

# Previsão na Demanda de Vendas baseado em Regras Lingüísticas e Lógica Fuzzy

WILSON RICARDO CARDOSO SILVA<sup>1</sup>

ADRIANO DEL PINO LINO<sup>2</sup>

ADRIANA ROSA GARCEZ CASTRO<sup>2</sup>

ELOI LUIS FAVERO<sup>2</sup>

UFPA - Universidade Federal do Pará

PPGEE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Cx Postal 8619 - CEP 66.075-900 Belém (PA)

wilson@cinbesa.com.br<sup>1</sup>

(adrianod,adcastro,favero@ufpa.br)<sup>2</sup>

**RESUMO.** Uma boa precisão na estimativa de venda passou a ser significativo no seguimento de varejo, devido a vários fatores, tais como a manutenção do cliente que não se frustra ao encontrar na loja o produto desejado, o menor custo com estoque pela manutenção de estoques mais ajustados às vendas futuras, a melhor alocação de vendedores em função da previsão das vendas para o futuro período, entre outras. Este trabalho apresenta um sistema de lógica fuzzy que permite a gestores fazer uma previsão da sua produção de vendas com mais precisão e simplicidade. O método proposto é de baixo custo quando comparado a outros métodos e foi projetado para ser parte de um sistema que auxilia no gerenciamento da empresa. Sua utilização não exige do usuário conhecimento técnico específico e os resultados obtidos até o momento através de simulações são animadores.

**Palavras-chave:** Varejo; regras lingüísticas, lógica fuzzy.

## Forecast in the Demand of Sales based on Linguistic Rules and Fuzzy Logic

**ABSTRACT.** A good precision in the estimate of sales started to be significant in the retail pursuing, had to some factors, such as the maintenance of the customer who not if unsatisfied when finding in the store the desired product, the lesser cost with supply for the maintenance of future supplies more adjusted sales, the best allocation of salesmen in function of the forecast of sales for the future period, among others. This work presents a logic system fuzzy that it allows the managers to make a forecast of its production of sales with more precision and simplicity. The considered method is of low cost when compared with other methods and was projected to be part of a system that assists in the management of the company. Its use does not demand of the using knowledge specific technician and the results gotten until the moment through simulation are entertainers.

**Keywords:** Retail; linguistic rules, logic fuzzy.

"Received November 14, 2005 / Accepted April 12, 2006"

## 1. Introdução

Detectar regularidades em fenômenos que ocorrem ao longo do tempo e poder prever tendências futuras é uma tarefa das mais importantes no mundo atual. A previsão de séries temporais, como preços futuros em mercados livres, tendências na bolsa de valores e prognósticos de pacientes, não é uma atividade fácil, pois os parâmetros envolvidos são muitos e a descoberta de ciclos ou padrões de repetição nem sempre se faz de forma clara, pois as técnicas matemáticas têm seus limites diante dos fenômenos da dinâmica não linear. Se no mundo de hoje o conhecimento significa dinheiro, imagine o que se pode dizer do conhecimento prévio.

Os parâmetros importantes a serem considerados quando se analisa a disponibilidade de produtos em uma loja são a capacidade de abastecimento, distribuição da indústria produtora do item, e o período do ano ou do mês do produto tratado.

Além da informação contida no banco de dados, é necessário contextualizar cada dado de venda com outras informações, como a existência de propaganda, se a venda foi realizada em certos períodos do ano mais propícios à venda e também ao fim de cada mês quando há um natural aquecimento das vendas. Como prever o futuro não é tarefa fácil, a maior quantidade de informação pertinente possível deve ser considerada em qualquer metodologia.

## 2. Metodologia

Saber estimar com precisão a sua produção passou a ser fator fundamental para qualquer seguimento do mercado. Até hoje as formas consistentes para a previsão das vendas têm sido a média da produção histórica do produto e o cálculo estatístico baseado numa amostra dos dados. Este método apresenta alguns inconvenientes que comprometem a sua eficácia. O primeiro é o fato de seus parâmetros terem sido obtidos somente no histórico passado, não representando, necessariamente, com exatidão as características das novas demandas do mercado. O segundo refere-se ao intervalo mínimo entre amostragens, que não deve ser menor do que três anos, fazendo com que fatores que afetam a produção não tenham seus efeitos estimados antes do final do período considerado. O terceiro é que esta previsão reflete, na verdade, a consequência das ações tomadas anteriormente pela empresa, não permitindo um acompanhamento mais amigável nem a simulação antecipada de cenários.

