

### Exercício 18

Considere o caso em que se deseja determinar o consumo esperado de um refrigerante em dada região, em função da temperatura ambiente e do seu preço unitário, usando o modelo Mamdani. Têm-se duas entradas (temperatura ambiente e preço unitário) e uma saída (consumo esperado). Pode-se usar o seguinte procedimento:

#### 1) Fuzzificação das entradas e definição das saídas

O modelo tem duas variáveis de entrada, que são a temperatura ambiente (entrada 1) e o preço unitário do refrigerante (entrada 2), e uma saída, que é o consumo esperado do refrigerante. Na opção **Edit** seleciona-se **Add Input** conforme ilustrado na figura a seguir.

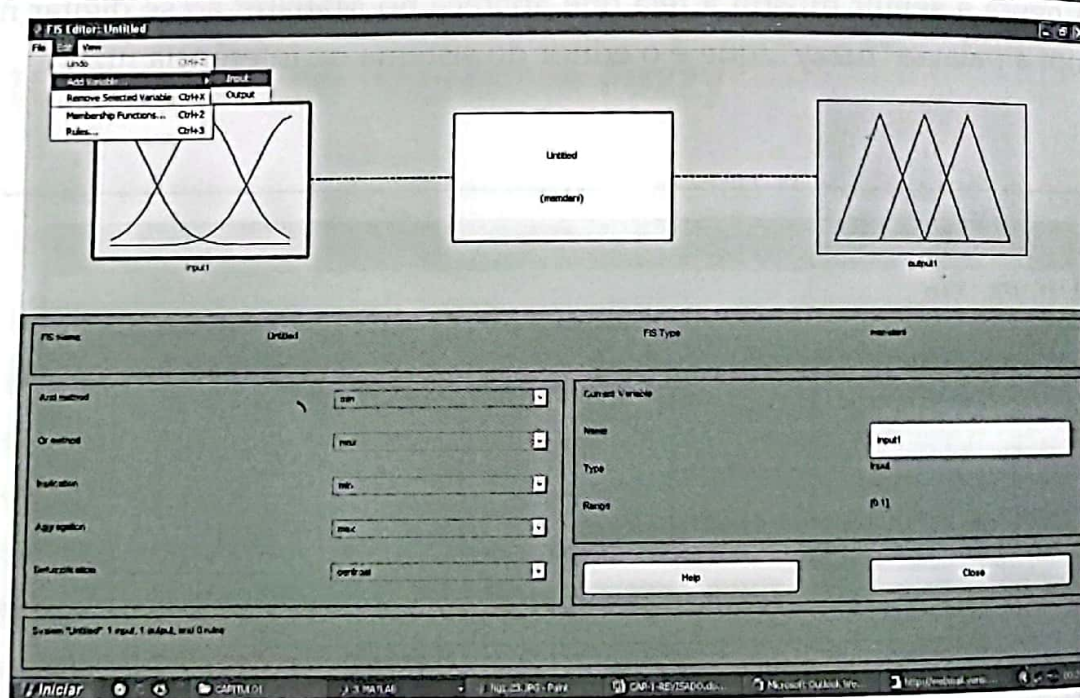


Figura 1.22 Entradas do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

Adiciona-se uma variável, pois têm-se duas variáveis de entrada. Como a saída é única, não há necessidade de adicionar mais saídas (na opção **Add Output**). Aparece a seguinte tela (Figura 1.23):



