

# PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE UM CONTROLADOR FUZZY BASEADO EM REGRAS LÍNGUISTICAS PARA PREVISÃO DE COMPRAS EM UMA LOCADORA DE VEÍCULOS

<sup>1</sup>Antonilton Serra Sousa Junior; <sup>1</sup>antonilton.junior@hotmail.com; <sup>1</sup>Universidade Ceuma;  
<sup>2</sup>Marco André Matos Cutrim; <sup>2</sup>andremarcomatos@hotmail.com; <sup>2</sup>Universidade Ceuma;

**RESUMO:** *No estudo da lógica ao longo dos anos, pesquisadores constataram que podem existir situações com mais de dois valores de verdade, a chamada lógica multivalorada. Esse estudo da lógica contemporânea acabou contemplando o reconhecimento das lógicas não padrão, onde está inserida o foco deste trabalho: a lógica nebulosa, ou comumente conhecida como lógica Fuzzy. Para tanto, este trabalho tem como principal objetivo propor um controlador, baseado na lógica nebulosa e em regras linguísticas, para previsão de compras de insumos utilizados na higienização de veículos em uma locadora de automóveis situada na cidade de São Luís, Maranhão.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lógica; Fuzzy; Controlador.*

**ABSTRACT:** *In the study of logic over the years, researchers have found that there may be situations with more than two truth values, the so-called multivalued logic. This study of contemporary logic ended up contemplating the recognition of non-standard logics, where the focus of this work is inserted: the Fuzzy logic. Therefore, this work has as main objective to propose a controller, based on Fuzzy logic and linguistic rules, to forecast purchases of inputs used in vehicle cleaning in a car rental company located in the city of São Luís, Maranhão.*

**KEYWORDS:** *Logic; Fuzzy; Controller.*

## 1. Introdução

De acordo com Camargos (2002, p. 1), “a palavra ‘lógica’ está presente na nossa vida desde muito cedo, mas a sua compreensão, assim como ocorre com muitas outras palavras e suas respectivas definições, sofre variações a medida em que vamos crescendo e observando o mundo com outros olhos”.

Nessa perspectiva, acabamos aprendendo desde a infância que a lógica representa tudo aquilo que é certo, ou então a certeza de algo (CAMARGOS, 2002, p. 1). Sob o olhar filosófico, sabemos que esse pensamento não está incorreto, afinal, Aristóteles (384 – 322 a. C) explicou em seus pressupostos que a lógica era um instrumento correto de se pensar.

Mas afinal, o que é lógica?

Segundo Mortari (2001, p. 2), “é a ciência que estuda princípios e métodos de inferência, tendo o objetivo principal de determinar em que condições certas coisas se seguem (são consequências), ou não, de outras”.

Nessa linha de pensamento, Coppin (2013, p. 435) explica que na lógica clássica ou aristotélica, há apenas dois valores verdade possíveis: proposições são verdadeiras ou falsas. Esses sistemas são conhecidos como lógicas bivalentes, porque envolvem apenas dois valores lógicos. A lógica empregada no raciocínio bayesiano (também conhecido como Regra ou Lei de Bayes) e em outros modelos probabilísticos também possui caráter bivalente, isto é, cada fato é verdadeiro ou falso, mas, não fica claro se um dado fato pode ser verdadeiro ou falso.

No estudo da lógica ao longo dos anos, pesquisadores constataram que podem existir situações com mais de dois valores de verdade, a chamada lógica multivalorada. Esse estudo da lógica contemporânea acabou contemplando o reconhecimento das lógicas não padrão, onde está inserida o foco deste trabalho: a lógica nebulosa, ou comumente conhecida como lógica Fuzzy.

Para tanto, este trabalho tem como principal objetivo propor um controlador, baseado na lógica nebulosa e em regras linguísticas, para previsão de compras de insumos utilizados na higienização de veículos em uma locadora de automóveis situada na cidade de São Luís, Maranhão.

