

6. Sistemas de Inferência Fuzzy (Esquema geral e estudo de casos)

- 6.1 Esquema Geral
- 6.2 Controle Fuzzy
- 6.3 Classificação Fuzzy
- 6.4 Apoio à Tomada de Decisão Fuzzy

1

Sistemas de Inferência Fuzzy (Sistemas Fuzzy)

- Modelo computacional baseado nos conceitos de:
 - Teoria de conjuntos fuzzy
 - Regras se-então fuzzy
 - Raciocínio aproximado
- Áreas de aplicação:
 - Controle
 - Classificação
 - Apoio à decisão
 - Sistemas especialistas
 - Previsão de séries temporais
 - Robótica
 - Reconhecimento de padrões

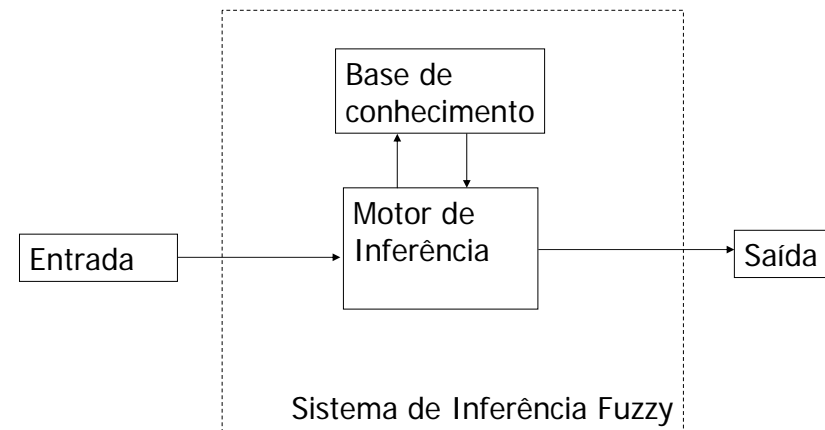
2

Outros nomes:

- Sistemas baseados em regras fuzzy
- Sistemas especialistas fuzzy
- Modelos fuzzy
- Memória associativa fuzzy
- Controlador baseado em lógica fuzzy

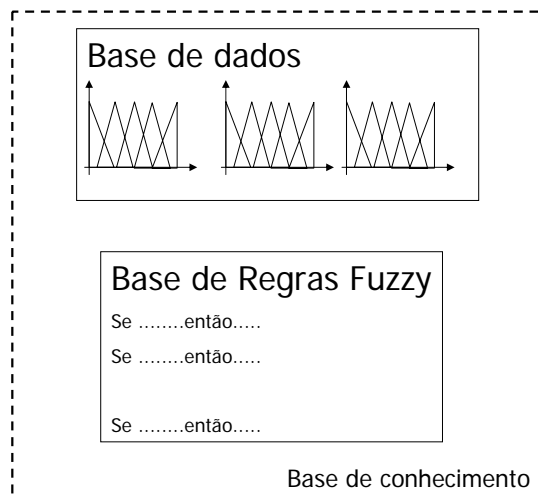
3

6.1 Esquema Geral



4

Base de conhecimento



5

6.2 Controle Fuzzy

- Sistemas que se destinam a controlar o valor de uma certa variável de saída em função dos valores de variáveis de entrada
- Forma particular de sistemas especialistas
 - Base de conhecimento
 - Motor de inferência
- Utilizam conhecimento extraído de:
 - operador humano
 - conjuntos de dados
- Adequados quando modelos matemáticos são difíceis ou impossíveis