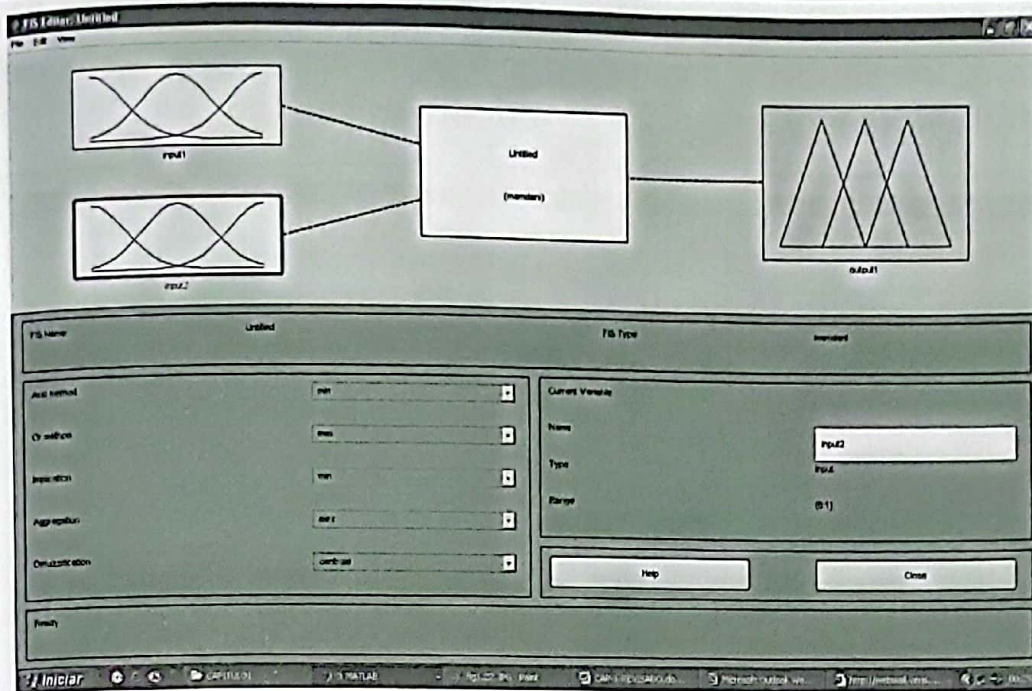


Figura 1.23 Definição das funções de pertinência das entradas do sistema fuzzy Mamdani – Exercício 18.

Suponha que a temperatura ambiente (entrada 1) seja classificada por temperaturas **Baixa**, **Média** e **Alta** e modeladas por três funções de pertinência gaussianas. Dando um duplo clique em **Input 1** aparece a tela que possibilita definir a fuzzificação da entrada 1 conforme ilustrado na figura a seguir.

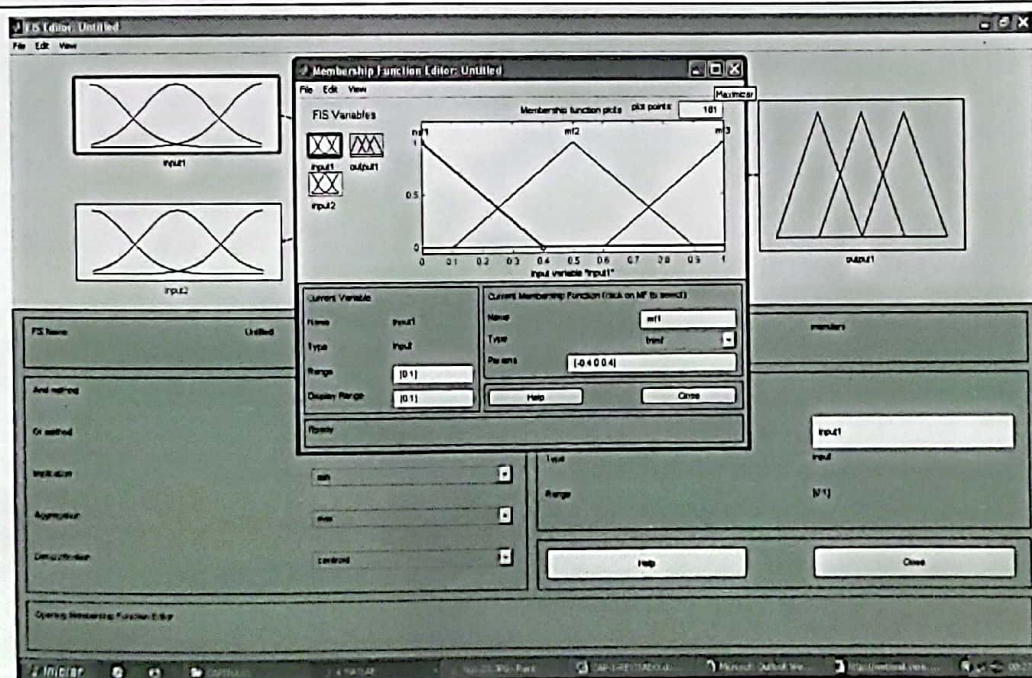


Figura 1.24 Definição do domínio das entradas do sistema fuzzy Mamdani – Exercício 18.

Digita-se em Range o domínio da variável temperatura. No caso aqui ilustrado, escolhemos o domínio de 15 a 45 °C, determinamos o nome da variável em Name e selecionamos Add MFs (Figura 1.25).

