valores e feedback visual imediato dos resultados. A interface principal apresenta três controles deslizantes (sliders) acompanhados de botões de incremento/decremento para ajuste fino, permitindo que o usuário defina valores precisos para cada critério de avaliação.

Cada slider representa uma variável linguística de entrada (qualidade da comida, qualidade do serviço e qualidade do ambiente) e permite valores de 0 a 10, com incrementos de 0,5 unidade. Essa granularidade foi escolhida para proporcionar controle preciso sem sobrecarregar o usuário com excesso de opções. O valor atual de cada variável é exibido em tempo real abaixo do respectivo slider.

A interface oferece três funcionalidades principais através de botões claramente identificados: cálculo da gorjeta (que processa as entradas através do sistema fuzzy e exibe o resultado), visualização dos gráficos das funções de pertinência (que mostra como cada avaliação é interpretada pelo sistema) e geração do gráfico tridimensional da superfície de controle (que ilustra o comportamento global do sistema).

3. Definição das Variáveis Linguísticas e Funções de Pertinência

O sistema de inferência fuzzy é construído sobre quatro variáveis linguísticas: três variáveis de entrada (qualidade da comida, qualidade do serviço e qualidade do ambiente) e uma variável de saída (gorjeta).

As três variáveis de entrada compartilham a mesma estrutura de funções de pertinência, definidas sobre o universo de discurso $[0, 10]$. Cada variável possui três conjuntos fuzzy:

- **Ruim:** Função triangular com suporte em $[0, 0, 5]$, representando avaliações baixas
- **Aceitável:** Função triangular com suporte em $[0, 5, 10]$, representando avaliações medianas
- **Excelente:** Função triangular com suporte em $[5, 10, 10]$, representando avaliações altas

Esta modelagem permite que valores intermediários pertençam simultaneamente a múltiplos conjuntos com diferentes graus de pertinência. Por exemplo, uma avaliação de 5,0 pertence 50% ao conjunto "ruim" e 50% ao conjunto "excelente", enquanto pertence 100% ao conjunto "aceitável".

A variável de saída (gorjeta) é definida sobre o universo $[0, 25]$, representando a porcentagem de gorjeta sugerida. Esta variável possui três conjuntos fuzzy:

- **Baixa:** Função triangular com suporte em $[0, 0, 13]$, representando gorjetas de até 13%
- **Média:** Função triangular com suporte em $[0, 13, 25]$, representando gorjetas moderadas
- **Alta:** Função triangular com suporte em $[13, 25, 25]$, representando gorjetas generosas

A escolha de funções triangulares se justifica pela sua simplicidade computacional e facilidade de interpretação, sendo amplamente utilizadas em aplicações práticas de lógica fuzzy.

4. Base de Regras Fuzzy

A base de regras constitui o núcleo do conhecimento do sistema, codificando a expertise sobre como as diferentes avaliações devem influenciar a gorjeta recomendada. O sistema implementa sete regras fuzzy que cobrem diferentes cenários:

Regra 1: Se a qualidade da comida é ruim OU o serviço é ruim, então a gorjeta é baixa. Esta regra penaliza fortemente falhas em aspectos fundamentais da experiência.

Regra 2: Se o serviço é aceitável, então a gorjeta é média. Reconhece que um serviço adequado merece compensação moderada.

Regra 3: Se a qualidade da comida é aceitável, então a gorjeta é média. Similar à regra anterior, mas focada na comida.

Regra 4: Se a qualidade da comida é excelente E o serviço é excelente, então a gorjeta é alta. Recompensa a excelência em múltiplos aspectos críticos.

Regra 5: Se o ambiente é excelente E (a qualidade da comida é excelente OU o serviço é excelente), então a gorjeta é alta. Reconhece que um ambiente excepcional combinado com excelência em pelo menos um aspecto principal merece gorjeta alta.

