5CONTECSI June 04 - 06, 2008 São Paulo, Brazil

5th International Conference on Information Systems and Technology Management
5º Congresso Internacional de Gestão da Tecnologia e Sistema de Informação
De 04 a 06 de Junho de 2008 - São Paulo - Brasil

PS-878

DECISION MAKING SYSTEM WITH THE PURPOSE TO BUY AND SELL EQUITIES USING FUZZY LOGIC

Claudio Robinson Tapié Pereira (University of São Paulo, Sao Paulo, Brazil) – claudio.pereira@poli.usp.br
Flavio Almeida de Magalhães Cipparrone (University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil) – flavio@lps.usp.br

The Proteu System is a decision-making system with the purpose of supporting a technical analyst issuing (impartial and rational) buy and sell signals for a financial asset. The system use, for the decision-making process, an inference engine based on Fuzzy Logic and technical indicators (e.g. Moving Averages, MACD and RSI). The simulation shows that the system is able to generate profits in a consistent manner and with a lower volatility than the market for BOVESPA Index.

Keywords: decision-making systems, fuzzy logic, forecasting, simulation, artificial inteligence.

SISTEMA DE TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRA E VENDA DE ATIVOS FINANCEIROS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

O Sistema Proteu é um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros que visa auxiliar a figura do analista técnico (de modo imparcial e racional), informando quando existe uma boa oportunidade para se comprar ou vender um determinado ativo (e.g. ações). Utilizaram-se, como base para as suas decisões, técnicas de inteligência artificial (Lógica Fuzzy) e indicadores técnicos (Médias Móveis, MACD e RSI). As simulações mostram que o sistema conseguiu gerar resultados de forma consistente e com menor volatilidade que o mercado para o Índice BOVESPA.

Palavras-chave: sistema de tomada de decisão, lógica fuzzy, previsão, simulação, inteligência artificial.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios (se não, o maior!) que existe atualmente no mercado financeiro é a questão de quando seria o melhor momento para se comprar ou vender um determinado ativo. Será que a Bolsa de Valores vai subir ou vai cair amanhã? E Petrobrás, Vale do Rio Doce, Lojas Americanas... será que é um bom momento para comprar ou vender?

Quando um analista financeiro toma uma decisão, geralmente, esta decisão é baseada em algumas informações que foram coletadas ao longo do tempo (jornais, TV, análises de balanços, análises técnicas, etc) e raramente na "sorte", a partir do momento que o analista possui todas as informações que julga ser relevante para tomar a sua decisão, a decisão é tomada.

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema especialista de suporte a decisão, chamado Proteu[1], capaz de simular o comportamento de um analista financeiro, gerando recomendações de compra ou venda para ativos de modo imparcial, racional, ágil e com menor risco. Para tanto, utilizou-se mecanismos de inferência baseados em Lógica Fuzzy, e Indicadores Técnicos, os quais servem como base para simular o conhecimento do especialista.

Diferentemente de um Trading System, este sistema não possui a capacidade de operar ativos, mas sim, fornecer informações com as possibilidades de alta (ou baixa) destes. Na prática, funcionaria como uma ferramenta de suporte à decisão na etapa de análise do processo de investimento feita por um analista (seja ele um trader, um gestor de fundos ou um homebroker). A idéia na utilização desta ferramenta é evitar que com que o analista tome decisões precipitadas ou irracionais, o que poderia levá-lo a um prejuízo.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nos capítulos que se sucedem, serão feitas a fundamentação lógica do trabalho (BONESIO, 2006). Primeiramente, pretende-se apresentar o funcionamento básico e a estrutura do mercado de capitais (2.1). Posteriormente será apresentado o funcionamento do mercado acionário (2.2) e do mercado a vista (2.3), onde se tem a principal área de atuação do sistema Proteu. Ainda no campo da Economia, serão apresentados algumas teorias do conhecimento existentes (2.4 ao 2.6). No capítulo 2.7 será apresentado uma introdução aos modelos de análise técnicas que serão empregados no sistema, suas principais funções e metodologias de cálculos. Após o encerramento dos temas de cunho "Econômico", dar-se-a início a introdução a Lógica Fuzzy e seu funcionamento (2.8). No capítulo 3 será apresentado como os indicadores técnicos e a Lógica Fuzzy se relacionam para que o sistema consiga simular o comportamento de um especialista.

No capítulo 4, serão apresentados os principais resultados obtidos pelo sistema, através das simulações dos dados históricos. Neste capítulo são realizadas diversas comparações de desempenho do sistema em relação ao mercado e em relação a cada um dos modelos técnicos trabalhando de forma isolada. Finalmente, serão realizados alguns comentários finais (5), comparando-se os resultados esperados com os resultados obtidos, além de trabalhos futuros.

[1] Proteu: Deus da mitologia grega que tem o poder de conhecer o passado, presente e o futuro.

2 METODOLOGIA

2.1 MERCADO DE CAPITAIS

O mercado de capitais é um sistema de distribuição de valores mobiliários, que tem o propósito de proporcionar liquidez aos títulos de emissão de empresas e viabilizar seu processo de capitalização. O mercado de capitais é constituído pelas bolsas de valores, sociedades corretoras e outras instituições financeiras autorizadas (BERTOLO, 2002).

Os principais títulos negociados no mercado de capitais são as ações, debêntures, commercial papers, entre outros (LIMA, 2006).

A principal fonte do financiamento dos investimentos de um país é constituída pela poupança individual e das empresas. À medida que o nível dessa poupança cresce, maiores são os recursos disponíveis a serem utilizado no desenvolvimento econômico de um país. Esse processo constitui um ciclo onde maiores níveis de poupança geram mais investimentos que por sua vez gera uma maior renda da população que novamente gera maiores níveis de poupança e assim por diante (FORTUNA, 2007).

À medida que as empresas se expandem, necessitam de mais recursos que podem ser obtidos de três maneiras: empréstimos de terceiros, reinvestimento de lucros e participação dos acionistas. As duas primeiras fontes de recursos são geralmente limitadas, e as empresas as usam para manter a sua atividade operacional. Porém é através da participação dos acionistas, o sócio da empresa, que a empresa consegue obter recursos não exigíveis, como contrapartida à participação no seu capital (FORTUNA, 2007).