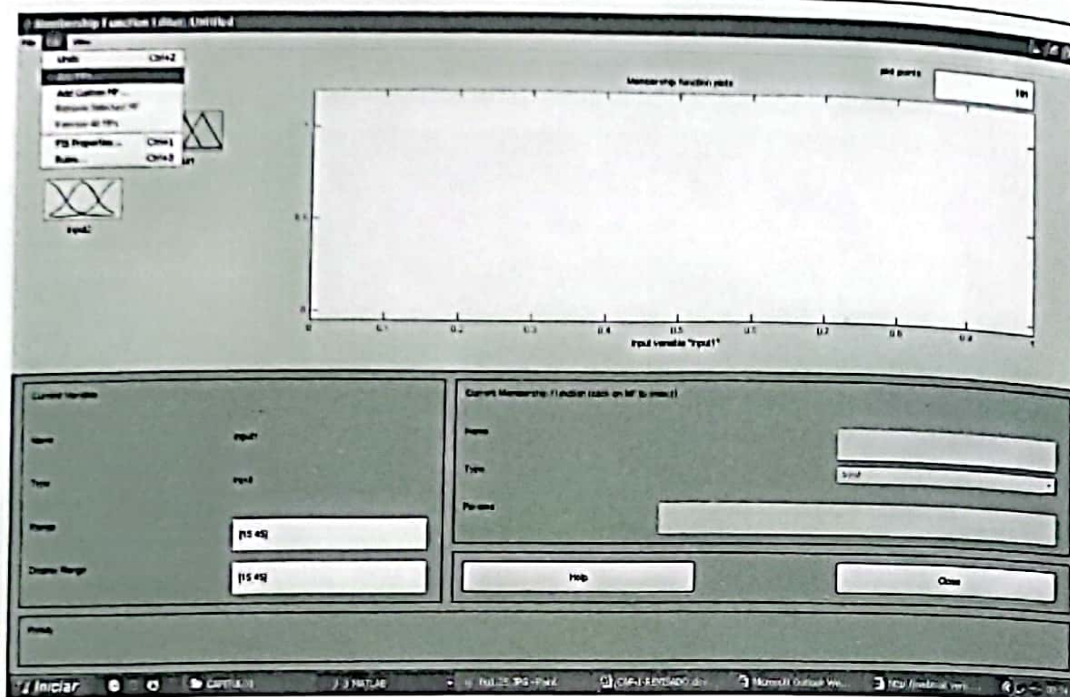


Figura 1.25 Entrada das funções de pertinência de Mamdani – Exercício 18.

Na caixa de diálogos pode-se selecionar o tipo de função de pertinência desejado, assim como o número de funções de pertinência que serão ajustadas nas entradas selecionadas (Figura 1.26).



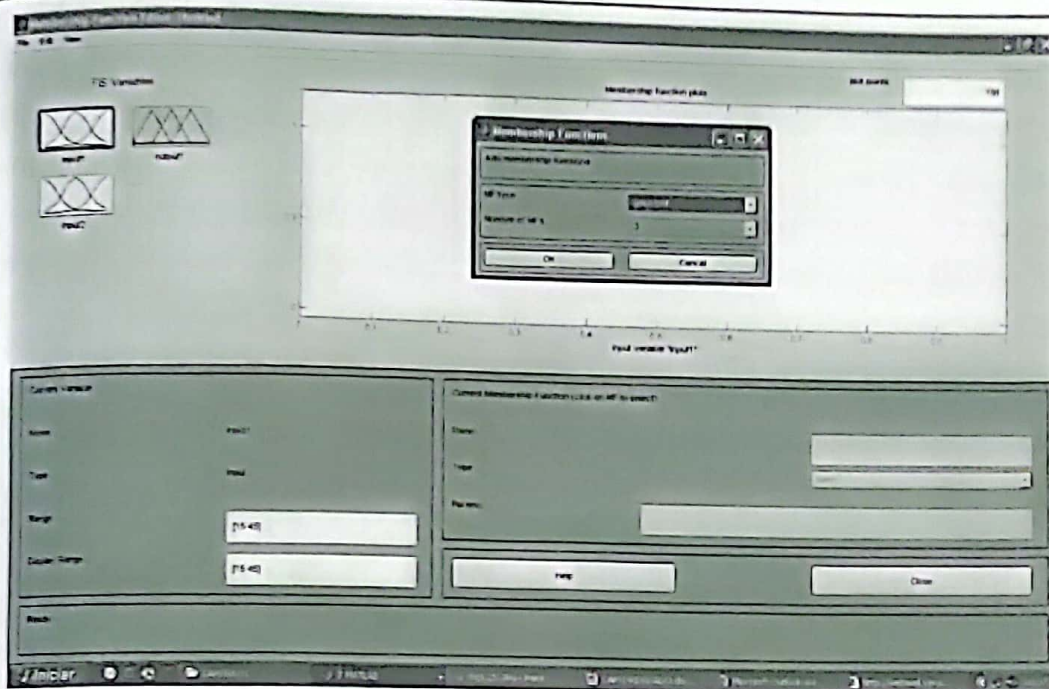


Figura 1.26 Definição das funções de pertinência do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

Neste caso, selecionaram-se três funções de pertinência Gaussianas para representar as temperaturas Baixa (mf1) com parâmetros 6.369 e 15, Média (mf2) com parâmetros 6.369 e 30 e Alta (mf3) com parâmetros 6.369 e 45 (Figura 1.27).

