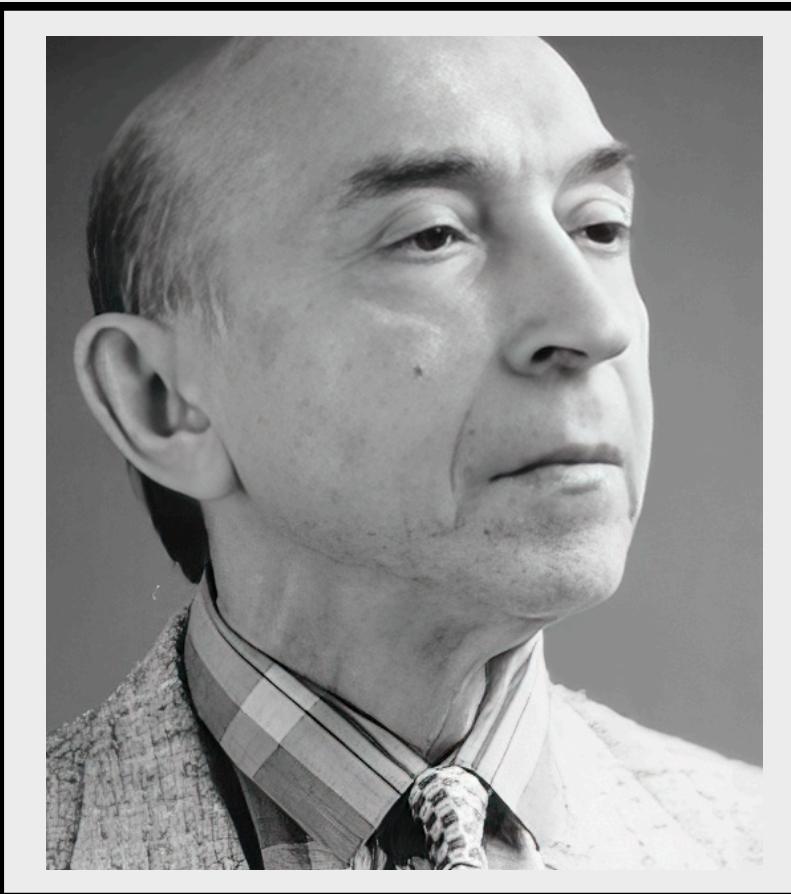


SISTEMAS NEBULOSOS

Grupo: Eduardo Braga, Henrique Franca, Isabela Medeiros, Júlia Vilela e Rafael Angelim

PRINCÍPIO DA INCOMPATIBILIDADE

(Zadeh, 1973)

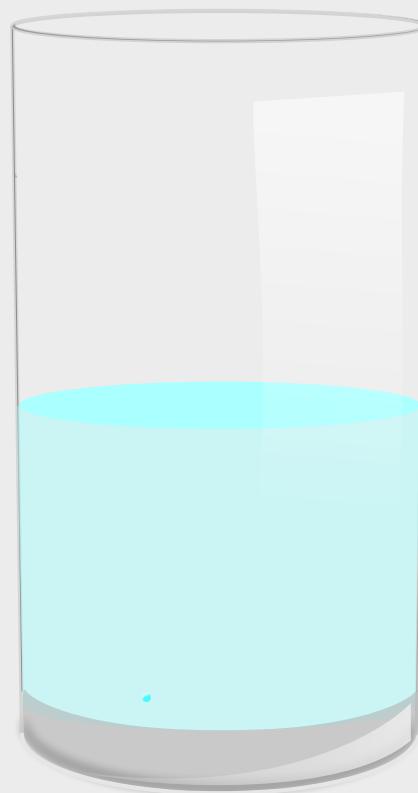


Lotfi Zadeh

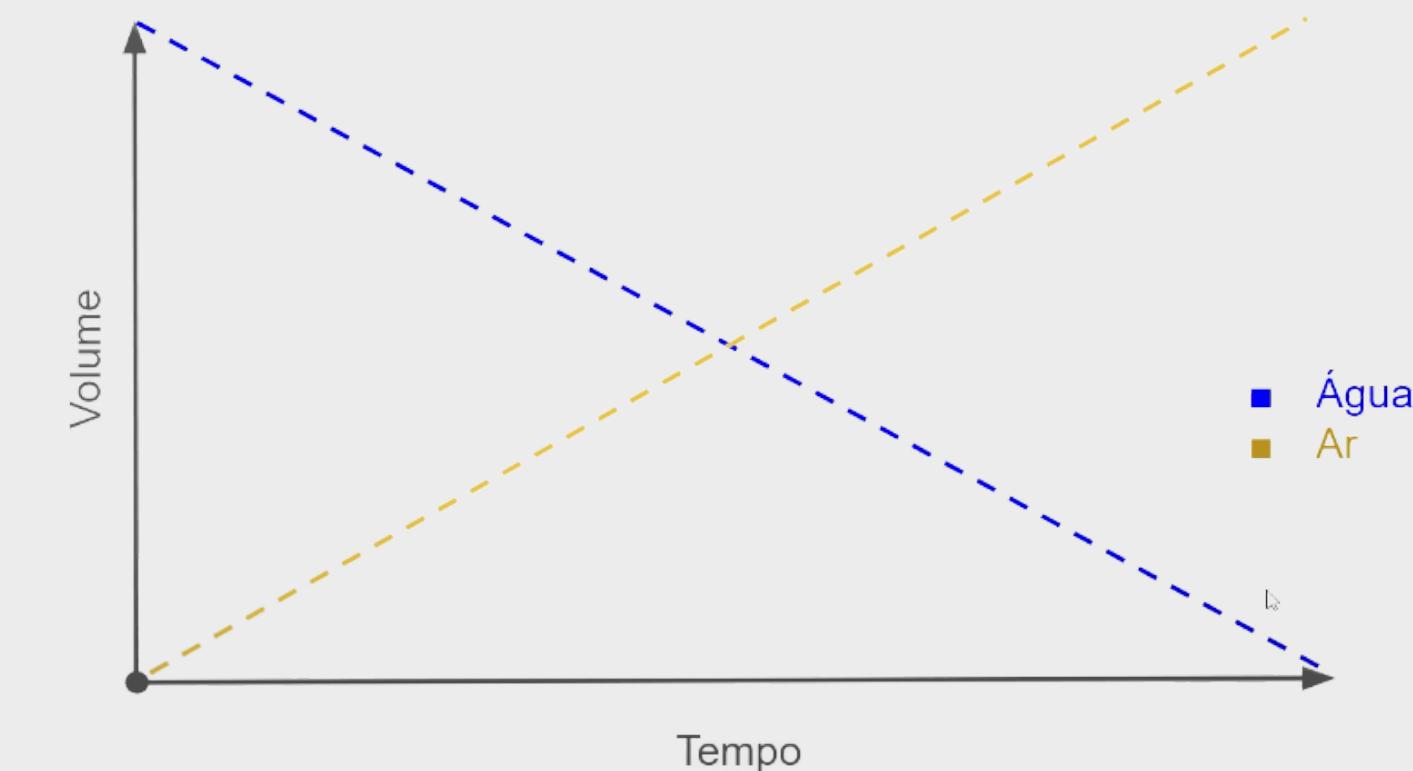
“À medida que a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade de fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido, além do qual precisão e significância (ou relevância) tornam-se quase que características mutuamente exclusivas.”

O QUE É UM SISTEMA NEBULOSO?

- São sistemas que trabalham com a incerteza, imprecisão e subjetividade, utilizando a lógica nebulosa (*fuzzy logic*)

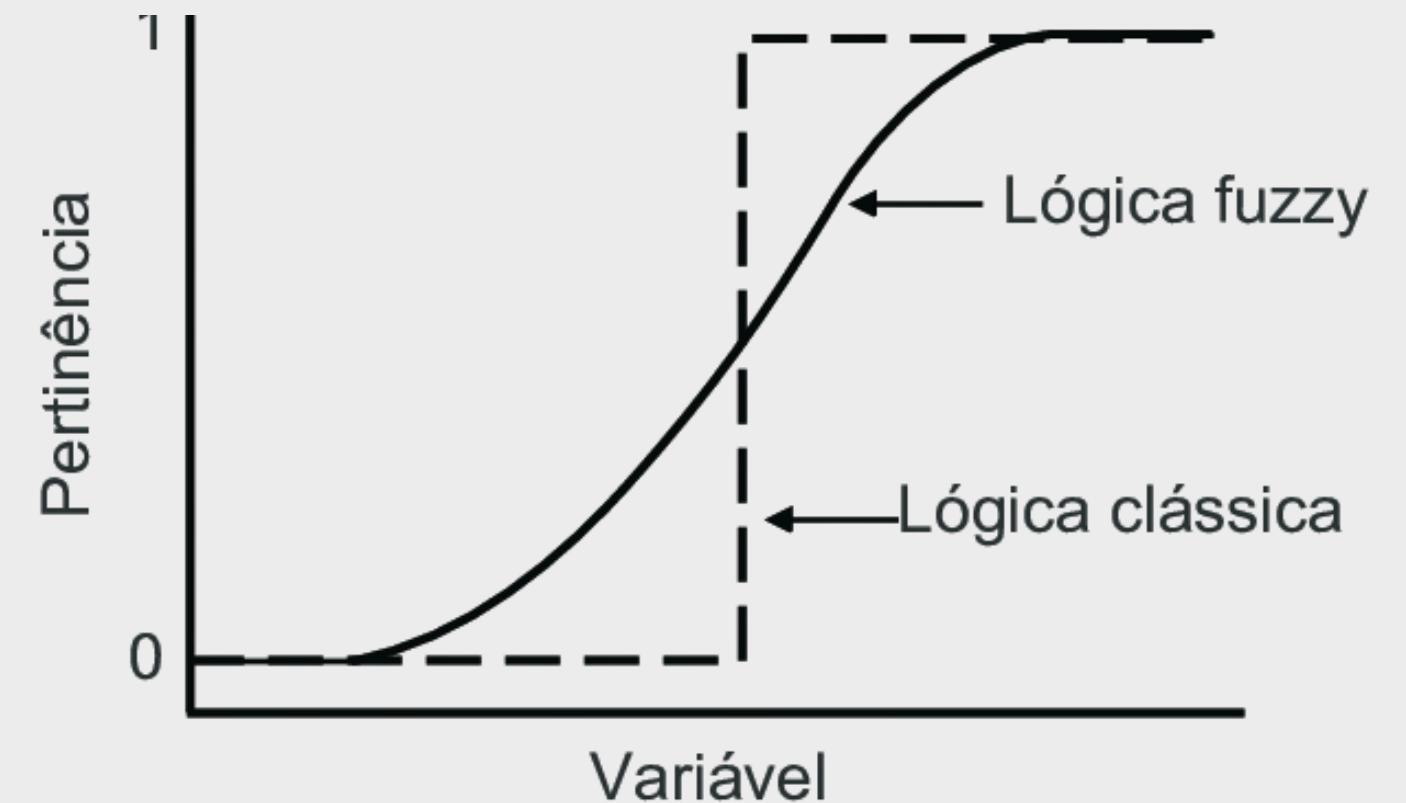


O seu copo, ele está meio
vazio ou meio cheio?



LÓGICA NEBULOSA (LÓGICA FUZZY)

- Computadores são máquinas exatas
- Seres humanos não!
 - Vagos, imprecisos, indecisos, ambíguos
- Inteligência computacional
 - Simular o comportamento humano
- *Fuzzy*
 - Nebuloso, Difuso, Impreciso



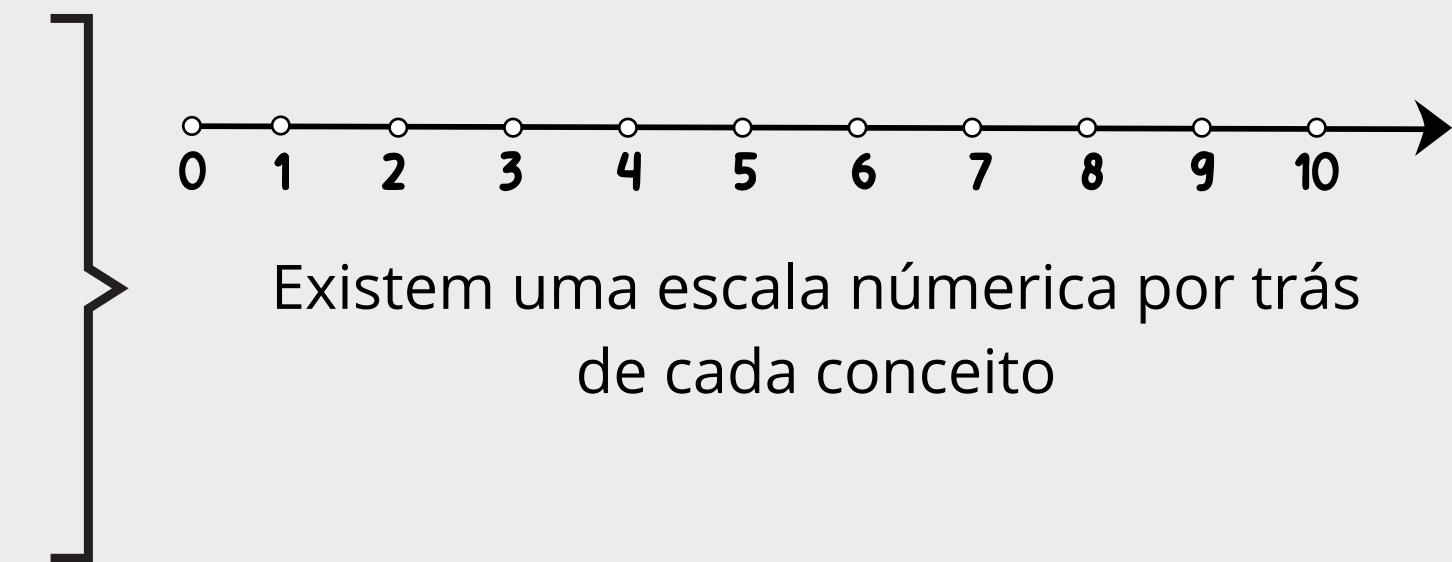
LÓGICA NEBULOSA (*LÓGICA FUZZY*)

- Lidar com a imprecisão
- Existem conceitos que não possuem limites rígidos!

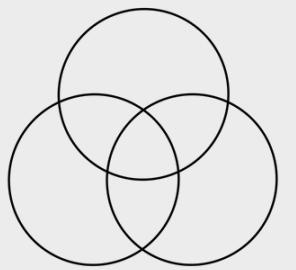
Bebê → Criança → Adolescente → Jovem → Adulto → Idoso

LÓGICA NEBULOSA (*LÓGICA FUZZY*)

- Lidar com a imprecisão
- Imprecisão em conceitos linguísticos
 - Quente, frio, morno
 - Ótimo, bom, regular, ruim
 - Rápido, moderado, devagar
 - Feliz, meio feliz, meio triste, triste



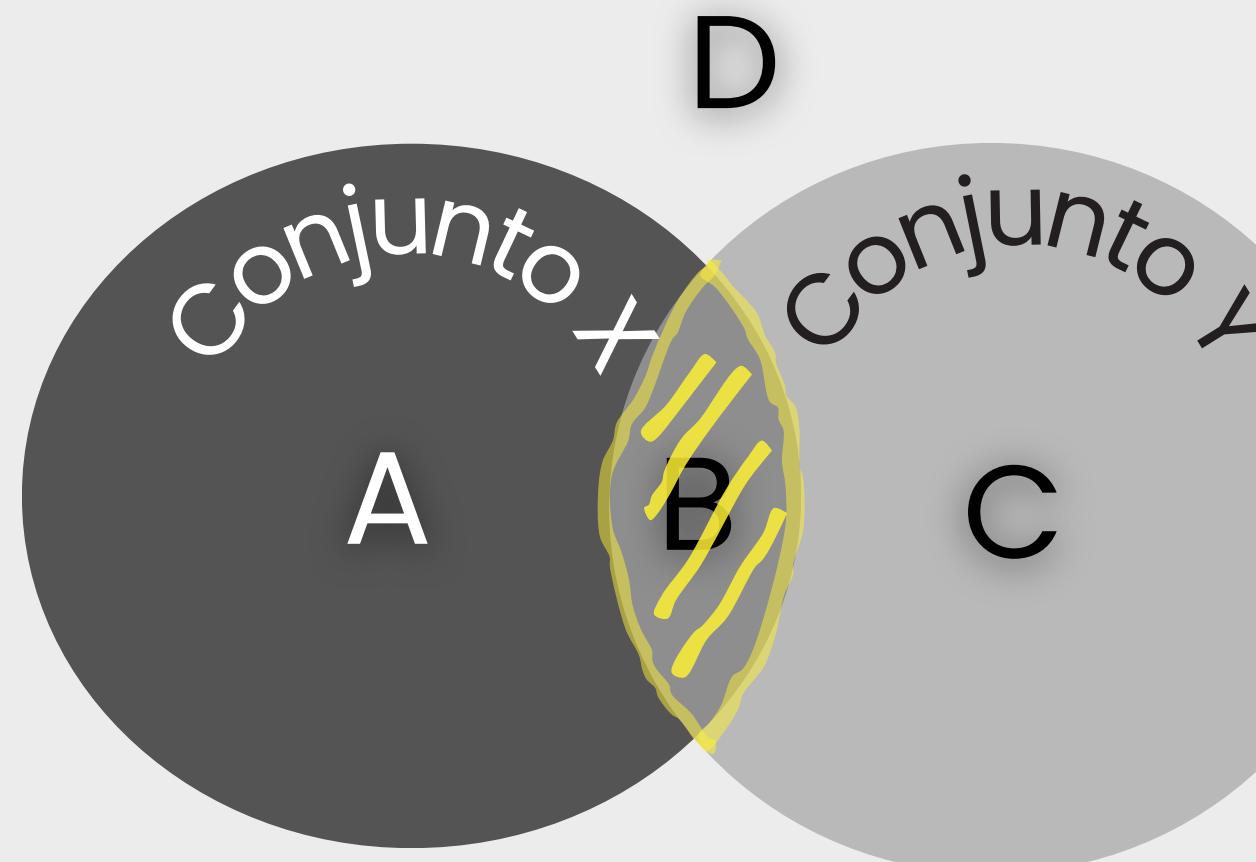
CONJUNTOS NEBULOSOS



CONJUNTOS

Conjuntos Discretos (Crisp Sets)

- Um conjunto normal é booleano
 - Ou o elemento pertence (\in) ao conjunto X ou não pertence (\notin)



$$\begin{aligned}A, B &\in X \\B, C &\in Y \\A, D &\notin Y \\C, D &\in X \\X \cap Y &= B\end{aligned}$$

CONJUNTOS

Conjuntos Nebulosos (Fuzzy Sets)

- Um conjunto nebuloso não é booleano
 - elemento pertence (\in) a todos os conjuntos com um certo grau de pertinência



CONJUNTOS

Função de Pertinência

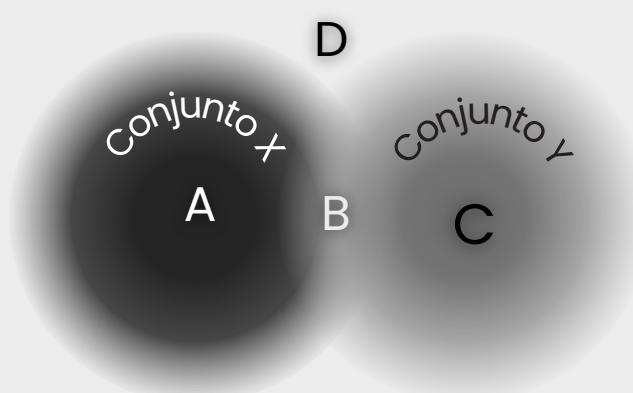
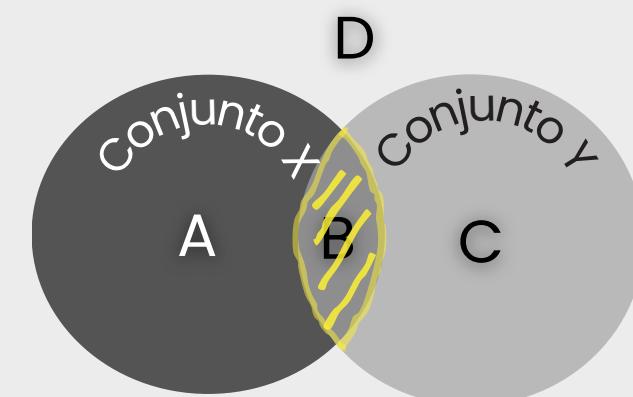
- Dado um elemento, a função de pertinência vai dizer se esse elemento \in ou \notin ao conjunto