Através dos novos recursos, as empresas são capazes de investir em novos equipamentos ou no desenvolvimento de pesquisas, melhorando o processo produtivo da empresa e beneficiando toda a comunidade. O investidor em ações, através deste ciclo, contribui para a produção de bens, dos quais ele também é consumidor. Como sócio da empresa ele se beneficia da distribuição de dividendos sempre que a empresa obtiver lucros (FORTUNA, 2007).

2.2 MERCADO DE AÇÕES

As bolsas de valores são associações civis, sem fins lucrativos e com funções de interesse público (BOVESPA,1999). Além de seu papel básico de oferecer um mercado para a cotação dos títulos nelas registrados, orientar e fiscalizar os serviços prestados por seus membros, facilitar a divulgação constante de informações sobre as empresas e sobre os negócios que se realizam sobre o seu controle, as bolsas de valores propiciam liquidez às aplicações de curto e longo prazo, por intermédio de um mercado contínuo, representado por seus pregões diários. É por meio das bolsas de valores que se pode viabilizar um importante objetivo do capitalismo moderno: o estímulo à poupança do grande público a ao investimento em empresas em expansão, que, diante desse apoio, poderão assegurar as condições para o seu desenvolvimento (LIMA, 2006).

Os títulos negociados na bolsa de valores fazem parte do mercado secundário. A distinção entre mercado primário e secundário é muito importante do ponto de vista econômico, já que põe em relevo a forma como se dá o fluxo de

recursos para o financiamento, principalmente das empresas, e mostra através de que mecanismos esse fluxo pode ser mantido ou aumentado (FORTUNA, 2007).

É no mercado primário onde ocorre a colocação de ações ou outros valores mobiliários, provenientes de novas emissões. As empresas recorrem ao mercado primário para completar os recursos que necessitam, visando financiamento de seus projetos ou seu emprego em outras atividades produtivas (LIMA, 2006).

O mercado secundário é aonde os títulos já existentes se transferem de um proprietário para outro. O valor transacionado nesse mercado não é canalizado para a empresa (STEVEN, 2006).

Sob o ponto de vista econômico, não significa aumento ou diminuição de recursos para financiar novos projetos. A função desse mercado é fornecer liquidez aos papéis (ativos financeiros) negociados no mercado primário.

Esse mercado é, pois, tão importante quanto o primário, uma vez que sua existência é condição para o funcionamento do outro. Os ativos financeiros não encontram colocação no mercado primário se não contarem com um mercado secundário organizado capaz de dar liquidez a esses papéis (FORTUNA, 2007).

2.3 O MERCADO À VISTA

Os preços das ações são formados em pregão, movidos principalmente pelas forças de oferta e demanda de um determinado papel (LIMA, 2006). A maior oferta ou demanda por uma determinada ação, é causada principalmente pelas perspectivas futuras da empresa emissora, aí incluindo-se sua política de dividendos, prognósticos de expansão de seu mercado e dos seus lucros, influência das políticas monetárias, etc.

- Negociação

A realização de negócios no mercado à vista requer a intermediação de uma Sociedade Corretora que poderá executar, em pregão, a ordem de compra ou venda de seu cliente através dos operadores ou ainda autorizar a transação através do sistema eletrônico da corretora, utilizando para isso o Home Broker da Corretora.

- Tipos de Ordem de Compra ou Venda

Ordem a mercado é a ordem através da qual o cliente especifica à Corretora apenas a quantidade e as características da ação desejada. A execução da ordem se dará assim que a corretora receber a ordem, independentemente do preço.

Ordem Administrada é a ordem através da qual o cliente delega à corretora o momento de execução da compra ou venda da ação. O cliente deve especificar apenas a quantidade e as características da ação desejada.

Ordem Limitada é a ordem através da qual a execução só ocorrerá se o preço for igual ou melhor do que indicado pelo investidor.

- Direitos e Proventos

As empresas propiciam benefícios a seus acionistas sob a forma de proventos ou o direito de preferência na aquisição de ações.

Dividendo – valor representativo de parte dos lucros da empresa, que é distribuído aos acionistas, em dinheiro, por ação possuída. Por lei, um mínimo de 25% do lucro líquido do exercício deve ser distribuído entre os acionistas.

Juros sobre o Capital – por uma vantagem fiscal, algumas empresas pagam uma remuneração em dinheiro aos acionistas. Desta maneira, essa

despesa é contabilizada como custo e, portanto, diminui a quantidade de imposto de renda paga pela empresa em comparação com a distribuição de dividendos.

Bonificação – uma ação nova, proveniente de aumento de capital por incorporação de reservas, que é distribuída, gratuitamente, aos acionistas, na proporção das originalmente possuídas. Eventualmente, a empresa pode optar por distribuir essas reservas, ou parte delas, em dinheiro, gerando o que se denomina bonificação em dinheiro.

Direito de Subscrição – uma preferência dada aos acionistas na compra de novas ações. O acionista poderá transferir o direito de subscrição a terceiros, por meio de venda desse direito em pregão.

2.4 MERCADOS EFICIENTES

A Hipótese dos Mercados Eficientes (sigla em inglês EMH), definida por Fama (1970), diz que os preços de qualquer mercado se ajustam rapidamente à chegada de novas informações e, portanto, os preços correntes dos ativos já refletem todas as informações disponíveis. Esse processo ocorre devido ao grande número de participantes que analisam e precificam esses ativos. Essa teoria pressupõe que exista:

1) Competição perfeita, ou seja, existe um número suficiente de participantes, o que implica que nenhuma ação individual pode afetar significativamente os preços.
2) Expectativas homogêneas e racionalidade: os traders são totalmente informados, têm acesso igualitário aos mercados e agem racionalmente.
3) Ausência de fricções, os ativos são homogêneos, divisíveis e não há custos transacionais.

Existem três formas de EMH, a forma fraca, a semi-forte e a forte.

