

Aplicando Lógica Fuzzy em um Modelo de Seleção Multicritério para Multiclientes

Fabio Luiz Peres Krykhtine
krykhtine@labfuzzy.coppe.ufrj.br
COPPE UFRJ

Antonio Carlos Dias Morim
morim@labfuzzy.coppe.ufrj.br
COPPE UFRJ

Natália Gonçalves Pires do Vale
nataliavale@labfuzzy.coppe.ufrj.br
COPPE UFRJ

Luiz Eduardo Netto Sá Fortes
safortes@labfuzzy.coppe.ufrj.br
COPPE UFRJ

Armando Gonçalves Celestino Neto
armando@labfuzzy.coppe.ufrj.br
COPPE UFRJ

Resumo: Este artigo tem por objetivo a apresentação de um ferramental em lógica fuzzy, modelagem de lógica apresentada ao mundo por Zadeh (1965), para a criação de um sistema de comutação flexível para a tomada de decisão. Enquanto exemplo acadêmico e ilustrativo, o trabalho utiliza um único grupo formado por três conjuntos fuzzy em todo o processamento do algoritmo de maneira a tornar simples a compreensão do leitor. Embora o modelo seja extremamente simples, apresentará conceitos importantes quanto ao relacionamento de conjuntos fuzzy, modelagem, criação de índices, operações com matrizes e hierarquização, de forma didática e prática, com o desenho de uma aplicação de modelagem multicriterial para multiclientes, que utiliza como exemplo a tarefa de um gerente de uma loja de automóveis que busca aconselhar seus clientes na melhor opção entre modelos disponíveis para seleção. Os conceitos de utilidade, comportamento do consumidor, oferta x demanda são abordados em uma aplicação com matrizes que retratam de forma muito simplificada alguns dos conceitos do modelo COPPE COSENZA e principais ferramentas da lógica fuzzy em um algoritmo decisional.

Palavras Chave: Lógica Fuzzy - Algoritmo Decisional - Seleção Multicritério - Computação Flexível - Desejo do Consumidor

Aplicando Lógica Fuzzy em um Modelo de Seleção Multicritério para Multiclientes

RESUMO

Este artigo tem por objetivo a apresentação de um ferramental em lógica fuzzy, modelagem de lógica apresentada ao mundo por Zadeh (1965), para a criação de um sistema de comutação flexível para a tomada de decisão. Enquanto exemplo acadêmico e ilustrativo, o trabalho utiliza um único grupo formado por três conjuntos fuzzy em todo o processamento do algoritmo de maneira a tornar simples a compreensão do leitor. Embora o modelo seja extremamente simples, apresentará conceitos importantes quanto ao relacionamento de conjuntos fuzzy, modelagem, criação de índices, operações com matrizes e hierarquização, de forma didática e prática, com o desenho de uma aplicação de modelagem multicriterial para multiclientes, que utiliza como exemplo a tarefa de um gerente de uma loja de automóveis que busca aconselhar seus clientes na melhor opção entre modelos disponíveis para seleção. Os conceitos de utilidade, comportamento do consumidor, oferta x demanda são abordados em uma aplicação com matrizes que retratam de forma muito simplificada alguns dos conceitos do modelo COPPE COSENZA e principais ferramentas da lógica fuzzy em um algoritmo decisional.

PALAVRAS CHAVE: Algoritmo Decisinal, Lógica Fuzzy, Seleção Multicritério, Computação Flexível;

1. INTRODUÇÃO

Os modelos matemáticos para a constituição análises e consequente tomada de decisão em ambiente de mercado são estudados há muitos séculos por diversas linhas do pensamento econômico. Neste contexto, a presença de robusto ferramental matemático nos trabalhos de Leon Walrás (1996), Wilfredo Pareto (1996), Alfred Marshall (1996) e, mais atualmente, apresentado por Paul Samuelson (1997), demonstram o desafio de representar a oferta e a demanda através destes instrumentos.

