

# ENG1456 - Lógica Fuzzy - Trabalho 1

Aluno: Matheus Carneiro Nogueira - 1810764

Professora: Ricardo Tanscheit

## Sumário

1	Parte 1 - Fuzzy Rules	1
2	Parte 2 - Extração Manual de Regras	2

### Resumo

Este documento consiste no relatório do trabalho 1 do módulo de Lógica Fuzzy da disciplina ENG1456 da PUC-Rio. O trabalho consiste na construção de um sistema de inferência fuzzy para a previsão de um passo a frente de uma série temporal. Para tal, será utilizado o programa *Fuzzy Rules*.

## 1 Parte 1 - Fuzzy Rules

Com o intuito de realizar a previsão de um passo a frente da série temporal, foram testados diversos tamanhos de janela, número de conjuntos fuzzy e tipos de operações de interseção dos antecedentes, implicação e defuzzificação. Como os testes foram numerosos, aqui está exibido apenas o resultado da melhor configuração encontrada. Além disso, vale comentar que foi separada 80% da série para treino, enquanto 20% final foi separado para testes.

A tabela abaixo exhibe os resultados de algumas das configurações testadas.

Num_Conj	Janela	Intersec	Implicação	Defuzz	Diff treino	Diff teste
5	10	min	prod	alt lim	1.05	12.59
5	5	prod	prod	alt lim	1.49	1.70
5	15	min	min	alt lim	0.94	14.33
5	8	min	prod	alt lim	1.20	8.60
6	5	prod	prod	alt lim	1.31	2.00
6	7	prod	min	alt lim	1.04	3.59
6	10	min	min	alt lim	0.83	8.29
3	5	min	prod	alt lim	2.08	2.12

A fim de escolher a melhor configuração, avaliaremos o menor erro percentual de teste, isto é, *Diff teste*. Dito isso, a melhor configuração é:

Num_Conj	Janela	Intersec	Implicação	Defuzz	Diff treino	Diff teste
5	5	prod	prod	alt lim	1.49	1.70

Embora o erro de 1.7 não seja pequeno, será escolhida essa configuração, haja vista a quantidade de parâmetros testadas. Vale notar que, em alguns casos, o erro do treino foi menor para outras configurações quando comparadas com essa. Note que, na maior parte desses casos, o tamanho da janela utilizada foi maior do que o tamanho da janela da configuração escolhida. Uma janela grande demais pode gerar um erro pequeno no treino ao mesmo tempo que gera um erro grande no teste, o que indica o problema de overfitting.

A figura abaixo exhibe a interface do *Fuzzy Rules* para as configurações selecionadas.

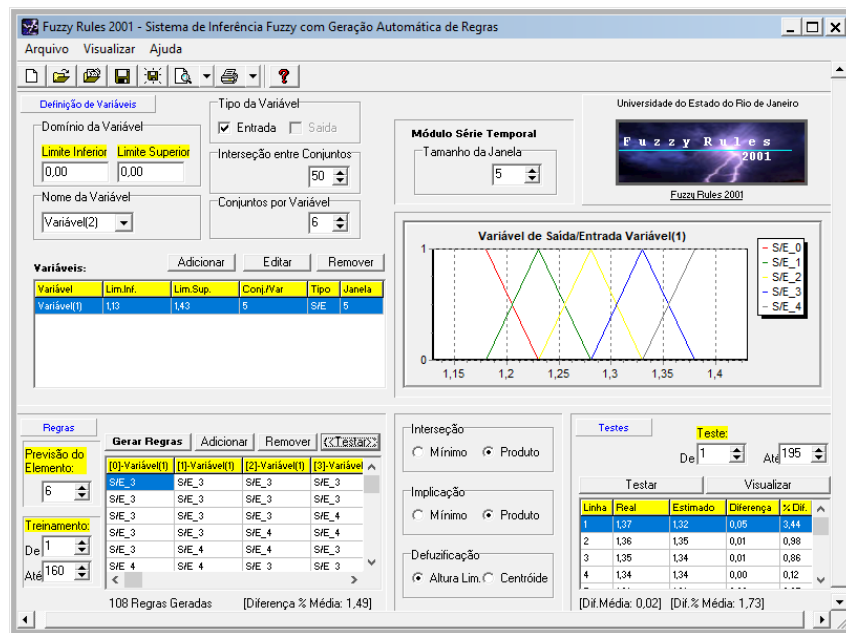


Figura 1: Interface para configuração selecionada

## 2 Parte 2 - Extração Manual de Regras

Tomando por base a melhor configuração obtida na seção 1, foi realizado um passo a passo manual do procedimento de extração de regras para os dez primeiros dados do trecho da série especificado para a minha matrícula.