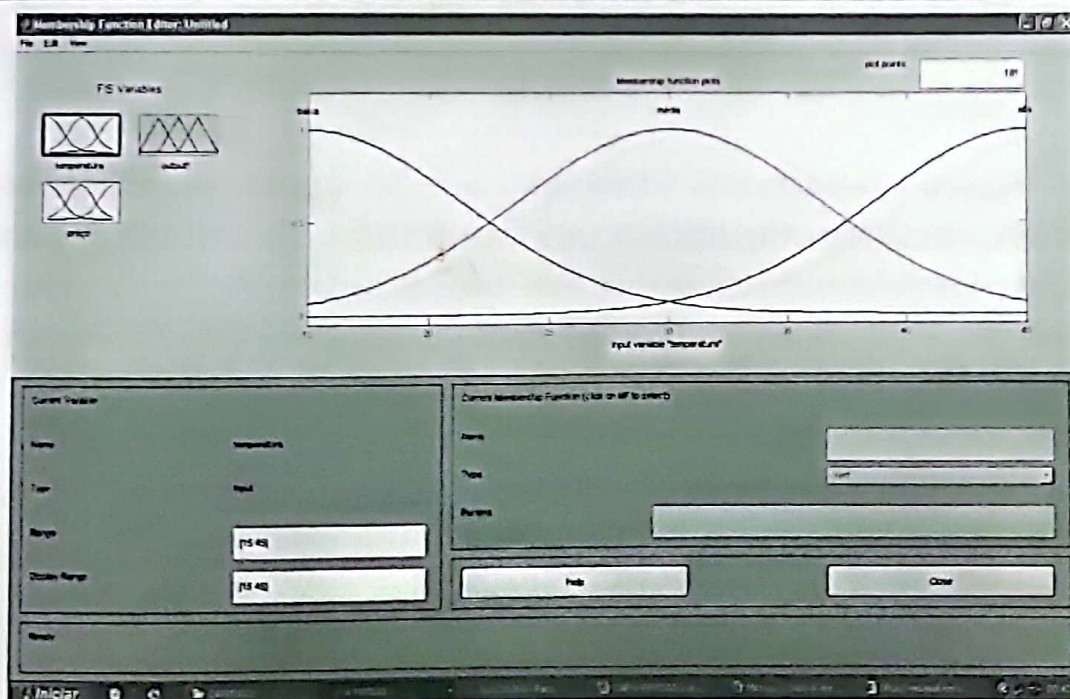


Figura 1.27 Entrada 1 do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

O mesmo procedimento é feito para a segunda entrada. Suponha que o preço unitário do refrigerante (entrada 2) seja classificado por preços **Baixo**, **Médio** e **Alto**, e modelado por três funções de pertinência gaussianas. Dando um duplo clique em **Input 2** com domínio de 1 a 6 unidades monetárias, tem-se preço **Baixo** representado por **mf1** com parâmetros 1.061 e 1, preço **Médio** representado por **mf2** com parâmetros 1.061 e 3.05, e preço **Alto** representado por **mf3** com parâmetros 1.061 e 6 (Figura 1.28).