A forma fraca assume que os preços dos ativos refletem todas as informações relacionadas ao mercado de capitais, como por exemplo, séries históricas de retornos não devem conter relações com séries de retornos futuras. Nesse contexto, nenhum *trading rule* ou *trading system* deve funcionar.

A forma semi-forte assume que os preços dos ativos refletem todas as informações públicas disponíveis, não só as relacionadas com o mercado de capitais, como na forma fraca.

A forma forte assume que os preços dos ativos refletem todas as informações públicas e privadas. Isto quer dizer que nenhum grupo possui acesso monopolístico às informações relevantes na formação dos preços.

2.5 FINANÇAS COMPORTAMENTAIS

O objetivo das finanças comportamentais estuda como a combinação de conceitos econômicos, sociológicos e psicológicos podem explicar os acontecimentos da economia, onde os investidores encontram dificuldades no exercício da plena racionalidade (SHLEIFER, 1999).

Uma grande parte da teoria econômica está baseada na premissa de que os mercados e as pessoas agem racionalmente e consideram de forma objetiva toda a informação disponível para a tomada de decisões. Entretanto, estudos encontraram evidências significativas que isto não ocorre todo o tempo. Estes pesquisadores observaram com freqüência que investidores evitam vender ações

cujos preços caíram, possivelmente para evitar a realização de que fizeram um investimento ruim. Igualmente, foi observado que investidores vendem ações cujos preços subiram, apesar de estarem abandonando um investimento absolutamente vencedor. Esse comportamento, ou seja, ficar com o investimento perdedor e vender o investimento vencedor está longe de ser racional.

Daniel Kahneman, que ganhou um prêmio Nobel de economia por seus trabalhos em *behavioral finance*, descreve e comprova que nem sempre as pessoas tomarão decisões racionais. Em uma das suas pesquisas (KAHNEMAN;TVERSKY, 1979), Kahneman e seu colega Tversky propuseram o seguinte problema. Imagine que uma doença rara apareceu em certa comunidade e que deverá matar 600 pessoas. Dois diferentes programas estão disponíveis para o combate à ameaça. Se o programa A for adotado, 200 pessoas serão salvas; se o programa B for adotado, existe 33% de probabilidade de que todos serão salvos e 67% de probabilidade de que ninguém será salvo.

Que programa você escolheria? Se a maioria de nós for avessa ao risco, as pessoas racionais preferirão a certeza do Plano A de salvar 200 vidas à aposta do plano B, que tem a mesma expectativa matemática, mas envolve assumir o risco de 67% de chance de que todos morrerão. Na experiência, 72% dos indagados escolheram a resposta avessa ao risco representada pelo Programa A.

Agora, consideramos o mesmo problema com outra formulação. Se o Programa C for adotado, 400 das 600 pessoas morrerão, enquanto o Programa D oferece 33% de probabilidade de que ninguém morrerá e 67% de probabilidade de que 600 pessoas morrerão. Observe que a primeira alternativa está agora expressa em termos de 400 mortes, em vez de 200 sobreviventes, enquanto o segundo programa oferece 33% de chance de que ninguém morrerá. Kahneman e Tversky relatam que 78% dos entrevistados prefiram o risco, optando pela aposta: eles não puderam tolerar a perspectiva da perda certa de 400 vidas.

Esse comportamento, embora compreensível, é incompatível com os pressupostos de conduta racional. A resposta a uma pergunta deveria ser a mesma, independentemente do cenário em que foi formulada.

2.6 ACOMPANHAMENTO DE TENDÊNCIAS

O Acompanhamento de Tendências entende que a natureza dos mercados é baseada na hipótese de que as expectativas das pessoas se ajustam lentamente e se manifestam em tendências de preços de longo prazo (MURPHY, 2003).

Preços, eventualmente, vão refletir todas as informações relevantes existentes no mercado sejam elas macroeconômicas, políticas ou outras. Inicialmente os preços podem não reagir ou ter uma reação exagerada às novas informações. Sinais de preços são freqüentemente de baixa qualidade - portanto eles necessitam serem filtrados para aumentar sua relevância. Por este motivo, a análise do comportamento dos preços e não dos fundamentos macroeconômicos do mercado é a base do processo de decisão do Sistema Proteu. Observa-se que os preços formam tendências complexas e difíceis de serem identificadas. Em geral, essas tendências são mais duradouras do que a maioria das pessoas consegue antever (MURPHY, 2006).

A metodologia utilizada pelo Sistema Proteu tem como objetivo capturar a maior parte de uma tendência – este sistema não possui a capacidade de antecipar tendências. Atua-se apenas após os preços já terem iniciado um

movimento. Apesar da confirmação da existência de uma tendência poder ser analisada através de variáveis estatísticas, não temos a condição de saber quando ocorre o início ou o fim de uma tendência até ela se tornar um dado histórico. Mercados em tendência podem ter flutuações de preços que podem significar ou não mudanças fundamentais de direção, de forma que, em geral, as tendências apresentam volatilidade. O objetivo, portanto, é capturar o maior movimento possível dentro de uma tendência e, ao mesmo tempo, minimizar a volatilidade (ou seja, minimizar o risco).

2.7 INDICADORES TÉCNICOS

A seguir, serão descritos os 3 (três) indicadores técnicos que serão utilizados como entrada do Sistema Proteu. A escolha destes indicadores foi realizada devido a facilidade na manipulação e efetuação dos seus cálculos e, principalmente, pelo fato de que cada um dos modelos representa um ponto de vista diferente quanto a previsão de comportamento do ativo analisado.

Assim, pretende-se simular o comportamento de um analista financeiro, o qual, observando a resposta de cada um dos modelos isoladamente, consegue tomar uma decisão com base em sua experiência.