## **2. Lógica Fuzzy**

A lógica Fuzzy ou lógica difusa é a lógica baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy. De acordo com Simões (2007, p. 17), essa é uma técnica que consiste na integração da forma humana de pensar em um sistema de controle inteligente.

Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995, p. 1) explicam que ela difere dos conjuntos lógicos convencionais. “Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas”.

Ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde os valores das proposições só podem assumir dois valores (verdadeiro ou falso), Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995, p. 1) afirmam que na lógica Fuzzy, o valor verdade pode ser um subconjunto Fuzzy de qualquer conjunto ordenado.

Na visão de Wang (1997 apud SILVA et al., 2006, p. 3) e Jang (1993, p. 666), genericamente, um sistema Fuzzy é composto por um conjunto de regras que inclui alguns componentes básicos:

- Uma base de regras contendo várias regras “IF-THEN/SE-ENTÃO”;

- Um banco de dados que define as funções de pertinência dos conjuntos Fuzzy usados nas regras Fuzzy;
- Uma unidade de inferência que combina as regras existentes na base de regras do conjunto de entrada em um conjunto de saída;
- Um Fuzzyficador que transforma as entradas nítidas (vetores ou escalares) em graus de correspondência com valores linguísticos;
- Um deFuzzyficador que transforma os resultados da inferência em uma saída nítida.

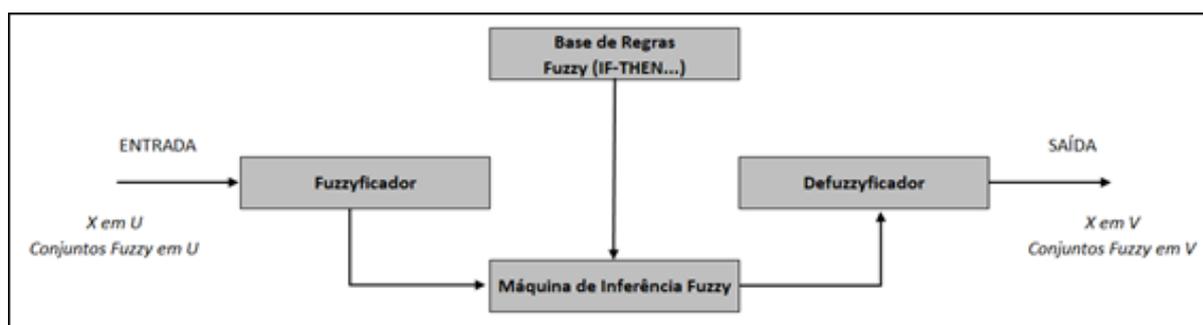


FIGURA 1 – Organização genérica de um sistema Fuzzy. Fonte: Adaptado de Wang (1997 apud SILVA et al., 2006, p. 3).

### 3. Metodologia

Neste estudo é proposto um método de previsão de compras de insumos utilizados na higienização de veículos que contempla a previsão por amostragem e que dar origem a um controlador baseado na lógica nebulosa, permitindo avaliar diferentes cenários de compra com base em diferentes variáveis: quantidade do pedido, nível de estoque, desconto ofertado pelo fornecedor e quantidade a ser comprada.

Para elaboração do programa, contou-se com o suporte do *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB. Os conjuntos foram definidos com base nas variáveis supracitadas anteriormente. Os valores dos pesos para cada variável foram definidos com base no cenário atual que a filial se encontra. O método de inferência adotado foi o Mamdani, onde teve como base a Norma Triangular (t-norma) e a declaração de regras através do comando IF-THEN. Quanto a deFuzzyficação, foi empregado o método do Centro de Gravidade.

É válido destacar que na elaboração do controlador Fuzzy, buscou-se a simplicidade e a facilidade para aplicação no dia a dia pela equipe administrativa e operacional da locadora de veículos.