A discussão sobre o tema “Comportamento do Consumidor” é vasta e a chave para retratar os diversos cenários do mercado ainda é perseguida pelos economistas, com a certeza de que a modelagem que apresente menor risco e maior similaridade na representação do comportamento do mercado será o tão chamado pote de ouro ao fim do arco-íris.

Neste ambiente incerto e vago, a aplicação da lógica fuzzy se mostrou eficaz por aproximar resultados através da incorporação do erro ao longo do processo de manipulação de dados. Assim, resultados mais precisos são obtidos através do resgate de um senso de direção coerente com o nível de precisão dos dados coletados.

Este trabalho apresentará a aplicação de um sistema de seleção multicritério para multivalentes, no qual se formam índices de hierarquização diferenciados de acordo com a demanda específica de clientes para seleção de um gama de produtos ofertados. Como forma de ilustração da aplicação, simularemos a ação de um consultor de vendas do mercado de automóveis orientando diferentes perfis de clientes para a escolha de modelos de automóveis disponíveis em sua loja.

A aplicação da modelagem hipotética pode ser explorada em maior escala, com a aplicação de vasto volume de dados compondo um sistema de informação complexo de cruzamento de oferta e demanda.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LÓGICA FUZZY

Formalizada em 1965 por Lofty Zadeh, a teoria dos conjuntos nebulosos (ZADEH, 1965) é um instrumento de trabalho extremamente eficaz no tratamento de dados vagos para a obtenção de resultados precisos. De fato, não é uma lógica que é nebulosa, mas sim que trata dados nebulosos.

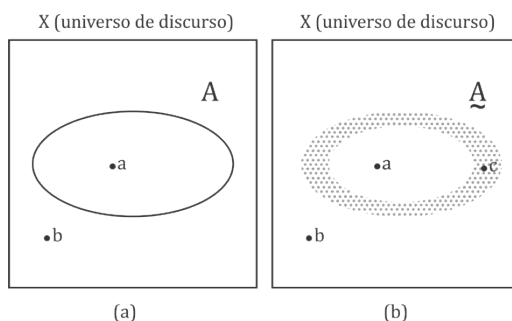


Figura 1 – Representação dos Universo de Discurso dos Conjuntos
Fonte: ROSS (2010)


A percepção tardia das aplicações em lógica nebulosa por parte dos norte americanos traduziu-se em uma oportunidade perdida para a criação de tecnologias inteligentes e máquinas automatizadas sofisticadas. Este fato, como retratado em McNeill (1994) rendeu aos japoneses cerca de 2000 processos de patente, projetando a imagem da indústria japonesa

para todo mundo como um dos principais detentores de tecnologia na produção de equipamentos eletrônicos sofisticados, tais como: câmeras, sensores, máquinas inteligentes e robôs.

O grande diferencial da lógica fuzzy se dá no tratamento da teoria dos conjuntos com a relativização entre valores através do grau de pertinência de um elemento a um universo. A pertinência é retratada por uma função que assume valores que indicam o grau de pertinência de um elemento a um dado conjunto.

Assim, um elemento pode ser comparado com n conjuntos e obter n valores em seus níveis de pertinência, cada qual adequado a similaridade ou pertencimento do elemento ao conjunto o qual é comparado. Ou seja, um elemento pode pertencer a vários conjuntos de maneiras diferentes.

Enquanto a lógica clássica trabalha os extremos com valores “zero” ou “um”, a lógica fuzzy é capaz de capturar um grupo infinito de valores compreendidos entre estes extremos, com a manipulação de um degradê de valores capazes de oferecer aos seus usuários grande precisão em manipulação de sistemas complexos e com grande níveis de incerteza.








	1	0,8	0,6	0,4	0,2
	0,8	1	0,8	0,6	0,4
	0,6	0,8	1	0,8	0,6
	0,4	0,6	0,8	1	0,8
	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Tabela 1 – Quadro comparativo de pertinências entre os diversos tamanhos de maçãs

Fonte: KRYKHTINE (2013)

A abordagem nebulosa trabalha então, com espaços e intervalos processando-os de maneira diferente dos sistemas e modelagens da lógica clássica. Desta maneira, o delineamento de espaços através de termos linguísticos possibilitaram a constituição de frases lógicas com regras de comportamento muito alinhadas com a conversão do comportamento humano em resposta por inteligência artificial. Além das gradações, podem ser incorporados, ainda, aos termos linguísticos, modificadores, que através de funções, inferem sobre os valores incorporando pesos computacionais diferenciados.