Neste trabalho é proposto um método de previsão que complementa a previsão por amostragem e que dá

origem a um sistema fuzzy que permite ao gestor avaliar o impacto das suas decisões de tal forma que ele consiga maximizar sua margem de lucro. Na elaboração do sistema levou-se em consideração que a solução proposta não acarretasse aumento de custos e nem obrigasse o usuário a adquirir conhecimentos específicos para este processo, além dos já dominados por ele para a administração de compras. O sistema fuzzy ajusta a estimativa amostral de previsão à medida que ocorrem fatos que afetam a produção, de tal modo que o usuário possa reavaliar a previsão de seu pedido a qualquer instante.

## 3. Descrição do Problema

O problema consiste na construção de um sistema para calcular a variação das vendas, causadas pela conjugação de diversos fatores que ocorrem no mercado, e que possa ser utilizado como um elemento num sistema gerencial da empresa.

A informação de entrada é a estimativa técnica do produto, baseada em características estáticas das vendas, tais como as quantidades físicas vendidas, características promocionais, sazonalidades, preço e a média de produção histórica. A previsão é feita no início de cada mês e reavaliada trimestralmente pela estimativa amostral das vendas, de acordo com procedimento padrão da empresa. A esta informação são acrescentadas as práticas mercadológicas definidas pelo especialista. O usuário tem como meta seguir o procedimento técnico padrão proposto pela empresa, mas faz uso de uma medida subjetiva de quão aderente a esse padrão está a sua prática na empresa. Neste trabalho pretende-se captar essa medida subjetiva da realidade do especialista.

Baseado nas informações acima, o sistema efetua as correções e produz a previsão da produção ajustada pelos fatores que a afetam. Esta previsão ajustada será então utilizada para redefinir as práticas de compras. Estas servem então como realimentação do sistema, de tal forma que uma reavaliação seja efetuada continuamente.

No projeto do sistema alguns aspectos importantes foram considerados:

- Deveria ser simples e expresso em termos familiares aos usuários, de modo a reduzir o seu esforço de adaptação ao sistema;
- Deveria ser projetado com o auxílio de especialistas, de modo a produzir resultados precisos e de forma a garantir uma melhora da eficiência;

- Deveria ser flexível o suficiente para permitir a incorporação de informações sobre novas tecnologias de produção.

Um sistema baseado em regras lingüísticas traduzidas para termos matemáticos através da lógica fuzzy é adequado para atender os requisitos acima [1] e por isso foi adotado.

O problema pode, então, ser resumido em como projetar um sistema fuzzy para ajustar a estimativa amostral de previsão da demanda de vendas de produtos, à medida que ocorram fatos que a afetam, permitindo ao usuário reavaliar essa previsão a qualquer instante. Assim, mantém-se a metodologia de previsão da empresa, onde são consideradas variáveis, tais como: o número de produtos estocados e a quantidade de produtos pedidos, enquanto o sistema fuzzy proposto efetua um ajuste dessa previsão levando em conta, variáveis referentes ao dia-a-dia do processo de gestão da empresa.

#### 4. Uma breve descrição sobre sistemas fuzzy

A lógica clássica aristotélica é bivalente, isto é, reconhece somente dois valores: verdadeiro ou falso, enquanto a lógica fuzzy é multivalorada, isto é, reconhece diversos valores, assegurando que a verdade é uma questão de ponto de vista ou de graduação [5].