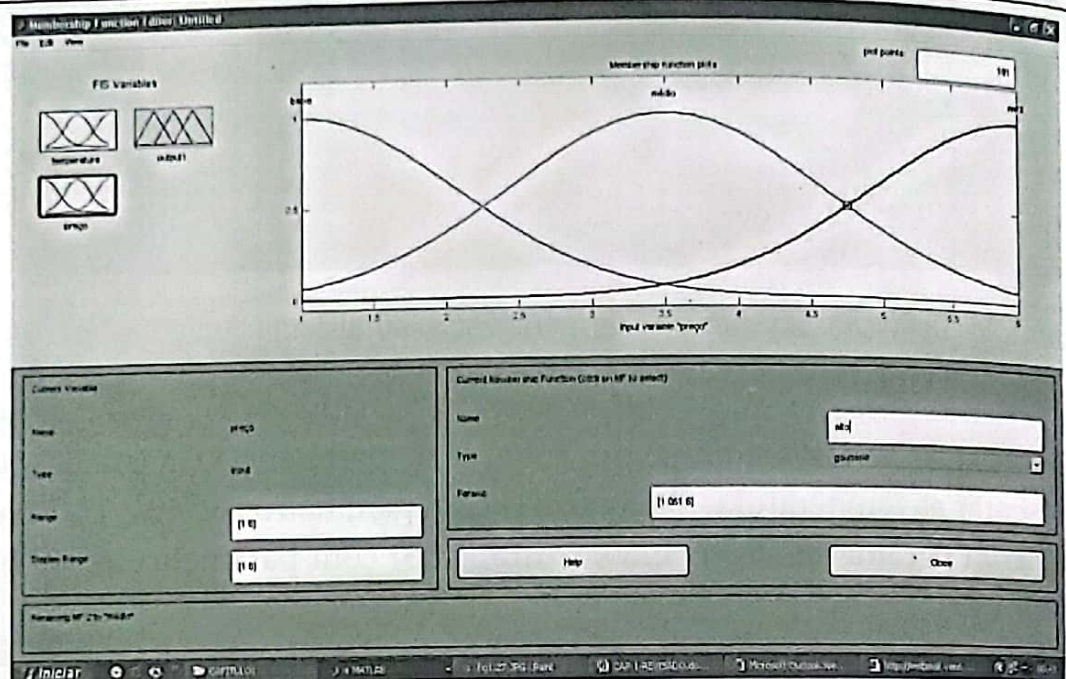


Figura 1.28 Entrada 2 do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

O mesmo procedimento é feito para a saída. Suponha que o consumo esperado do refrigerante (saída 1) seja classificado por consumos **Pequeno**, **Médio** e **Grande** e modelado por três funções de pertinência triangulares. Dando um duplo clique em **Output 1** com domínio de 500 a 6000, tem-se consumo **Pequeno** representado por **mf1** com parâmetros -2250, 500 e 3250; consumo **Médio** representado por **mf2** com parâmetros 500, 3250 e 6000; e consumo **Grande** representado por **mf3** com parâmetros 3250, 6000 e 8750 (Figura 1.29).



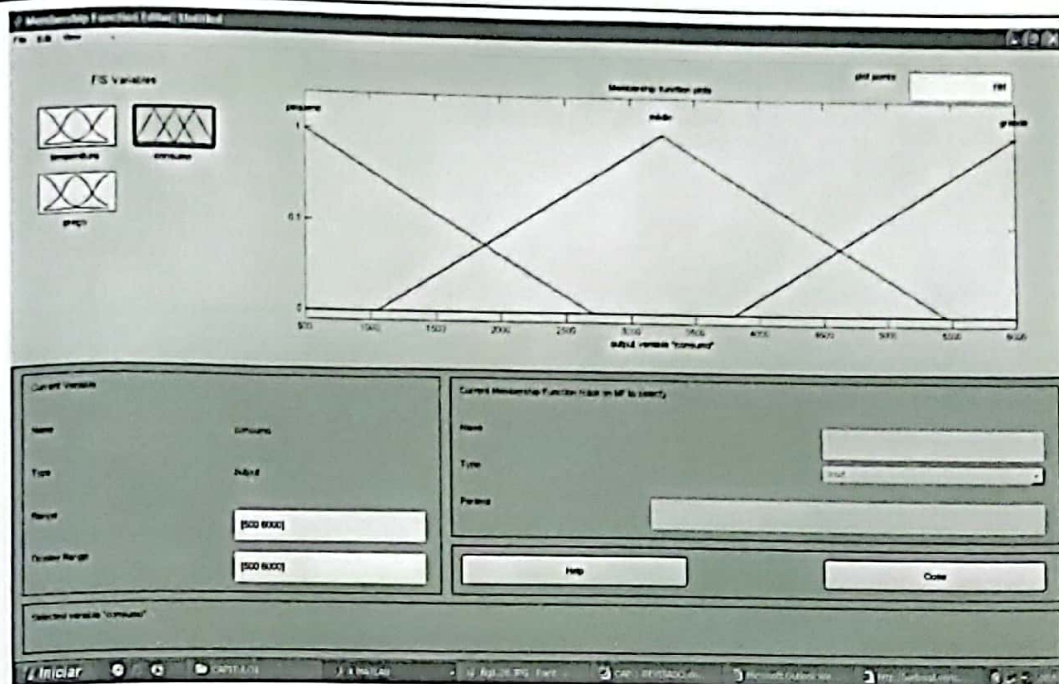


Figura 1.29 Saída 1 do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

## 2) Elaboração das regras fuzzy

A elaboração das regras fuzzy no Matlab® deve ser precedida da definição dos conectivos dos antecedentes (conectivos "and" ou "or"), definição das implicações cujos operadores podem ser "mínimo" ou "produto", agregação dos consequentes cujos operadores podem ser "máximo" ou "soma limitada" e defuzzificação (ou não) da saída (Figura 1.30). Isso é feito selecionando-se **View: Edit Fis Properties**.