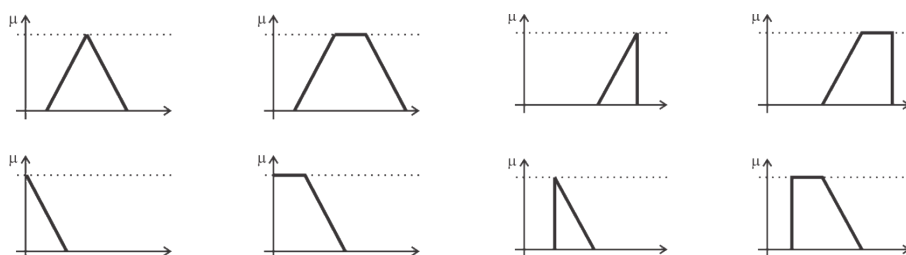


Figura 2 – Formas Típicas de Conjuntos Fuzzy Triangulares e Trapezoidais
Fonte: KRYKHTINE (2013)

De forma bem diferente da lógica clássica, os conjuntos fuzzy podem assumir diferentes formatos através de modelagens de funções de pertinência. Neste trabalho serão aplicados conjuntos fuzzy triangulares e trapezoidais, representados por elementos gráficos e matrizes.

Dentre as diversas possibilidades computacionais da lógica fuzzy podemos destacar sistemas de tomada de decisão, hierarquização, localização, interpretação, automação, controle e inteligência artificial. Estas possibilidades se revelam ao longo da década de 80 com a formalização do conhecimento em publicações, artigos, patentes e, sobre tudo, com o aparecimento de máquinas fuzzy com o uso de chips capazes de armazenar regras nebulosas.

Na abordagem de tomada de decisão, pode-se destacar o uso de lógica fuzzy em muitos modelos de tomada de decisão para cenários de gestão financeira e avaliação econômica. No delineamento de zonas através de seleção multicritério, os sistemas nebulosos vem sendo recorrente solução por sua capacidade de lidar com um número muito grande de variáveis incorporando grau de incerteza elevado e, a partir de seu processamento, extrair resultados extremamente precisos.

O Modelo Locacional COPPE COSENZA, que evolui de COSENZA (1981) até os mais recentes trabalhos desenvolvidos para a hierarquização e localização exigidos para o Projeto Biodiesel Brasileiro, envolvendo 1789 municípios do semi árido do nordeste brasileiro, é uma demonstração da robustez e flexibilidade de aplicações baseadas em lógica nebulosa.

2.2 UTILIDADE

A utilidade é a capacidade de satisfação de uma necessidade para um determinado indivíduo ou grupo. Assim, a seleção de produtos e serviços a serem consumidos por um indivíduo é regida pela capacidade de uma aquisição em fornecer satisfação ao seu consumidor igual ou superior ao recurso dispensado por ele. A satisfação de necessidades é extremamente individual variando de acordo com características específicas dos seres humanos quanto às formações sociais, culturais, extrato econômico, gênero, etc.

Dois indivíduos aparentemente parecidos podem possuir regra para satisfação de suas necessidades extremamente diferentes, assim como, um mesmo indivíduo pode, em dois momentos diferentes, optar por diferentes seleções. Este fato torna a teoria da utilidade um desafio complexo, na medida em que as componentes que influenciam nesta composição de função podem variar ao longo do tempo, de acordo com variações do mercado em relação com a oferta, a procura, a raridade, a nobreza, a exclusividade e o desejo dos consumidores por determinado produto ou serviço.