- Função de Pertinência booleana

$F : \text{elemento} \rightarrow \{0, 1\}$

- Função de Pertinência nebulosa

$F : \text{elemento} \rightarrow [0, 1]$



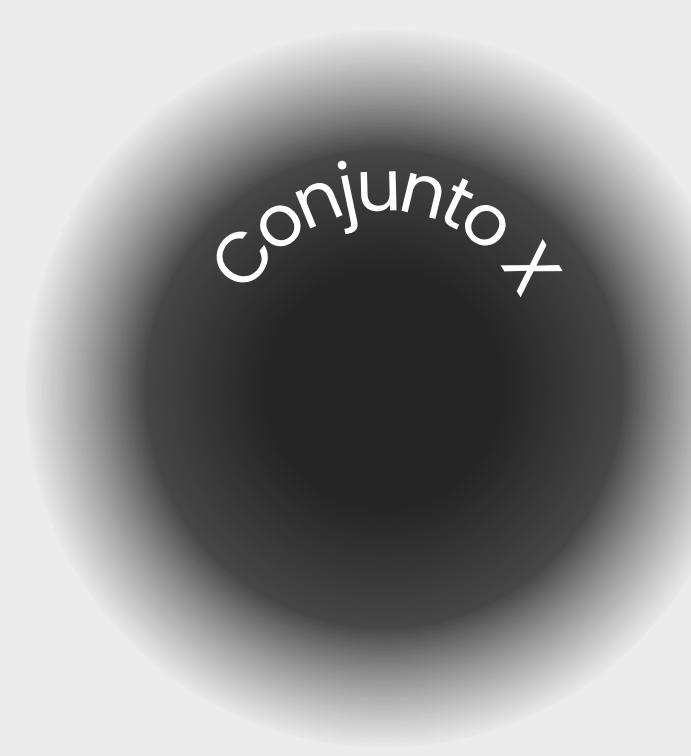
CONJUNTOS NEBULOSOS

Grau de Pertinência em Conjuntos Nebulosos

- Representa o quanto um elemento pertence ao conjunto nebuloso

Um conjunto nebuloso é composto por:

- Nome / conceito que ele representa
- U - Universo de Discurso
 - Intervalo de valores
- μ - Função de Pertinência
 - $\mu: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$



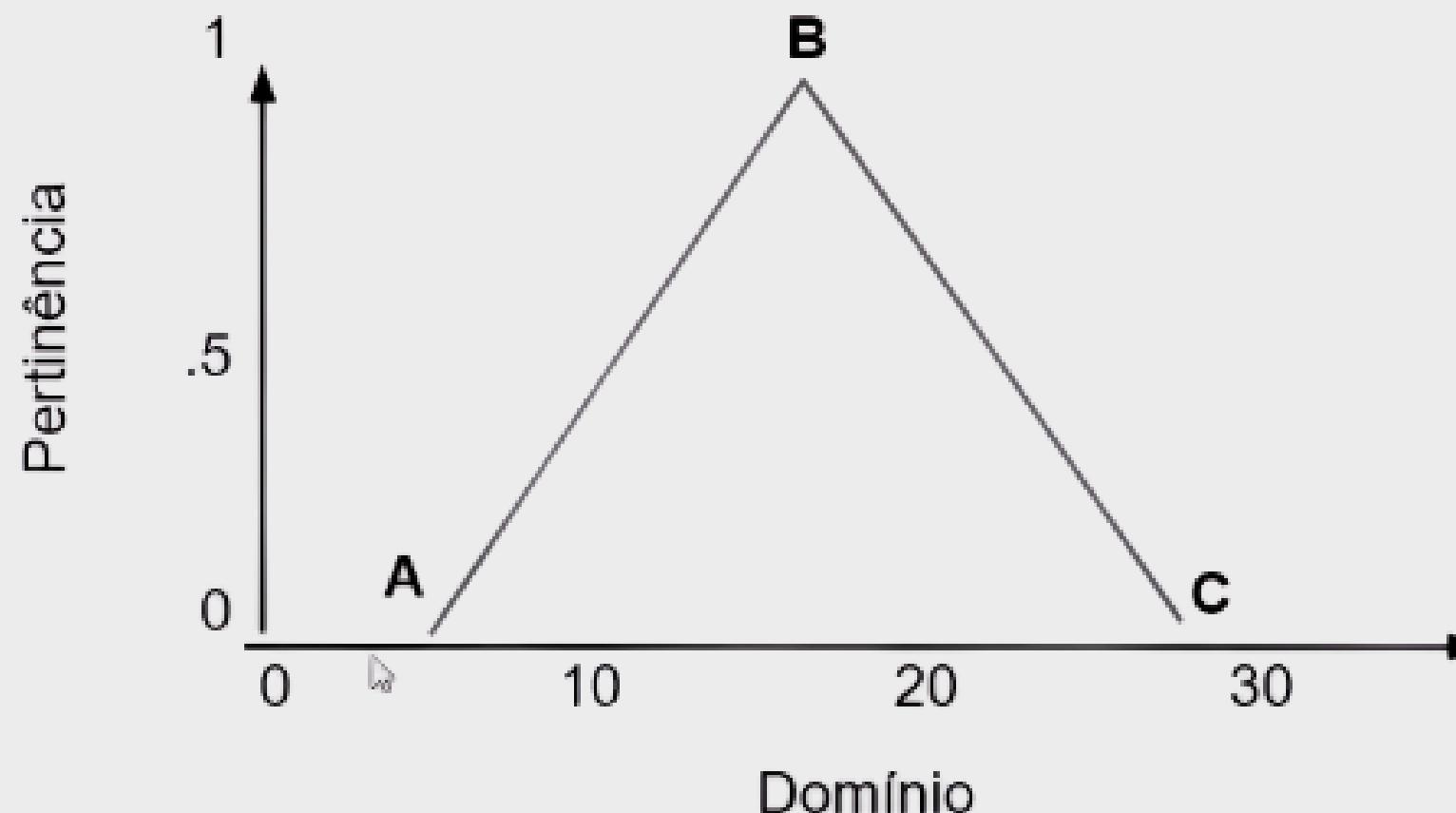
Conjunto X

FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

em conjuntos nebulosos

Função de Pertinência Triangular

- $y = F(x,a,b,c) = \max[\min([(x-a) / (b-a)], [(c-x) / (c-b)]), 0]$



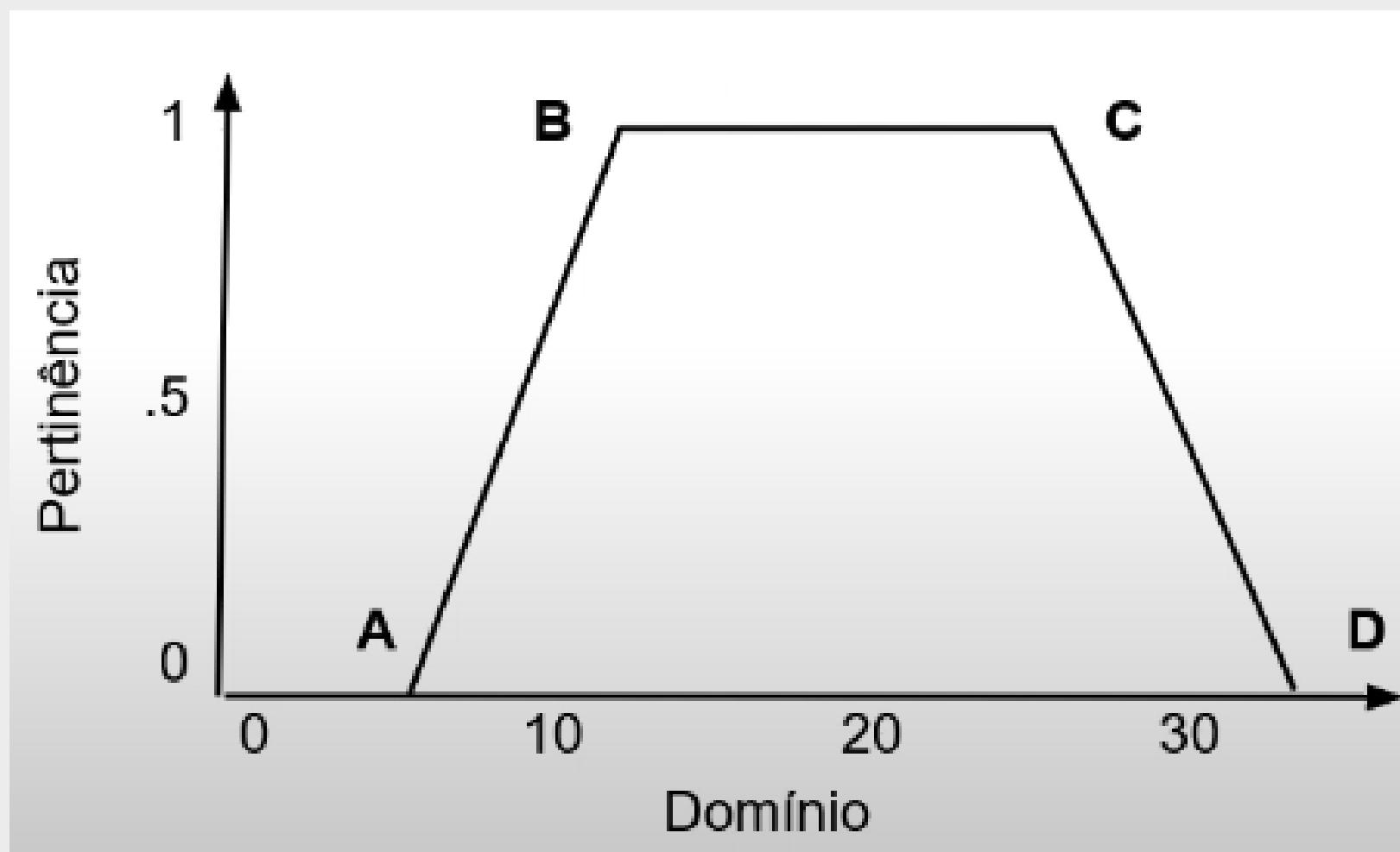
Conjunto x

FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

em conjuntos nebulosos

Função de Pertinência Trapezoidal

- $y = F(x,a,b,c) = \max ([(x-a) / (b-a)], 1, [(d-x) / (d - c)]), 0)$



Conjunto \neq

OPERAÇÕES BÁSICAS

em conjuntos nebulosos

Conjunto +

- **União (máximo ou OR)**

- A união de dois conjuntos nebulosos é dada por:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

OPERAÇÕES BÁSICAS

em conjuntos nebulosos

Conjunto +

- **Interseção (mínimo ou AND)**

- A Interseção de dois conjuntos nebulosos é dada por:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

OPERAÇÕES BÁSICAS

em conjuntos nebulosos

Conjunto +

- **Complemento (negação ou NOT)**

- O complemento de um conjunto nebuloso A é dado por:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

INTERSEÇÃO

entre conjuntos nebulosos

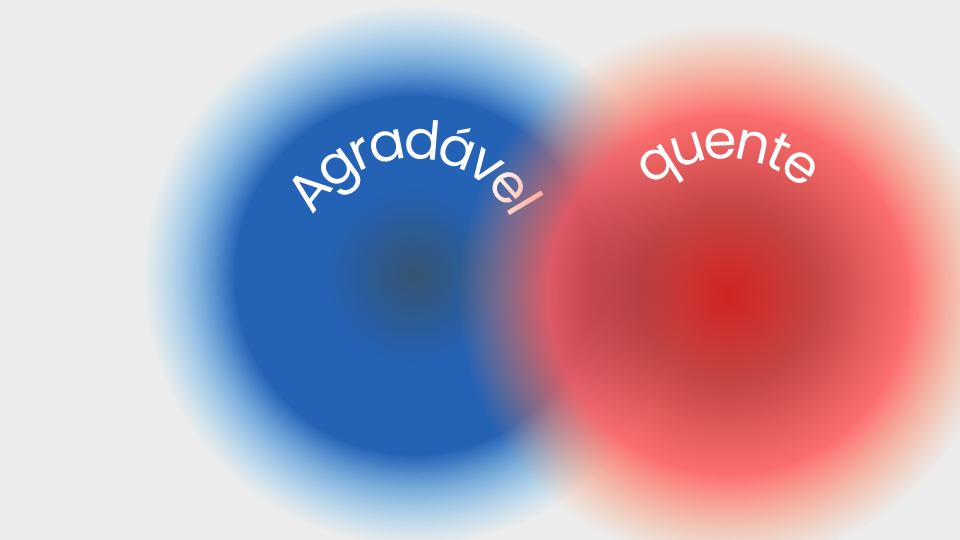
Usando função de pertinência triangular

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

$$\max[\min([(x-a) / (b-a)], [(c-x) / (c-b)]), 0]$$

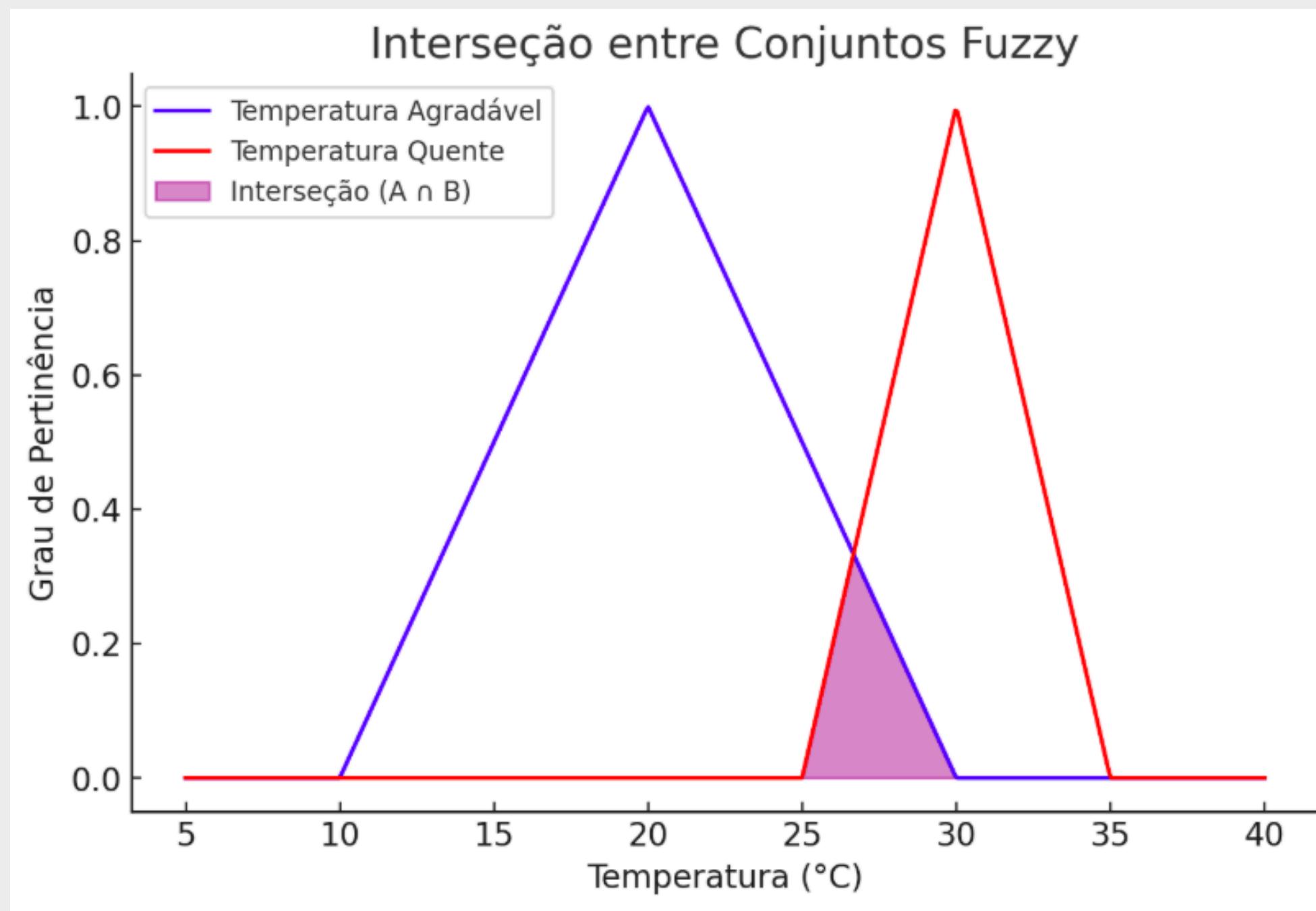
Temp agradável (Triangular: $a=10, b=20, c=30$)

Temp quente (Triangular: $a=25, b=30, c=35$)

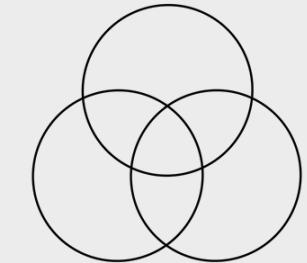


INTERSEÇÃO

entre conjuntos nebulosos



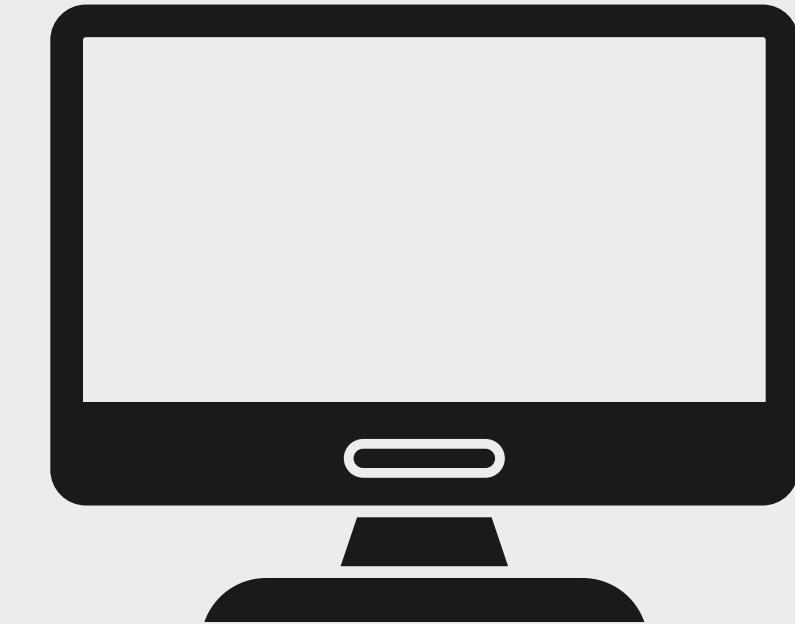
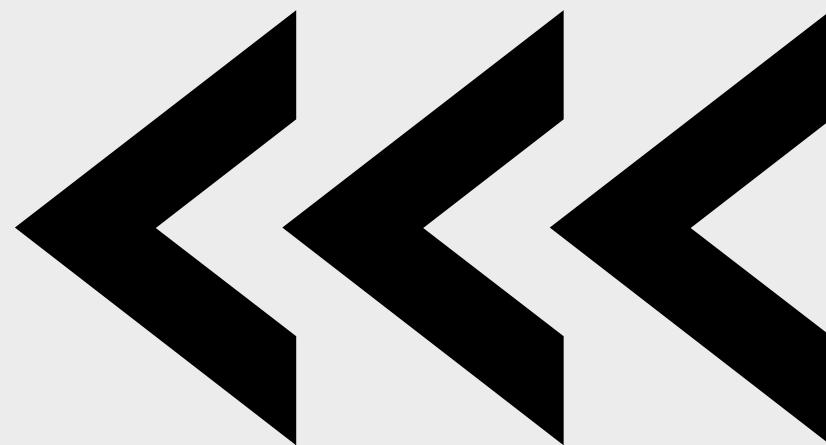
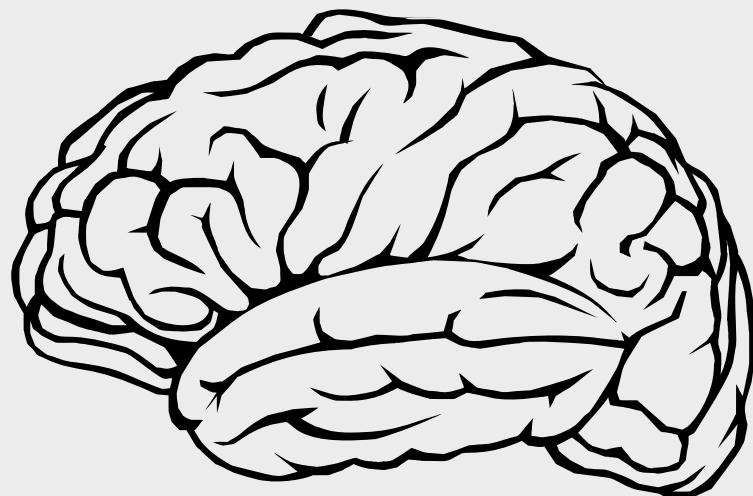
SISTEMAS DE INFERÊNCIA NEBULOSA



REGRAS FUZZY



SISTEMAS NEBULOSOS

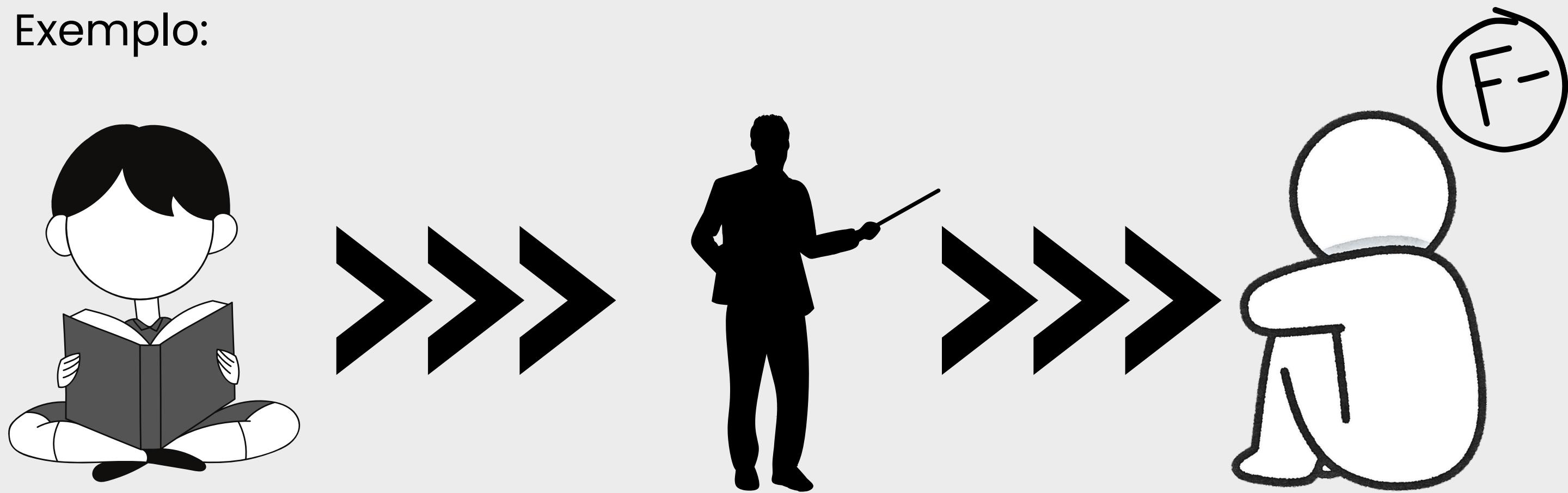


- Estou com um pouco de calor, mas o ar daqui a pouco começa a gelar

- Estou com um (**pouco de**)? calor, mas o ar (**daqui a pouco começa a gelar**)?