O local de estudo consiste em uma filial de locação de carros, situada na capital do Maranhão,

São Luís. A filial pertence a uma empresa multinacional, especializada em aluguel de carros, liderando o segmento no Brasil e em toda a América Latina. Atualmente, possui uma frota que supera 300 mil carros, contemplando uma carteira de aproximadamente 10 milhões de clientes.

#### **4. Detalhes do envio**

Com o objetivo de facilitar a compreensão sobre o sistema construído, destrinchou-se o controlador nas seguintes seções: definição dos conjuntos, definição das regras, inferência e deFuzzyficação.

##### **4.1. Definição dos conjuntos**

Na elaboração do controlador Fuzzy as variáveis de entrada foram divididas em três categorias: Pedido – quantidade solicitada para compra de shampoos automotivos para higienização dos carros de aluguel; Estoque – quantidade atual do estoque de shampoos e; Desconto – percentual de desconto ofertado pelo fornecedor no processo de compra.

Os valores ou pesos adotados para essas variáveis e os conjuntos Fuzzy correspondentes foram definidos em relação ao cenário atual que a filial estudada vivencia. Quanto mais próximo se está de seguir as recomendações propostas, mais próximo se estará da extrema direita do universo de discurso. Caso contrário, se estará mais próximo da extrema esquerda. Os valores linguísticos e os pesos foram definidos da seguinte forma:

- I) Pedido: os valores linguísticos foram definidos em pedido baixo, médio e alto, e os valores expressos em unidades no intervalo de 0 a 20, ver Figura 2;



FIGURA 2 – Conjunto Fuzzy para a variável Pedido. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

II) Estoque: os valores linguísticos foram definidos em estoque baixo, médio e alto, e os valores expressos em pesos no intervalo de 0 a 10, ver Figura 3;

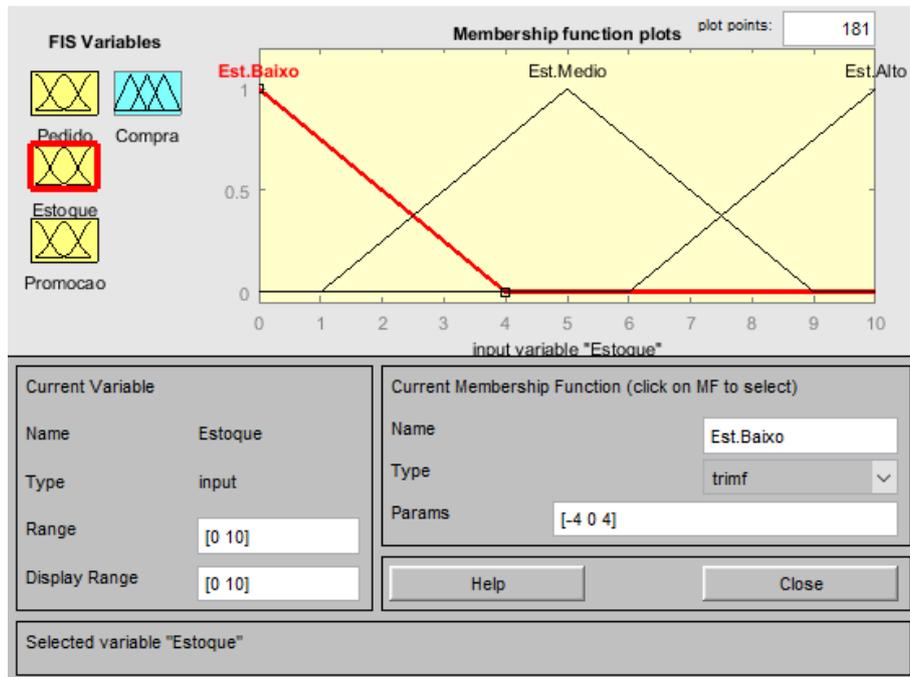


FIGURA 3 – Conjunto Fuzzy para a variável Estoque. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

III) Promoção: os valores linguísticos foram definidos em desconto baixo, médio e alto, e os valores expressos em pesos no intervalo de 0 a 1, ver Figura 4.