A lógica fuzzy possibilita tratar de um modo mais adequado expressões verbais, imprecisas, qualitativas, inerentes da comunicação humana, que possuem vários graus de imprecisão e pode sistematicamente traduzir os termos difusos da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores [8], [6]. Ela é uma forma de gerenciamento de imprecisões, através da expressão de termos com um grau de pertinência, em um intervalo numérico [0,1], onde a pertinência absoluta é representada pelo valor 1. No raciocínio humano, consistindo de implicações lógicas, ou também chamado de inferência lógica, a entrada ou condição e a saída ou consequência, podem ser associadas por regras de raciocínio, com graus de verdade no intervalo numérico [0,1] [7]. De acordo com Wang [7], genericamente, um sistema fuzzy é composto de quatro componentes conforme especificado na Figura 1.

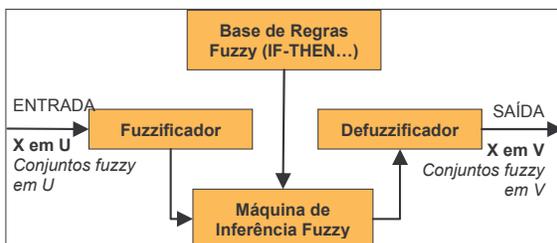


Figura 1: Organização Genérica de um Sistema Fuzzy

Fuzzificadores – A principal função de um fuzzificador é converter os valores reais de entrada (escalar ou vetorial) em um grau de pertinência a conjuntos fuzzy para que sejam tratados pela máquina de inferência. Dentre os fuzzificadores mais utilizados, Wang [7] destaca:

- Singleton - simplifica os cálculos da máquina de inferência, mas não suprime o ruído.
- Gaussiano - pode simplificar os cálculos na máquina de inferência caso seja usada função de pertinência Gaussiana nas regras fuzzy. Pode suprimir ruídos da entrada.
- Triangular - simplifica os cálculos na máquina de inferência se for usada função de pertinência Triangular nas regras fuzzy. Pode suprimir ruídos da entrada.

Defuzzificadores - O defuzzificador é definido como um mapeamento de um conjunto fuzzy, produzido pela máquina de inferência, em um valor real. Isto é, especificar um ponto na saída que melhor represente o conjunto fuzzy. Na escolha de um defuzzificador, os critérios de: plausibilidade (o valor de saída é intuitivo), simplicidade computacional, e de continuidade, devem ser considerados. Segundo Wang [7], os defuzzificadores mais utilizados são: Centro de Gravidade, Centro Ponderado e Máximo.

Base de Regras Fuzzy - O conhecimento humano pode ser representado na forma de regras fuzzy “IF-THEN”. A base de regras fuzzy consiste de um conjunto de regras “IF-THEN”, sendo considerada o “coração” de um sistema fuzzy, uma vez que todos os outros componentes são usados para implementar as regras de modo eficiente e razoável.

Máquina de Inferência Fuzzy – Em uma máquina de Inferência fuzzy, os princípios da lógica fuzzy são usados para combinar as regras fuzzy “IF-THEN” existentes na base de regras em um mapeamento de um conjunto fuzzy de entrada para um conjunto fuzzy de saída.

Podemos inferir um conjunto de regras e duas formas: inferência baseada em composição e inferência baseada em regras individuais. Na inferência baseada em composição, a usada neste trabalho, todas as regras da base de regras são combinadas com uma relação fuzzy simples, união ou interseção. Essas combinações podem ser a de Mamdani (norma-S) ou de Gödel (norma-T). Existe uma variedade de escolhas para máquinas de inferência. A utilização deste tipo de máquina de inferência é devido o fato as suas vantagens como simplicidade computacional e apelo intuitivo.

## 5. O Sistema Fuzzy

Os sistemas fuzzy têm sido utilizados, nos últimos anos, para tratar os problemas que envolvem imprecisão. No entanto, algumas vezes é difícil para o especialista representar seu conhecimento através de números reais. Além disso, quando a aquisição do conhecimento é realizada entre vários especialistas, é comum a diferença entre alguns valores de pertinência fornecidos pelos mesmos. Dessa forma, é necessário uma alternativa para determinar qual o melhor valor que representa a cada situação.