Na figura a seguir (Figura 1), é possível observar o que foi descrito anteriormente:

Figura 1:- Representação do processo de tomada de decisão realizada por um analista financeiro (técnico)

Grosso modo, temos:

- Médias Móveis – Fornece tendências de longo prazo,
- MACD – Fornece tendências de curto prazo,
- RSI – Mostra a inércia com que altas (ou baixas) estão ocorrendo;

2.7.1 MÉDIAS MÓVEIS

A média móvel (Moving Average, sigla em inglês MA) é um dos indicadores de tendência mais antigos a ser utilizado na análise técnica. Ela é um tipo de indicador denominado rastreador. Os rastreadores podem ajudar a confirmar uma tendência quando esta se encontra no início. Porém podem fornecer informações imprecisas quando o mercado está andando de lado, ou seja, sem tendência definida (MURPHY, 2003) 0.

Este indicador é, na prática, uma média das cotações dos últimos n-dias.

Há basicamente cinco tipos de médias móveis: exponencial, simples, triangular, variável e pesada. Estas médias móveis podem ser aplicadas sobre qualquer informação do ativo, desde o volume, passando pelo preço de fechamento ou pelo preço de abertura (MURPHY, 2006).

A média móvel dos últimos n-dias é calculada da seguinte forma:

$$MA(n) = \frac{\sum_{i=1}^{n} Pi}{n}$$, onde Pi é o preço de fechamento do ativo no i-ésimo dia

Fórmula 1:- Média Móvel

Para o cálculo de uma média móvel simples de 25 dias, por exemplo, basta somar as cotações do ativo dos últimos 25 dias e dividir por 25. Para traçar o gráfico basta executar este procedimento para cada um dos dias do gráfico que queira visualizar. Obviamente que para obter a média móvel de n-dias para um determinado dia terá que haver obrigatoriamente cotações nos n dias anteriores. E isso pode nem sempre acontecer como no caso da entrada de um novo título na Bolsa de Valores.

Mas qual deve ser a média móvel utilizada? Essa resposta depende basicamente do tipo de peso que se pretende dar às cotações. No caso de uma média móvel simples, todas as cotações do título têm o mesmo peso ao longo do tempo. No caso da triangular, é dado mais peso às cotações que estão no meio do período de análise. No caso da exponencial é dado mais peso às cotações mais recentes. Na maioria dos casos, é utilizada a média móvel exponencial que produz melhores resultados na maior parte das situações (KIRKPATRICK; DAHLQUIST, 2006).

Outra questão pertinente no cálculo de uma média móvel exponencial é a determinação do número de dias que se deve usar no respectivo cálculo. Essa questão depende única e exclusivamente com o tipo de análise pretendida.

Para efetuar análises de médio-prazo geralmente utiliza-se a média móvel de 50 dias enquanto que para análises de longo prazo utiliza-se a média móvel de 200 dias. Tanto o valor 50 como o valor 200 são valores empíricos que resultam da experiência acumulada que comprovam que estes números produzem os melhores resultados (MURPHY, 2006)0.

A regra de decisão é a seguinte: toda vez que a média móvel mais “rápida”, ou seja, a que utiliza a menor janela de dias, cortar de baixo para cima a média móvel mais “lenta”, ou seja, a que utiliza uma janela de tempo maior, temos um sinal de compra. Caso o contrário ocorra, temos um sinal de venda.

Geralmente utiliza-se alguma regra complementar, para a confirmação do sinal emitido pela média móvel. Uma dessas regras utiliza o volume de ações negociadas no dia. Caso, após o sinal de compra emitido pela média móvel, o volume crescer por três dias consecutivos, o sinal está confirmado. Outra regra utiliza as cotações máximas intraday. Caso, após o sinal de compra emitido pela média móvel, a última cotação do dia for a cotação máxima ou estiver próximo dela, o sinal estará confirmado (MURPHY, 2006).

No gráfico a seguir (Gráfico 1), podemos verificar um exemplo do que foi explanado anteriormente:

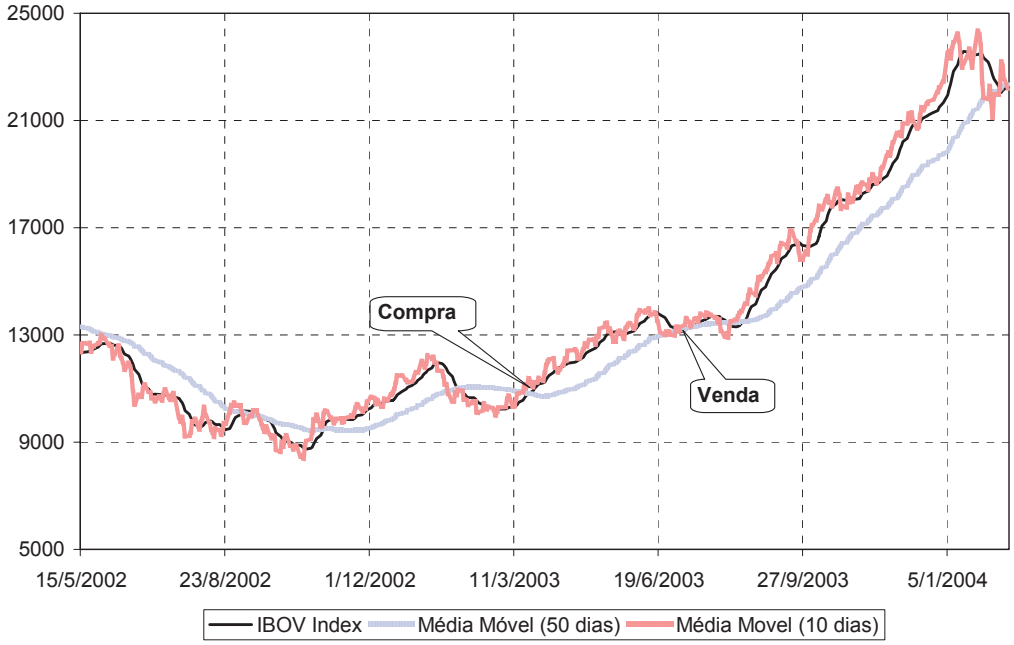

Gráfico 1:- Gráfico das Médias Móveis de 10 e 50 dias para o Índice BOVESPA.
Os pontos de Intersecção das médias móveis indicam pontos de compra e venda.
Fonte: BOVESPA/Adaptado

2.7.2 MACD

O indicador MACD (Média Móvel Divergente/Convergente), criado por Gerald Appel (1979), também é uma técnica de identificação de tendência. O indicador é calculado como a diferença entre uma média móvel de 26 dias e outra de 12 dias. Na sua forma original, as duas linhas de tendência foram produzidas usando médias exponenciais, ou seja, médias em que os dados mais recentes possuem mais peso do que os dados menos recentes. A média móvel exponencial (MME) é calculada da seguinte forma (MURPHY, 2003):

$$MME(n) = MME(n-1) + [\left(\frac{2}{n+1}\right) * (P(n) - MME(n-1))]$$

Fórmula 2:- Média Móvel Exponencial.