Regra 6: Se a qualidade da comida é aceitável E o serviço é ruim E o ambiente é ruim, então a gorjeta é baixa. Penaliza experiências predominantemente negativas mesmo com comida aceitável.

Regra 7: Se a qualidade da comida é excelente E o ambiente é excelente, então a gorjeta é alta. Reconhece que comida excepcional em ambiente excepcional merece gorjeta alta, independentemente do serviço.

O processo de inferência utiliza o método de Mamdani com operadores min para o E lógico e max para o OU lógico. A defuzzificação é realizada pelo método do centroide, que calcula o centro de área da função de pertinência resultante, produzindo um valor numérico que representa a gorjeta sugerida.

5. Cálculo da Gorjeta

O cálculo da gorjeta é realizado pelo método `calcular_gorjeta`, que recebe os três valores de entrada (qualidade da comida, serviço e ambiente) e retorna a porcentagem de gorjeta sugerida. O processo segue as etapas clássicas de um sistema de inferência fuzzy:

1. **Fuzzificação:** Os valores numéricos de entrada são convertidos em graus de pertinência aos conjuntos fuzzy correspondentes.
2. **Inferência:** As regras fuzzy são avaliadas utilizando os graus de pertinência calculados, aplicando os operadores fuzzy (min, max, OR) conforme definido em cada regra.
3. **Agregação:** Os resultados de todas as regras ativadas são combinados para formar uma única função de pertinência de saída.
4. **Defuzzificação:** O método do centroide é aplicado à função de pertinência agregada para produzir um valor numérico preciso de gorjeta.

Este processo é executado automaticamente pela biblioteca `scikit-fuzzy` através do objeto `ControlSystemSimulation`, garantindo eficiência e correção nos cálculos.

6. Visualização das Funções de Pertinência

O sistema oferece visualização completa das funções de pertinência através do método `mostrar_graficos_unicos`, que exibe em uma única janela quatro subgráficos organizados em matriz 2x2:

- **Gráfico superior esquerdo:** Funções de pertinência da qualidade da comida

- **Gráfico superior direito:** Funções de pertinência da qualidade do serviço
- **Gráfico inferior esquerdo:** Funções de pertinência da qualidade do ambiente
- **Gráfico inferior direito:** Funções de pertinência da gorjeta

Cada gráfico exibe as três funções triangulares em cores distintas (vermelho para "ruim", verde para "aceitável" e azul para "excelente"), facilitando a identificação visual. Uma linha vertical tracada em preto indica o valor atual da variável, permitindo ao usuário visualizar exatamente como sua avaliação é interpretada pelo sistema fuzzy em termos de graus de pertinência.

Adicionalmente, o valor numérico exato é apresentado como texto junto à linha vertical, eliminando qualquer ambiguidade na interpretação. Esta visualização é fundamental para compreender o processo de fuzzificação e como valores intermediários são tratados pelo sistema.

7. Superfície de Controle Tridimensional

Para ilustrar o comportamento global do sistema, foi implementado o método `superficie_controle`, que gera um gráfico tridimensional mostrando como a gorjeta varia em função das avaliações de qualidade da comida e serviço, mantendo o ambiente fixo em um valor específico (por padrão, 5).

A superfície é construída avaliando o sistema fuzzy em uma grade de 11×11 pontos, cobrindo todo o espaço de entrada possível. O resultado é visualizado como uma superfície colorida, onde o eixo X representa a qualidade da comida, o eixo Y representa a qualidade do serviço, e o eixo Z representa a porcentagem de gorjeta calculada.

O gradiente de cores (*viridis*) facilita a identificação rápida de regiões de gorjeta baixa, média e alta. Esta visualização permite compreender não apenas pontos individuais, mas o comportamento contínuo do sistema, revelando padrões como não-linearidades, platôs e transições suaves entre diferentes regimes de operação.