O desejo é um vetor importante nesta composição de utilidade porque representa o ímpeto do consumidor por almejar um dado produto. Este desejo, então, é representativo enquanto componente da medida de atratividade, vista como força existente entre consumidor e produto, mas não pode representar a relação do consumo conduzido a termo. Stuart Mill (1996) destaca a necessidade de associar desejo ao de poder de compra: *“Um mendigo pode desejar um diamante, mas seu desejo, por maior que seja, não terá nenhuma influência sobre o preço. Por isso, os autores têm dado um significado mais restrito à procura, definindo-a como sendo o desejo de possuir, associado ao poder de compra.”*

A pirâmide de Maslow (2000) desenha a separação das necessidades em camadas dos quais o homem evolui das necessidades mais básicas da sobrevivência humana e da dignidade até as necessidades elevadas espirituais de auto realização. Mesmo antes, Marshall *apud* McCulloch (1996) já afirmavam ao discutir a natureza progressiva do homem que: a satisfação de uma necessidade é, não somente, o caminho para a criação de novas necessidades. E é fato que o ser humano, assim que atinge um objetivo de consumo, passa a sonhar com o próximo desejo de consumo, às vezes distante, às vezes tão próximo.

Como destacado por Marshall (1996), na medida em que o homem enriquece, passa a consumir bens mais caros e diversos que os diferencia na vida em sociedade e saciam seus desejos mais extravagantes. Na medida em que sua riqueza suplanta em muito os valores dos bens, o desejo de consumo passa a ser suplantado pelo desejo de realização, de concretização de planos mais ousados e inesperados, que lhe tragam reconhecimento e legado.

No contexto deste trabalho, uma vez retratados algumas das vertentes que compõe a utilidade em um sentido mais amplo e filosófico, serão selecionadas características comuns a todos os modelos de automóveis que possam retratar, quando graduados, a capacidade dos automóveis em atender níveis de necessidades de clientes. Estas características serão chamados de atributos dos automóveis e serão parte componente da formação de um índice de hierarquização que complementado por um conjunto de necessidades apontadas pelos clientes, fornecerá um grau de atendimento de cada modelo de veículo ao perfil demandado pelo cliente.

3 SITUAÇÃO PROBLEMA

Um gerente de uma loja de automóveis dispõe de modelos de automóveis em seu pátio para comercialização. Com uma vasta carteira de clientes, recebeu solicitação de assistência para a seleção de modelos adequados ao perfil de seus clientes. Diante da necessidade de justificar a sua indicação por modelos, o gerente convidou um amigo pesquisador em lógica fuzzy para a elaboração de um sistema de seleção com o qual executa algumas perguntas consideradas “chave” aos seus clientes.

4 SOLUÇÃO PROPOSTA

A metodologia adotada realiza um método de cruzamento de matrizes de oferta e demanda (COSENZA, 1981) para a identificação das distâncias existentes entre as diferentes alternativas de produtos em atender as necessidades de seus clientes de acordo com o perfil exigido por eles.

A abordagem é composta por um algoritmo fuzzy definido por Zadeh (2002) como sendo de caráter decisional, ou seja, que se ajusta de maneira dinâmica. Assim, a partir de *inputs* caracterizados na matriz de demanda, o algoritmo realizará um cálculo comparativo

com todas as alternativas e entregará como resultado o elemento da oferta considerado a alternativa mais adequada ao atendimento da demanda.

Para a criação destas matrizes, realizou-se um processo de conversão de termos linguísticos adequados para a gradação dos diferentes atributos.

Os atributos selecionados para a seleção de automóveis foram:

- Design – qualificação estética do veículo;
- Potência – capacidade de resposta do motor em acelerar o veículo;
- Economia – capacidade do motor em consumir combustível;
- Preço – valor do investimento;
- Espaço Interno – capacidade de transportar determinado volume interno;

Utilizou-se, então, três números fuzzy para criação dos três estágios de gradação através de termos linguísticos aplicados em cada atributo. Assim, podemos descrever os atributos em suas gradações através de termos linguísticos (tabela 2), representá-los matematicamente por funções (equações 1, 2 e 3), por matrizes (matriz 1) e graficamente (figura 3) como exibido abaixo:

<u>ATRIBUTOS</u>	<u>TERMOS LINGUÍSTICOS</u>		
Design	Feio	Razoável	Belo
Potência	Baixa	Média	Alta
Economia	Baixa	Média	Alta
Preço	Elevado	Coerente	Barato
Espaço Interno	Apertado	Médio	Espaçoso
Vetor	[1 1 2 3]	[2 3 3 4]	[3 4 5 5]

Tabela 2 – Termos linguísticos para descrição dos atributos

$$Conjunto 1 = \begin{cases} se 1 \leq x \leq 2, então \mu(x) = 1 \\ se 2 \leq x \leq 3, então \mu(x) = -x + 3 \end{cases} \quad (\text{equação 1})$$

$$Conjunto 2 = \begin{cases} se 2 \leq x \leq 3, então \mu(x) = x - 2 \\ se 3 \leq x \leq 4, então \mu(x) = -x + 4 \end{cases} \quad (\text{equação 2})$$

$$Conjunto 3 = \begin{cases} se 3 \leq x \leq 4, então \mu(x) = x - 3 \\ se 4 \leq x \leq 5, então \mu(x) = -x + 5 \end{cases} \quad (\text{equação 3})$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

Matriz 1 – Conjuntos fuzzy de descrição dos atributos

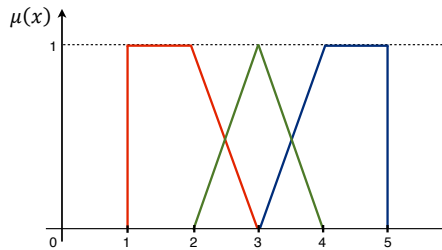


Figura 3 – Representação gráfica dos conjuntos Fuzzy para descrição dos atributos

De posse destes atributos, a equipe de vendedores caracterizou quatro modelos de veículos utilizando a escala formada pelos termos linguísticos conforme apresentado na tabela 3 a seguir:

				
MODELOS	Gol 1000 16v	Dodge Journey	Doblô 1.6	Camaro
Design	Feio	Belo	Razoável	Belo
Potência	Baixo	Alta	Média	Alta
Economia	Alta	Baixa	Média	Baixa
Preço	Barato	Elevado	Razoável	Elevado
Espaço Interno	Apertado	Espaçoso	Espaçoso	Médio

Tabela 3 – Descrição dos modelos de veículos, pela equipe de vendedores, em termos linguísticos

Convertendo as variáveis linguísticas em seus respectivos vetores para os modelos de veículos acima, temos a tabela 4, análoga com as matrizes descritas abaixo:





				
MODELOS	Gol 1000 16v	Dodge Journey	Doblô 1.6	Camaro
Design	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$
Potência	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$
Economia	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$
Preço	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$
Espaço Interno	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$

Tabela 4 – Descrição dos modelos de veículos, pela equipe de vendedores, em matrizes análogas

Uma vez criada a matriz de oferta dos veículos, a equipe de vendas dedicou seu tempo em analisar a demanda de seus clientes. Assim elaborou um pequeno questionário no qual quatro diferentes clientes responderam quais eram as suas percepções quanto ao grau de importância em relação aos atributos: design, potência, economia, preço e espaço interno.

Utilizou-se as variáveis linguísticas: Crucial, Importante, Dispensável.

ATRIBUTOS

VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

Percepção	Dispensável	Importante	Crucial
Vetor	[1 1 2 3]	[2 3 3 4]	[3 4 5 5]

Tabela 5 – Descrição dos modelos de veículos, pela equipe de vendedores, em vetores análogos

Foi criada uma matriz de demanda para os clientes, aplicando os conjuntos anteriores para a gradação da percepção do nível de exigência de cada cliente para os atributos de caracterização aplicados para os veículos.