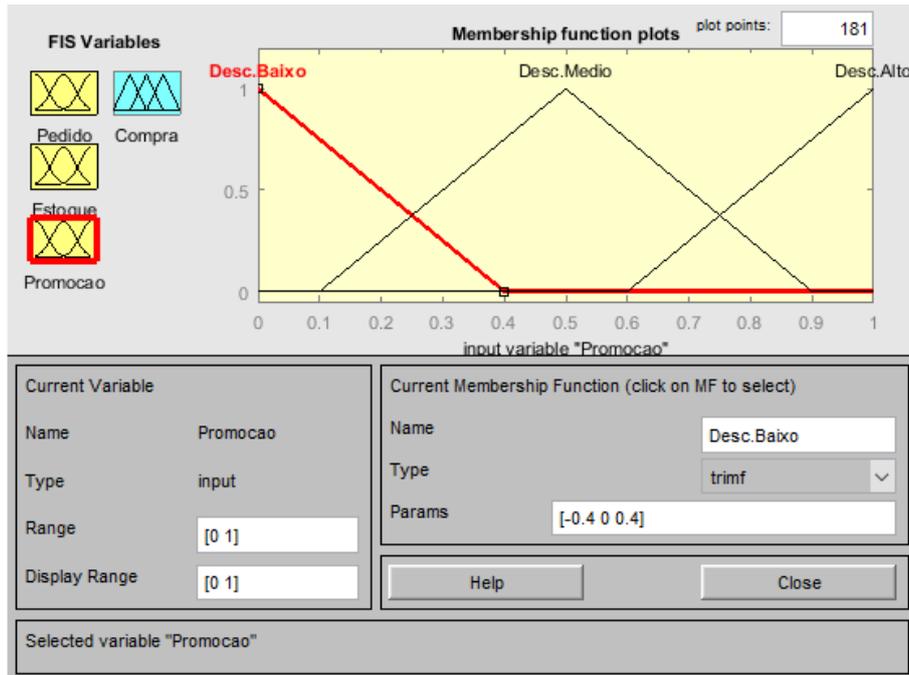


FIGURA 4 – Conjunto Fuzzy para a variável Promoção. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Já a variável de saída, definida como ‘Compra’, os valores linguísticos foram determinados como quantidade baixa, média e alta. Os pesos estão em um intervalo de 0 a 20, levando-se em consideração que vinte é o valor máximo para estoque de galões de 5 litros de xampu automotivo utilizado na lavagem de veículos, ver Figura 5.