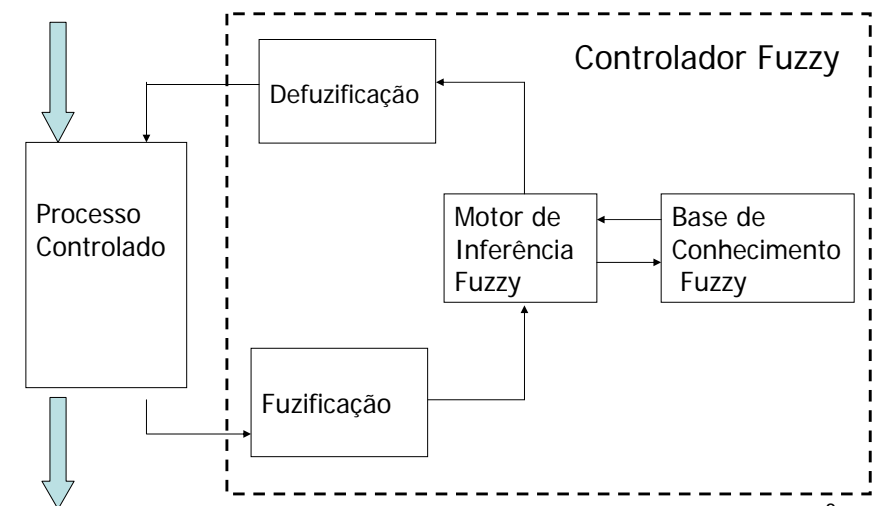
6

- A base de regras é composta de estratégias de ação descritas com termos linguísticos imprecisos

SE a temperatura está muito alta
 E a pressão está levemente baixa
 ENTÃO a mudança no aquecedor deve ser levemente negativa

7

Esquema Geral – controlador fuzzy



8

Ciclo de operação do controlador

- Medir variáveis de entrada do controlador
- Converter valores medidos em conjuntos fuzzy (fuzificação)
- Disparar regras de controle
- Converter resultado em um valor determinístico (defuzificação)

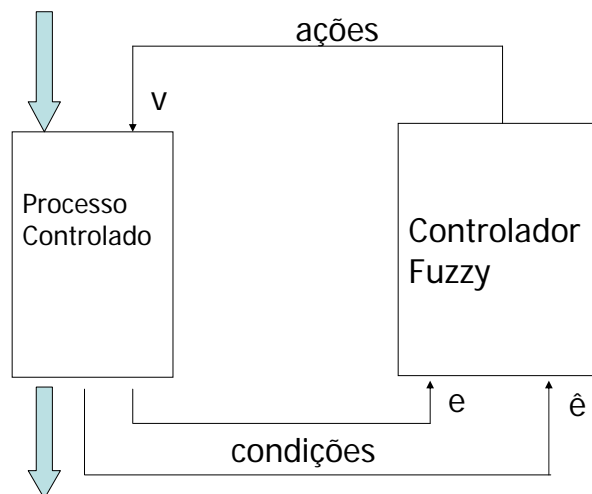
9

Projeto do Controlador Fuzzy (para um caso simples)

- Problema: Manter um valor desejado de uma variável, a despeito de perturbações ambientais
- Variáveis monitoradas (entrada):
 - Erro (e) – diferença entre valor real e valor desejado da variável controlada
 - Derivada do erro (\dot{e}) – taxa de mudança do erro
- Variável controlada (saída):
 - Alteração no controle (v) – ações de controle

10

Esquema do controlador



11

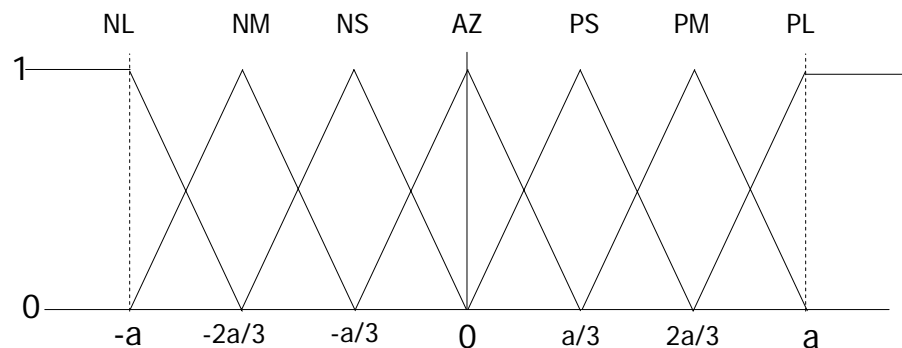
Passos do projeto

- 1. Determinar variáveis de entrada e saída; Determinar partições fuzzy (valores linguísticos e conjuntos fuzzy)

Variável	Conjunto Base
e (erro)	$[-a, a]$
\dot{e} (variação do erro)	$[-b, b]$
v (alteração no controle)	$[-c, c]$

Valores Linguísticos	
NL	negativo grande
NM	negativo médio
NS	negativo pequeno
AZ	aproximadamente zero
PL	positivo grande
PM	positivo médio
PS	positivo pequeno