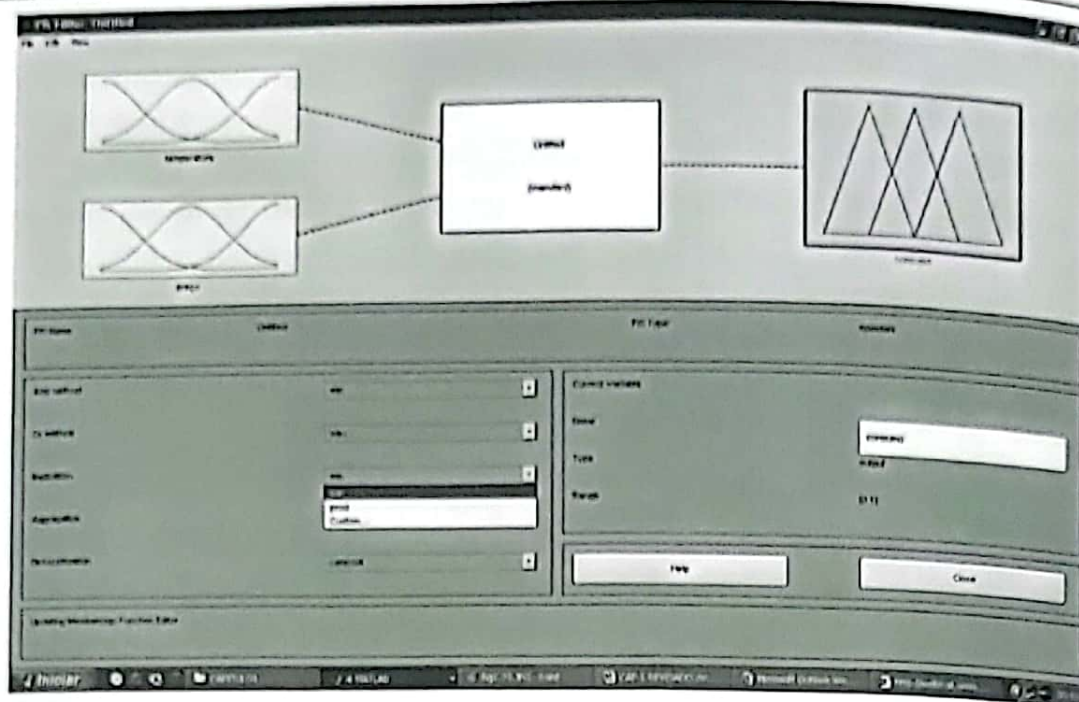


Figura 1.30 Definição do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

No exemplo aqui apresentado, definimos um sistema Mamdani com as seguintes características:

- And method – prod
- Or method – max
- Implication – prod
- Aggregation – max
- Defuzzification – centroid

Para formular as regras fuzzy seleciona-se View: Edit Rules (Figura 1.31).

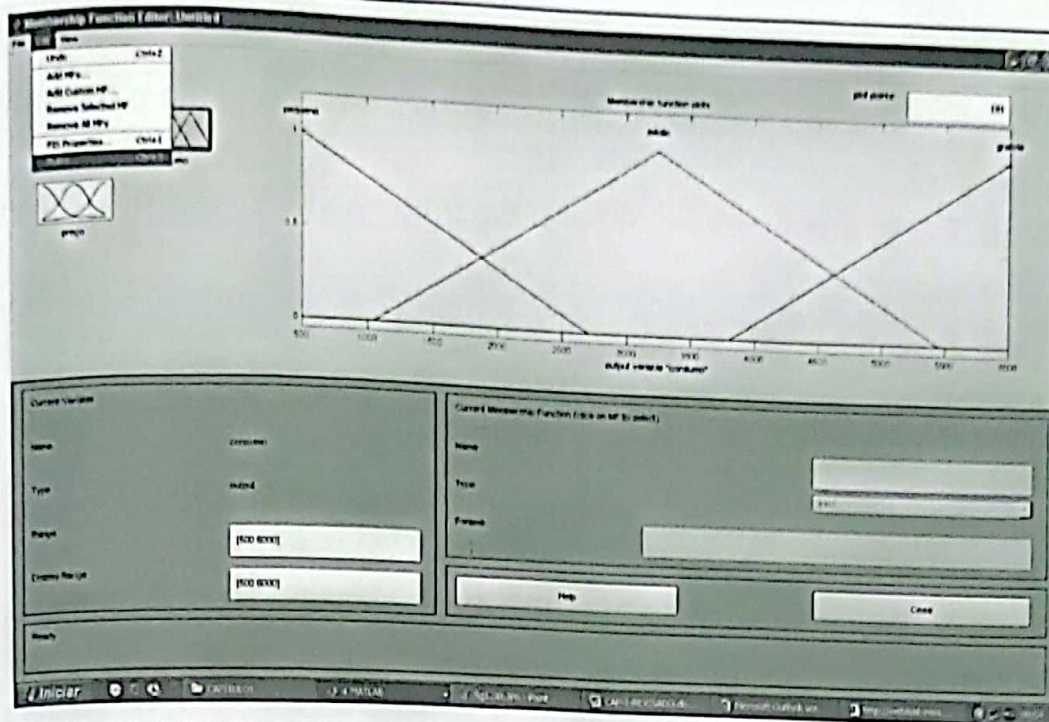


Figura 1.31 Editor de regras do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

Aparece uma tela na qual podemos selecionar para cada entrada a função de pertinência desejada, a saída e o peso de cada regra (Figura 1.32).