SISTEMAS NEBULOSOS

- Exemplo:



REGRAS



- Se for um aluno **BOM**
- Se for um aluno **MEDIO**
- Se for um aluno **RUIM**



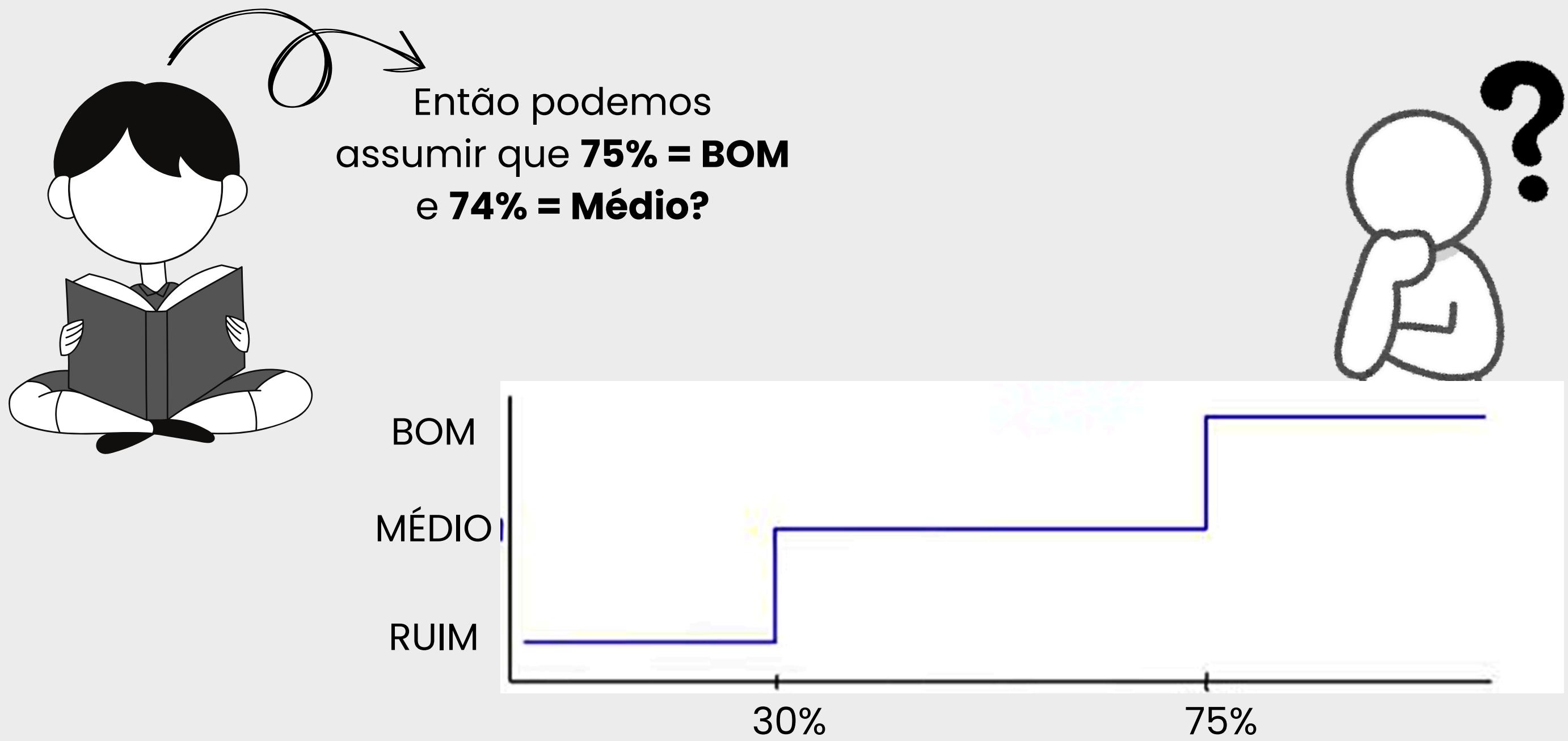
O que é um aluno bom?

Um aluno que fez igual, ou acima de 75% das atividades

- Aluno **BOM** - $\geq 75\%$
- Aluno **MEDIO** - $\geq 55\%$
- Aluno **RUIM** - $\geq 30\%$

```
IF atividade  $\geq 75\%$  {risco baixo}  
else {risco alto}
```

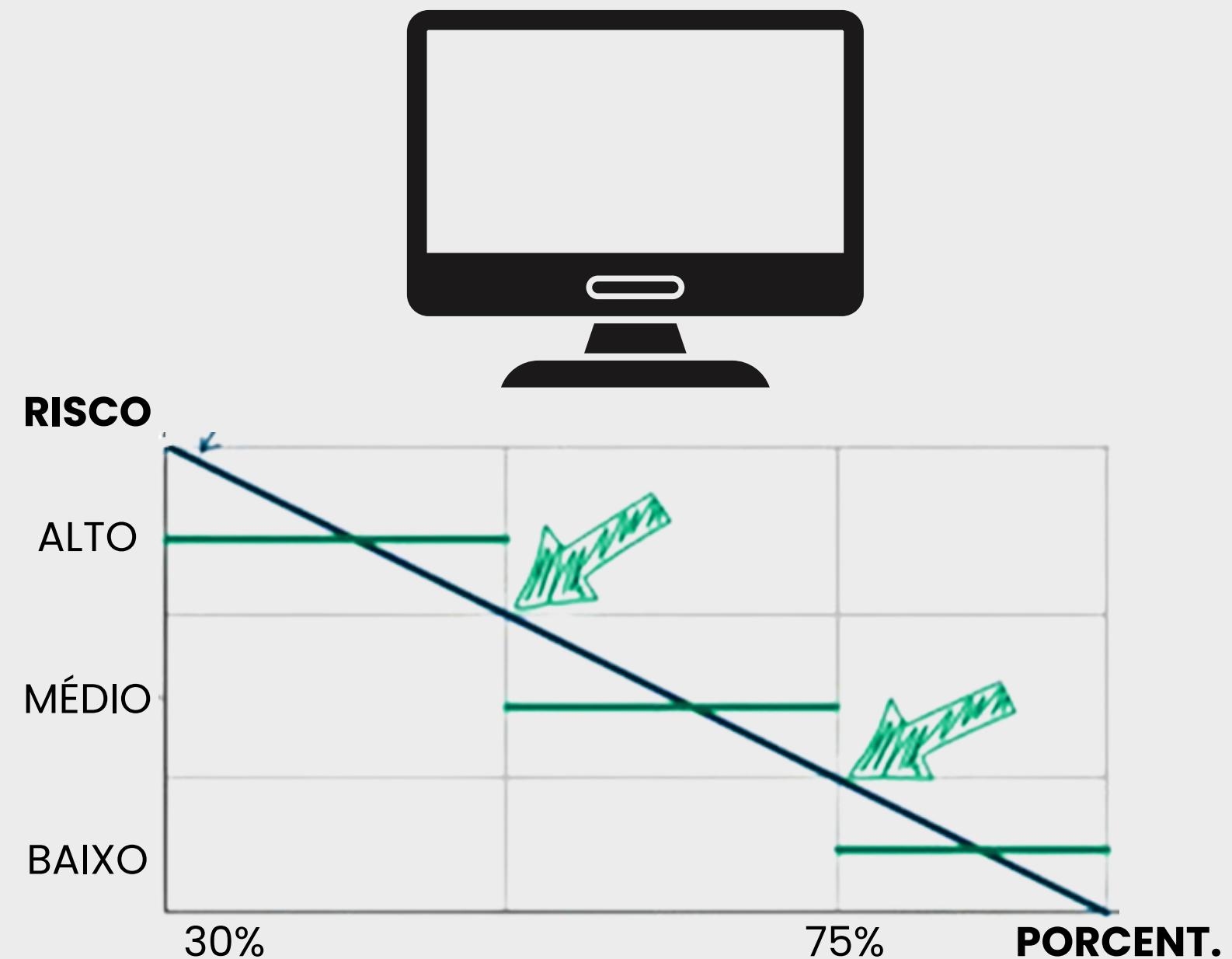
REGRAS



LÓGICA FUZZY



FUZIFICAÇÃO



TREINAMENTO IA

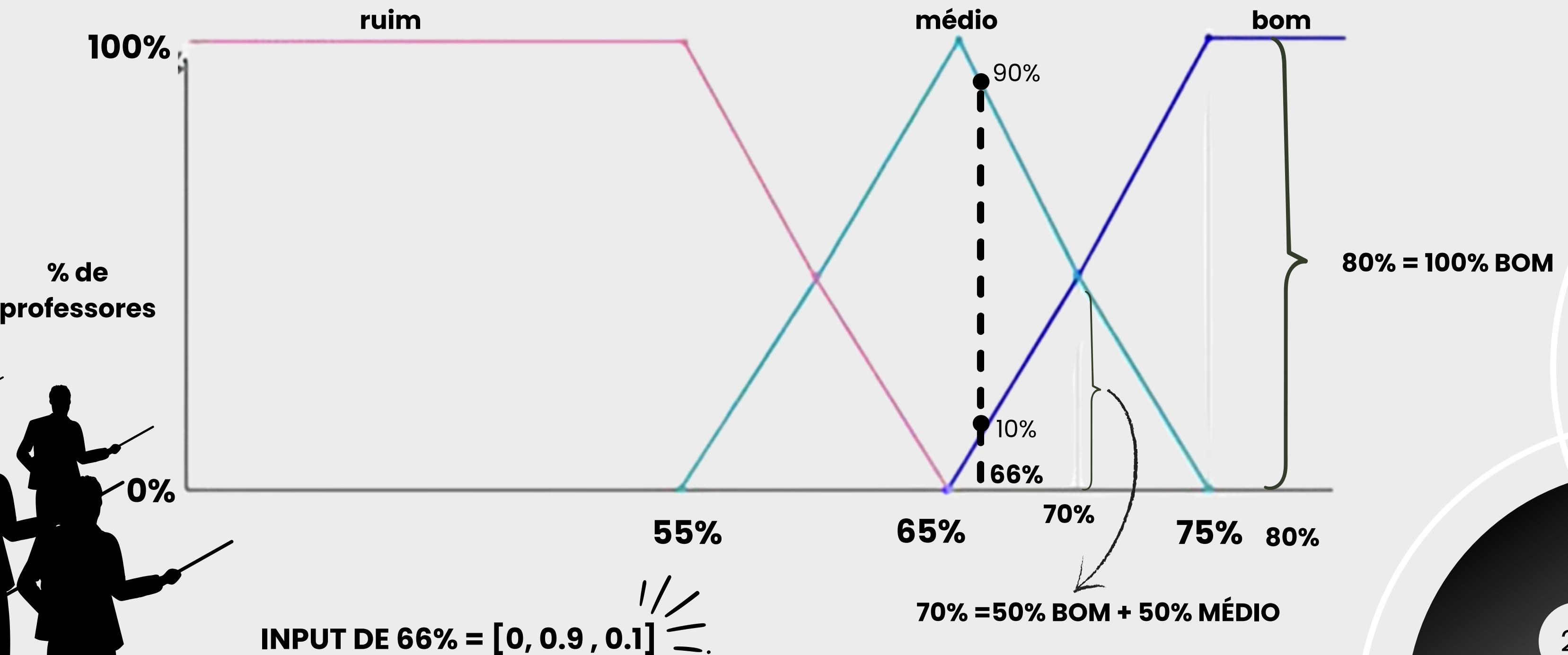


TREINAMENTO IA

100 PROFESSORES



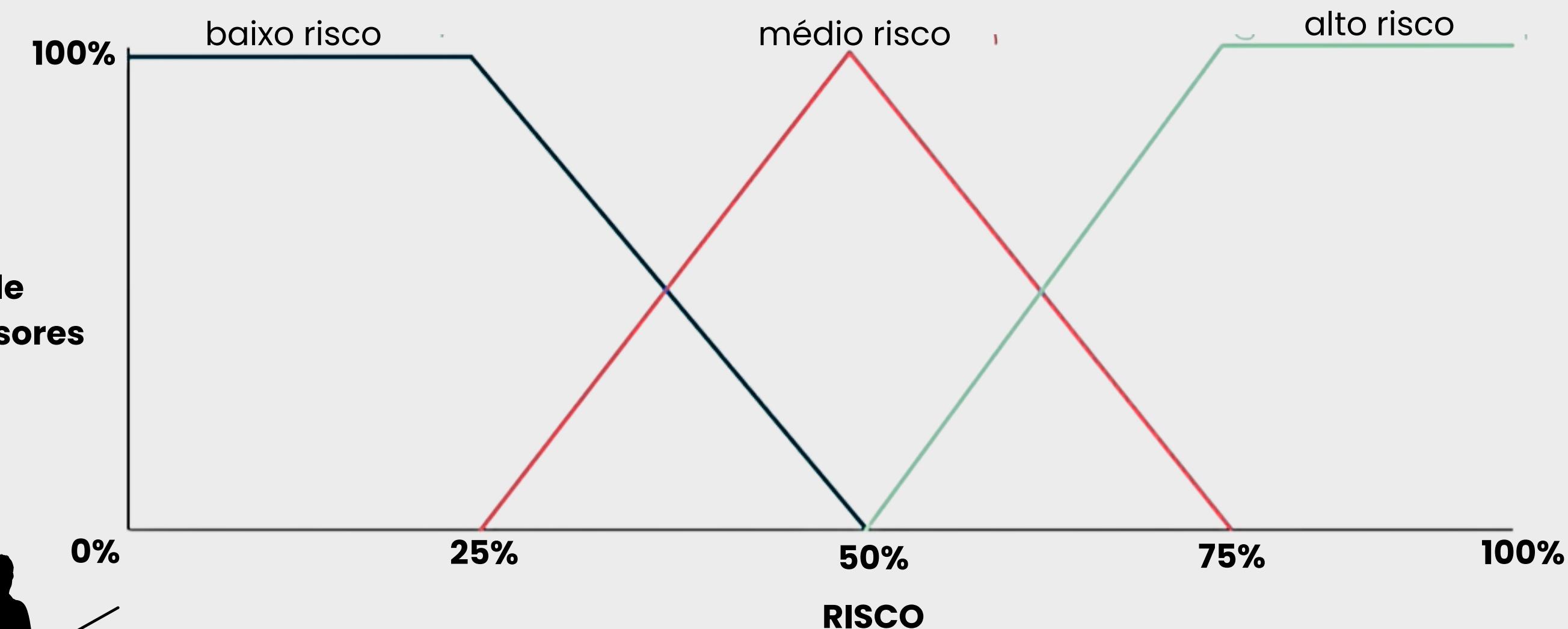
FUZIFICAÇÃO



INFERÊNCIA

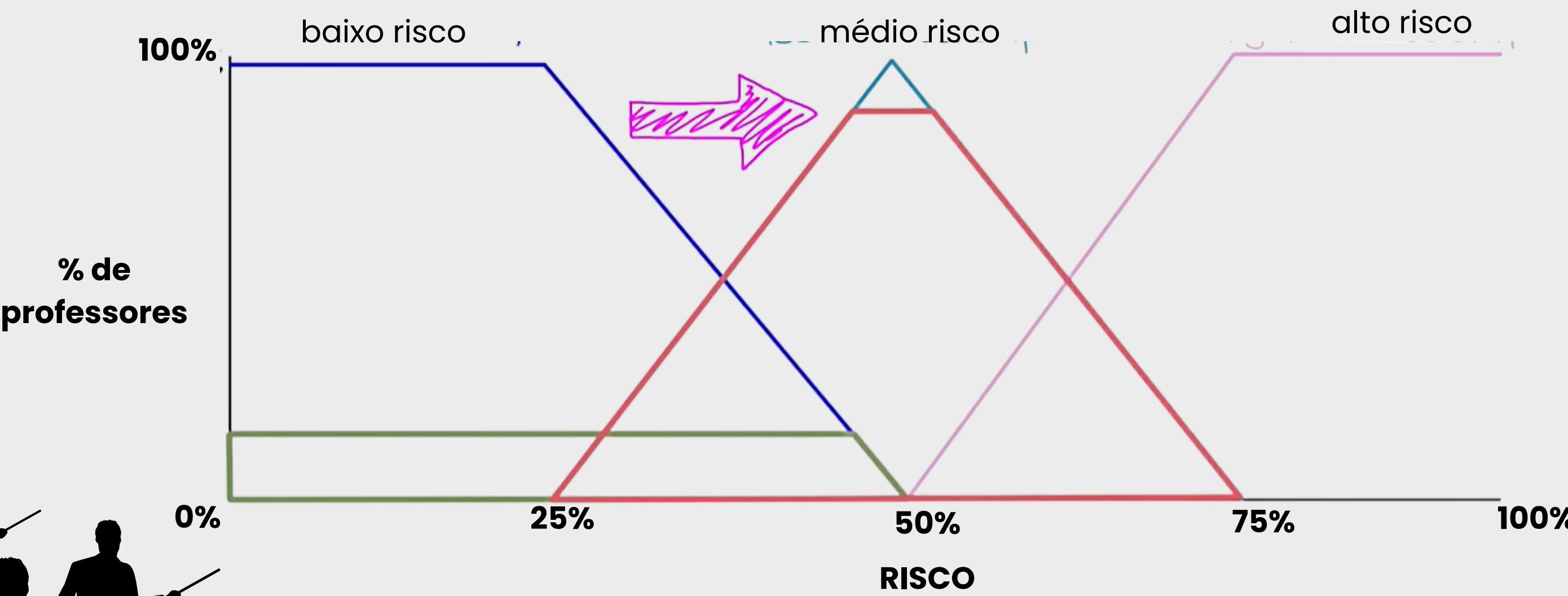


DEFUZIFICAÇÃO



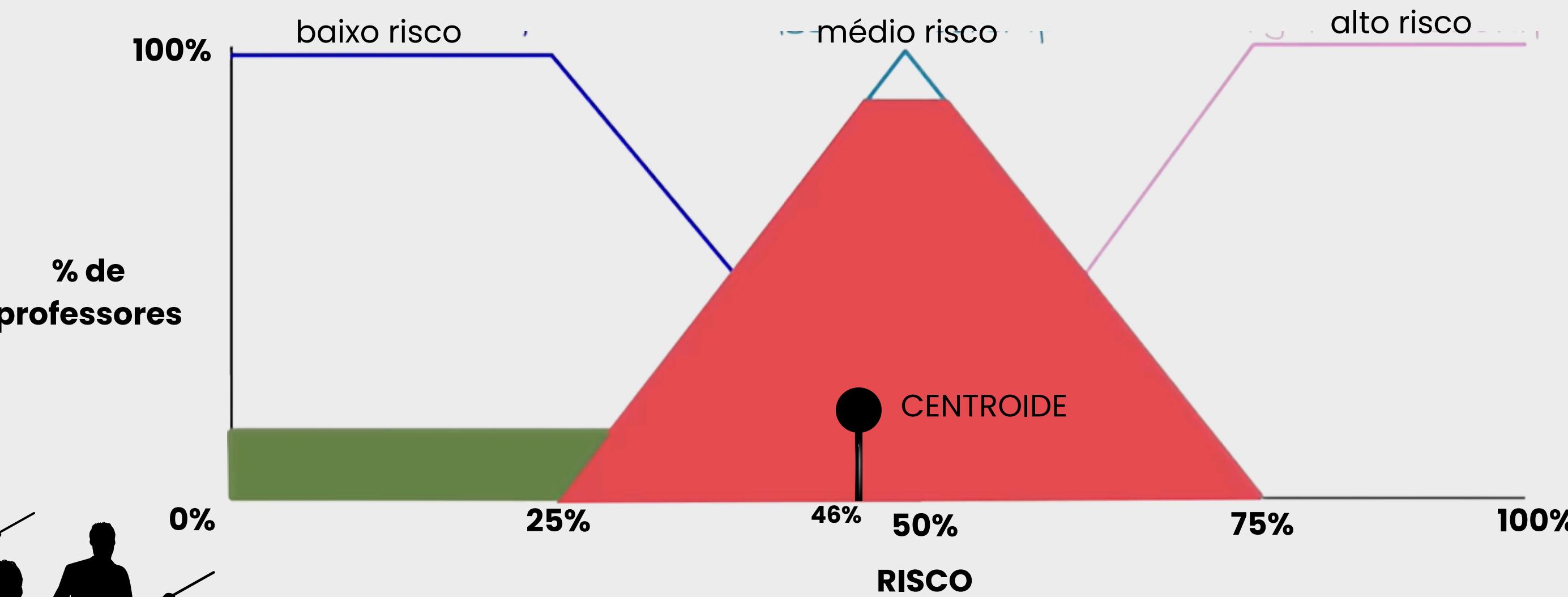
Defuzificar: [0, 0.9, 0.1]