O passo a passo esquemático para a geração de regras consiste em:

1. Definir tamanho da janela  $\rightarrow 5$
2. Determinar o horizonte de previsão  $\rightarrow 1$
3. Para cada regra, executar:
  - (a) determinar o grau de pertinência dos valores da série dentro da janela e do horizonte
  - (b) atribuir, a cada variável, o conjunto de maior grau
  - (c) obter uma regra para cada par de entrada e saída
  - (d) Bônus: calcular o grau  $D(R)$  para desfazer possíveis conflitos

Como o enunciado solicita a extração para os 10 primeiros dados, 6 vezes pois, na sexta vez, usaremos o dado  $x_{11}$  que já está além dos 10 primeiros dados pedidos. Vale lembrar que os 5 primeiros termos, referentes à janela, são os antecedentes e o sexto termo é o consequente. Além disso, os valores dos graus de pertinência foram tirados da análise do gráfico do *Fuzzy Rules*.

**De  $x_1$  até  $x_6$**

$$x_1 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

$$x_2 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_3 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

$$x_4 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

$$x_5 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_6 = 1.37 = \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$x_1 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_2 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \end{cases}$$

$$x_3 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_4 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_5 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \end{cases}$$

$$x_6 = 1.37 = \begin{cases} SE_4 = 0.80 \end{cases}$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_1 = SE_3$  e  $x_2 = SE_3$  e  $x_3 = SE_3$  e  $x_4 = SE_3$  e  $x_5 = SE_3$ , então  $x_6 = SE_4$ .
- $D(R) = 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.80 = 0.065$

**De  $x_2$  até  $x_7$**

$$x_2 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_3 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

$$x_4 = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

$$x_5 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_6 = 1.37 = \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases}$$

$$x_7 = 1.36 = \begin{cases} SE_3 = 0.45 \\ SE_4 = 0.55 \end{cases}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$x_2 = 1.34 = \left\{ SE_3 = 0.70 \right.$$

$$x_3 = 1.31 = \left\{ SE_3 = 0.55 \right.$$

$$x_4 = 1.31 = \left\{ SE_3 = 0.55 \right.$$

$$x_5 = 1.34 = \left\{ SE_3 = 0.70 \right.$$

$$x_6 = 1.37 = \left\{ SE_4 = 0.80 \right.$$

$$x_7 = 1.36 = \left\{ SE_4 = 0.55 \right.$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_2 = SE_3$  e  $x_3 = SE_3$  e  $x_4 = SE_3$  e  $x_5 = SE_3$  e  $x_6 = SE_4$ , então  $x_7 = SE_4$ .
- $D(R) = 0.70 \cdot 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.80 \cdot 0.55 = 0.065$

**De  $x_3$  até  $x_8$**

$$\begin{aligned}
x_3 = 1.31 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases} \\
x_4 = 1.31 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases} \\
x_5 = 1.34 &= \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases} \\
x_6 = 1.37 &= \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases} \\
x_7 = 1.36 &= \begin{cases} SE_3 = 0.45 \\ SE_4 = 0.55 \end{cases} \\
x_8 = 1.35 &= \begin{cases} SE_4 = 0.45 \\ SE_3 = 0.55 \end{cases}
\end{aligned}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$\begin{aligned}
x_3 = 1.31 &= \left\{ SE_3 = 0.55 \right. \\
x_4 = 1.31 &= \left\{ SE_3 = 0.55 \right. \\
x_5 = 1.34 &= \left\{ SE_3 = 0.70 \right. \\
x_6 = 1.37 &= \left\{ SE_4 = 0.80 \right. \\
x_7 = 1.36 &= \left\{ SE_4 = 0.55 \right. \\
x_8 = 1.35 &= \left\{ SE_3 = 0.55 \right.
\end{aligned}$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_3 = SE_3$  e  $x_4 = SE_3$  e  $x_5 = SE_3$  e  $x_6 = SE_4$  e  $x_7 = SE_4$ , então  $x_8 = SE_3$ .
- $D(R) = 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.80 \cdot 0.55 \cdot 0.55 = 0.051$