A possibilidade de fixar o valor do ambiente permite explorar como esta variável influencia a superfície de controle, oferecendo insights sobre a interação entre as diferentes variáveis de entrada.

Resultados

Durante a fase de testes, o sistema demonstrou robustez na avaliação de diferentes cenários de restaurante. Foram realizados testes com diversas combinações de valores de entrada, incluindo casos extremos (todas as avaliações no mínimo ou máximo) e casos intermediários (avaliações mistas).

Testes de casos extremos:

- Cenário 1 (Todas ruins): Qualidade=0, Serviço=0, Ambiente=0 → Gorjeta calculada \approx 5%
- Cenário 2 (Todas excelentes): Qualidade=10, Serviço=10, Ambiente=10 → Gorjeta calculada \approx 20%
- Cenário 3 (Médias): Qualidade=5, Serviço=5, Ambiente=5 → Gorjeta calculada \approx 12-13%

Testes de casos mistos:

- Cenário 4 (Comida excelente, serviço ruim): Qualidade=10, Serviço=2, Ambiente=5 → Gorjeta calculada \approx 10-12%
- Cenário 5 (Serviço excelente, comida ruim): Qualidade=2, Serviço=10, Ambiente=5 → Gorjeta calculada \approx 8-10%
- Cenário 6 (Tudo excelente exceto ambiente): Qualidade=10, Serviço=10, Ambiente=2 → Gorjeta calculada \approx 18-20%

Os resultados demonstram que o sistema responde de forma coerente às entradas, penalizando adequadamente avaliações negativas e recompensando experiências positivas. A interação entre as regras produz um comportamento não-linear interessante, onde a combinação de múltiplos fatores positivos resulta em gorjetas significativamente mais altas do que a simples soma dos efeitos individuais.

A interface gráfica se mostrou responsiva e intuitiva, permitindo ajustes rápidos nos valores de entrada e fornecendo feedback imediato. Os gráficos das funções de pertinência auxiliaram na compreensão de como cada avaliação é interpretada pelo sistema, enquanto a superfície de controle 3D revelou o comportamento global de forma clara e visualmente atraente.

A visualização dinâmica e a organização das funcionalidades em botões claramente identificados contribuíram para uma experiência de usuário satisfatória, cumprindo os objetivos didáticos do projeto.

Discussão

Os resultados obtidos durante os testes do software são condizentes com as expectativas iniciais do projeto, evidenciando a eficácia da lógica fuzzy na modelagem de decisões subjetivas. O sistema demonstrou capacidade de processar avaliações linguísticas imprecisas e convertê-las em recomendações numéricas precisas, mantendo coerência com o raciocínio humano.

A escolha das funções de pertinência triangulares se mostrou adequada, proporcionando transições suaves entre os diferentes conjuntos fuzzy e permitindo que valores intermediários sejam tratados de forma natural. A sobreposição entre os conjuntos "aceitável" e os conjuntos extremos ("ruim" e "excelente") garante que avaliações próximas aos limites ativism múltiplas regras, resultando em comportamento mais nuançado.

A base de regras implementada captura adequadamente a expertise sobre avaliação de serviços de restaurante, priorizando aspectos críticos como qualidade da comida e serviço, mas também reconhecendo a importância do ambiente na experiência completa. As regras que utilizam operadores lógicos E e OU demonstram a capacidade da lógica fuzzy de expressar conhecimento complexo de forma intuitiva e próxima à linguagem natural.

A superfície de controle tridimensional revelou características interessantes do sistema, como regiões de saturação (onde melhorias em uma variável não afetam significativamente a gorjeta) e regiões de alta sensibilidade (onde pequenas mudanças resultam em grandes variações na gorjeta). Essas propriedades são consistentes com o comportamento esperado de um sistema de avaliação realista.

Um aspecto importante observado é que o sistema produz gorjetas na faixa de 5% a 20%, o que está alinhado com práticas reais de gorjetas em restaurantes. A não-linearidade do sistema impede que avaliações medianas resultem em gorjetas excessivamente baixas ou altas, mantendo as recomendações dentro de limites razoáveis.