### 5.1 Definição dos Conjuntos Fuzzy

Na construção do sistema fuzzy as variáveis de entrada foram divididas em três categorias, conforme especificado abaixo. Os valores fuzzy para essas variáveis e os conjuntos fuzzy correspondentes são definidos em relação a recomendações técnicas padrão definidas pela empresa. Quanto mais próximo se está de seguir essas recomendações, mais próximo se estará da extrema direita do universo de discurso. Os formatos e suportes dos conjuntos fuzzy foram definidos num processo de tentativa e erro durante a fase de desenvolvimento do sistema. Conforme mencionado anteriormente, essas variáveis têm medida imprecisa no dia-a-dia da empresa e captar suas formas de expressão constitui-se em um processo subjetivo de experimentação em conjunto com os consultores. As três categorias para as variáveis de entrada são:

a) **pedido**: Para as variáveis de entrada Pedido os valores lingüísticos são **baixo**, **médio** e **alto**, valores expressos em unidade conforme mostrado na Figura 2.

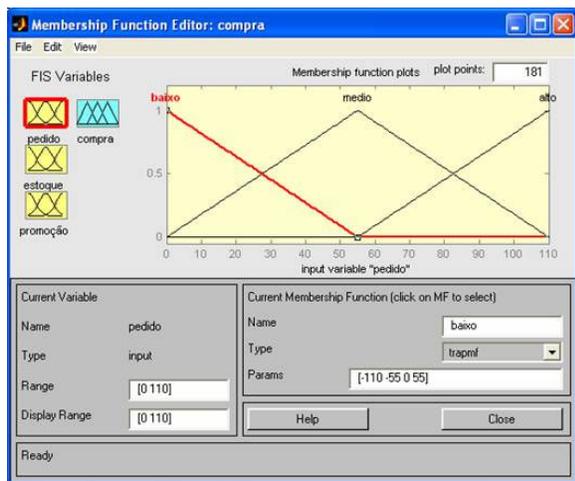


Figura 2: Conjunto fuzzy para a variável de entrada pedido.

b) **estoque**: Para as variáveis de entrada Estoque os valores lingüísticos são **baixo**, **médio** e **alto**, valores expresso em peso [0 a 10] conforme mostradas na Figura 3.

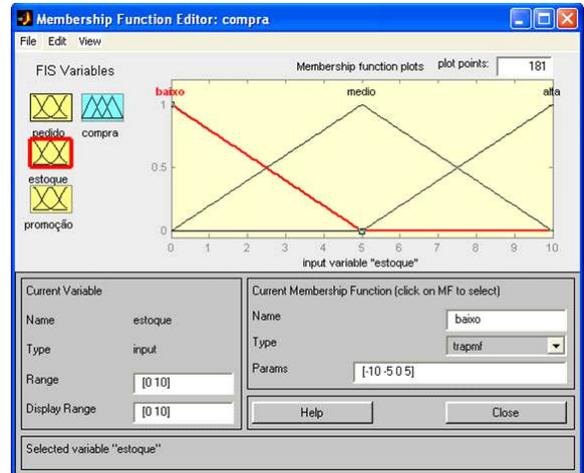


Figura 3: Conjunto fuzzy para a variável de entrada estoque.

c) **esforço promocional**: Para as variáveis de entrada Esforço Promocional os valores lingüísticos são **baixo**, **médio** e **alto**, valores expressos em peso [0 a 10] conforme mostrado na Figura 4.

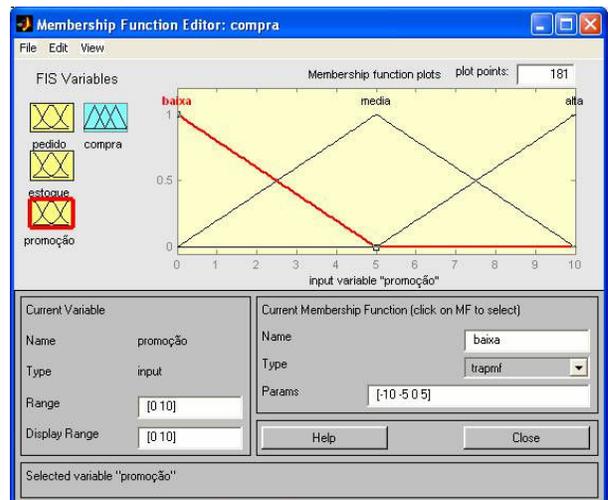


Figura 4: Conjunto fuzzy para a variável de entrada promoção.

d) **compra**: Para as variáveis de saída Compra os valores lingüísticos são: **ruim**, **razoável**, **bom**, **muito bom** e **excelente**, valores expressos em unidades conforme mostrado na Figura 5.