12



Partições fuzzy no intervalo $[-a, a]$ por números fuzzy de forma triangular

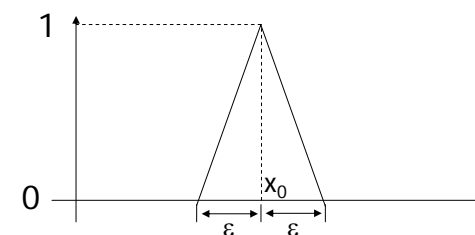
13

- 2. Definir função de fuzificação para cada variável de entrada

$$F_e : [-a, a] \rightarrow \mathfrak{R}$$

\mathfrak{R} - conjunto de números fuzzy

Para a entrada $e = x_0$ a aproximação fuzzy é obtida criando um triângulo com abertura ε



14

- 3. Construção da base de conhecimento (regras)
 - direto do especialista
 - a partir de dados por aprendizado

- Forma das regras:

SE $e = A$ E $\hat{e} = B$ ENTÃO $v = C$

- Número de regras não conflitantes: $7^2 = 49$

SE $e = NL$ E $\hat{e} = NL$ ENTÃO $v = PL$

SE $e = AZ$ E $\hat{e} = AZ$ ENTÃO $v = AZ$

.....

SE $e = PS$ E $\hat{e} = AZ$ ENTÃO $v = NS$

15

- 4. Projetar o motor de inferência, selecionando o modelo de inferência:

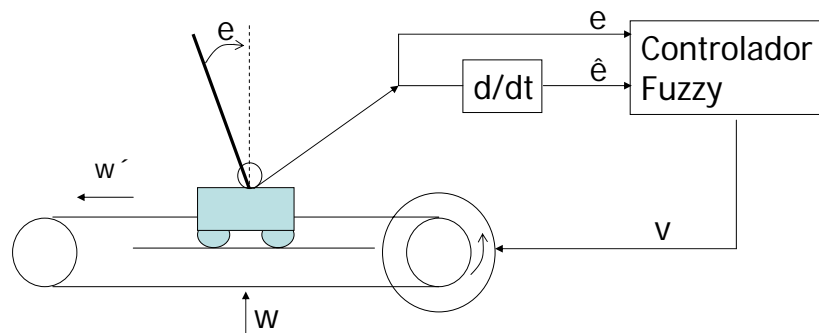
- Mamdani
- Larsen
- Inferência escalonada, etc...

- 5. Selecionar método de defuzificação

- Centro de área
- Centro de máximos
- Média de máximos
- Média de máximos ponderada

16

Exemplo – Estabilizar um Pêndulo invertido



- e – ângulo entre a posição real da haste e sua posição vertical desejada (medida por sensor)
- \dot{e} – variação da variável e (calculada em função de medidas sucessivas de e)
- v – proporcional à velocidade do veículo (w) (corrente elétrica ou voltagem)

17

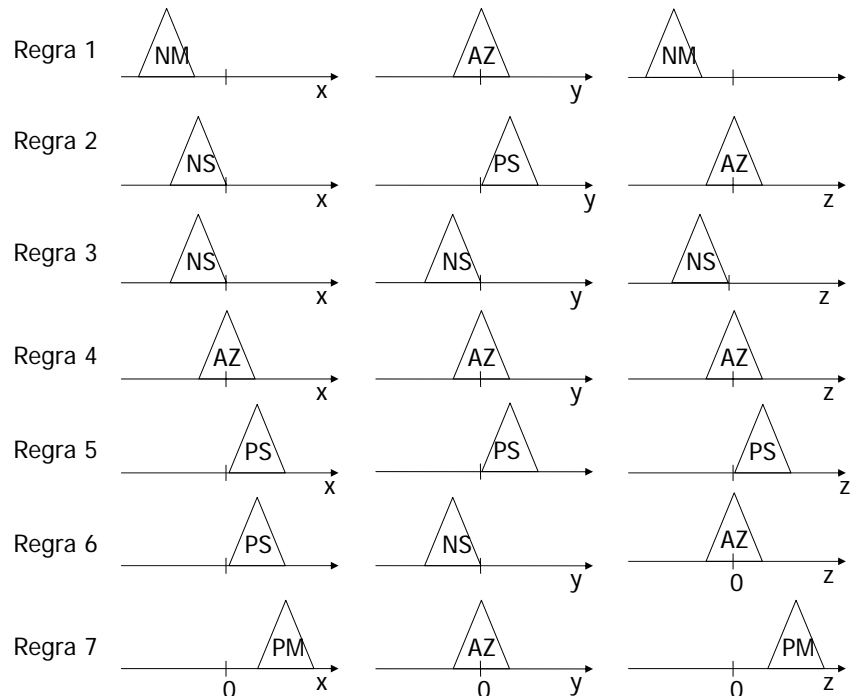
Projeto do controlador

- Valores linguísticos: NL, NM, NS, AZ, OS, PM, PL
- Conjuntos Fuzzy: números fuzzy triangulares
- Valores de entrada determinísticos
- Regras fuzzy:

	e				
\dot{e}	NM	NS	AZ	PS	PM
NS		NS		AZ	
AZ	NM		AZ		PM
PS		AZ		PS	

- Método de Mamdani
- Método de Centro de massa

18



19

6.3 Sistemas de classificação fuzzy

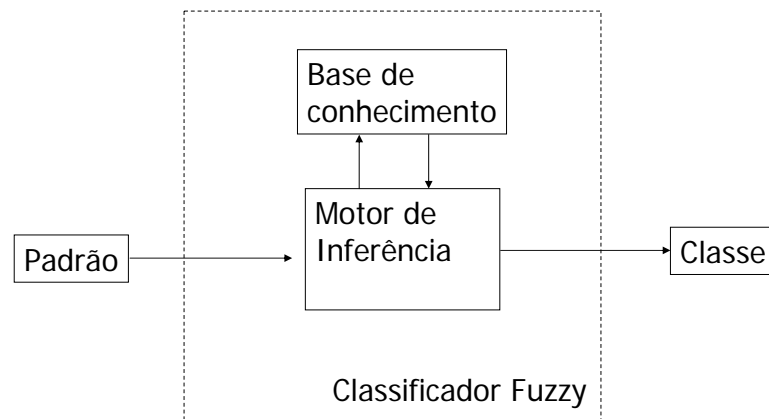
- Classificação de padrões:

Consiste em identificar uma classe a que pertence de um objeto descrito como um ponto em um espaço de atributos, sendo esta classe de um conjunto de classes pré-definido

$$\{C_1, \dots, C_m\}$$

20

Esquema Geral



21

Base de regras

Se CS é médio e LS é grande e
CP é médio e LP é médio
Então planta é iris-versicolor

Se CS é pequeno e LS é médio e
CP é pequeno e LP é pequeno
Então planta é iris-setosa

Se CS é grande e LS é médio e
CP é grande e LP é médio
Então planta é iris-virginica

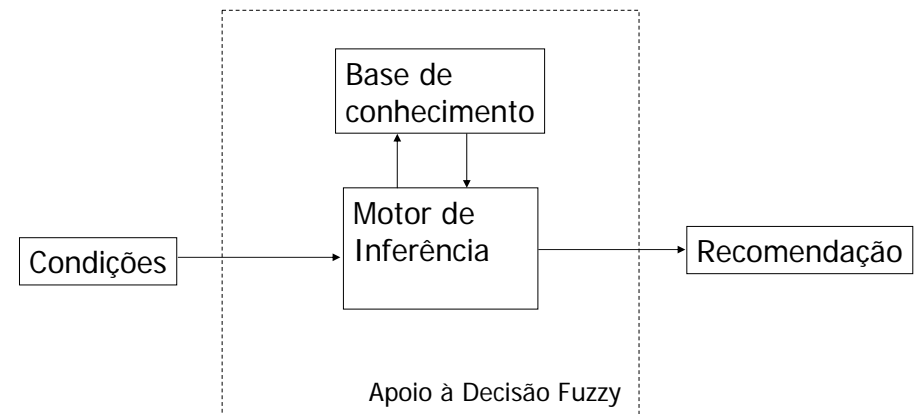
22

6.4 Sistemas de apoio à decisão fuzzy

- São sistemas baseados em regras fuzzy que têm a finalidade de apresentar uma recomendação, sugestão ou avaliação que auxilie algum processo de tomada de decisão, em função de condições que caracterizem uma determinada situação.
- Tanto as condições como as recomendações são representadas por termos lingüísticos

23

Esquema Geral



24

Formato das regras

Semelhante às regras de controle
proposições linguísticas no antecedente e
consequente:

R_k : SE V_1 é A_1 e ... e V_n é A_n , ENTÃO U é C_j

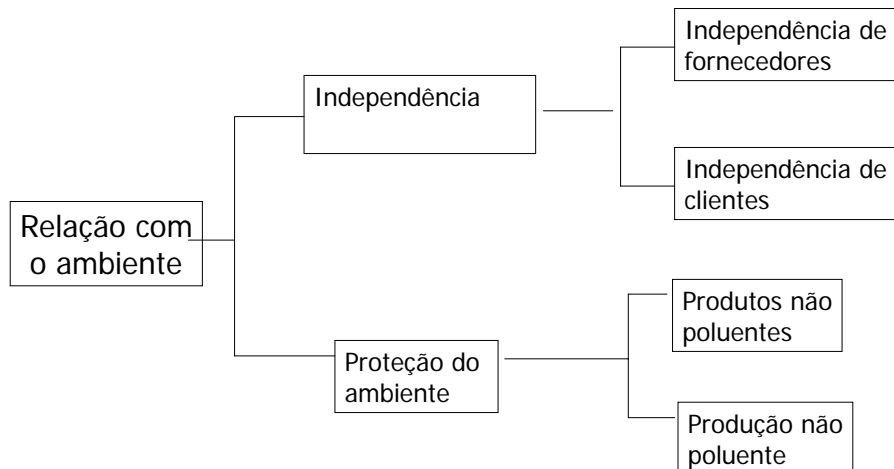
25

Exemplo Verificação de Crédito de Firms Pequenas

- Objetivo: explicar como gerentes de créditos de bancos chegam a decisões quanto à credibilidade de pequenas firmas
- Etapas da pesquisa (estudos empíricos):
 - agregação hierárquica de determinantes de credibilidade
 - importância relativa dos determinantes em diferentes níveis
 - agregação dos julgamentos relativos aos determinantes para chegar a uma conclusão