DEFUZIFICAÇÃO



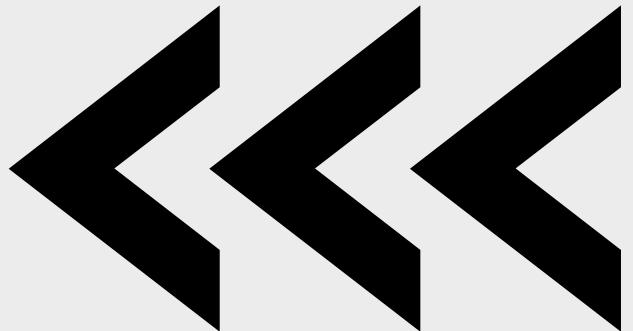
Defuzificar: [0, 0.9, 0.1]

DEFUZIFICAÇÃO

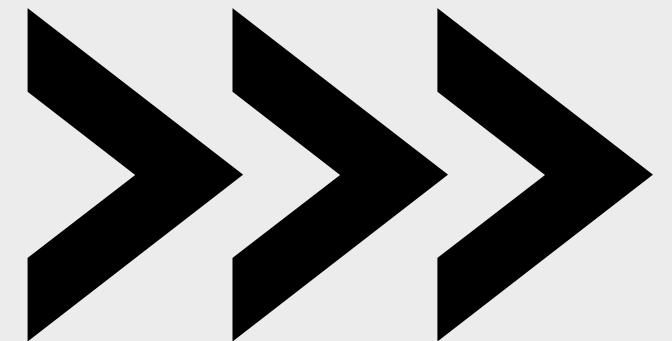


Defuzificar: $[0, 0.9, 0.1] = 46\%$

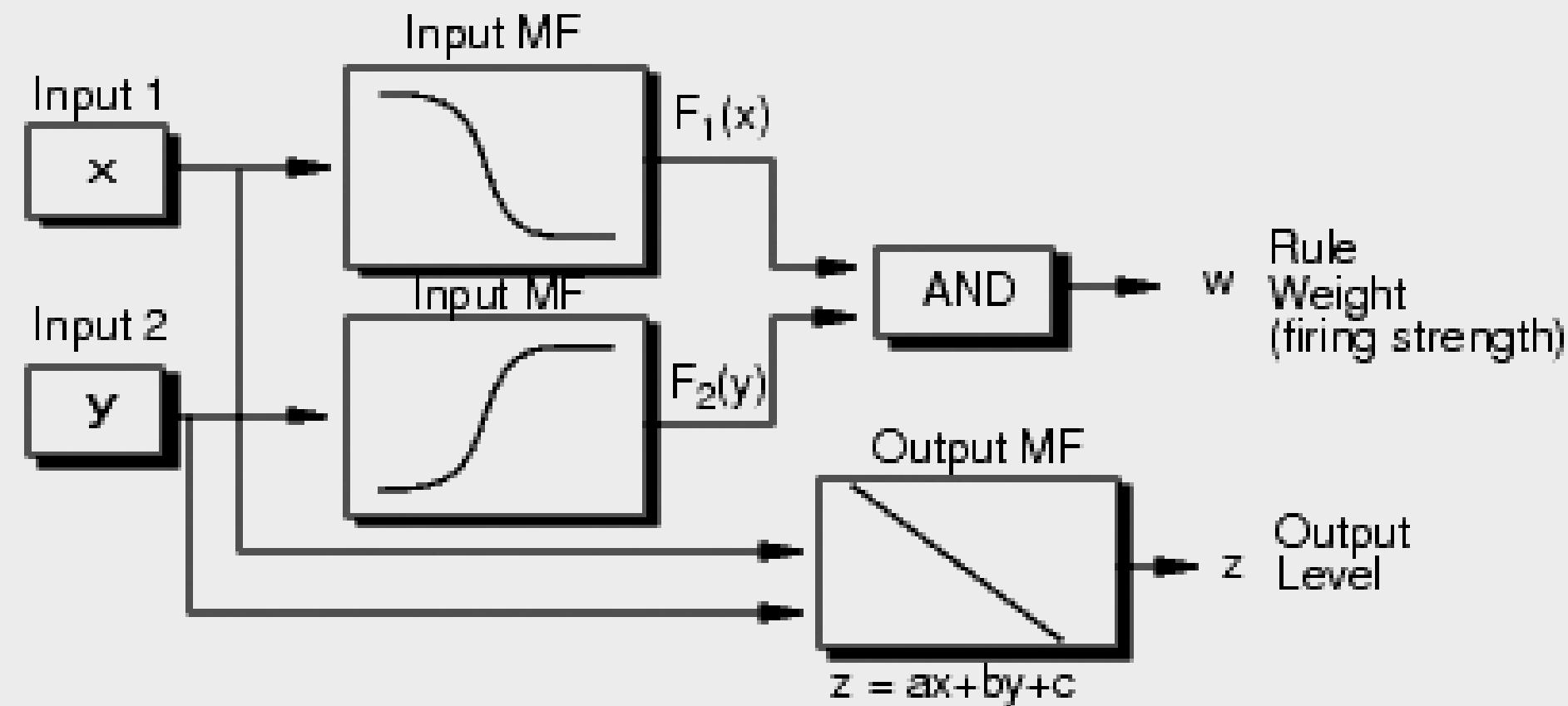
MÉTODO MAMDANI



MÉTODO SUGENO



SUGENO STYLE



$$\text{Final Output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

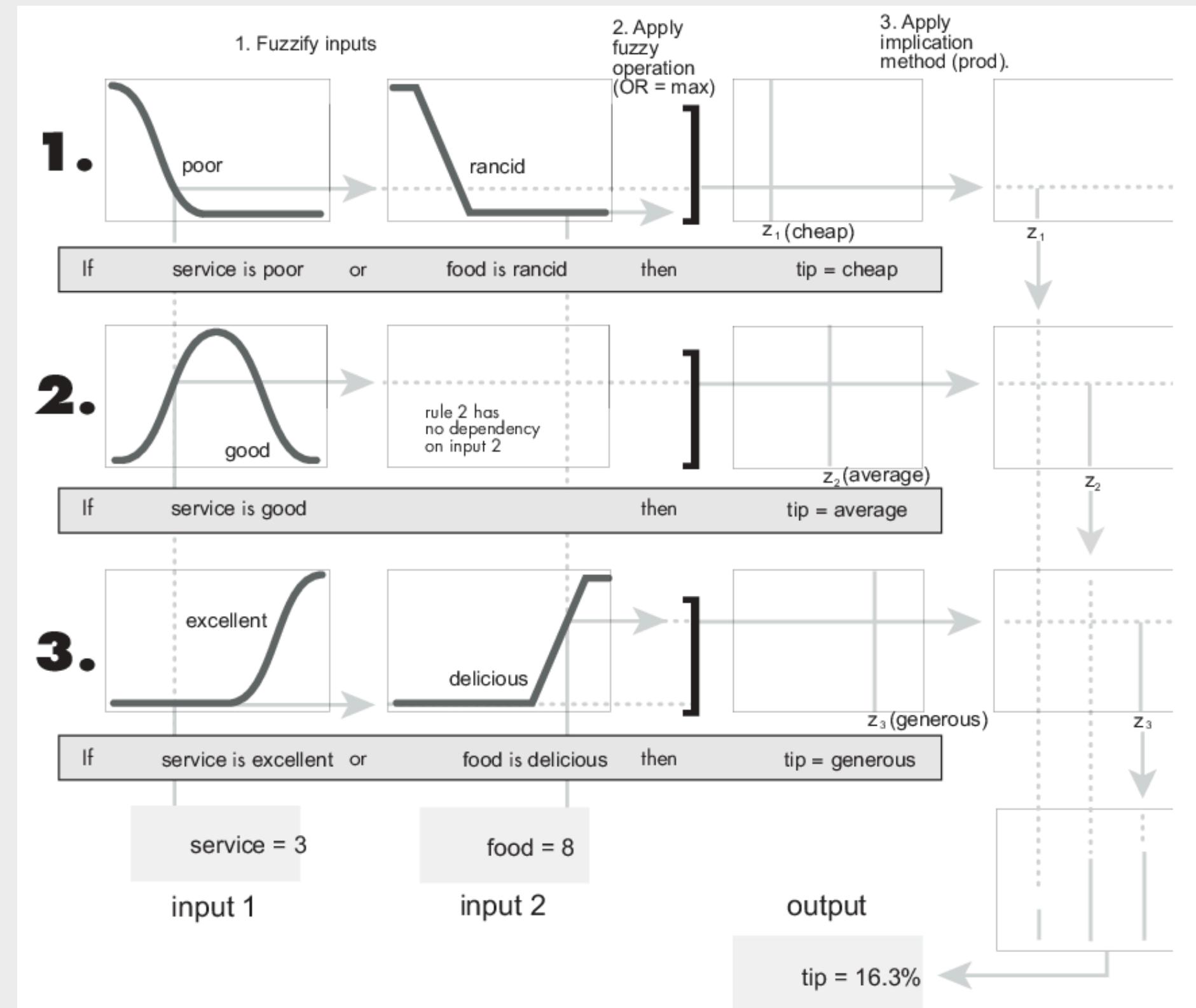
Sendo assim, o output final do sistema é a média com peso de todos os outputs das regras

$$z_i = a_i x + b_i y + c_i$$

x e y são os valores do input 1 e input 2, respectivamente, e a_i , b_i , e c_i são coeficientes constantes. Pra um sistema Sugeno de ordem 0, z_i é uma constante ($a = b = 0$).

$$w_i = \text{AndMethod}(F_1(x), F_2(y))$$

SUGENO STYLE



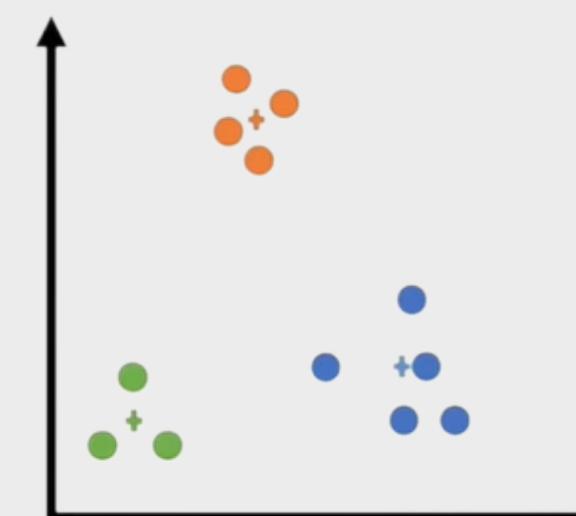
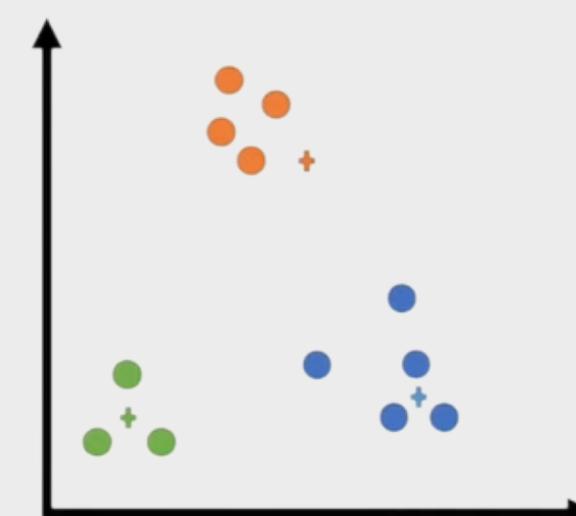
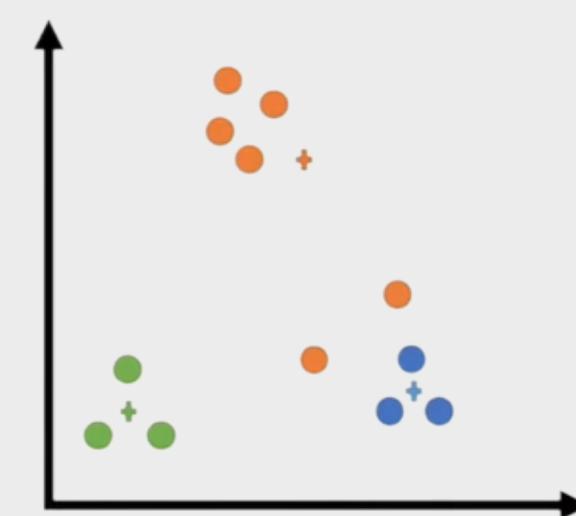
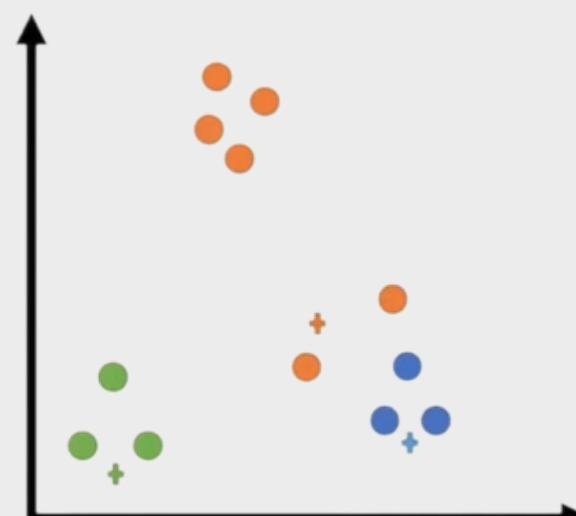
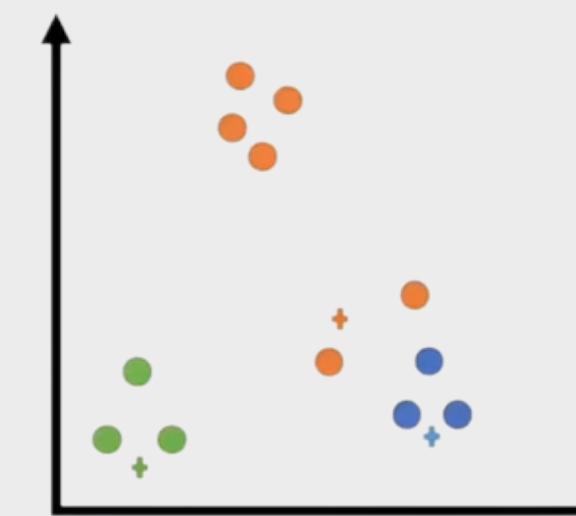
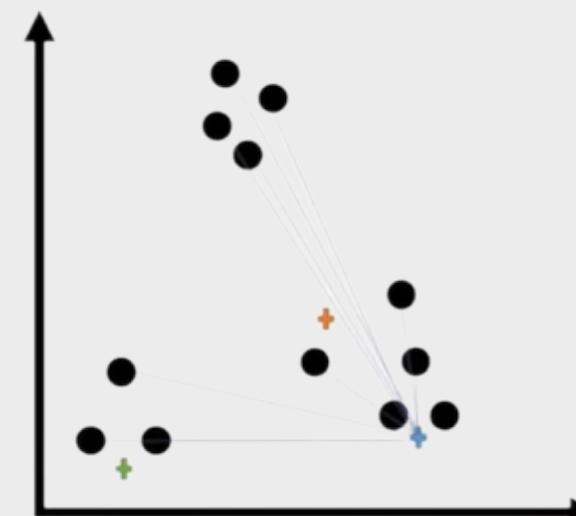
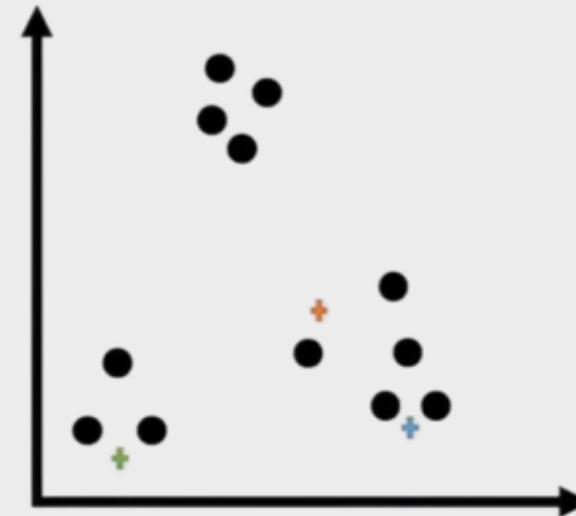
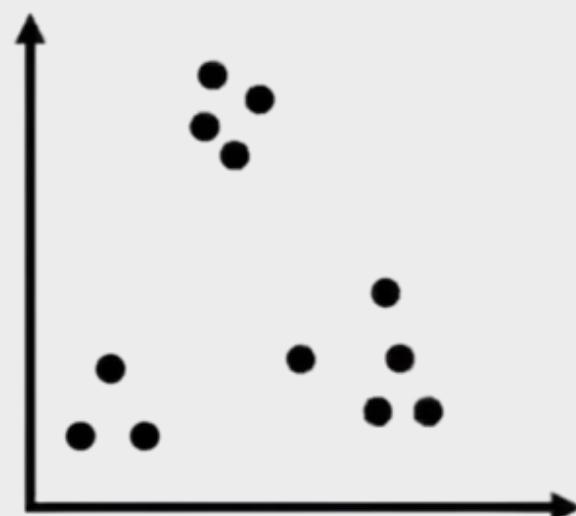
MÉTODO MAMDANI

- SE (x é A) E (y é B), ENTÃO z é C. A saída é um conjunto fuzzy.
- Usa métodos como centro de gravidade (centroide) para converter um conjunto fuzzy em um único valor.
- Melhor para sistemas de controle interpretáveis, onde a explicabilidade das regras fuzzy é crucial (sistemas de climatização e controle de motores).

MÉTODO SUGENO

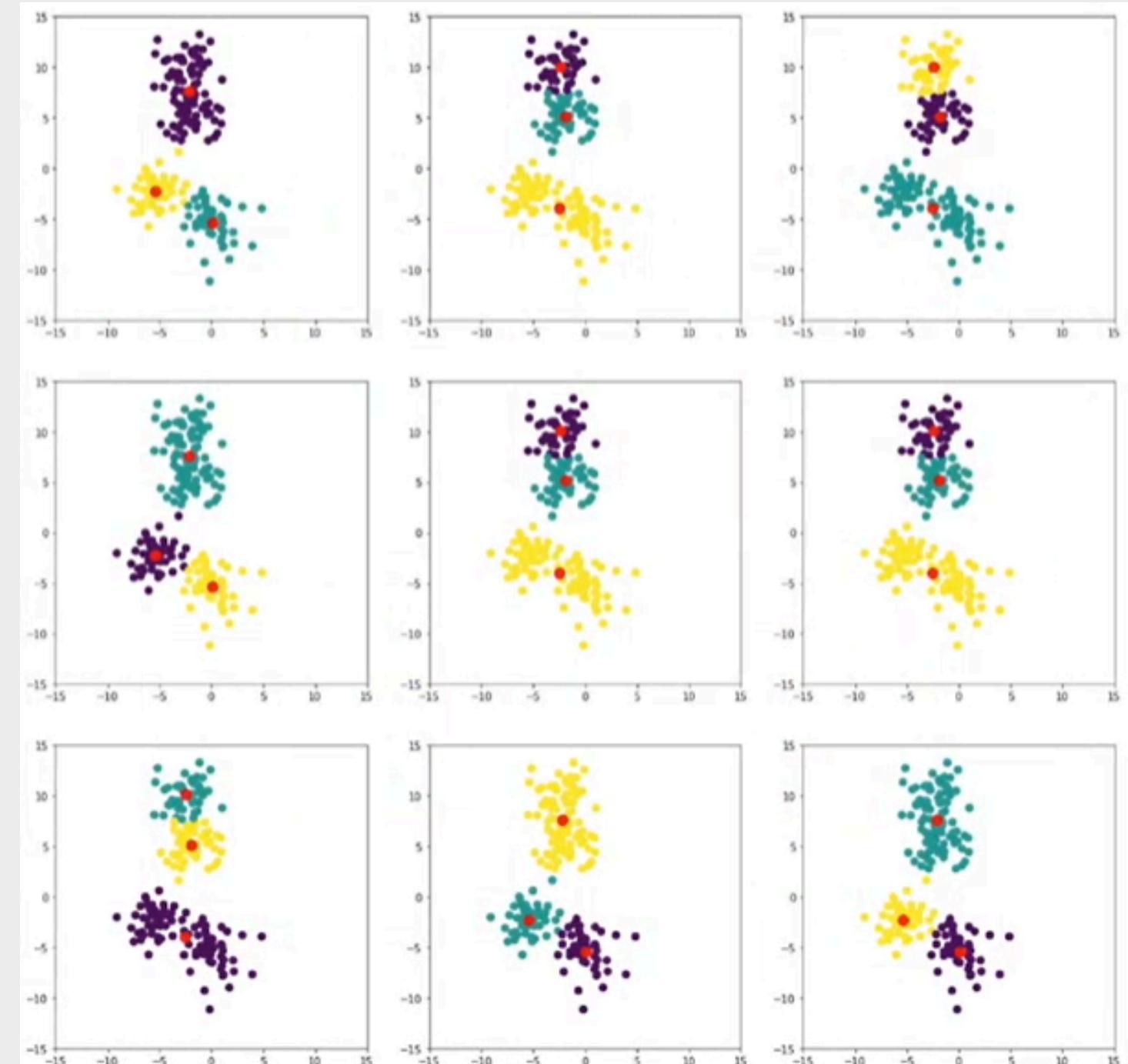
- SE (x é A) E (y é B), ENTÃO $z = f(x, y)$, onde a saída é uma função matemática
- A saída já é numérica (pois é uma função), então não precisa de defuzzificação.
- Melhor para modelagem matemática e otimização, pois é mais eficiente e pode ser integrado facilmente a técnicas de aprendizado de máquina (controle adaptativo e previsão de séries temporais).