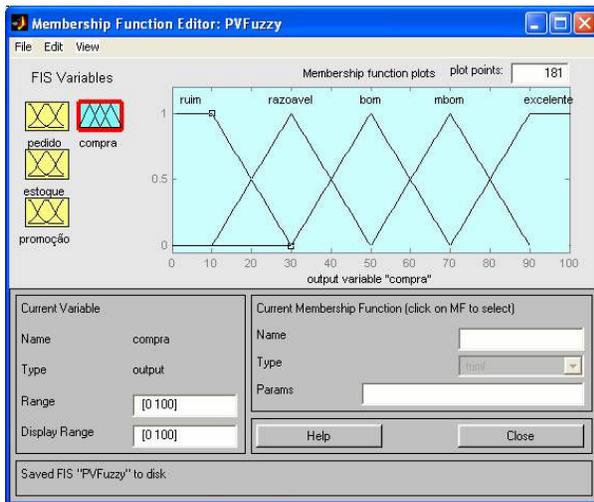


Figura 5: Conjunto fuzzy para a variável de saída compra.

## 5.2. Definição das Regras

A especificação do conjunto de regras foi baseada na opinião de especialistas sobre a influência que cada fator tem sobre as vendas como um todo. Na solução, essas possibilidades foram analisadas em conjunto por especialistas das áreas de Administração e de Inteligência Computacional, todos com mais de dez anos de experiência no seguimento varejista sendo um deles empregado da empresa e os outros consultores, que atuam na região em projetos de gestão.

Na solução, vinte e sete possibilidades foram analisadas em conjunto por especialistas das áreas de Administração e de Inteligência Computacional, segundo o esquema da Figura 6, proposto por Wang [7] para conversão de conhecimento de especialistas para sistemas fuzzy. Na especificação da base de regras, não se considerou conversão de conhecimento tácito. A construção da Base de Regras levou em conta o conhecimento explícito do especialista de Administração.

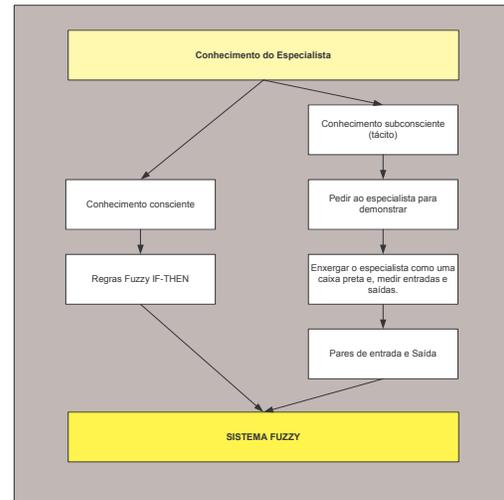


Figura 6: Convertendo Conhecimento de Especialistas para Sistemas Fuzzy

O primeiro passo foi obter um consenso entre os consultores sobre o impacto das entradas nos históricos das vendas. Suas opiniões, consolidadas na Tabela 1, ajudaram a estabelecer os consequentes para diferentes situações, definidas pelos antecedentes das regras.

Tabela 1: Opinião de especialistas sobre o impacto de cada fator na variação dos pedidos

MATRIZ	AND			THEN
	IF PEDIDO	ESTOQUE	PROMOÇÃO	
1	baixo	baixo	baixo	razoavel
2	baixo	baixo	medio	ruim
3	baixo	baixo	alto	ruim
4	baixo	medio	baixo	bom
5	baixo	medio	medio	ruim
6	baixo	medio	alto	ruim
7	baixo	alto	baixo	bom
8	baixo	alto	medio	razoavel
9	baixo	alto	alto	ruim
10	medio	baixo	baixo	bom
11	medio	baixo	medio	bom
12	medio	baixo	alto	mbom
13	medio	medio	baixo	bom
14	medio	medio	medio	mbom
15	medio	medio	alto	bom
16	medio	alto	baixo	razoavel
17	medio	alto	medio	excelente
18	medio	alto	alto	excelente
19	alto	baixo	baixo	excelente
20	alto	baixo	medio	mbom
21	alto	baixo	alto	excelente
22	alto	medio	baixo	ruim
23	alto	medio	medio	excelente
24	alto	medio	alto	excelente
25	alto	alto	baixo	ruim
26	alto	alto	medio	ruim
27	alto	alto	alto	razoavel