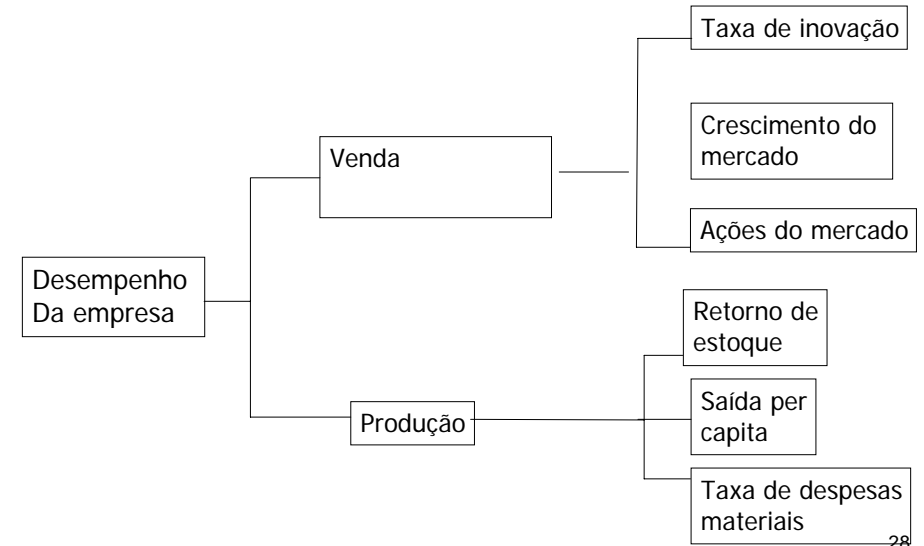
26

Determinante: Relação com o ambiente



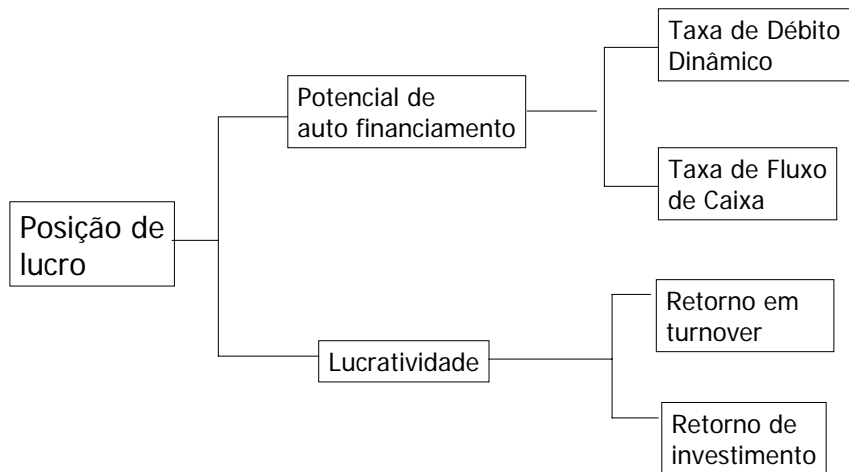
27

Determinante: Desempenho da empresa



28

Determinante: Posição de lucro



29

Determinantes: Situação de liquidez Balanço Patrimonial



30

Determinação de Potencial de Auto Financiamento

- Variáveis de entrada:
 - Taxa de Débito dinâmico: indica quantos anos são necessários para a empresa pagar seus empréstimos usando o fluxo de caixa gerado pelas operações
 - Taxa de fluxo de caixa (cash flow per share):
fluxo de caixa /valor das ações emitidas

31

Primeira solução: classificação de critérios por intervalos

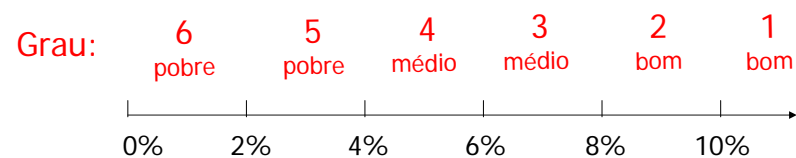
- 6 - 5 : pobre (risco alto)
- 4 - 3 : médio (risco médio)
- 2 - 1 : bom (risco baixo)

Taxa de Fluxo de Caixa	Grau
< 0 %	6
0% - 2 %	6
2% - 4%	5
4% - 6%	4
6% - 8%	3
8% - 10%	2
> 10%	1

Taxa de Débito Dinâmico (anos)	Grau
> 10	6
8 - 10	5
6 - 8	4
4 - 6	3
2 - 4	2
< 2	1

32

Taxa de Fluxo de Caixa



Taxa de Débito Dinâmico (anos)



33

Regras para Potencial de Auto Financiamento

Taxa de Fluxo de Caixa	Taxa de Débito de Dinâmico	Potencial de Auto Financiamento
pobre	pobre	pobre-
pobre	médio	pobre
pobre	bom	médio-
médio	pobre	pobre
médio	médio	médio
médio	bom	médio
bom	pobre	médio
bom	médio	bom
bom	bom	bom+

34

Exemplo - raciocínio com intervalos

Firma	Taxa de Fluxo de Caixa	Taxa de Débito Dinâmico
A	4,1%	7,9 anos
B	7,9%	4,1 anos
C	3,9%	4,1 anos

Resultado:

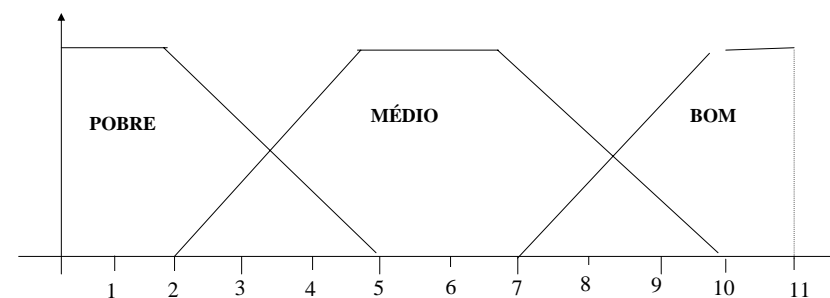
Firma	Potencial de auto financiamento
A	médio
B	médio
C	pobre

- Melhoria: modelar termos por conjuntos fuzzy

35

Taxa de Fluxo de Caixa

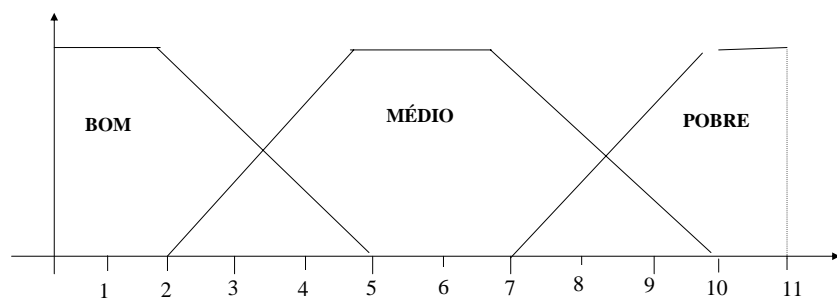
$$\text{pobre}(x) = (x; 0, 0, 2, 5) ; \text{médio}(x) = (x; 2, 5, 7, 10) ; \text{bom}(x) = (x; 7, 10, 11, 11).$$