Uma média móvel exponencial de 9 dias, chamada de linha de *trigger,* é sobreposta à linha de MACD a fim de indicar os pontos de compra e venda.

Uma das formas mais básica na utilização do MACD gera recomendações observando-se a distância entre a linha de MACD e a linha de *trigger.* Um sinal de compra ocorre quando a linha de MACD está acima da linha de *trigger*. Analogamente, um sinal de venda ocorre quando a linha de MACD está abaixo da linha de *trigger* (MURPHY, 2006).

No gráfico a seguir (Gráfico 2), podemos verificar um exemplo do que foi explicado anteriormente.

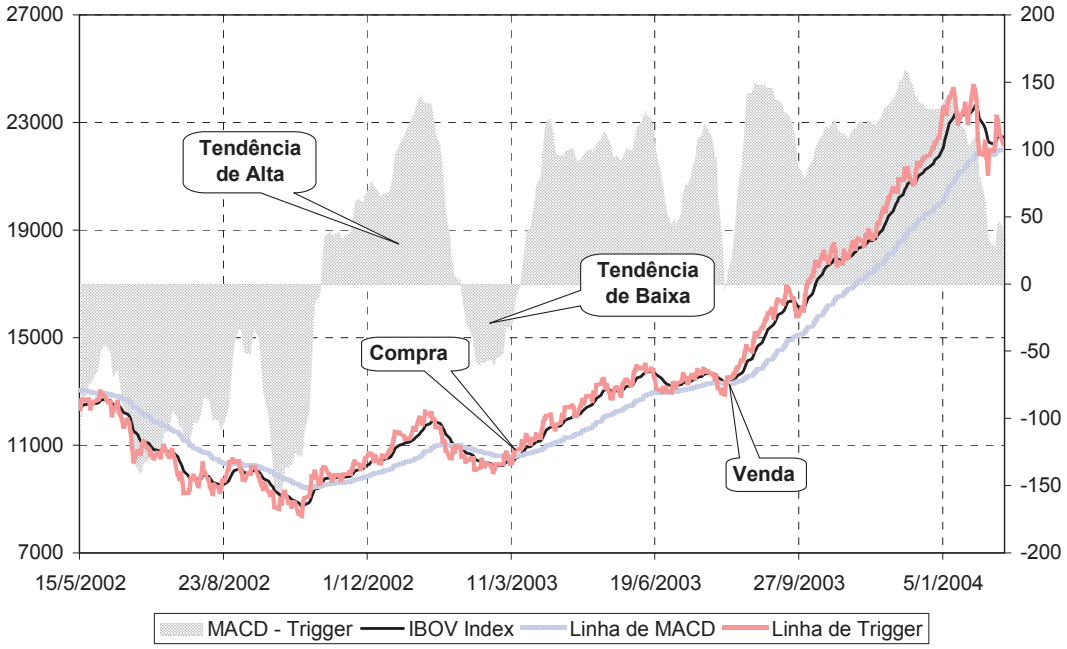

Gráfico 2:- Gráfico do Modelo Técnico MACD calculado para o Índice BOVESPA.

Fonte: BOVESPA / Adaptado

2.7.3 RELATIVE STRENGTH INDEX (RSI)

O RSI (ou Índice de Força Relativa, traduzindo-se para o português), criado por J. Welles Wilder (1987), é um dos indicadores mais importantes na identificação de situações de mercado *overbought* (sobre-comprado) e *oversold* (sobre-vendido). O RSI está na classe dos indicadores técnicos denominados de osciladores, pelo fato de serem comumente utilizados quando o mercado não apresenta uma tendência definida. O RSI é uma medida simples que expressa a força relativa de um movimento de preços e pode variar de 0 a 100. Normalmente são anteriores ou antecipados às tendências.

O RSI é calculado da seguinte maneira (MURPHY, 2003):

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS_i} \quad (1)$$

$$RS_{n=1} = \frac{GanhoMédio}{PerdaMédia} \quad (2)$$

$$RS_{n>1} = \frac{\left[(\text{Ganho Médio}(n-1)) * (n-1) + \text{GanhoAtual}\right] / n}{\left[(\text{PerdaMédia}(n-1)) * (n-1) + \text{PerdaAtual}\right] / n} \quad (3)$$

Fórmula 3:- Cálculo do Índice de Força Relativa.

Na tabela a seguir (Tabela 1) realizamos o cálculo do RSI para uma série de preços aleatória.

Tabela 1:- Cálculo do RSI para uma série de preços

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Data	**Fechamento**	Variação	Variação Positiva	Variação Negativa	Ganho Médio	Perda Média	RS	**RSI**
1	2/1/96	4390,1							
2	3/1/96	4681,5	291,4000	291,4000					
3	4/1/96	4684,1	2,6000	2,6000					
4	5/1/96	4694,3	10,2000	10,2000					
5	8/1/96	4741	46,7000	46,7000					
6	9/1/96	4653,9	-87,1000		-87,1000				
7	10/1/96	4622,2	-31,7000		-31,7000				
8	11/1/96	4748,7	126,5000	126,5000					
9	12/1/96	4846,6	97,9000	97,9000					
10	15/1/96	4895,4	48,8000	48,8000					
11	16/1/96	4846,8	-48,6000		-48,6000				
12	17/1/96	4836,2	-10,6000		-10,6000				
13	18/1/96	4833,9	-2,3000		-2,3000				
14	19/1/96	4909	75,1000	75,1000					
15	22/1/96	4893,8	-15,2000		-15,2000	49,9429	-13,9643	3,5765	78,1491
16	23/1/96	4985,2	91,4000	91,4000		52,9041	-12,9668	4,0800	80,3148
17	24/1/96	4945,2	-40,0000		-40,0000	49,1252	-14,8978	3,2975	76,7306
18	26/1/96	4907,7	-37,5000		-37,5000	45,6163	-16,5122	2,7626	73,4225

Para esse exemplo foi utilizado um período de 14 dias.