Alternativamente, os consequentes das regras poderiam ser estabelecidos sem levar em conta os diferentes impactos que as variáveis têm sobre as vendas. Nesse caso, continuar-se-ia a usar a Tabela 1 como guia, mas os resultados obtidos para cada fator seriam então ponderados numa composição final. Contudo, o primeiro procedimento descrito acima foi o preferido dos especialistas consultados.

O grande número de variáveis de entrada torna praticamente impossível para os especialistas definir um conjunto de regras adequado e coerente. Assim, a definição das regras é afetada a partir de uma avaliação do impacto individual de cada fator. Esta estratégia é baseada no conceito de regra incompleta, Mendel [4], onde variáveis que não aparecem em uma dada regra são tomadas como tendo grau de pertinência igual a 1. Neste caso utiliza-se o operador min para computar o nível de disparo do antecedente da regra.

### 5.3. Inferência e Defuzzificação

Foram utilizados Fuzzificadores triangulares para as variáveis de entrada do sistema. A justificativa da escolha decorreu do fato de que, além de bem representativos, eles simplificam os cálculos na máquina de inferência quando se usam funções de pertinência triangular nas regras fuzzy.

O modo de inferência utilizado na base de regras foi o baseado em composição. Utilizou-se a norma-T e a interpretação das regras IF-THEN foi implementada pelo método de implicação de Mamdani. Dentre os motivos que podem ser utilizados para justificar a escolha, pode-se destacar o fato de ser a mais amplamente utilizada em sistemas e controle difusos, e que as regras da base de regras do problema foram consideradas como local pelo especialista.

O mapeamento do conjunto “difuso” da saída para valores reais foi realizado através do Defuzzificador Centro Ponderado. Este Defuzzificador, por apresentar bons resultados, tem sido o mais utilizado em sistemas fuzzy, uma vez que além de computacionalmente simples, apresenta valor de saída bem intuitivo, contemplando, portanto os propósitos da solução.

### 6. Estudo de Caso

O sistema fuzzy proposto foi implementado com o auxílio do Fuzzy Toolbox® do Matlab® e testado com diferentes cenários, com o objetivo de se avaliar sua precisão e consistência. Dois destes cenários e os resultados obtidos pelo sistema fuzzy para cada um são apresentados na Tabela 2.

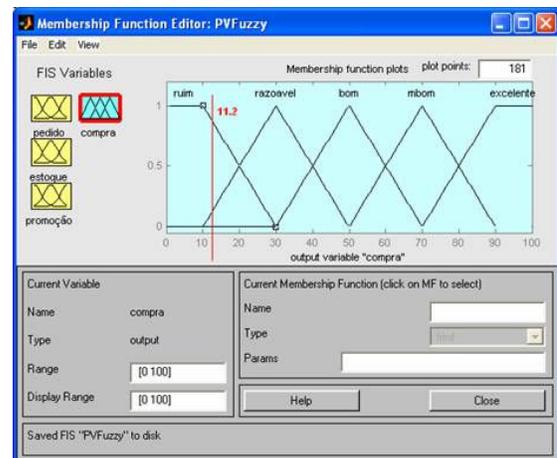
**Tabela 2:** Histórico do Volume de Vendas da empresa

PRODUTO	HISTÓRICO DO VOLUME DE VENDA				ESTOQUE	SUGESTÃO
	ANOS ANTERIORES			MÊS ANTERIOR		
	12/2002	12/2003	12/2004	11/2005		
1033	90	60	40	50	20	100
3300	100	90	110	120	10	100
1241	70	100	120	130	3	50
1066	80	110	150	110	100	25

A leitura dos resultados deve ser feita como indicado nas análises de cada caso apresentadas a seguir. O Caso 1 foi considerado extremo para o estudo, uma vez que seria irrealista a aplicação precisa de todas as recomendações técnicas; por outro lado, o abandono total de qualquer metodologia não justificaria o uso do sistema. O Caso 2 reflete situações mais próximas do cotidiano da empresa.