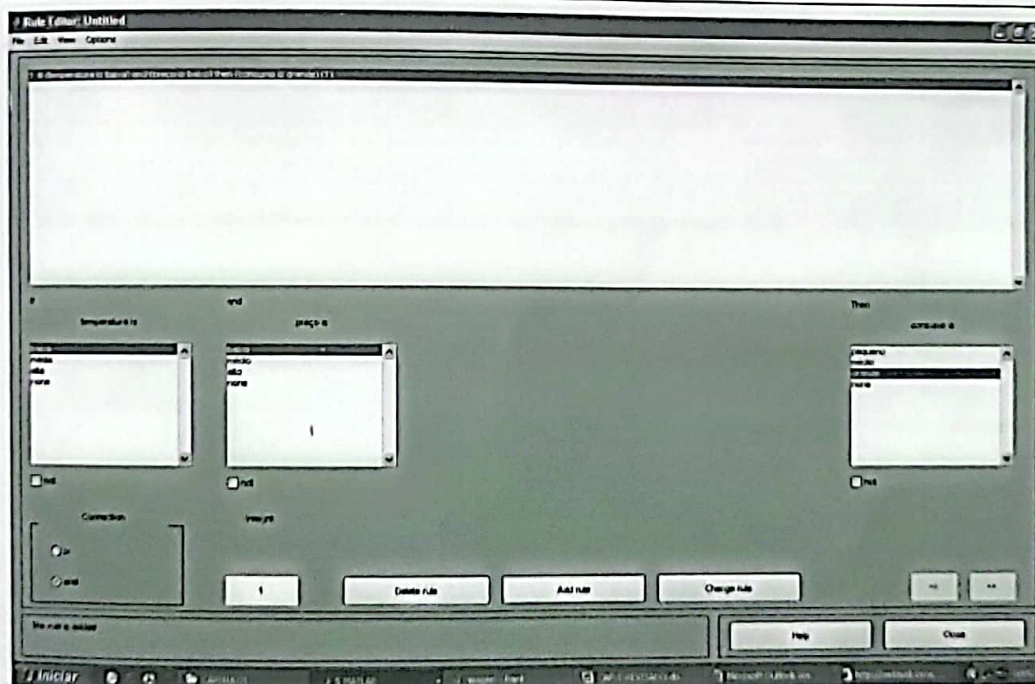


Figura 1.32 Regra 1 do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.



Nesse exemplo, tem-se a seguinte base de regras (Figura 1.33):

- Regra 1 – Se a temperatura é baixa e o preço é baixo, então o consumo é grande.
- Regra 2 – Se a temperatura é baixa e o preço é médio, então o consumo é médio.
- Regra 3 – Se a temperatura é baixa e o preço é alto, então o consumo é pequeno.
- Regra 4 – Se a temperatura é média e o preço é baixo, então o consumo é grande.
- Regra 5 – Se a temperatura é média e o preço é médio, então o consumo é médio.
- Regra 6 – Se a temperatura é média e o preço é alto, então o consumo é pequeno.
- Regra 7 – Se a temperatura é alta e o preço é baixo, então o consumo é grande.
- Regra 8 – Se a temperatura é alta e o preço é médio, então o consumo é médio.
- Regra 9 – Se a temperatura é alta e o preço é alto, então o consumo é pequeno.