K-MEANS



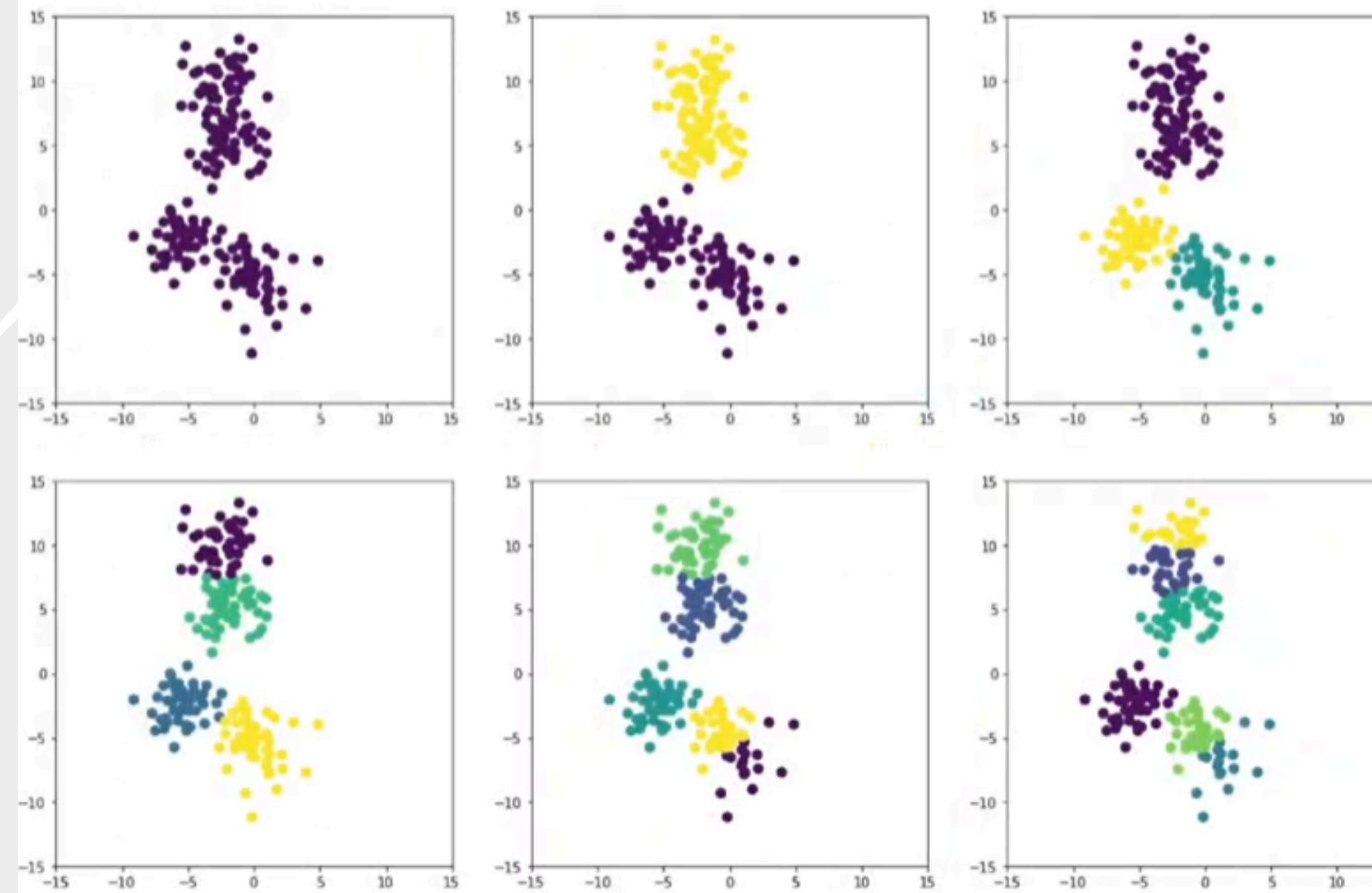
K-MEANS

A posição inicial dos pontos é significativa



K-MEANS

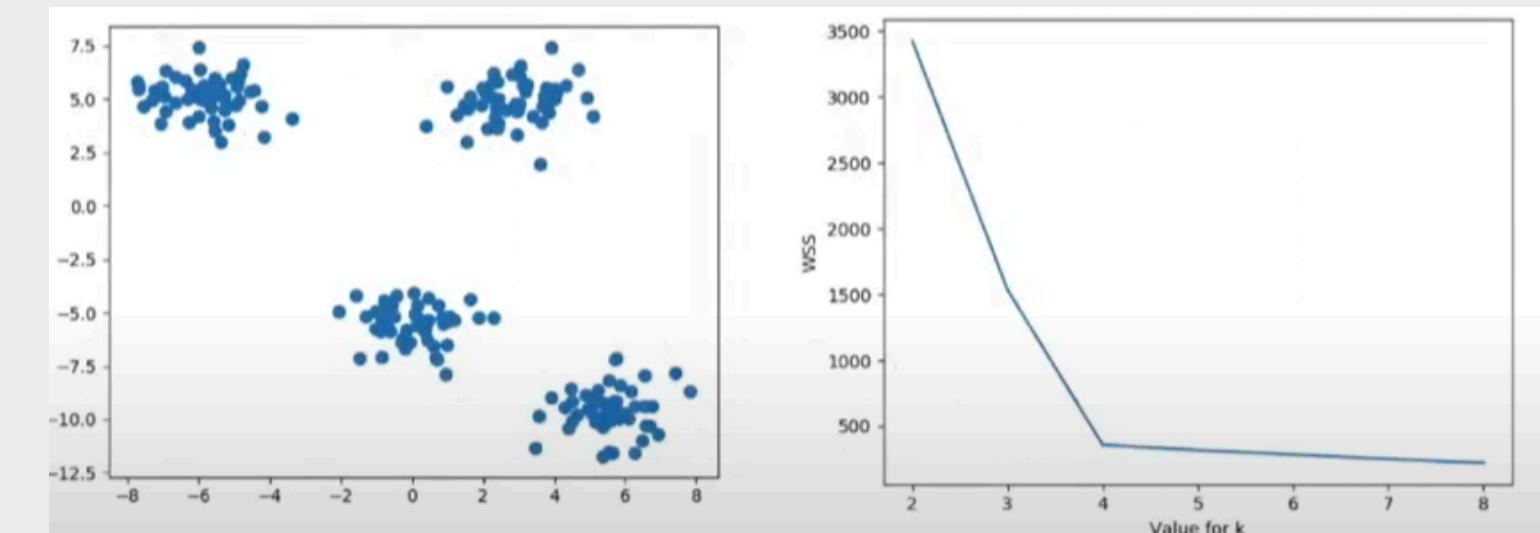
Mas se eu posso escolher o número de clusters, como sei qual a representação mais significativa pro meu caso?



Método do cotovelo (Elbow Method)

- Usando a distância média dos pontos dentro de um cluster até o seu centroide (**Within-cluster Sum of Squares**) para diferentes K

$$WSS = \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{\mathbf{x} \in C_i} d(\mathbf{x}, \bar{x}_{C_i})$$



K-MEANS

LIMITAÇÕES

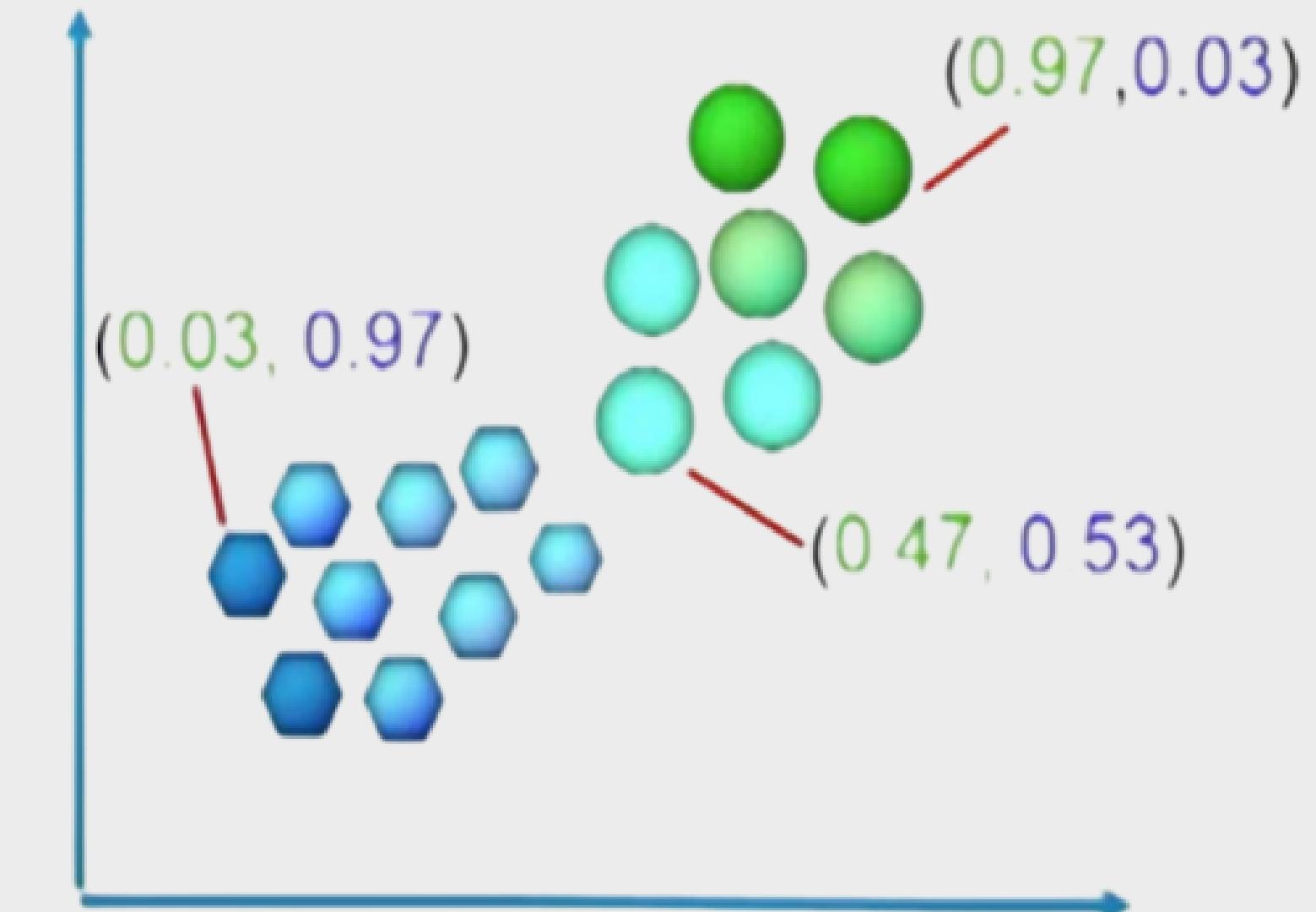
- Clusters de diferentes tamanhos
- Clusters de diferentes densidades
- Clusters de diferentes formatos
- Funciona em geração de dados aleatórios

VANTAGENS

- Fácil implementação
- Pode ser usado em grandes bancos de dados
- Facil adaptação a novos exemplos

SOFT K-MEANS

- Cada dado pertence a um cluster com uma taxa de probabilidade, ou valor de adesão



FUZZY K-MEANS

LIMITAÇÕES

- Custo computacional maior
- Clusters de diferentes formatos/densidades
- Funciona em geração de dados aleatórios
- Interpretação Complexa dos Resultados

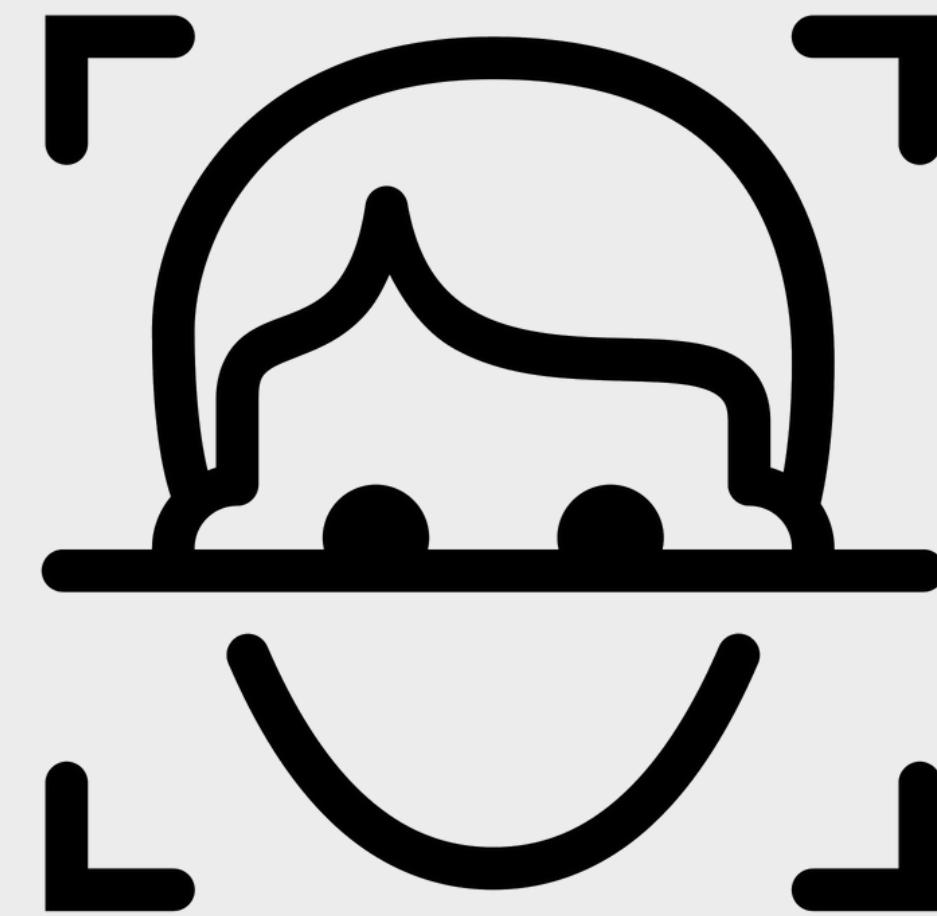
VANTAGENS

- Melhor Desempenho em Cenários com Ambiguidade
- Potencial para Melhor Agrupamento de Dados Complexos
- Facil adaptação a novos exemplos

FUZZY K-MEANS

APLICAÇÕES

- Reconhecimento facial
 - Agrupamento de expressões faciais.
Separação de rostos com expressões como "feliz", "triste" e "neutro".
- Segmentação de imagens
 - Segmentação de tecidos em exames médicos
 - Separação de objetos do fundo em fotos e vídeos

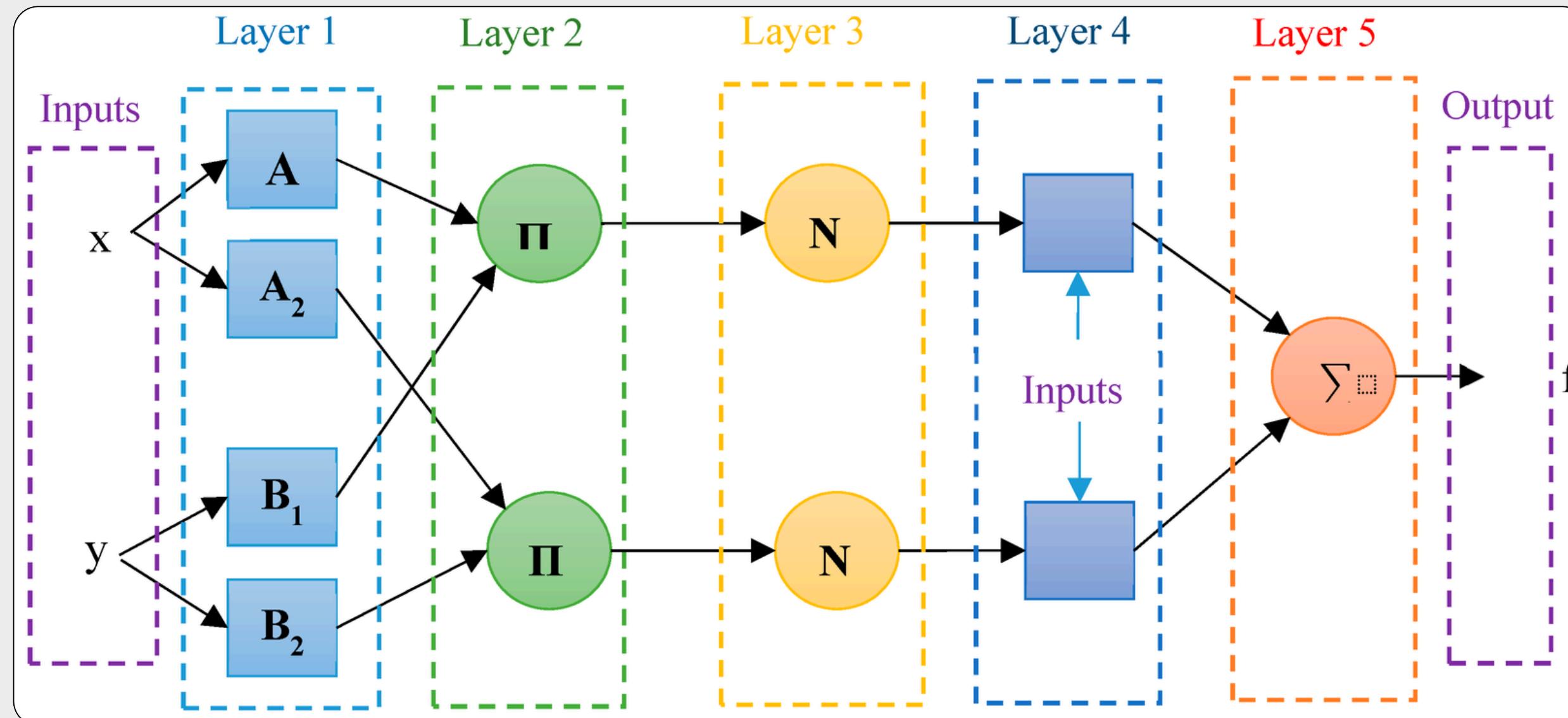


APLICAÇÕES AVANÇADAS E INTEGRAÇÃO

ANFIS

Originalmente apresentado por Roger Jang em 1993,
o **Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
(ANFIS)** é uma fusão de duas metodologias
poderosas de inteligência artificial:
Redes Neurais e Lógica Fuzzy