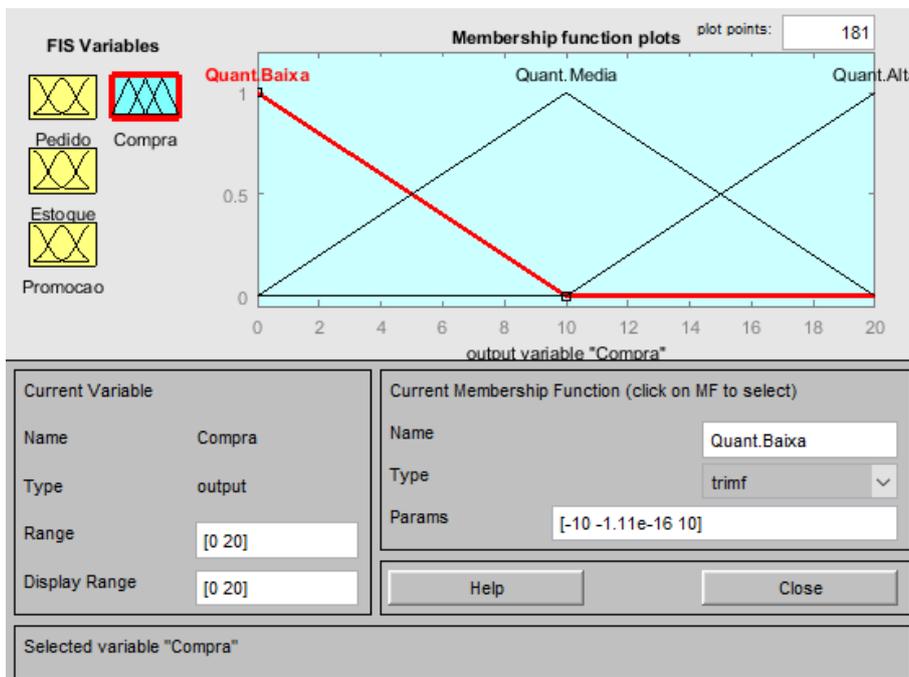


FIGURA 5 – Conjunto Fuzzy para a variável Compra. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

#### 4.2. Definição das regras

Um componente essencial no sistema de controle do controlador desenvolvido são as regras Fuzzy. Elas são usadas para ligar as variáveis de entrada e saída, de modo que elas possam descrever como essas variáveis se relacionam uma com as outras. A declaração de regras utilizada foi o IF-THEN (em português, SE-ENTÃO). O IF é conhecido como antecedente, enquanto o THEN é o consequente. Nesse caso, foram obtidas 27 regras ou possibilidades de combinação entre as variáveis de entrada e saída, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Declaração das regras utilizadas.

Matriz	IF	AND		THEN
	Pedido	Estoque	Desconto	Compra
1	Ped.Baixo	Est.Baixo	Des.Baixo	Quant.Baixa
2	Ped.Baixo	Est.Baixo	Des.Medio	Quant.Baixa
3	Ped.Baixo	Est.Baixo	Desc.Alto	Quant.Media
4	Ped.Baixo	Est.Medio	Des.Baixo	Quant.Media
5	Ped.Baixo	Est.Medio	Des.Medio	Quant.Baixa
6	Ped.Baixo	Est.Medio	Desc.Alto	Quant.Baixa
7	Ped.Baixo	Est.Alto	Des.Baixo	Quant.Media
8	Ped.Baixo	Est.Alto	Des.Medio	Quant.Baixa
9	Ped.Baixo	Est.Alto	Desc.Alto	Quant.Baixa
10	Ped.Medio	Est.Baixo	Des.Baixo	Quant.Media
11	Ped.Medio	Est.Baixo	Des.Medio	Quant.Media
12	Ped.Medio	Est.Baixo	Desc.Alto	Quant.Alta
13	Ped.Medio	Est.Medio	Des.Baixo	Quant.Media
14	Ped.Medio	Est.Medio	Des.Medio	Quant.Media
15	Ped.Medio	Est.Medio	Desc.Alto	Quant.Media
16	Ped.Medio	Est.Alto	Des.Baixo	Quant.Baixa
17	Ped.Medio	Est.Alto	Des.Medio	Quant.Baixa
18	Ped.Medio	Est.Alto	Desc.Alto	Quant.Media
19	Ped.Alto	Est.Baixo	Des.Baixo	Quant.Media
20	Ped.Alto	Est.Baixo	Des.Medio	Quant.Media
21	Ped.Alto	Est.Baixo	Desc.Alto	Quant.Alta
22	Ped.Alto	Est.Medio	Des.Baixo	Quant.Baixa
23	Ped.Alto	Est.Medio	Des.Medio	Quant.Media
24	Ped.Alto	Est.Medio	Desc.Alto	Quant.Alta
25	Ped.Alto	Est.Alto	Des.Baixo	Quant.Baixa
26	Ped.Alto	Est.Alto	Des.Medio	Quant.Baixa
27	Ped.Alto	Est.Alto	Desc.Alto	Quant.Baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

### **4.3. Inferência e deFuzzyficação**

O método de inferência adotado para construção desse sistema foi o Método de Mamdani, tendo como base a Norma Triangular, também denominada de t-norma. Apesar de existirem vários métodos de inferência com diferentes propriedades, utilizou-se o Mamdani em virtude da sua simplicidade, eficiência e bem condizente com a intuição humana.