36

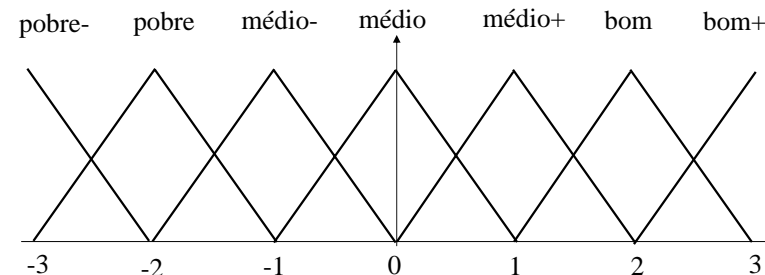
Taxa de Débito Dinâmico

$\text{bom}(x) = (x; 0, 0, 2, 5)$; $\text{médio}(x) = (x; 2, 5, 7, 10)$; $\text{pobre}(x) = (x; 7, 10, 11, 11)$.



37

Potencial de Auto Financiamento



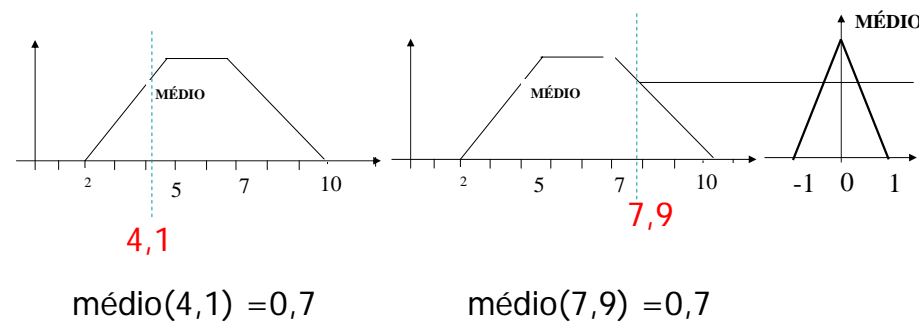
38

Inferência pela regra da composição

Firma	Taxa de Fluxo de Caixa	Taxa de Débito Dinâmico
A	4,1%	7,9 anos
B	7,9%	4,1 anos
C	3,9%	4,1 anos

39

Firma A:
Disparo da regra R5:médio-médio →médio



Resultado: Médio com grau 0,7

40

- Disparo da regra R1: pobre-pobre → pobre
 $\text{pobre}(4,1) = 0,3$ $\text{pobre}(7,9) = 0,3$
 Resultado: pobre com grau 0,3
- Disparo da regra R2: pobre-médio → pobre
 $\text{pobre}(4,1) = 0,3$ $\text{médio}(7,9) = 0,7$
 Resultado: pobre com grau 0,3
- Disparo da regra R2: médio-pobre → pobre
 $\text{médio}(4,1) = 0,7$ $\text{pobre}(7,9) = 0,3$
 Resultado: pobre com grau 0,3

41

Combinação dos resultados

Médio aparece uma vez:
 R5: médio (grau 0,7)

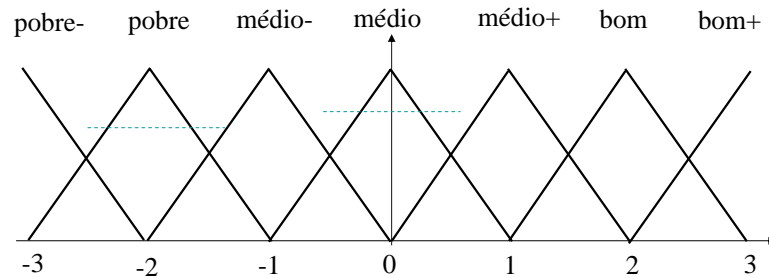
Pobre aparece em três resultados:
 R1, R2, R4 : pobre (grau 0,3)