Com base nestas respostas, a equipe de vendas formou a tabela 6 de acordo com as caracterizações das demandas dos clientes:

<u>CLIENTES</u>	<u>Cliente 1</u>	<u>Cliente 2</u>	<u>Cliente 3</u>	<u>Cliente 4</u>
Design	Importante	Importante	Dispensável	Dispensável
Potência	Crucial	Crucial	Importante	Dispensável
Economia	Importante	Dispensável	Importante	Crucial
Preço	Importante	Dispensável	Importante	Crucial
Espaço Interno	Crucial	Dispensável	Crucial	Dispensável

Tabela 6 – Descrição das demandas dos clientes para os atributos através de termos linguísticos.

Convertendo as variáveis linguísticas em seus respectivos vetores para as demandas dos quatro clientes acima, temos a tabela 7, análoga com as matrizes descritas abaixo:

<u>CLIENTES</u>	<u>Cliente 1</u>	<u>Cliente 2</u>	<u>Cliente 3</u>	<u>Cliente 4</u>
Design	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$
Potência	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$
Economia	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$
Preço	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$
Espaço Interno	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$

Tabela 7 – Descrição da demanda dos clientes quanto aos atributos, convertidos em matrizes análogas

O algoritmo do sistema realiza então a multiplicação da matriz de demanda de cada cliente com a matriz de oferta de cada veículo e do conjunto maximizante, representado pelos valores máximos que um veículo pode assumir.

A partir da matriz resultante, realiza a soma de todos os elementos. O resultado numérico obtido é dividido pelo resultado do conjunto maximizante, de maneira a realizar a normalização dos resultados. O valor obtido, representado por θ , é o índice de atendimento do veículo em relação às demandas solicitadas pelos clientes (equação 4).

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & O_{13} & O_{14} \\ O_{21} & O_{22} & O_{23} & O_{24} \\ O_{31} & O_{32} & O_{33} & O_{34} \\ O_{41} & O_{42} & O_{43} & O_{44} \\ O_{51} & O_{52} & O_{53} & O_{54} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} \end{bmatrix}$$

Matriz 2 – Matriz de Oferta x Demanda para obtenção da Matriz de Resultado

$$\theta = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^5 A(i x j) / \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^5 MAX(i x j)$$

(equação 4)

	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4
	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$
Gol 1000 16v	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 1 & 1 & 4 & 9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 9 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$
Dodge Journey	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 1 & 1 & 4 & 9 \\ 1 & 1 & 4 & 9 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 10 & 15 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \end{bmatrix}$
Doblô 1.6	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 9 & 9 & 16 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 4 & 9 & 9 & 16 \\ 4 & 9 & 9 & 16 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 9 & 9 & 16 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 6 & 12 \\ 4 & 9 & 9 & 16 \\ 4 & 9 & 9 & 16 \\ 4 & 9 & 9 & 16 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \end{bmatrix}$
Camaro	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 1 & 1 & 4 & 9 \\ 1 & 1 & 4 & 9 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 10 & 15 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 2 & 3 & 6 & 12 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$
Maximizante	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \\ 3 & 4 & 5 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \\ 3 & 4 & 10 & 15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 10 & 15 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 6 & 12 & 15 & 20 \\ 9 & 16 & 25 & 25 \end{bmatrix}$

Matriz 3 – Cruzamento das matrizes de oferta e demanda.

Na tabela 8, apresentam-se os resultados da soma dos elementos da matriz dos níveis de atendimento das ofertas em relação às demandas dos quatro perfis de clientes.

	Cliente 1	Cliente 2	Cliente 3	Cliente 4
Gol 1000 16v	193	134	176	195
Dodge Journey	249	190	206	160
Doblô 1.6	242	169	212	184
Camaro	227	181	184	151
Maximizante	309	224	266	246

Tabela 8 – Resultado obtidos pela soma dos elementos das matrizes

Abaixo, o resultado consolidado da normalização dos resultados para a criação de uma escala comum entre os diversos resultados (tabela 9). A normalização em relação aos conjuntos maximizantes limitam os resultados em valores proporcionais e relacionais entre valores variando entre o “zero” e o “um”.

Os graus de pertinência são compreendidos como o nível de atendimento dos veículos avaliados à luz da equipe de consultores de vendas em relação à percepção de necessidades exigidas pelos clientes, avaliada através do cinco atributos que delimitam a utilidade dos produtos componentes da oferta.