Já o mapeamento do conjunto difuso da saída para a quantidade de galões de xampu foi realizado através do Método do Centro de Gravidade. Por apresentar ótimos resultados, Silva et al. (2006, p. 6) afirmam que esse deFuzzyficador tem sido amplamente utilizado em sistemas Fuzzy em razão de ser computacionalmente simples e apresentar valores de saídas bem intuitivos, contemplado assim os valores da solução.

### **5. Simulação de cenários**

Para constatar se o controlador elaborado através do suporte do Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB apresenta resultados satisfatórios, simulou-se sua aplicação em três diferentes cenários:

No primeiro cenário, manipulou-se o controlador da seguinte maneira: quantidade baixa de pedido (4), estoque médio de galões de shampoos de 5L (5) e um desconto de 20% ofertado pelo fornecedor X na compra dos produtos (0,2). O valor encontrado foi de 7,77. Nesse caso, o ideal é fazer a compra de 8 galões de xampu automotivo de 5L, ver Figura 6.

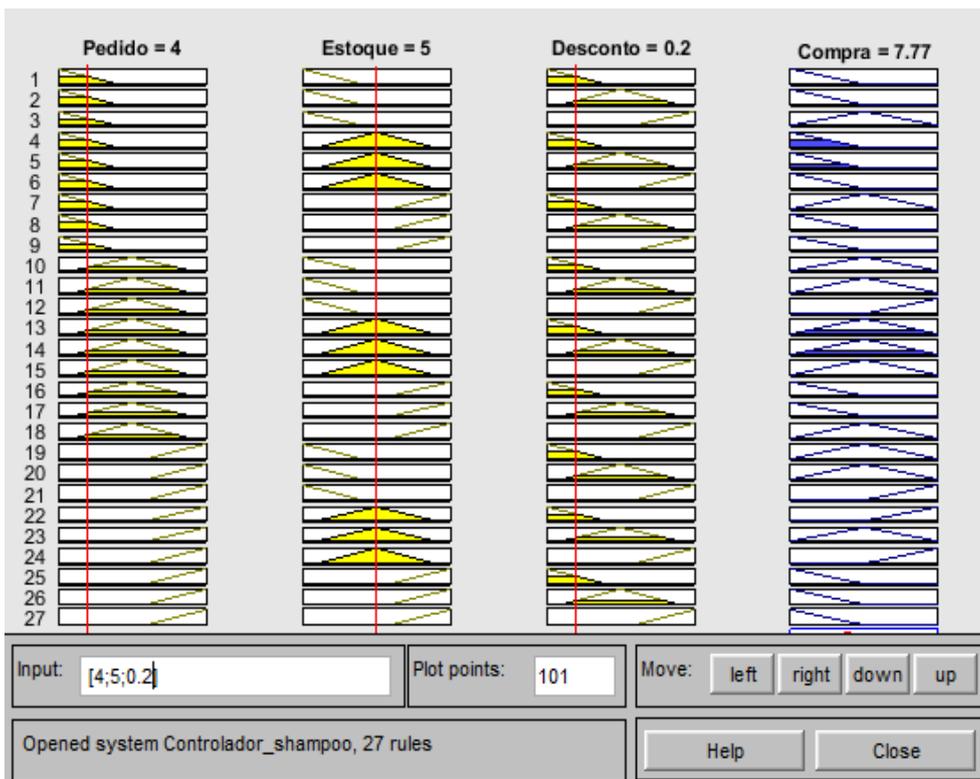


FIGURA 6 – 1º cenário de simulação do controlador Fuzzy. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

No segundo cenário, simulamos levando em consideração os seguintes parâmetros: um pedido de 10 galões de xampu, o estoque apenas com 2 galões e o fornecedor oferta um desconto de 40% na compra à vista. O valor ideal para compra fornecido pelo controlador foi de 10 galões de 5L, ver Figura 7.