Primeiramente devemos separar as variações positivas das negativas, como está sendo feito nas colunas 5 e 6, e calcular as respectivas médias, como está sendo feito nas colunas 7 e 8. O primeiro RSI a ser calculado é simplesmente (1) aplicada à divisão entre as médias das variações positivas e negativas. Para os próximos valores de RSI, devemos utilizar a fórmula (3), onde as médias das variações do período anterior são utilizadas.

O RSI pode assumir valores que vão de 0 a 100. Um ativo será considerado overbought quando o RSI estiver apresentando um valor de 70, e nessa situação devemos considerar a venda do ativo. Esse número pode variar. Em um mercado em alta, alguns acreditam que o nível de 80 é mais adequado para indicar se um ativo está overbought. Da mesma maneira, se o RSI alcançar o nível de 30 o ativo é considerado oversold e devemos comprá-lo. Podemos novamente fazer o ajuste para 20 em um mercado em queda. Para este trabalho utilizou-se as valores padrões de 30 e 70 para oversold e overbought, respectivamente (MURPHY, 2003).

Quanto menor o número de dias utilizado na análise, mais volátil será o RSI e mais freqüentemente irá alcançar os extremos. Diferentes ativos nos mais diversos setores possuem períodos ótimos diferentes a serem utilizados no cálculo do RSI. Uma boa maneira de descobrir qual é o período ideal para se realizar a análise é realizar um estudo com dados históricos e verificar para qual período utilizado o indicador mostrou um melhor resultado.

A utilização dos níveis de 30 e 70 como sendo os níveis de transição, foram recomendados pelo próprio autor do RSI, J. Welles Wilder (1987).

No gráfico a seguir (Gráfico 3), podemos verificar um exemplo do que foi explicado anteriormente:

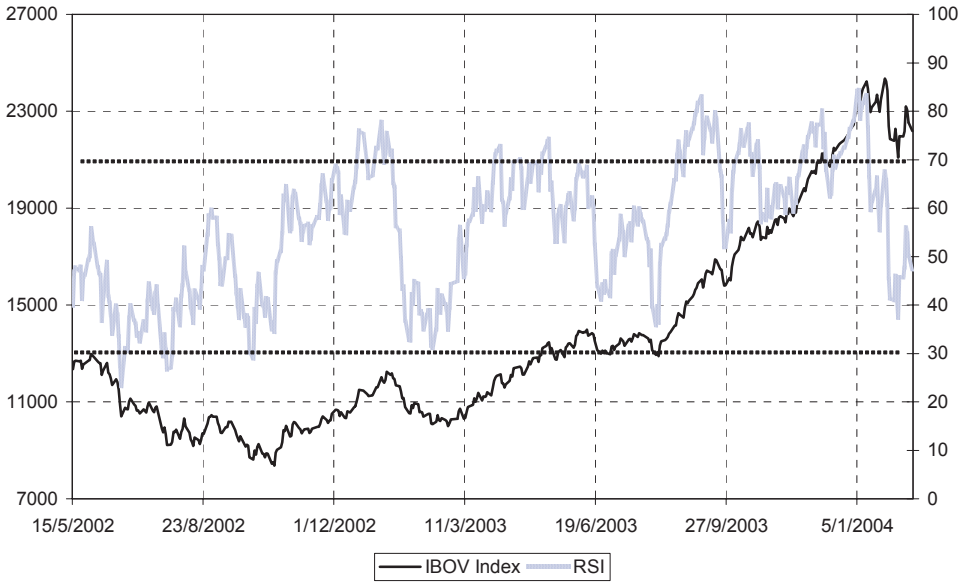

Gráfico 3:- Gráfico do Modelo RSI calculado para o Índice BOVESPA

Fonte: BOVESPA/Adaptado

2.8 LÓGICA FUZZY

2.8.1 INTRODUÇÃO

A teoria de conjuntos Fuzzy, inicialmente desenvolvida por Zadeh (1965) tem sido empregada com sucesso para exprimir conhecimento impreciso e resolver problemas em muitas áreas onde o processo de modelagem convencional é difícil, ineficiente ou muito oneroso (LEMOS, 2003).

Uma das aplicações da Lógica Fuzzy está relacionada a Sistemas Financeiros. Uma tomada de decisão em sistemas financeiros supõe o tratamento de conceitos vagos, subjetivos, também baseadas em aspectos qualitativos, descritos e apresentados em linguagem natural (“palavras”) (ANDRADE, 2005).

Uma das grandes barreiras na construção de sistemas que envolvem conhecimento especialista é a dificuldade na obtenção e modelagem desse conhecimento. O especialista utiliza expressões vagas, termos aproximados e até mesmo raciocínio impreciso e incompleto para exprimir seu conhecimento (LEMOS, 2003). Com a Lógica Fuzzy, a possibilidade de descrição lingüística do modelo, ao invés de utilização das equações diferenciais, possibilita o aproveitamento do conhecimento heurístico dos operadores e facilita o desenvolvimento de soluções.

Neste trabalho propõe-se a modelagem de um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros utilizando mecanismos de inferência baseados em Lógica Fuzzy. Deste modo, pretende-se obter informações de forma mais eficiente para o processo decisório.