	<u>Cliente 1</u>	<u>Cliente 2</u>	<u>Cliente 3</u>	<u>Cliente 4</u>
Gol 1000 16v	0,624595469	0,598214286	0,661654135	0,792682927
Dodge Journey	0,805825243	0,848214286	0,77443609	0,650406504
Doblô 1.6	0,783171521	0,754464286	0,796992481	0,74796748
Camaro	0,734627832	0,808035714	0,691729323	0,613821138
Maximizante	1	1	1	1

Tabela 9 – Resultado obtidos na normalização dos resultados

<u>Ranking</u>	<u>Cliente 1</u>	<u>Cliente 2</u>	<u>Cliente 3</u>	<u>Cliente 4</u>
1	DODGE	DODGE	DOBLO	GOL
2	DOBLO	CAMARO	DODGE	DOBLO
3	CAMARO	DOBLO	CAMARO	DODGE
4	GOL	GOL	GOL	CAMARO

Tabela 10 – Ranking para os diferentes perfis de clientes

Com base nos resultados pode-se compor o ranking de atendimento aos diversos perfis de clientes através da hierarquização das alternativas (tabela 10). Pode-se calcular ainda, além da ordinalidade, a distância cardinal entre as opções da oferta em relação as exigências da demanda. Esta operação pode ser realizada através da medida do grau de semelhança entre as opções.

Na matriz 4, apresenta o grau de semelhança entre o nível de atendimento da demanda do cliente e as opções da oferta. A matriz de comparação é feita a partir da seguinte regra:

Quando $i=j$, grau de semelhança é 1;

Quando $i>j$, grau de semelhança é $\mu(x)_i / \mu(x)_j$;

Quando $i<j$, grau de semelhança é $1 - (\mu(x)_i / \mu(x)_j)$;

<u>Cliente N</u>	<u>Opção 1</u>	<u>Opção 2</u>	<u>Opção 3</u>	<u>Opção 4</u>
<u>Opção 1</u>	1	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$
<u>Opção 2</u>	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	1	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$
<u>Opção 3</u>	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	1	$1 - (\mu(x)_i / \mu(x))$
<u>Opção 4</u>	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	$\mu(x)_i / \mu(x)_j$	1

Tabela 11 – Matriz de semelhança entre as opções

Cliente 1	DODGE	DOBLO	CAMARO	GOL
DODGE	1	0,97188755	0,911646586	0,775100402
DOBLO	0,97188755	1	0,938016529	0,797520661
CAMARO	0,911646586	0,938016529	1	0,850220264
GOL	0,775100402	0,797520661	0,850220264	1
Cliente 2	DODGE	CAMARO	DOBLO	GOL
DODGE	1	0,952631579	0,889473684	0,705263158
CAMARO	0,952631579	1	0,933701657	0,740331492
DOBLO	0,889473684	0,933701657	1	0,792899408
GOL	0,705263158	0,740331492	0,792899408	1
Cliente 3	DOBLO	DODGE	CAMARO	GOL
DOBLO	1	0,971698113	0,867924528	0,830188679
DODGE	0,971698113	1	0,893203883	0,854368932
CAMARO	0,867924528	0,893203883	1	0,956521739
GOL	0,830188679	0,854368932	0,956521739	1
Cliente 4	GOL	DOBLO	DODGE	CAMARO
GOL	1	0,943589744	0,820512821	0,774358974
DOBLO	0,943589744	1	0,869565217	0,820652174
DODGE	0,820512821	0,869565217	1	0,94375
CAMARO	0,774358974	0,820652174	0,708609272	1

Tabela 11 – Comparativo entre os graus de semelhança entre opções avaliados por cada grupo de cliente.

A tabela 11, composta por quatro matrizes, demonstra que os veículos são percebidos de maneira diferente pelos clientes em termos de utilidade quando comparados entre si. Desta forma, os graus de semelhança entre os modelos são diferenciados para cada perfil de cliente quando comparado em pares.