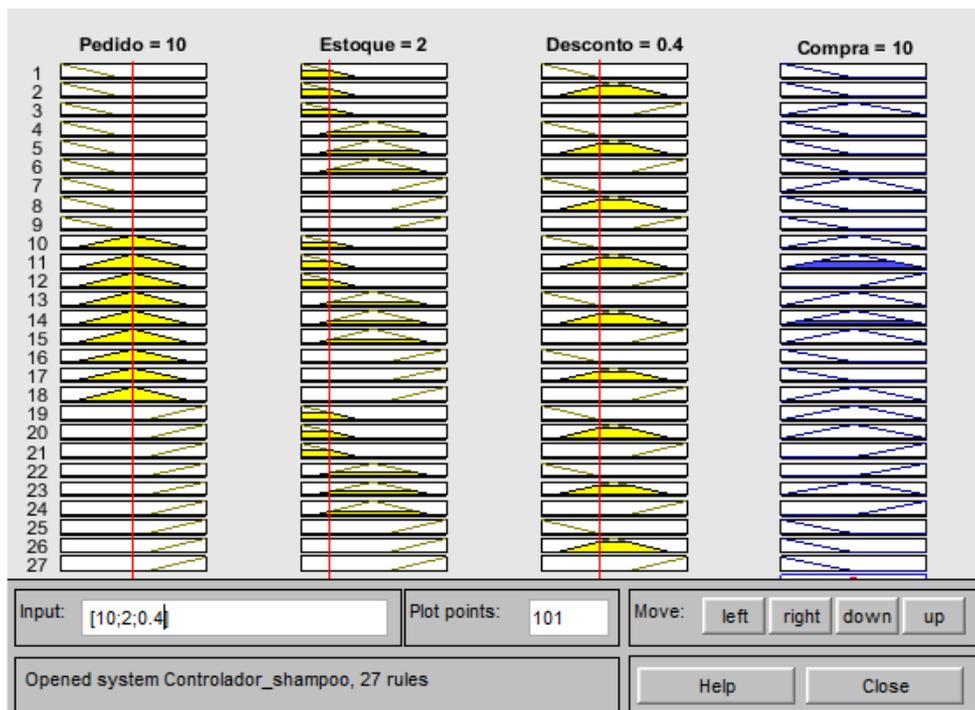


FIGURA 7 – 2º cenário de simulação do controlador Fuzzy. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

No terceiro e último cenário, os parâmetros usados foram: pedido alto (20), estoque sem nenhum produto (0) e o fornecedor oferta apenas 5% de desconto na compra (0,05). A sugestão ideal de compra pelo sistema foi de 10 galões de xampu, ver Figura 8.