As etapas envolvidas na criação de um sistema de controle Fuzzy, conforme sugerido por Mamdani (1977) no final dos anos 70, consiste, basicamente, em três passos:

1. Fuzzificação: descrição gráfica de uma situação
2. Determinação das regras: aplicação das regras Fuzzy
3. Defuzzificação: obtenção de uma resposta única (crisp)

2.8.2 MODELAMENTO FUZZY DO CONHECIMENTO ESPECIALISTA

Buscando simular o conhecimento especialista de um analista técnico de ativos financeiros, utilizou-se 3 (três) modelos técnicos (MA, MACD e RSI – onde, conforme descritos anteriormente, cada um destes modelos detecta tendências de pontos de vista diferentes para o ativo analisado) como entrada do sistema. Portanto, para modelagem do sistema proposto, utilizou três variáveis lingüísticas (MA, MACD e RSI). Apesar da incompletude e imprecisão do conhecimento obtido foi possível modelar as variáveis envolvidas, criar a base de regras fuzzy e gerar simulações satisfatórias no Excel. Mostrando que, utilizando esta técnica de inteligência artificial, foi possível obter resultados melhores do que se estivesse utilizando os modelos técnicos de forma isolada.

2.8.2.1 O MODELAMENTO DAS VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Uma vez identificadas as variáveis lingüísticas, determinou-se para cada variável, o seu universo de discurso, a partição do conjunto de termos e os respectivos conjuntos fuzzy.

2.8.2.2 ENTRADAS

Para a definição das entradas do sistema, realizou-se uma série de testes para verificar qual seria a melhor partição do universo de discurso ou a melhor definição para o conjunto fuzzy a ser utilizada para o sistema.

RSI - O Gráfico 4 mostra um dos conjuntos fuzzy inicialmente definido para variável lingüística **RSI**. Essa variável representa o quão grande ou pequena é a força relativa de um movimento de preços de um determinado ativo. Quanto maior o seu valor, maior é a chance de se iniciar um movimento de queda deste ativo e, inversamente, quanto menor o seu valor, maior é a chance de ocorrer uma alta.

Variável lingüística: **RSI**
Universo de discurso: 0-100
Valores lingüísticos: *Pequeno, Grande*

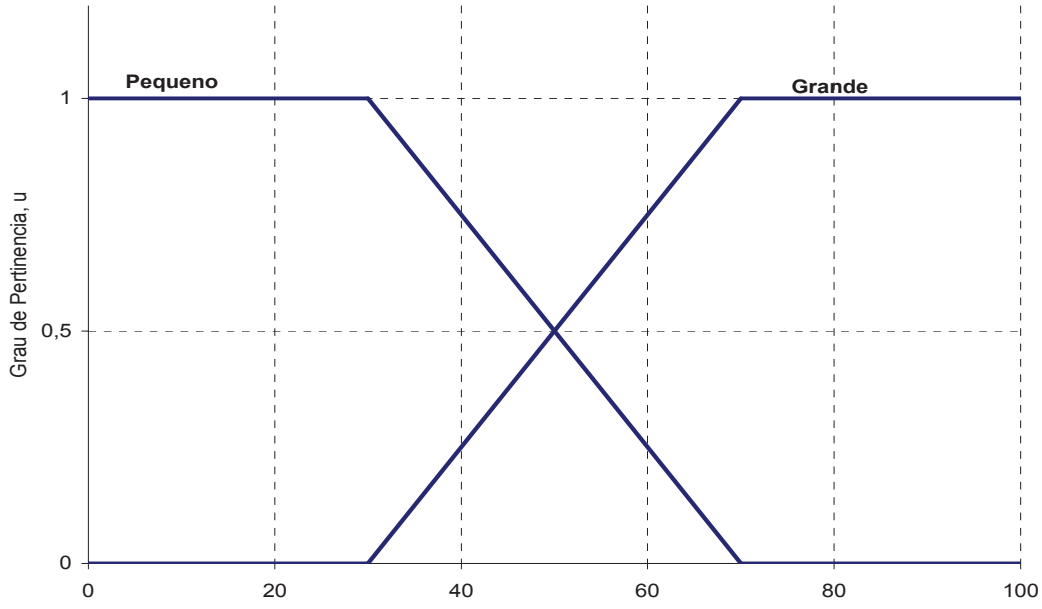

Gráfico 4:- Representação inicial da variável lingüística RSI

Posteriormente, verificou-se que (através da magnitude das respostas dos modelos técnicos RSI), seria mais adequado utilizar os seguintes conjuntos fuzzy, conforme apresentado na figura a seguir (Gráfico 5):

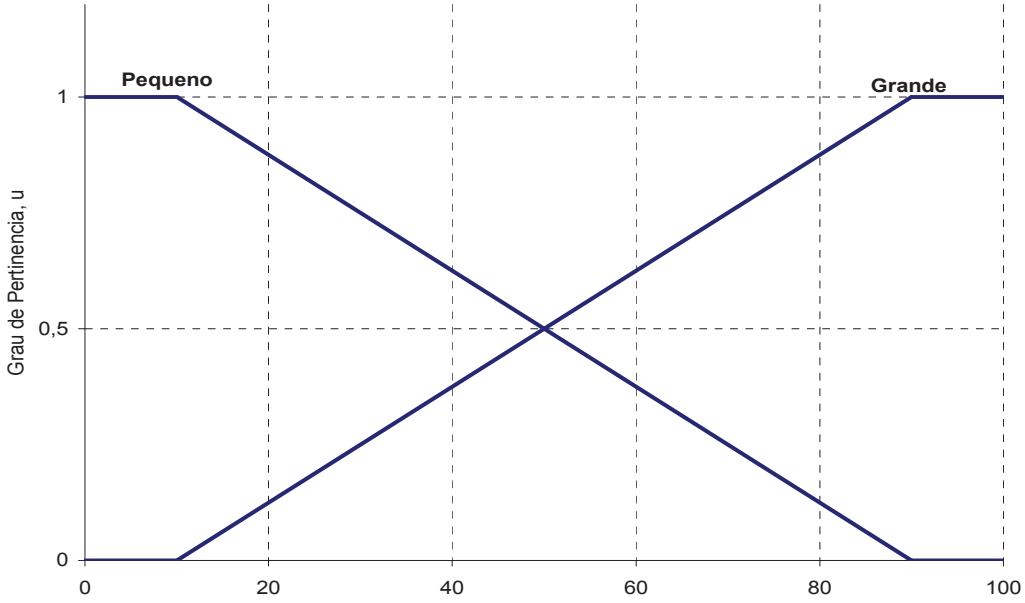

Gráfico 5:- Representação da variável lingüística RSI utilizada no modelo

MACD e MA - O Gráfico 6 mostra os conjuntos fuzzy inicialmente utilizado para as variáveis lingüísticas **MACD e MA**. Estas variáveis representam o valor da diferença entre as respectivas médias móveis utilizadas em cada modelo, divididas por duas vezes o desvio padrão destas diferenças para um período de 20 dias. Quanto mais positivo o seu valor, maior será a tendência de alta deste ativo e, inversamente, quanto mais negativo o seu valor, maior a tendência de queda.