ANFIS



Regra 1: Se x é A_1 e y é B_1 , então $f = p_1x + q_1y + r_1$

Regra 2: Se x é A_2 e y é B_2 , então $f = p_2x + q_2y + r_2$

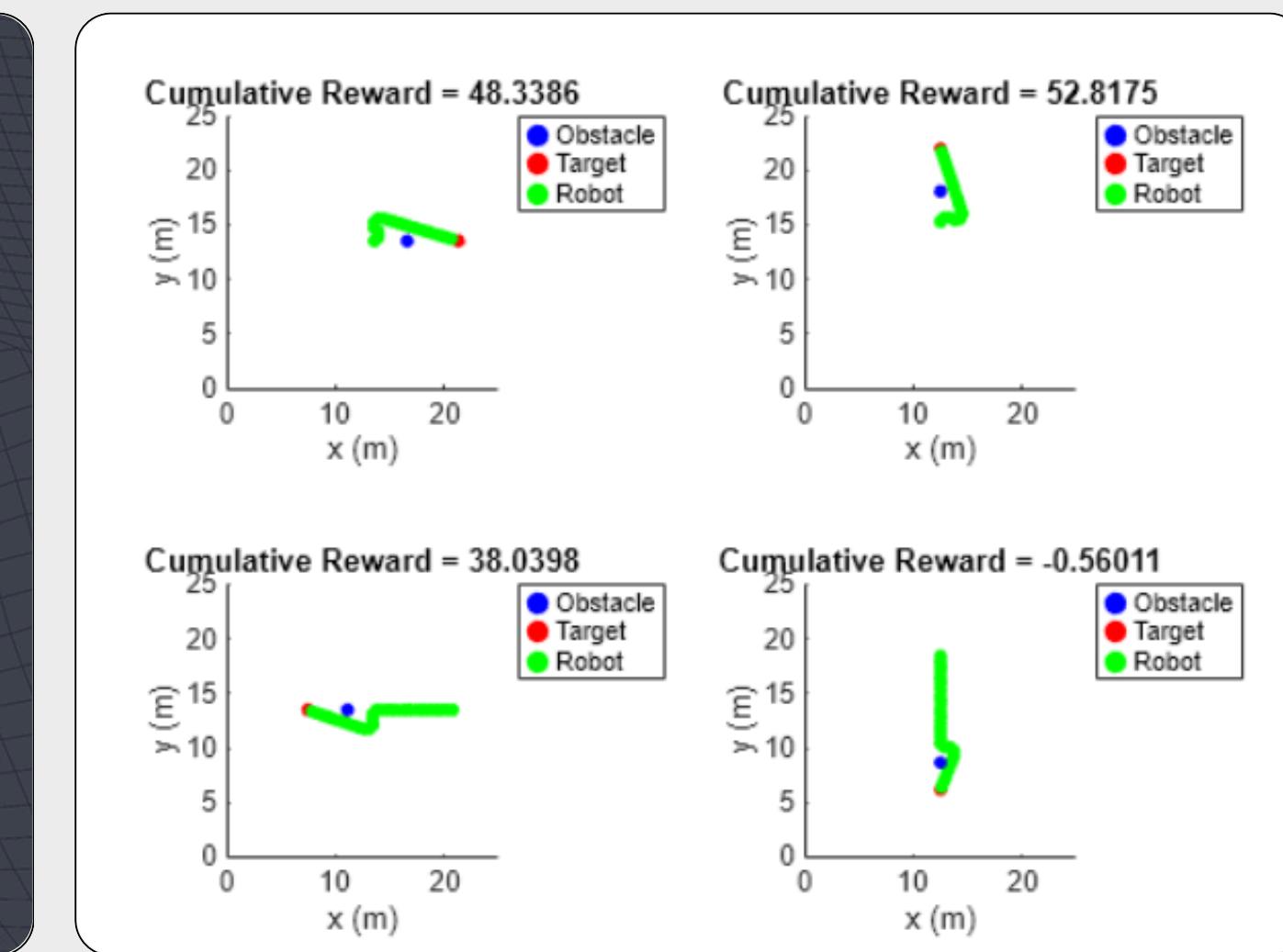
NAVEGAÇÃO DE DRONES

**CONTROLE DE ALTITUDE E
ESTABILIDADE**

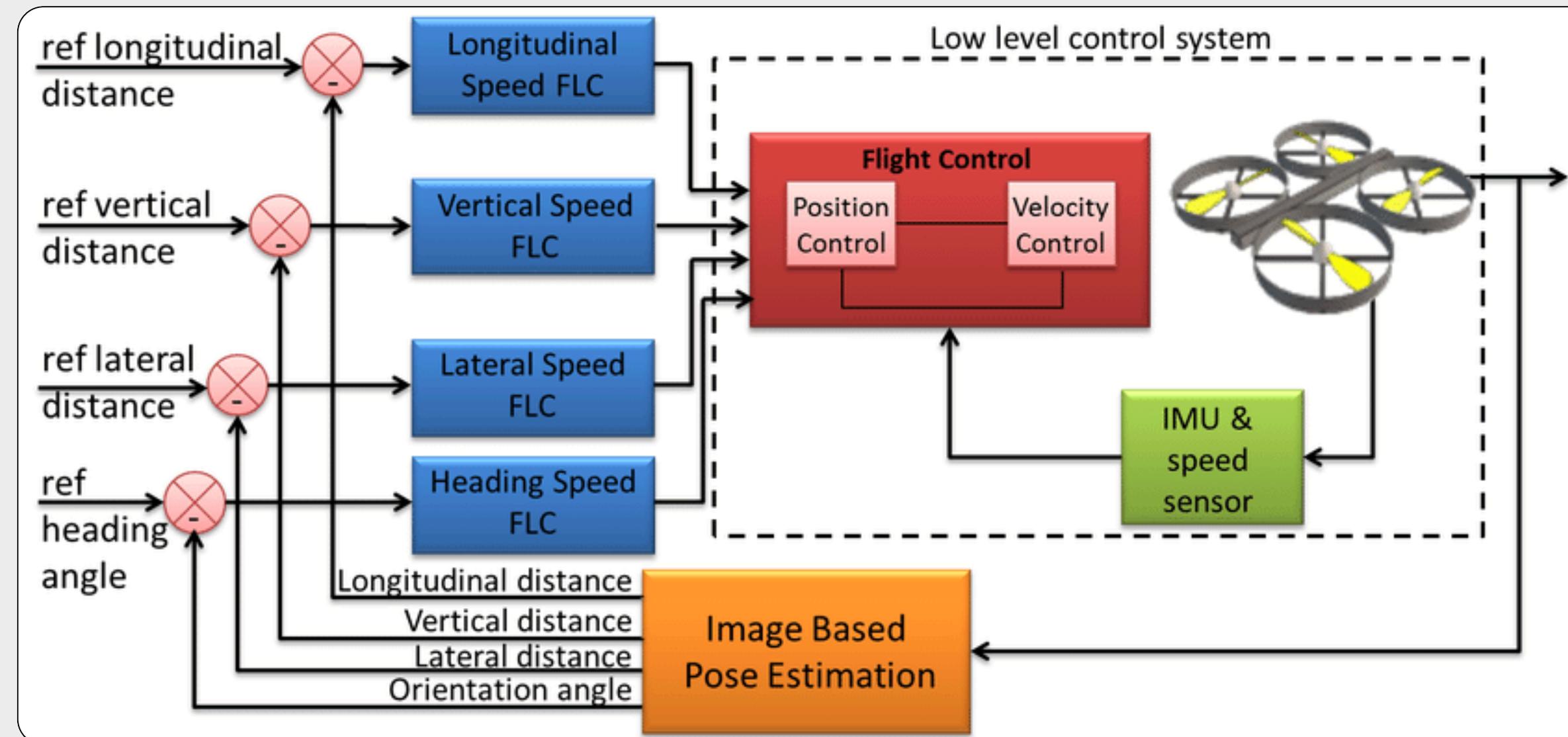


**EVITAR COLISÕES
(OBSTÁCULOS)**

**TOMADA DE DECISÃO EM
AMBIENTES INCERTOS**



NAVEGAÇÃO DE DRONES



NAVEGAÇÃO DE DRONES

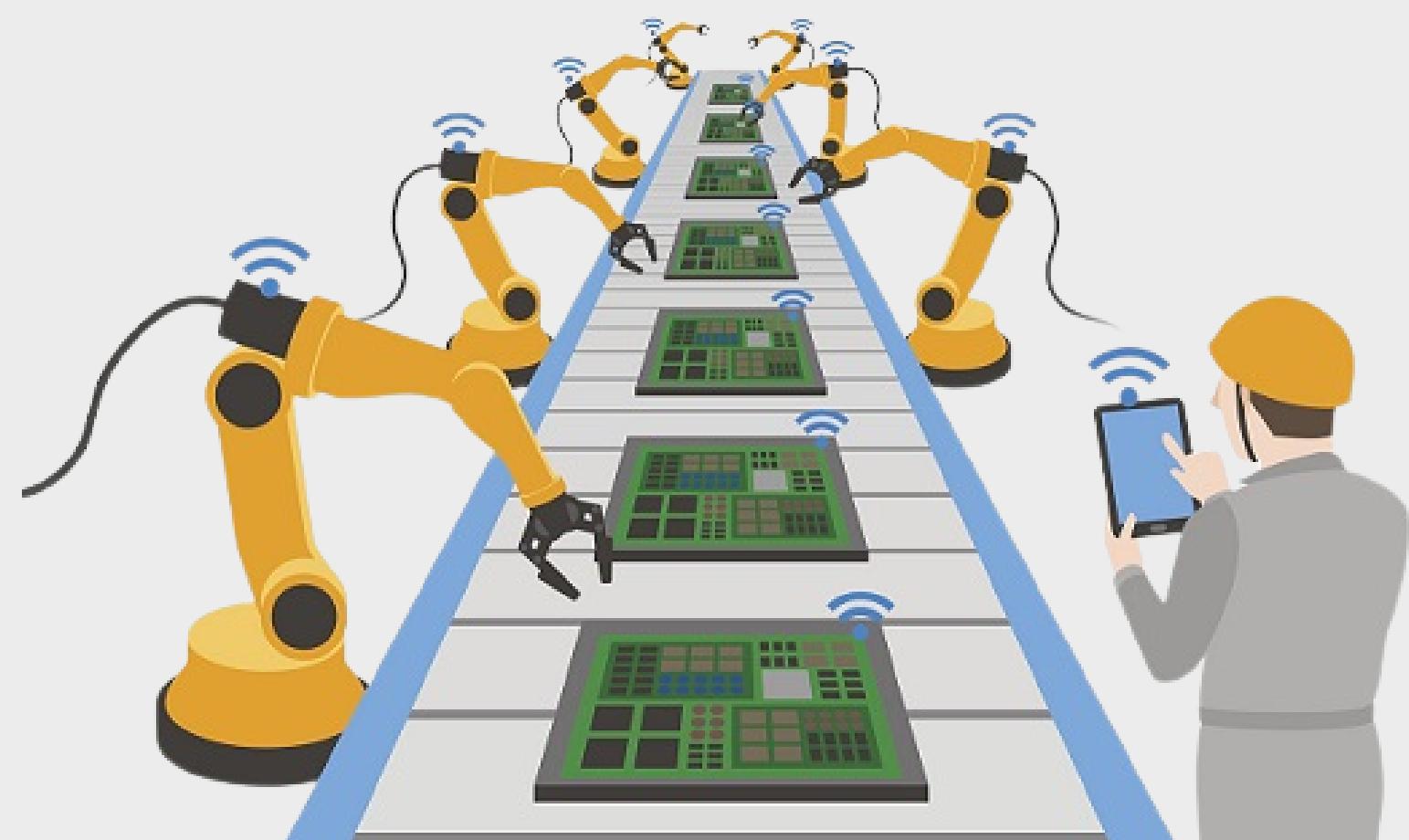


INDÚSTRIA 4.0

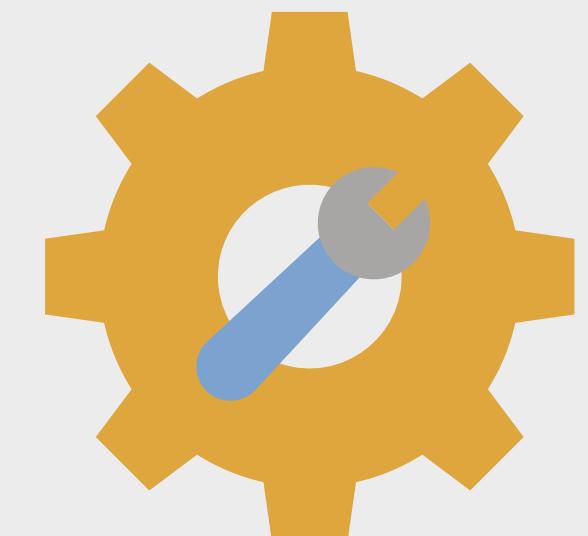
**CONTROLE DE
PROCESSOS INDUSTRIAS**



**MANUFATURA
INTELIGENTE**



**MANUTENÇÃO
PREDITIVA**



CIDADES INTELIGENTES

CONTROLE DE TRÁFEGO INTELIGENTE



CIDADES INTELIGENTES

ROTAS INTELIGENTES PARA TRANSPORTE PÚBLICO



CIDADES INTELIGENTES

AJUSTE AUTOMÁTICO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA



INTERNET DAS COISAS (IOT)



SISTEMAS ESPECIALISTAS

SISTEMAS ESPECIALISTAS

- Programas que simulam a tomada de decisão de especialistas humanos em áreas específicas.
- Baseados em uma **base de conhecimento** (regras e fatos) e um **motor de inferência** (mecanismo que aplica regras para solucionar problemas)
- Auxiliam na tomada de decisões, mas com base em regras fixas, sem adaptação a situações imprevistas ou novas.

HISTÓRICO E ORIGEM

- Décadas de 1960-1980: Surgiram em laboratórios acadêmicos e se consolidaram em diversas áreas.
- Motivações Principais: Escassez de especialistas; Tomada de decisão consistente; Documentação e preservação do conhecimento; Redução de erros e apoio à tomada de decisões

DENDRAL (1965)

- Desenvolvedores: Edward Feigenbaum, Joshua Lederberg e Bruce Buchanan (Universidade de Stanford)
- Usa regras de conhecimento químico e espectrometria de massa para **prever a organização das moléculas.**



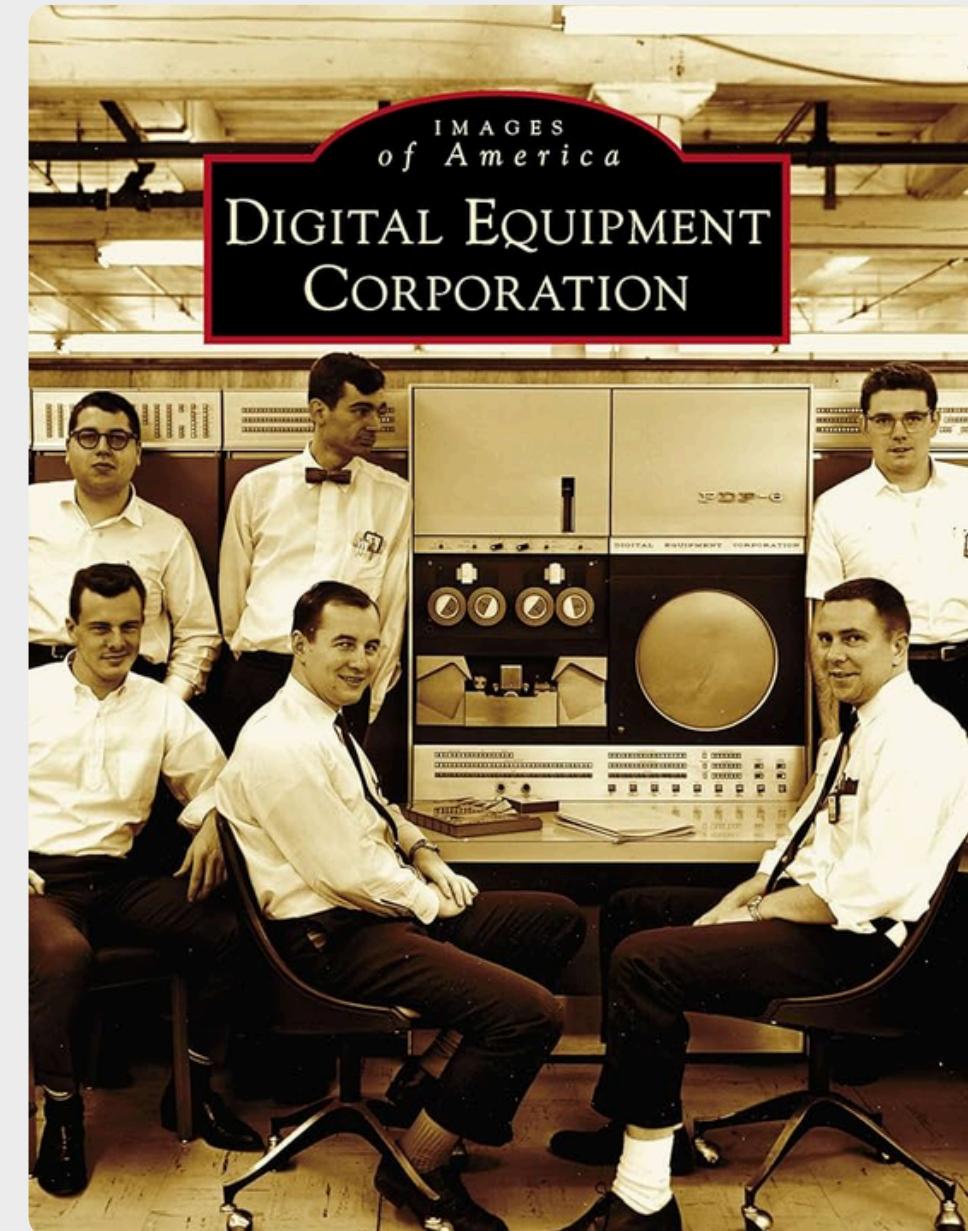
MYCIN (1970s)



- Desenvolvedor: Edward Shortliffe (Universidade de Stanford)
- Usava regras de se-então e um método probabilístico para **diagnosticar infecções bacterianas e recomendar antibióticos adequados**.
- Nunca foi amplamente adotado devido a questões regulatórias, mas demonstrou o potencial de sistemas especialistas na medicina.

XCIN(1980s)

- Desenvolvido pela Digital Equipment Corporation (DEC) e Carnegie Mellon University
- Usava um banco de dados para **validar combinações de hardware dos computadores VAX** e um motor de inferência baseado em regras para verificar compatibilidade.
- Foi um dos primeiros sistemas especialistas aplicados em larga escala na indústria.



CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA

- Define como o sistema processa conhecimento e toma decisões, influenciando a estrutura do algoritmo e a escolha das técnicas usadas na implementação.
- O problema é classificado a partir de fatores como: decomposição, recuperabilidade, previsibilidade, busca de solução, tipo de solução, importância do conhecimento e interação com o usuário

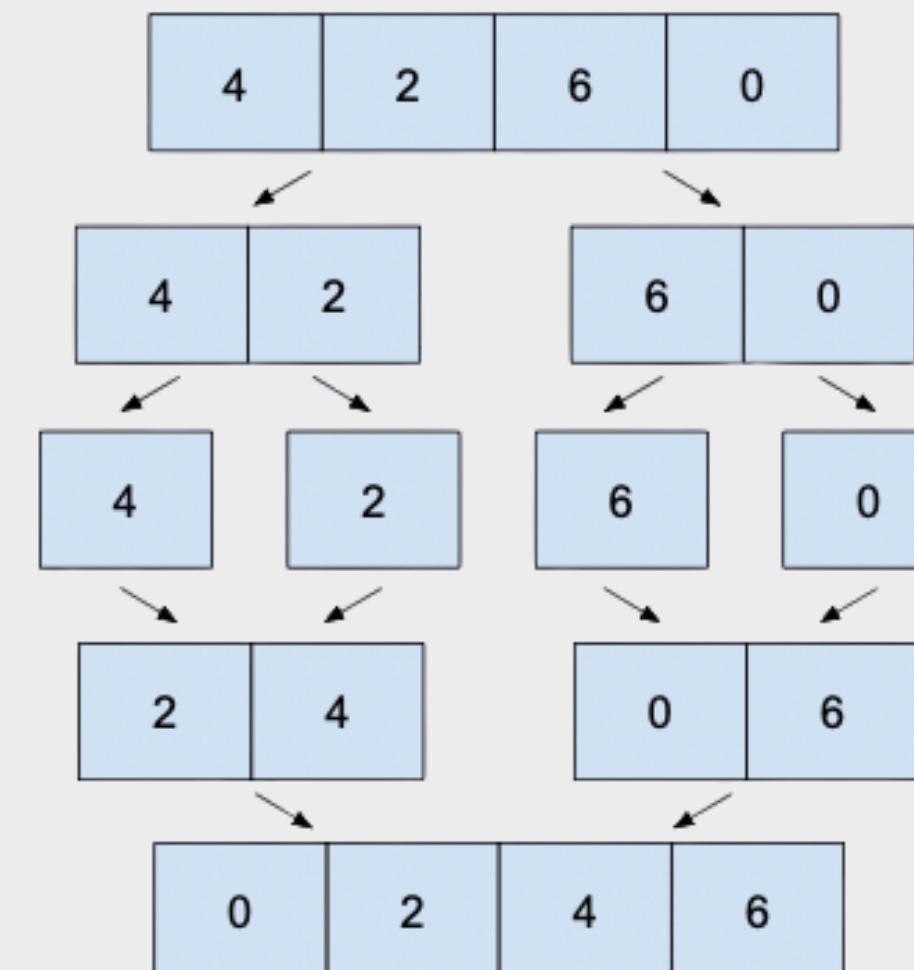
DECOMPOSIÇÃO DE PROBLEMAS

Decomponíveis

- Podem ser divididos em partes menores e resolvidos separadamente.

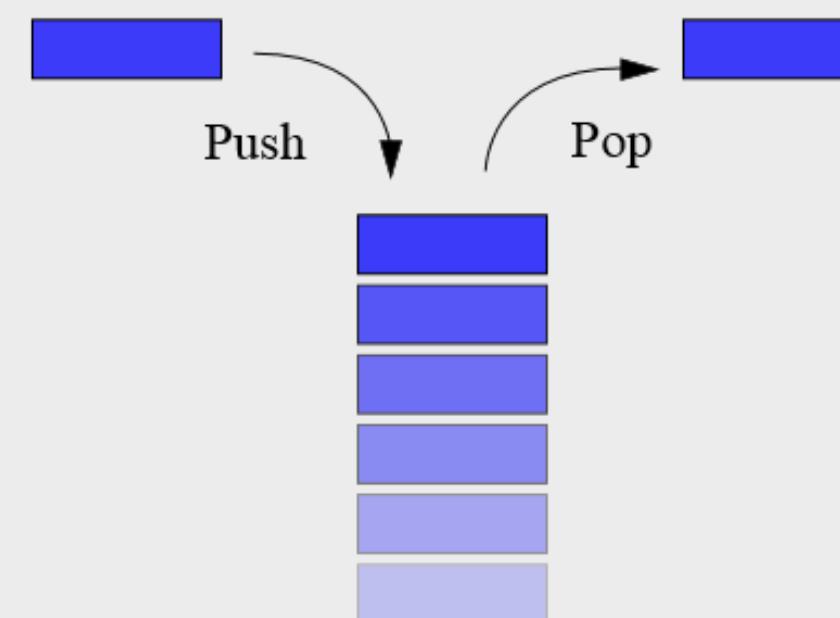
Não Decomponíveis:

- Precisam ser analisados como um todo, de forma mais integrada.