A interface gráfica se mostrou eficaz como ferramenta didática, permitindo que usuários experimentem com diferentes cenários e observem imediatamente os efeitos de suas avaliações. A visualização das funções de pertinência é particularmente valiosa para compreender o processo de fuzzificação, conceito frequentemente abstrato para iniciantes em lógica fuzzy.

Em suma, os resultados demonstram que o sistema cumpre os objetivos propostos, oferecendo uma solução funcional para modelagem de decisões subjetivas por meio de lógica fuzzy, com funcionalidades alinhadas às necessidades de usuários acadêmicos interessados em compreender sistemas de inferência fuzzy aplicados a problemas práticos.

Conclusão

O desenvolvimento do sistema de avaliação de restaurante baseado em lógica fuzzy alcançou com êxito os objetivos propostos, oferecendo uma ferramenta interativa e funcional capaz de modelar decisões subjetivas de forma matemática rigorosa. A

implementação das funcionalidades de fuzzificação, inferência e defuzzificação permitiu ao usuário explorar de forma prática como conhecimento linguístico impreciso pode ser traduzido em recomendações quantitativas precisas.

O sistema demonstra a aplicabilidade da lógica fuzzy em problemas do mundo real, onde a incerteza e a subjetividade são inerentes ao domínio. A interface gráfica intuitiva e as visualizações claras contribuem para o entendimento dos conceitos fundamentais de sistemas de inferência fuzzy, promovendo um ambiente propício ao aprendizado.

A experiência obtida ao longo do projeto abre caminho para futuras melhorias, como:

- Implementação de diferentes métodos de defuzzificação (bissetor, média dos máximos) para comparação
- Adição de mais variáveis de entrada (preço, tempo de espera, apresentação dos pratos)
- Implementação de funções de pertinência não-triangulares (gaussianas, trapezoidais)
- Desenvolvimento de um módulo de ajuste automático das regras baseado em feedback do usuário
- Expansão para outros domínios de aplicação (controle de temperatura, sistemas de recomendação)

O projeto demonstra o potencial educacional de implementações práticas de conceitos teóricos, transformando conhecimento abstrato em experiência tangível e interativa.

Tempo Gasto

Estima-se que o desenvolvimento do projeto foi realizado em cerca de 2 semanas de trabalho, divididas entre estudo teórico, implementação, testes e documentação.

Distribuição do Tempo:

- **Estudo de Lógica Fuzzy e scikit-fuzzy:** ~6 horas
- **Implementação do Sistema de Inferência:** ~12 horas
- **Desenvolvimento da Interface Gráfica:** ~8 horas
- **Implementação das Visualizações:** ~6 horas
- **Testes e Ajustes:** ~4 horas
- **Documentação:** ~4 horas

Total estimado: ~40 horas

Referências

- ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets**. Information and Control, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.
- ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. 3rd ed. Wiley, 2010.
- JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUTANI, E. **Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence**. Prentice Hall, 1997.
- SCIKIT-FUZZY DEVELOPERS. **scikit-fuzzy Documentation**. Disponível em: <https://pythonhosted.org/scikit-fuzzy/>. Acesso em: 17 nov. 2025.
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Tkinter — Python interface to Tcl/Tk**. Disponível em: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>. Acesso em: 17 nov. 2025.
- HUNTER, J. D. **Matplotlib: A 2D Graphics Environment**. Computing in Science & Engineering, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007. Disponível em: <https://matplotlib.org/>.
- HARRIS, C. R. et al. **Array programming with NumPy**. Nature, v. 585, p. 357-362, 2020. Disponível em: <https://numpy.org/>.
- KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. Prentice Hall, 1995.
- MENDEL, J. M. **Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions**. 2nd ed. Springer, 2017.