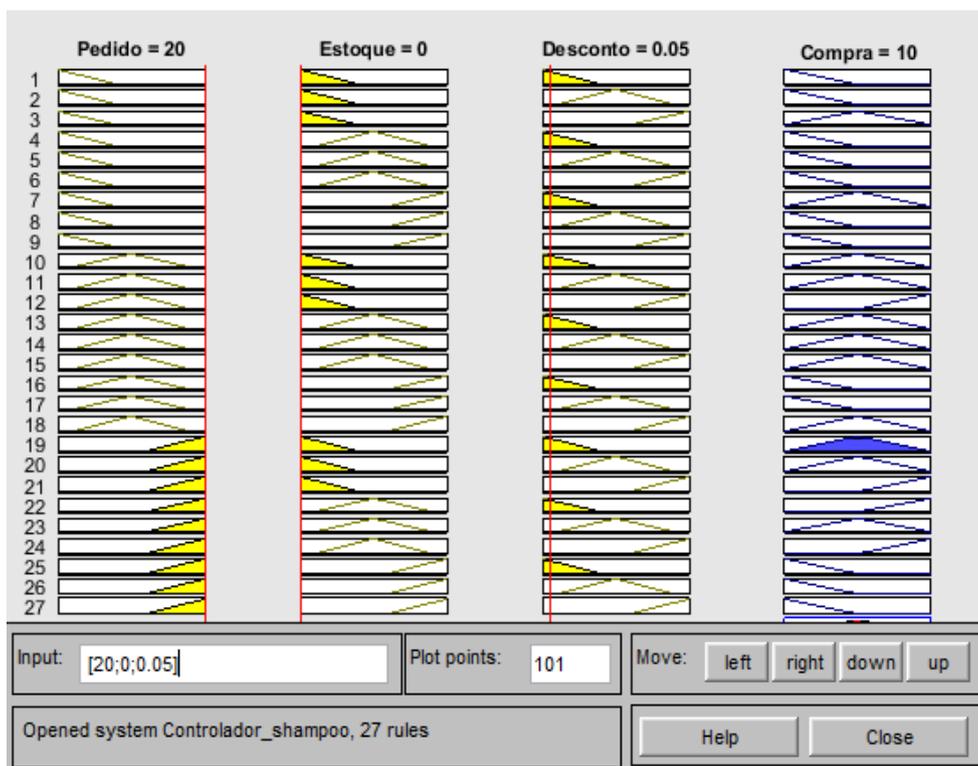


FIGURA 8 – 3º cenário de simulação do controlador Fuzzy. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

## 6. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi fornecer a equipe operacional e administrativa de uma locadora de veículos um sistema que pudesse dar suporte na previsão de compras de insumos empregados na higienização dos veículos utilizados no aluguel.

Com base no emprego da lógica nebulosa, ou comumente conhecida como lógica Fuzzy, e suporte do Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB, construiu-se um controlador e avaliou-se sua previsão e simplicidade em diferentes cenários, visando fornecer dados que dessem apoio na tomada de decisões.

Constatou-se que os resultados obtidos foram satisfatórios. Assim, afirma-se que o controlador Fuzzy poderá ser aplicado na empresa de estudo, uma vez aprovado pelas lideranças, para confirmar seu bom desempenho em situações reais.

## Referências

CAMARGOS, Fernando Laudares. **Lógica nebulosa**: uma abordagem filosófica e aplicada. Departamento de informática e estatística: UFSC, 2002. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/trabaluno/ianebulosos.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2021.

COPPIN, Ben. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GOMIDE, Fernando A. C.; GUDWIN, Ricardo R.; TANSCHWEIT, Ricardo. **Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações**. 1995. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/268371800\\_CONCEITOS\\_FUNDAMENTAIS\\_DA\\_TEORIA\\_DE\\_CONJUNTOS\\_FUZZY\\_LOGICA\\_FUZZY\\_E\\_APLICACOES](https://www.researchgate.net/publication/268371800_CONCEITOS_FUNDAMENTAIS_DA_TEORIA_DE_CONJUNTOS_FUZZY_LOGICA_FUZZY_E_APLICACOES)>. Acesso em: 07 jul. 2021.

JANG, Jyh-Shing Roger. **Adaptive-network based fuzzy inference systems**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.23, n.3:665-685, 1993.

MORTARI, CEZAR A. **Introdução à lógica**. São Paulo: UNESP, 2001.

SANDRI, Sandra; CORREA, Cláudio. **Logica nebulosa**. V Escola de Redes Neurais - Conselho Nacional de Redes Neurais, ITA, São José dos Campos – SP, pp. c073-c090, jul., 1999.

SILVA, W. R. C.; LINO, A. D. P.; CASTRO, A. R. G.; FAVERO, E. L. **Previsão na demanda de vendas baseado em regras linguísticas e lógica fuzzy**. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG: UFLA, 2006. Disponível em: <<https://core.ac.uk/display/142017517>>. Acesso em: 20 mai. 2021.

SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.