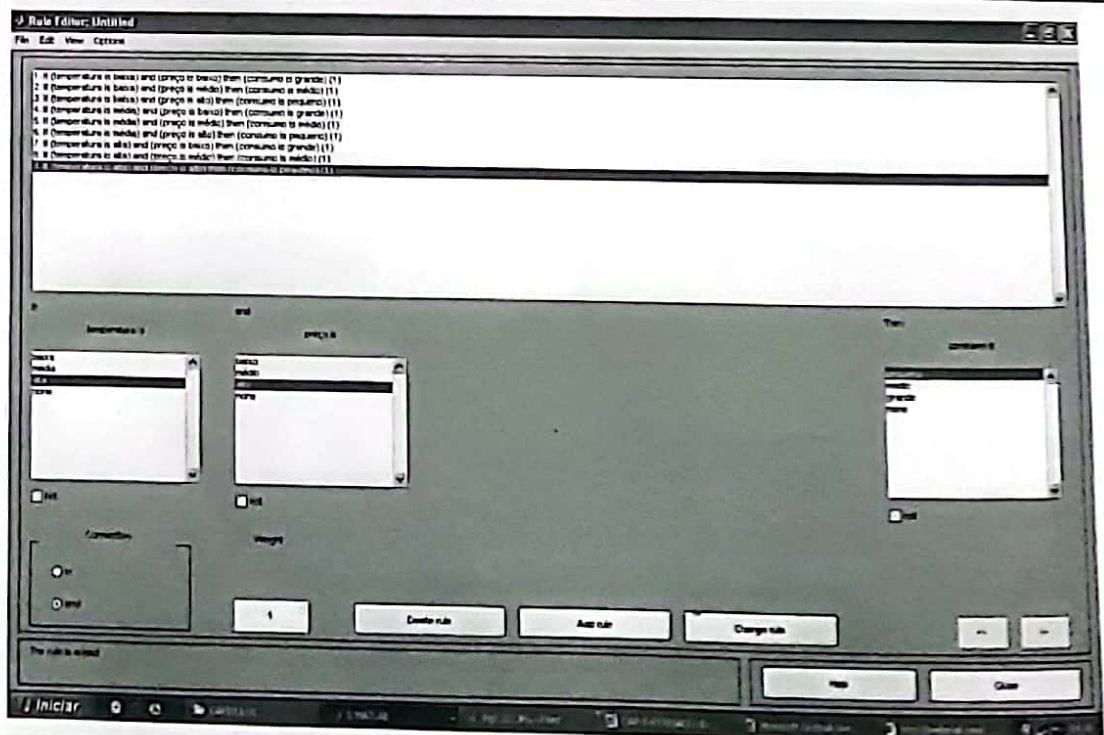


Figura 1.33 Regras do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

A previsão de consumo pode ser vista em **View: View Rules**. Para o caso apresentado na Figura 1.34 a seguir, tem-se que para uma temperatura de 30 °C e o preço do refrigerante de 3,5 unidades monetárias, o consumo esperado é de 3.250 unidades.

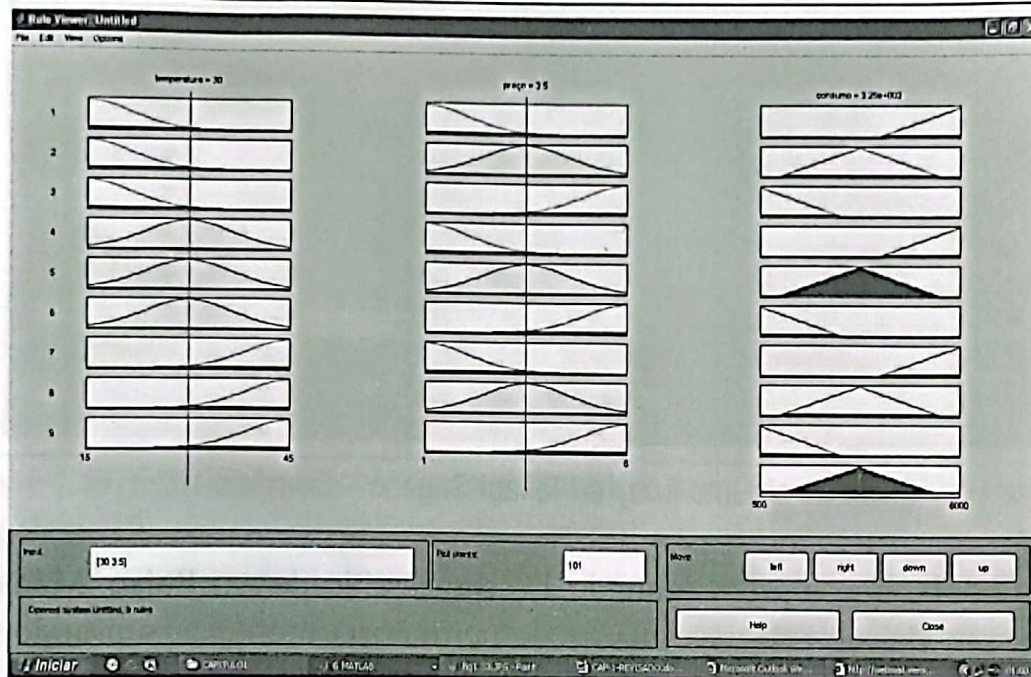


Figura 1.34 Visualização da previsão do sistema fuzzy de Mamdani – Exercício 18.

### Exercício 19

Considere o caso em que se deseja determinar o incremento no nível de vendas de um produto em função do preço e da satisfação do cliente, usando o modelo de Takagi-Sugeno. Têm-se duas entradas (preço e satisfação) e uma saída (nível de vendas). Pode-se usar o seguinte procedimento:

#### a) Fuzzificação das entradas e definição das saídas

O modelo tem duas variáveis de entrada, que são o preço (entrada 1) e a satisfação (entrada 2), e uma saída, que é o incremento no nível de vendas. Após digitar *fuzzy* no prompt do Matlab®, seleciona-se em **File** a opção **New Sugeno Fis**, conforme ilustrado na Figura 1.35 a seguir.