**O Caso 1:** corresponde a um cenário onde todas as recomendações são negligenciadas; o resultado é um excesso de produtos estocados em depósito, e um aumento no custo de Capital de Giro em torno de 60%.

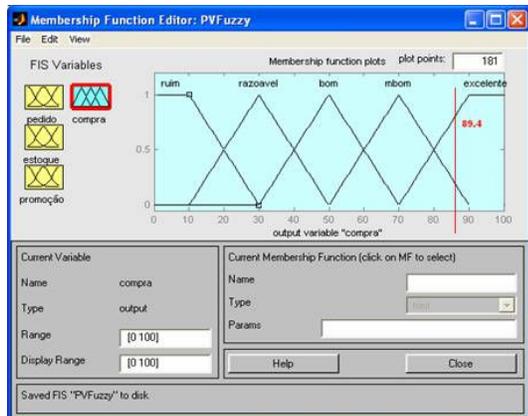
ENTRADA	PESOS		SAÍDA
PEDIDO	ESTOQUE	PROMOÇÃO	COMPRA
100	10	1	11.2
alto	alto	baixo	ruim



### Caso 1: Recomendações Negligenciadas

**O Caso 2:** apresenta um cenário onde as recomendações técnicas são seguidas corretamente, resultando num perfeito equilíbrio entre compra e financeiro, com maximização dos lucros e minimização dos custos em torno 40%.

ENTRADA	PESOS		SAIDA
PEDIDO	ESTOQUE	PROMOÇÃO	COMPRA
100	5	10	89.4
alto	medio	alto	excelente



## Caso 2: Recomendações Seguidas Corretamente

De acordo com os especialistas consultados, todos os resultados situaram-se dentro das expectativas para os cenários considerados, o que demonstra que o sistema é suficientemente consistente para ser empregado em situações reais. De qualquer forma, caso necessário, é simples efetuar ajustes nos conjuntos fuzzy e na base de regras.

## 7. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi fornecer aos gestores do seguimento varejistas meios razoavelmente precisos e de baixo custo para prever variações em vendas, de modo a auxiliá-los na tomada de decisões de caráter estratégico. Para atingir esse objetivo foi desenvolvido um sistema baseado na lógica fuzzy que calcula as variações nas vendas a partir de informações sobre fatores que podem afetá-la. O sistema proposto foi avaliado favoravelmente por especialistas e o próximo

passo será testá-lo em condições reais, de modo a confirmar sua aplicabilidade.

O procedimento descrito neste trabalho pode ser executado em qualquer equipamento utilizado na empresa, permitindo uma atualização de sua previsão de venda cada vez que surgir alguma nova informação relevante. Além disso, o programa desenvolvido pode ser utilizado para simulações de casos, proporcionando uma avaliação do impacto de diversas alternativas de uso dos recursos financeiro e servindo, desta forma, como um instrumento de apoio à decisão para a empresa.

## 8. Referências

- [1] Altrock, C. (1995). Fuzzy Logic & Neuro-Fuzzy Applications Explained, Prentice-Hall.
- [2] Cox, E. (1994). The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems, A.P Professional.
- [3] Driankov, D.; Hellendorn, H.; Rheinfrank, M. (1993). An Introduction to Fuzzy Control, Springer-Verlag.
- [4] Mendel, J.M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: a Tutorial, Proc. IEEE, 3: 345-376.
- [5] Shaw, I.S.; Simões, M.G., 1999. Controle e Modelagem Fuzzy.
- [6] Turban, E.; Aronson, J. E., 2001. Decision support systems and intelligent systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.
- [7] Wang, Li-Xin., 1997. A Course in Fuzzy Systems and Control.
- [8]. Chen, Z. Computational Intelligence for Decision. Support. New York: CRC Press LLC, 2000.