5 CONCLUSÃO

As aplicações apresentadas neste artigo são demonstrações da flexibilidade de aplicações da lógica fuzzy para apoio em tomada de decisão e análise de mercado. Os quatro grupos de clientes com demandas completamente distintas são atendidos de maneira adequada por produtos da oferta e a percepção de valor enquanto satisfação de suas necessidades são únicas em cada caso. Quando comparados entre si, os veículos à luz do cliente, possuem distâncias cardinais que revelam o nível atendimento às diferentes demandas.

O modelo seria mais eficiente se os conjuntos fuzzy utilizados fossem calibrados de maneira mais sensível, parametrizados conforme os atributos. Diante do fato das tabelas componentes do sistema, na ilustração do estudo de caso, já se apresentarem formatadas e propostas, não se discutiu o critério de coleta das informações, fato que é de suma importância para a composição de um modelo rigoroso de avaliação multicritério.

O trabalho apresenta a melhor opção de seleção diante da caracterização da demanda e, dentro de uma estratégia de operações, pode amparar ações comerciais com melhor planejamento do *mix* de oferta de produtos.



As matrizes que realizam a análise do grau de semelhança tem grande aplicação na comparação de elementos entre conjuntos, de maneira que, quando a pertinência entre dois elementos é alta, o produto pode representar uma segunda opção de oferta ao cliente. Esta ferramenta é utilizada, com grande eficiência, para a comparação entre diferentes ambientes econômicos e na análise de semelhança entre mercados consumidores.

Conclui-se por fim que o potencial de aplicação do ferramental computacional com processamento de dados através de lógica fuzzy é elevado e observa-se que a aplicação proposta tem relevância na composição de sistemas de informação para apoio a tomada de decisão em ambiente multicritério, para múltiplas demandas e múltiplas ofertas.

6 REFERÊNCIAS

COSENZA, C. A. N. An Industrial Location Model, Working Paper, Martin Centre for Architectural and Urban Sites Studies, Cambridge University, Cambridge: 1981.

KRYKHTINE, F. L. P, COSENZA, C. A. N, DORIA, F. A. Um Algoritmo Fuzzy para Mensurar o Desejo do Consumidor. Uma Modelagem Parametrizada para o Segmento de Confecções na Indústria Têxtil– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

MCNEILL, Daniel. FREIBERGER, Paul. Fuzzy Logic: The Revolutionary Computer Technology that Is Changing Our World. 1a Edição. New York: Touchstone Rockefeller Center, 1994.

MALSOW, Abraham H. Maslow no Gerenciamento; tradução Eliana Casquilho, Bazán Tecnologia e Lingüística. 1a Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2000. 392p.

MARSHALL, Alfred. Princípios de Economia. Tratado Introdutório – Volume I. 1a Edição. São Paulo: Círculo do Livro Ltda, 1996. (Coleção Os Economistas).

MILL, John Stuart. Princípios de Economia Política – Com Algumas de suas Aplicações à Filosofia Social – Volume II. 1a Edição. São Paulo: Círculo do Livro Ltda, 1996. (Coleção Os Economistas).

PARETO, Vilfredo. Manual de Economia Política. 1a Edição. São Paulo: Círculo do Livro Ltda, 1996. (Coleção Os Economistas).

ROSS, Timothy J. Fuzzy Logic with engineering applications. 3rd edition. UK: John Wiley and Sons Ltd, 2010.

SAMUELSON, Paul. Fundamentos da Análise Econômica. 1a Edição. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997. (Coleção Os Economistas).

ZADEH, L.A., Fuzzy Sets, Information And Control 8, pp. 338-353, University of California, Berkeley, California, USA: 1965.

ZADEH, L.A., Fuzzy Logic, reprinted from IEEE Computer Mag., Apr.1988, pp.88- 93, University of California, Berkeley, California, USA: 2002.

WALRAS, Léon. Compêndio dos Elementos de Economia Política Pura. 1a Edição. São Paulo: Círculo do Livro Ltda, 1996. (Coleção Os Economistas).