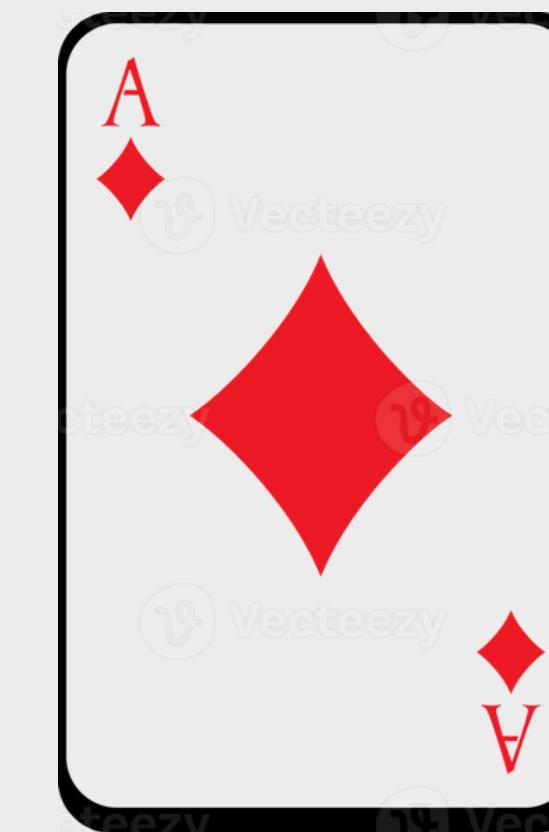
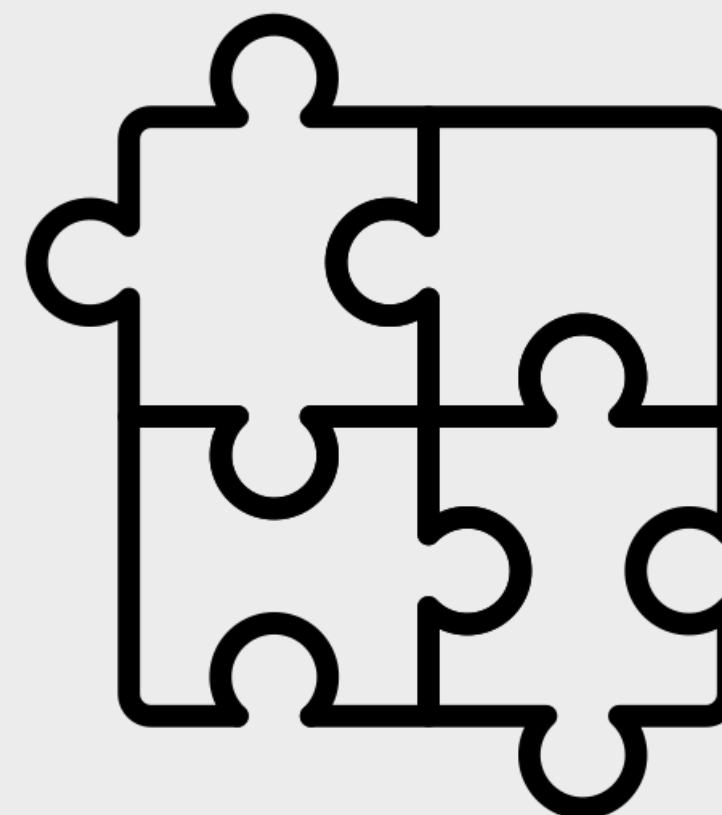
RECUPERABILIDADE DE PROBLEMAS

- Ignoráveis: Não precisam de retrocesso.
- Recuperáveis: Permitem voltar atrás e corrigir decisões.
- Não Recuperáveis: Cada decisão é permanente.



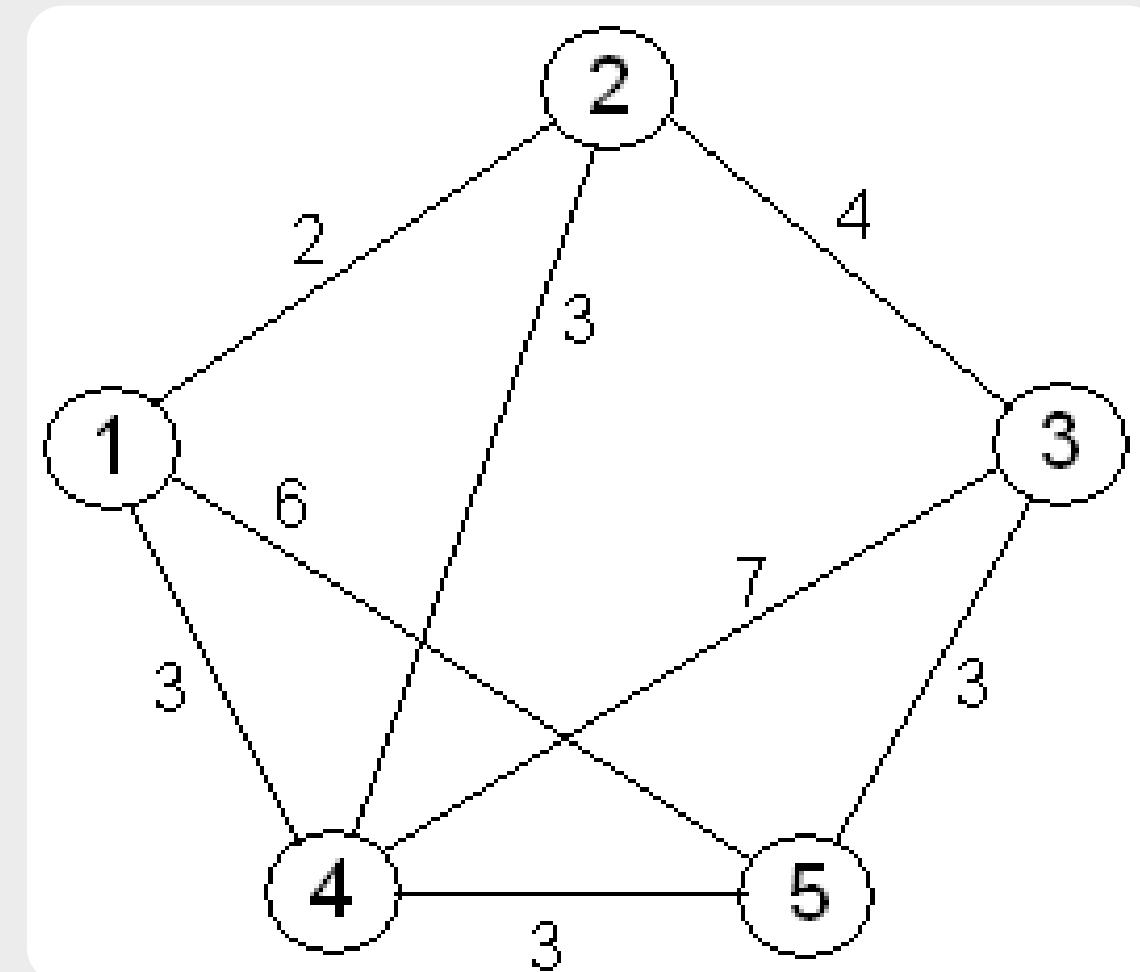
PREVISIBILIDADE DE PROBLEMAS

- Resultado Certo: Solução fixa e planejável.
- Resultado Incerto: Exige ajustes e adaptação.

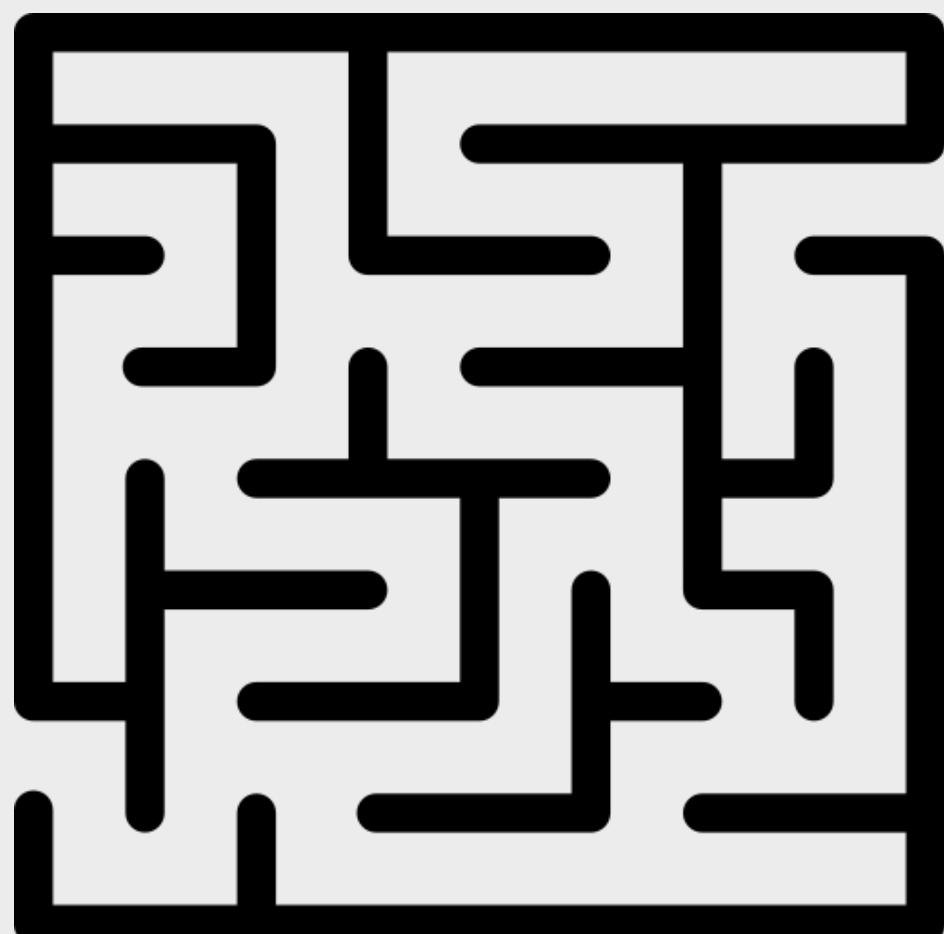


BUSCA DE SOLUÇÃO

- Aceitam qualquer caminho: Soluções podem ser encontradas com **heurísticas** sem exigir o caminho ideal.
- Aceitam apenas o melhor caminho: Exigem **busca exaustiva ou heurística avançada** para otimização.



TIPO DE SOLUÇÃO

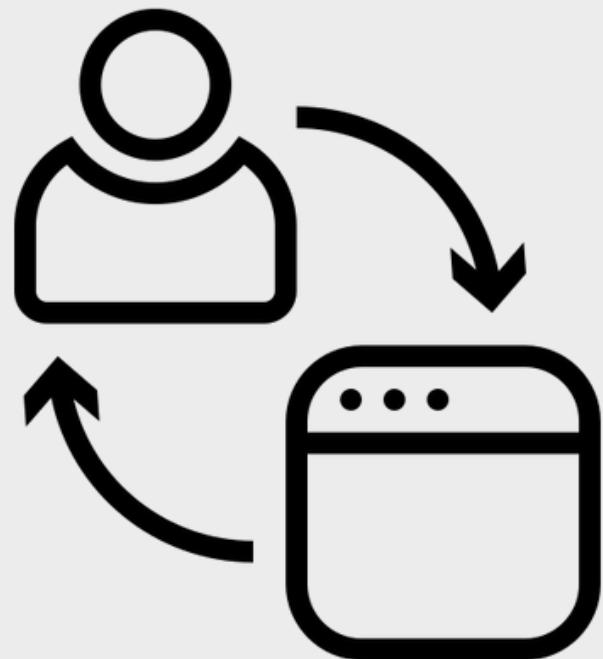


- Estado Final: O sistema busca um único resultado correto.
- Caminho para um Estado: O processo de resolução é tão importante quanto o resultado.

IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO

- Restringe a busca: Torna o processo mais eficiente ao limitar as opções.
- Necessário para reconhecer a solução: Essencial para validar e interpretar respostas.

INTERAÇÃO COM O USUÁRIO



- Solitário: O sistema recebe o problema e retorna a solução sem interação com o usuário.
- Conversacional: O sistema interage com o usuário para fornecer assistência adicional durante o processo.

RACIOCÍNIO DO SISTEMA

- A escolha do raciocínio depende da natureza do problema, impactando a abordagem e a precisão do sistema.
- Tipos de Raciocínio: Raciocínio Fisiopatológico, Reconhecimento de Padrões, Raciocínio Probabilístico

RACIOCÍNIO FISIOPATOLÓGICO

- Exige que o sistema compreenda como diferentes **fatores influenciam um processo dinâmico**. É útil para problemas que envolvem a evolução de condições ao longo do tempo.

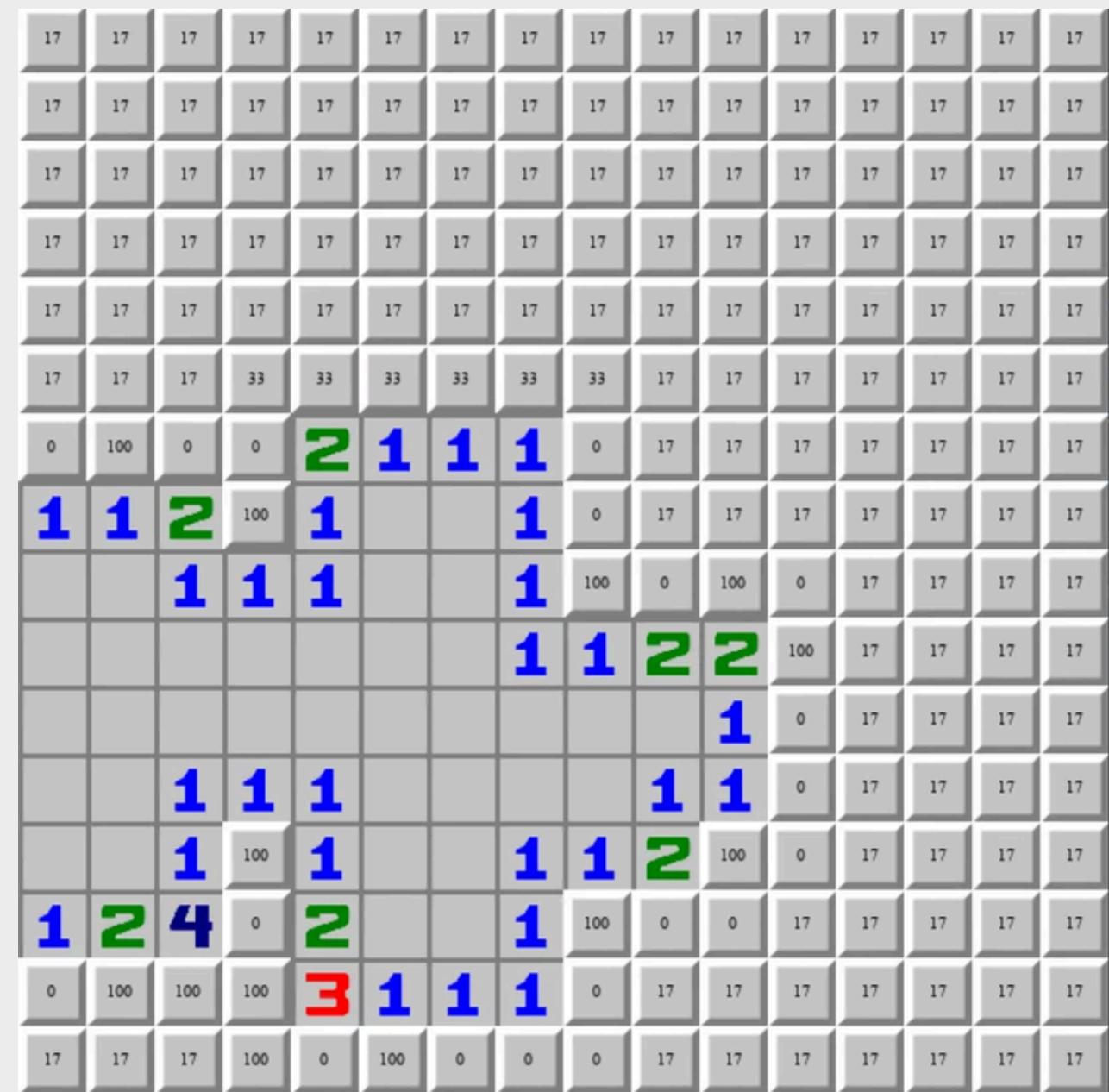
RECONHECIMENTO DE PADRÕES

- Eficiente para problemas com padrões claros, o sistema compara dados de entrada com exemplos registrados e identifica similaridades.
- Requer mecanismos eficientes para comparação e identificação



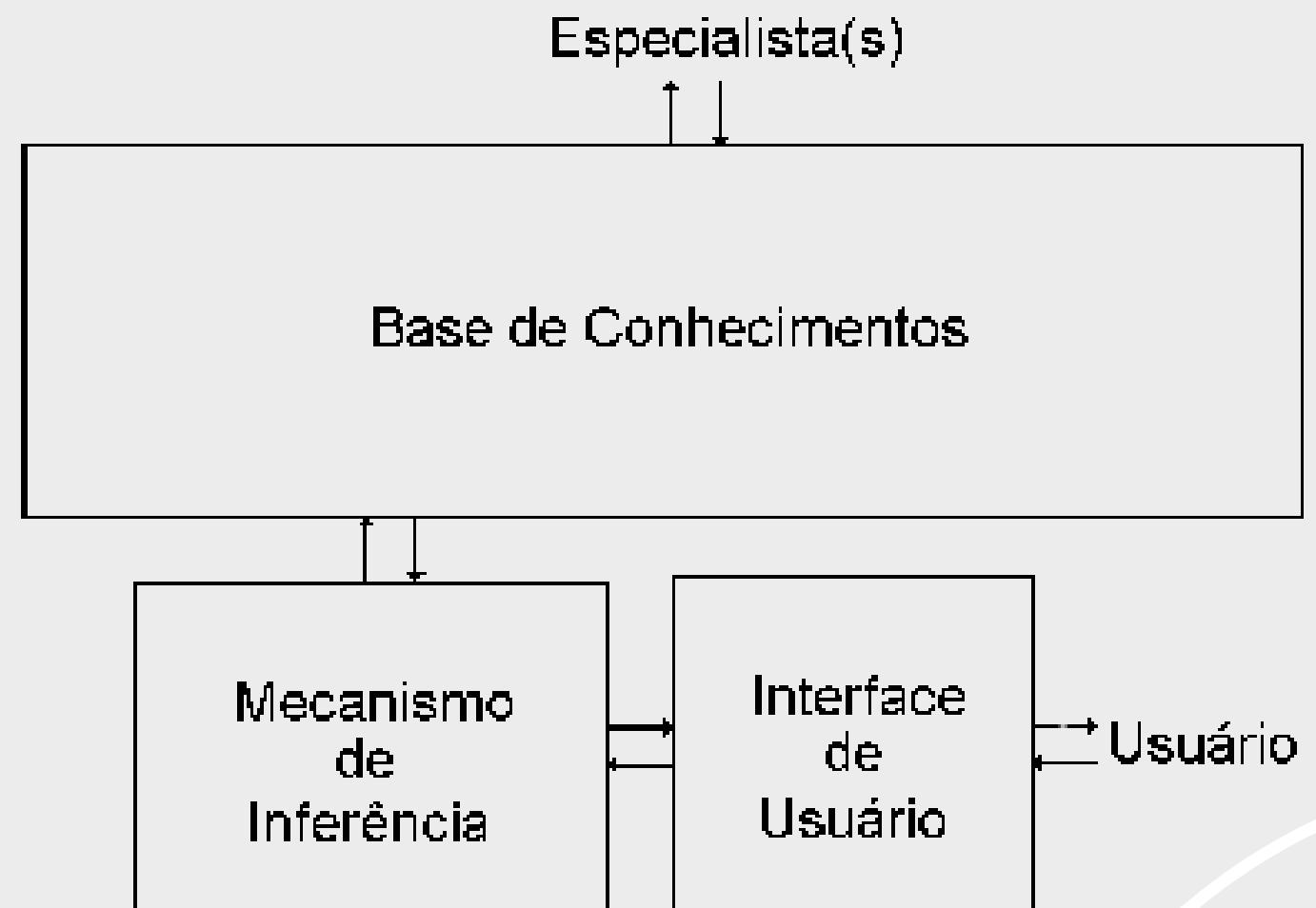
RACIOCÍNIO PROBABILÍSTICO

- Ao invés de fornecer uma resposta única, ele **calcula probabilidades** para diferentes hipóteses.
- Faz uso de ferramentas estatísticas avançadas e grande volume de dados para calcular probabilidades com precisão.



ESTRUTURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

- Base de Conhecimento: Contém as informações e regras necessárias para o sistema fazer inferências e resolver problemas.
- Motor de Inferência: Responsável por processar o conhecimento e tomar decisões com base nas regras e fatos fornecidos.
- Interface com o Usuário: Permite a interação entre o usuário e o sistema, facilitando a entrada de dados e a visualização de resultados.



BASE DE CONHECIMENTO

- Armazena informações para que o sistema seja capaz de resolver problemas em uma área específica, é composto por:
 1. Fatos: Dados e evidências observáveis.
 2. Regras: Instruções do tipo “SE-ENTÃO”.



MOTOR DE INFERÊNCIA

- Processa informações e aplica as regras da base de conhecimento para tomar decisões autônomas ou gerar recomendações.
- As principais técnicas de processamento usadas por ele são: Encadeamento Progressivo e Encadeamento Regressivo.

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO

Encadeamento Progressivo

- Parte de fatos conhecidos.
- Aplica regras da base de conhecimento passo a passo.
- Gera novas informações até chegar a uma conclusão ou solução final.

Encadeamento Regressivo

- Parte de uma hipótese ou conclusão desejada.
- Verifica se há fatos e regras que provem a hipótese.
- Se necessário, solicita mais dados ao usuário para validar ou refutar.

REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTOS

- Define como as regras são organizadas e utilizadas pelo motor de inferência para tomar decisões.
- Os principais tipos de Representação são: Regras de Produção; Redes Semânticas; Lógica de predicados

REGRAS DE PRODUÇÃO (SE-ENTÃO)

- Representação simples e intuitiva de conhecimento na forma condicional.
- Estrutura:
Se (condição) Então (ação/conclusão)

REDES SEMÂNTICAS

- Representação por meio de nós e conexões, onde os nós representam conceitos e as conexões representam as relações entre eles, as relações podem indicar propriedades ou hierarquias.

Exemplo:

Animal → tem → Coração

Mamífero → é um → Animal

Cachorro → é um → Mamífero

Cachorro → tem → Quatro patas

Gato → é um → Mamífero

Pássaro → é um → Animal

Pássaro → tem → Asas

Aplicação:

Exemplo de raciocínio: "O cachorro tem um coração?"

LÓGICA DE PREDICADOS

- Utiliza expressões matemáticas para representar conhecimento de forma formal e precisa por meio de predicados para descrever propriedades e relações entre objetos.
- Representação comum: $P(x,y)$, onde P é a relação e x, y são os objetos envolvidos e usa os quantificados \forall (para todo) e \exists (existe)

Predicado: $P(x, y) \rightarrow "x \text{ é amigo de } y"$

- $P(\text{Alice}, \text{Bob})$
- $\forall x \exists y P(x, y)$

SISTEMAS ESPECIALISTAS VS MODELOS FUZZY

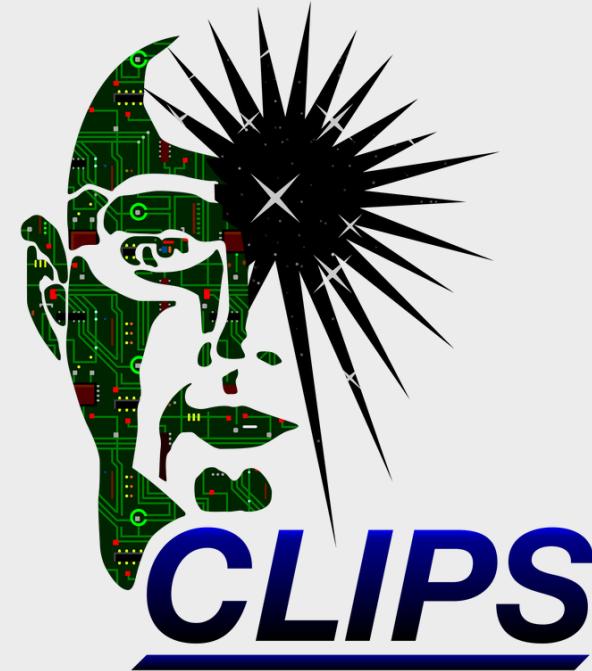
- Semelhanças: Ambos são utilizados para imitar o processo de tomada de decisão humana, buscando fornecer soluções automatizadas em diferentes tipos de problemas.
- Diferenças: sistemas Especialistas são baseados em regras fixas, mais precisos e definidos. Já o Modelos Fuzzy é mais flexível, lidando com incertezas e variações nos dados.

CONSTRUÇÃO, APLICAÇÕES, VANTAGENS E DESVANTAGENS

CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS

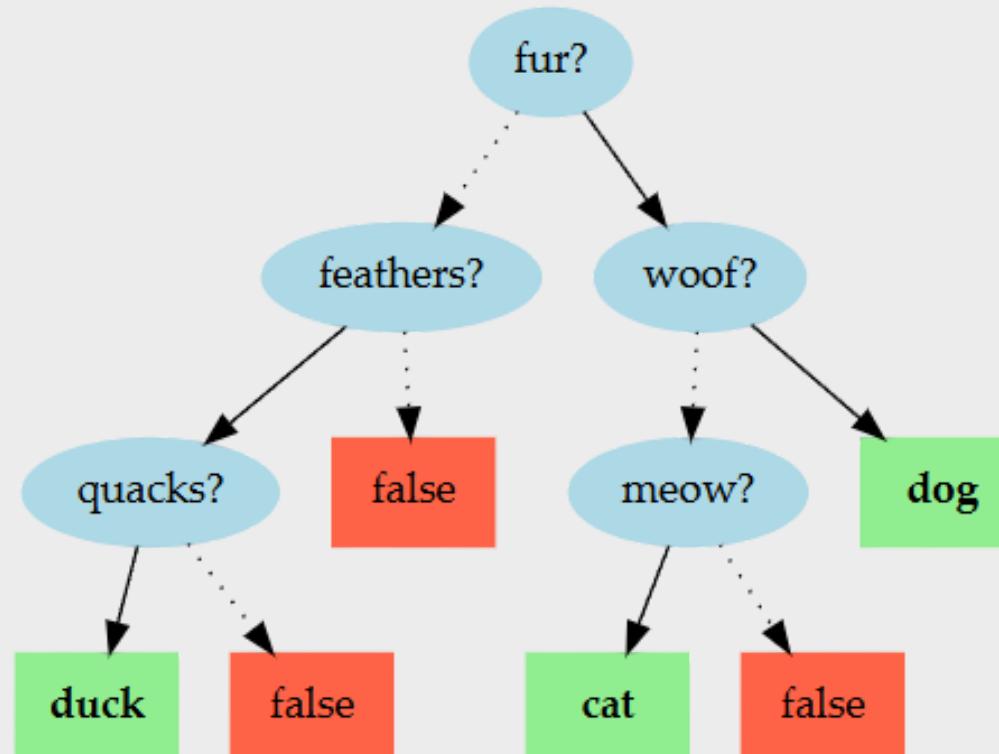
CLIPS

baseado em regras “Se-Então”, eficiente, modularizada e fácil de usar.



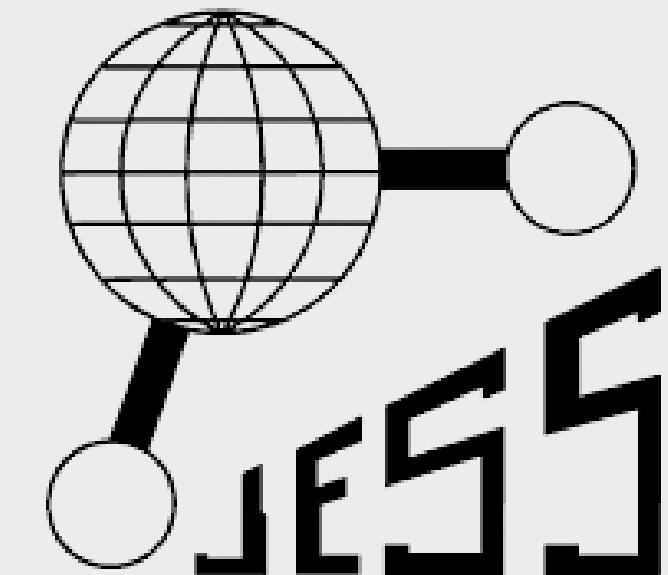
PROLOG

raciocínio lógico + dedução automatizada (ideal para inferência e raciocínio complexo).



JESS

semelhante ao CLIPS, mas roda com Java (ótimo para sistemas web).



AKINATOR

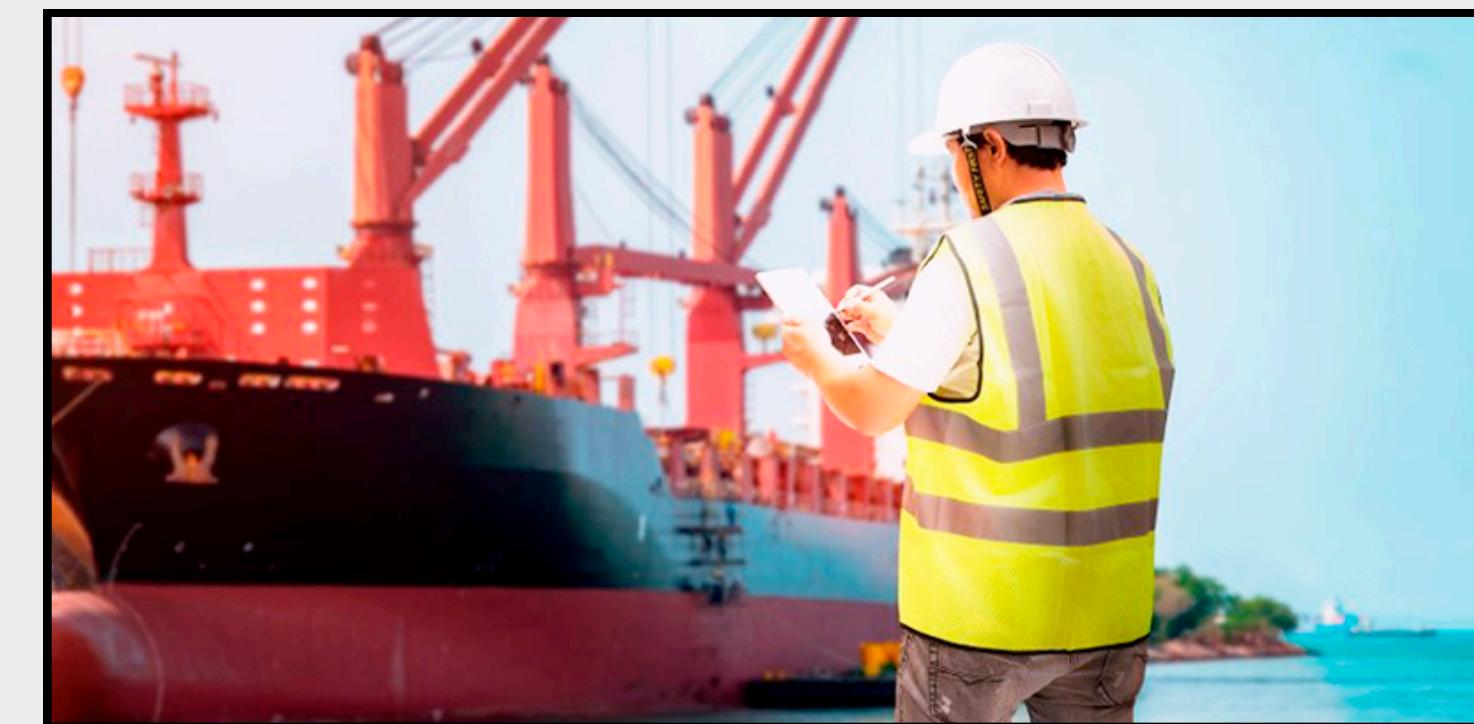


SISTEMA ESPECIALISTA BASEADO EM REGRAS FIXAS

ENCADEAMENTO PROGRESSIVO

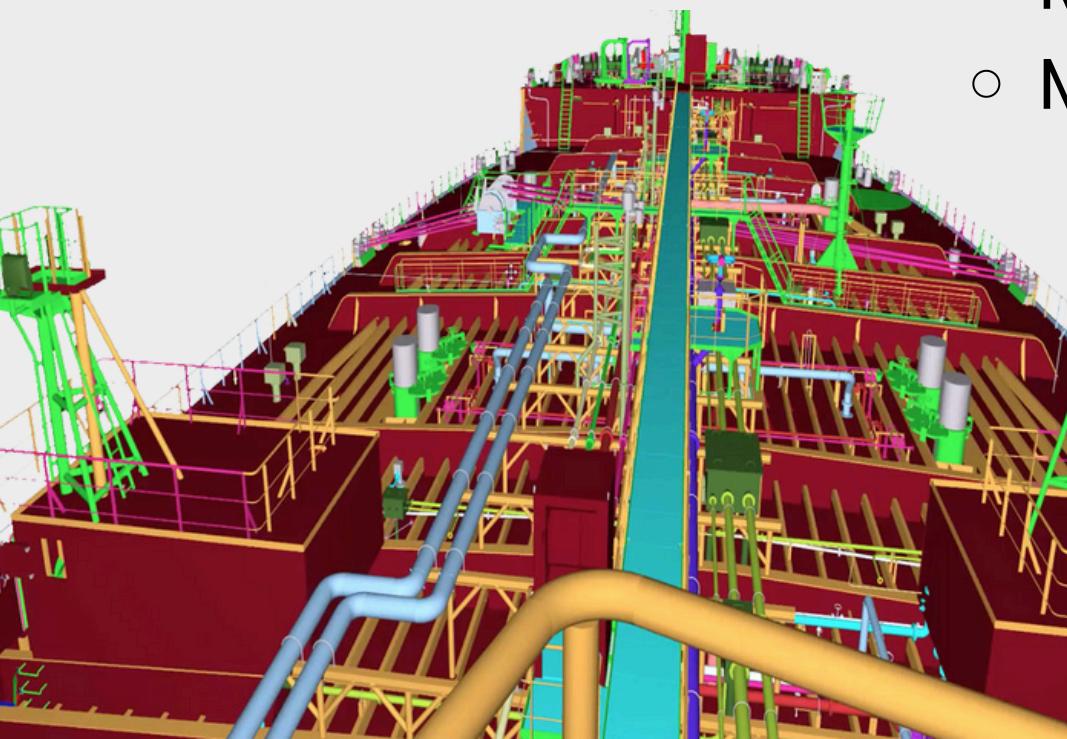
APRENDE COM OS ERROS → ATUALIZA BASE

ONDE SÃO APLICADOS NA VIDA REAL?



Method for pipe routing using the expert system and the heuristic pathfinding algorithm in shipbuilding

- Sistema de **roteamento** de tubulações que passam por dentro dos navios.
- Usa regras de **engenharia e heurísticas**.
- Três componentes que formam a base do sistema:
 - Modelo de Template de Arranjo (ATM)
 - Modelo de Avaliação de Arranjo (AEM)
 - Modelo de Otimização de Arranjo (AOM)



CLASSIFICAÇÃO

Decomponível

Tipo de solução única

Recuperável

Exige conhecimento

Resultado certo

Solitário

Encadeamento Progressivo

Tipo de raciocínio Fisiopatológico

A novel CLIPS-based medical expert system for migraine diagnosis and treatment recommendation

- O **MDATES** foi criado para auxiliar profissionais da área de saúde no **diagnóstico** de diferentes tipos de enxaqueca e na **recomendação** personalizada de tratamentos com medicamentos específicos.
- Desenvolvido com **CLIPS**.
- Reduziu em mais de 70% o tempo de atendimento.



CLASSIFICAÇÃO

Decomponível

Tipo de solução única

Recuperável

Exige conhecimento

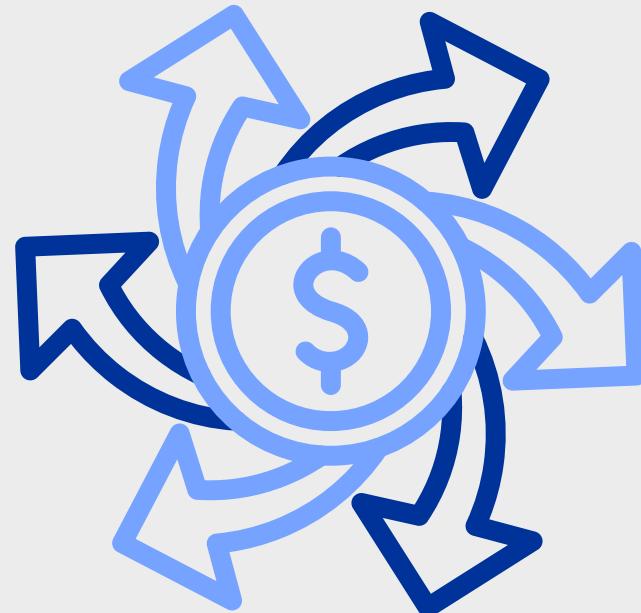
Resultado certo

Conversacional

**Busca de solução híbrida
(Progressivo + Regressivo)**

**Tipo de raciocínio
Reconhecimento de Padrões**

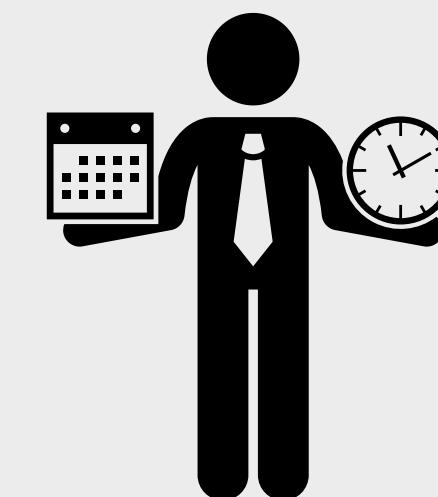
A Study regarding the Use of Expert Systems in Economics Field



- Investiga como os Sistemas Especialistas podem ser utilizados para resolver problemas complexos na área da economia.
- Ajudam as empresas a tomar decisões mais rápidas, mais bem embasadas e com menos chance de erro.
- Menor capacidade de **lidar com situações novas** ou ambíguas (em comparação com humanos).
- Aborda vantagens e desvantagens.

VANTAGENS

- Decisões rápidas e consistentes
- Operam continuamente
- Reduzem erros humanos
- Economizam tempo dos especialistas



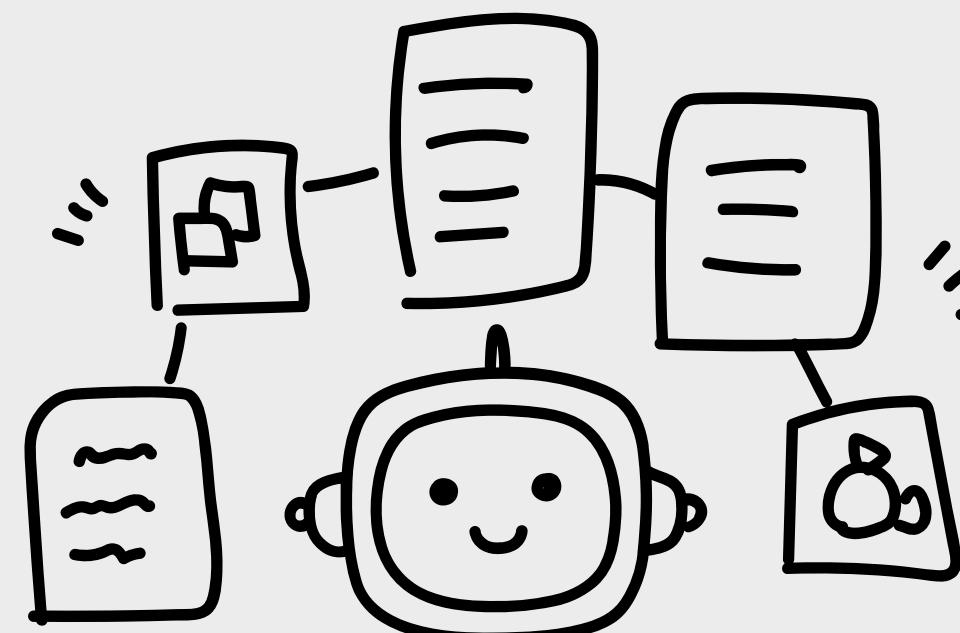
DESVANTAGENS

- Dificuldade de atualização das regras
- Falta de flexibilidade
- Não aprendem sozinhos



OS SISTEMAS ESPECIALISTAS ESTÃO ENTRANDO EM DESUSO?

- Regras precisam ser escritas manualmente.
- Era do **Big Data**.
- **Aprendizado de Máquina** aprende com dados e consegue se adaptar com o tempo.
- Os sistemas especialistas não conseguem se atualizar sozinhos.



SISTEMAS ESPECIALISTAS VS REDES NEURAIS

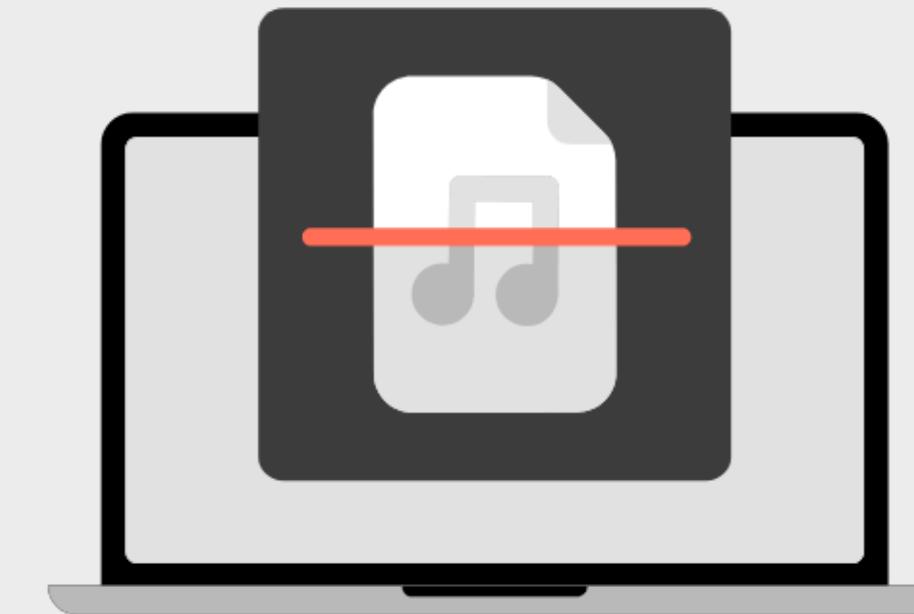
SISTEMAS ESPECIALISTAS

- Regras fixas.
- Construídas manualmente por especialistas humanos.
- Cada “Se-Então” foi pensado, escrito e testado.

REDES NEURAIS

- Aprendem automaticamente a partir de dados.
- Identificam padrões por meio de um processo de treino, como se fossem “educadas”.

Mesmo com os avanços atuais da inteligência artificial, os **sistemas especialistas** foram os **primeiros passos** dessa revolução, e continuam sendo fundamentais em muitos cenários onde o conhecimento é bem definido e crítico.





FIM