**De  $x_4$  até  $x_9$**

$$\begin{aligned}
x_4 = 1.31 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases} \\
x_5 = 1.34 &= \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases} \\
x_6 = 1.37 &= \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases} \\
x_7 = 1.36 &= \begin{cases} SE_3 = 0.45 \\ SE_4 = 0.55 \end{cases} \\
x_8 = 1.35 &= \begin{cases} SE_4 = 0.45 \\ SE_3 = 0.55 \end{cases} \\
x_9 = 1.34 &= \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}
\end{aligned}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$\begin{aligned}
x_4 = 1.31 &= \left\{ SE_3 = 0.55 \right. \\
x_5 = 1.34 &= \left\{ SE_3 = 0.70 \right. \\
x_6 = 1.37 &= \left\{ SE_4 = 0.80 \right. \\
x_7 = 1.36 &= \left\{ SE_4 = 0.55 \right. \\
x_8 = 1.35 &= \left\{ SE_3 = 0.55 \right. \\
x_9 = 1.34 &= \left\{ SE_3 = 0.70 \right.
\end{aligned}$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_4 = SE_3$  e  $x_5 = SE_3$  e  $x_6 = SE_4$  e  $x_7 = SE_4$  e  $x_8 = SE_3$ , então  $x_9 = SE_3$ .
- $D(R) = 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.80 \cdot 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 = 0.065$

**De  $x_5$  até  $x_{10}$**

$$x_5 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_6 = 1.37 = \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases}$$

$$x_7 = 1.36 = \begin{cases} SE_3 = 0.45 \\ SE_4 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_8 = 1.35 = \begin{cases} SE_4 = 0.45 \\ SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_9 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases}$$

$$x_{10} = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$x_5 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \end{cases}$$

$$x_6 = 1.37 = \begin{cases} SE_4 = 0.80 \end{cases}$$

$$x_7 = 1.36 = \begin{cases} SE_4 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_8 = 1.35 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

$$x_9 = 1.34 = \begin{cases} SE_3 = 0.70 \end{cases}$$

$$x_{10} = 1.31 = \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases}$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_5 = SE_3$  e  $x_6 = SE_4$  e  $x_7 = SE_4$  e  $x_8 = SE_3$  e  $x_9 = SE_3$ , então  $x_{10} = SE_3$ .
- $D(R) = 0.70 \cdot 0.80 \cdot 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.55 = 0.065$

**De  $x_6$  até  $x_{11}$**

$$\begin{aligned}
x_6 = 1.37 &= \begin{cases} SE_3 = 0.20 \\ SE_4 = 0.80 \end{cases} \\
x_7 = 1.36 &= \begin{cases} SE_3 = 0.45 \\ SE_4 = 0.55 \end{cases} \\
x_8 = 1.35 &= \begin{cases} SE_4 = 0.45 \\ SE_3 = 0.55 \end{cases} \\
x_9 = 1.34 &= \begin{cases} SE_3 = 0.70 \\ SE_4 = 0.30 \end{cases} \\
x_{10} = 1.31 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \\ SE_1 = 0.45 \end{cases} \\
x_{11} = 1.29 &= \begin{cases} SE_3 = 0.13 \\ SE_2 = 0.87 \end{cases}
\end{aligned}$$

Atribuindo o maior grau de pertinência.

$$\begin{aligned}
x_6 = 1.37 &= \begin{cases} SE_4 = 0.80 \end{cases} \\
x_7 = 1.36 &= \begin{cases} SE_4 = 0.55 \end{cases} \\
x_8 = 1.35 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases} \\
x_9 = 1.34 &= \begin{cases} SE_3 = 0.70 \end{cases} \\
x_{10} = 1.31 &= \begin{cases} SE_3 = 0.55 \end{cases} \\
x_{11} = 1.29 &= \begin{cases} SE_2 = 0.87 \end{cases}
\end{aligned}$$

Criando a regra e calculando o grau  $D(R)$ .

- Se  $x_6 = SE_4$  e  $x_7 = SE_4$  e  $x_8 = SE_3$  e  $x_9 = SE_3$  e  $x_{10} = SE_3$ , então  $x_{11} = SE_2$ .
- $D(R) = 0.80 \cdot 0.55 \cdot 0.55 \cdot 0.70 \cdot 0.55 \cdot 0.87 = 0.082$

Com isso, finalizamos o passo a passo manual de extração de regras para os 10 primeiros termos da série.