Reavaliar o grau da saída pobre:
 $\text{GdD}(R1, R2, R3) = \text{GdD}(R1) \oplus \text{GdD}(R2) \oplus \text{GdD}(R3)$
 $\text{GdD}(R1) \oplus \text{GdD}(R2) = 0,3 \oplus 0,3 = 0,3 + 0,3 - (0,3 * 0,3)$
 $\text{GdD}(R1) \oplus \text{GdD}(R2) = 0,51$

$\text{GdD}(R1, R2, R3) = 0,51 \oplus \text{GdD}(R3) = 0,51 \oplus 0,3 = 0,657$

42

Resultado da Inferência para Firma A:



43

Defuzificação do resultado (médio de máximos ponderado)

- Elemento típico do médio: 0
- Elemento típico do pobre: -2
- Grau de disparo de médio: 0,7
- Grau de disparo de pobre: 0,657

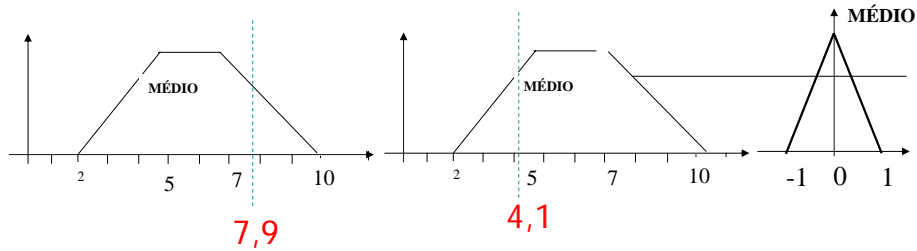
Saída final = $(0 * 0,7) + (-2 * 0,657) / (0,7 + 0,657)$

Saída final = $-1,314 / 0,4599 = -1,86$

44

Firma B:

Disparo da regra R5:médio-médio →médio



$$\text{médio}(7,9) = 0,7$$

$$\text{médio}(7,9) = 0,7$$

Resultado: Médio com grau 0,7

45

- Disparo da regra R6: médio- bom → médio
 $\text{médio}(7,9) = 0,7$ $\text{bom}(4,1) = 0,3$
 Resultado: médio com grau 0,3
- Disparo da regra R8: bom- médio → bom
 $\text{bom}(7,9) = 0,3$ $\text{médio}(4,1) = 0,7$
 Resultado: bom com grau 0,3
- Disparo da regra R9: bom- bom → bom+
 $\text{bom}(7,9) = 0,3$ $\text{bom}(4,1) = 0,3$
 Resultado: bom+ com grau 0,3

46

Combinação dos resultados

Médio aparece duas vez:

R5: médio (grau 0,7)

R6: médio (grau 0,3)

Reavaliar o grau da saída médio:

$$\text{GdD}(R5, R6) = \text{GdD}(R5) \oplus \text{GdD}(R6) = 0,7 \oplus 0,3$$

$$\text{GdD}(R5, R6) = 0,7 + 0,3 - (0,7 \cdot 0,3) = 0,79$$

Bom aparece em um resultado:

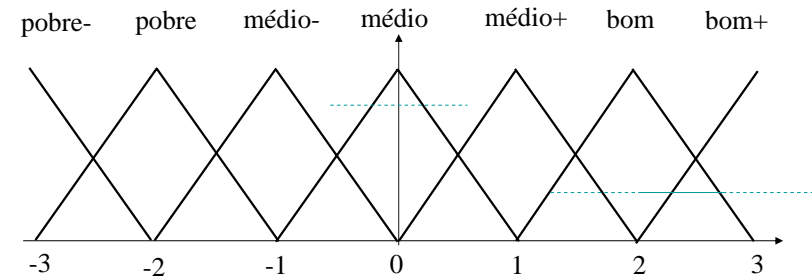
R8: bom (grau 0,3)

Bom+ aparece em um resultado:

R9: bom+ (grau 0,3)

47

Resultado da Inferência para Firma A:



48

Defuzificação do resultado (média de máximos ponderado)

- Elemento típico do médio: 0
- Elemento típico do bom: 2
- Elemento típico do bom+: 3

- Grau de disparo de médio: 0,79
- Grau de disparo de bom: 0,3
- Grau de disparo de bom+: 0,3

Saída final = $(0 * 0,79) + (2 * 0,3) + (3 * 0,3) / (0,79 + 0,3 + 0,3)$

Saída final = $1,5 / 1,39 = 1,08$