Vale ressaltar que, apenas para facilitar a leitura destes valores, normalizou-se estes resultados entre -200 e 200.

Variáveis lingüísticas: **MACD e MA**

Universo de discurso: 0-200

Valores lingüísticos iniciais: *Muito Negativo, Negativo, Neutro, Positivo, Muito Positivo*

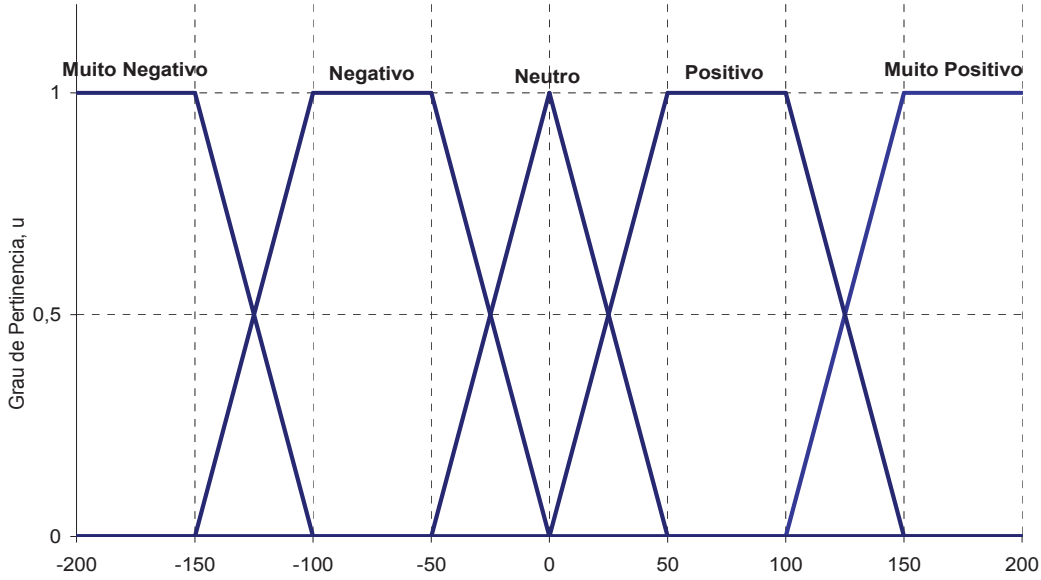

Gráfico 6:- Representação das variáveis lingüísticas inicialmente utilizadas para os modelos MACD e MA

Após a realização de algumas simulações, a partição do universo de discurso, bem como os conjuntos fuzzy foram redefinidos, de modo a reduzir o número de partições, porém, sem comprometer o seu desempenho. Com isto, foi possível reduzir o número de regras que foram utilizadas para este modelo.

A seguir (Gráfico 7), é apresentado os conjuntos fuzzy utilizados para as variáveis lingüísticas **MACD** e **MA**

Variáveis lingüísticas: **MACD e MA**

Universo de discurso: 0-200

Valores lingüísticos: *Negativo, Neutro, Positivo*

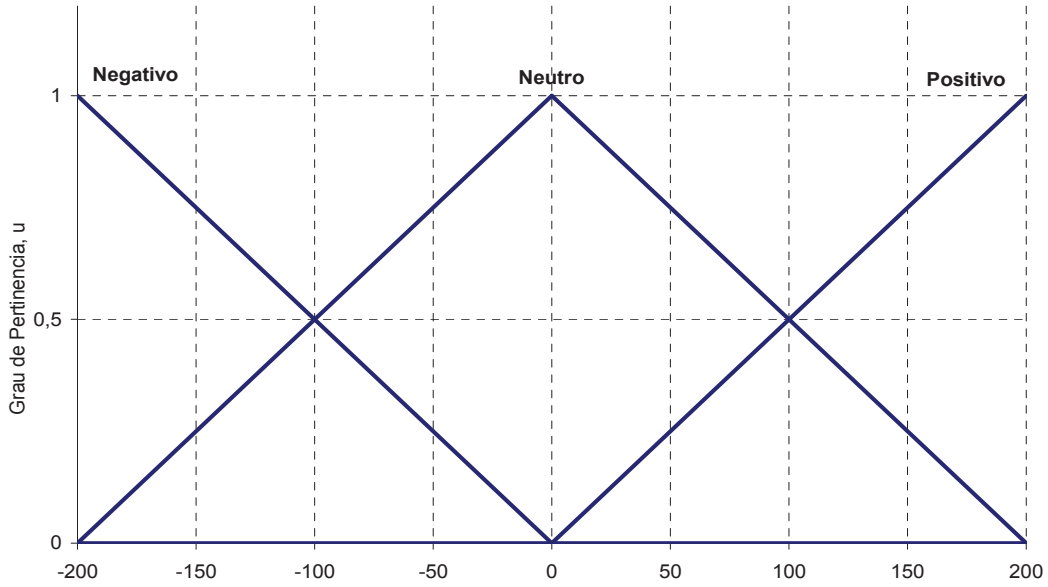

Gráfico 7:- Representação das variáveis lingüísticas MACD e MA

2.8.2.3 SAÍDA

STATUS - O Gráfico 8 mostra os conjuntos fuzzy da variável lingüística **STATUS**. Essa variável representa as respostas que podem ser atribuídas pelo sistema ao ativo em questão.

Variável lingüística: **STATUS**

Universo de discurso: 0-1

Valores lingüísticos: *Vender, Manter, Comprar*

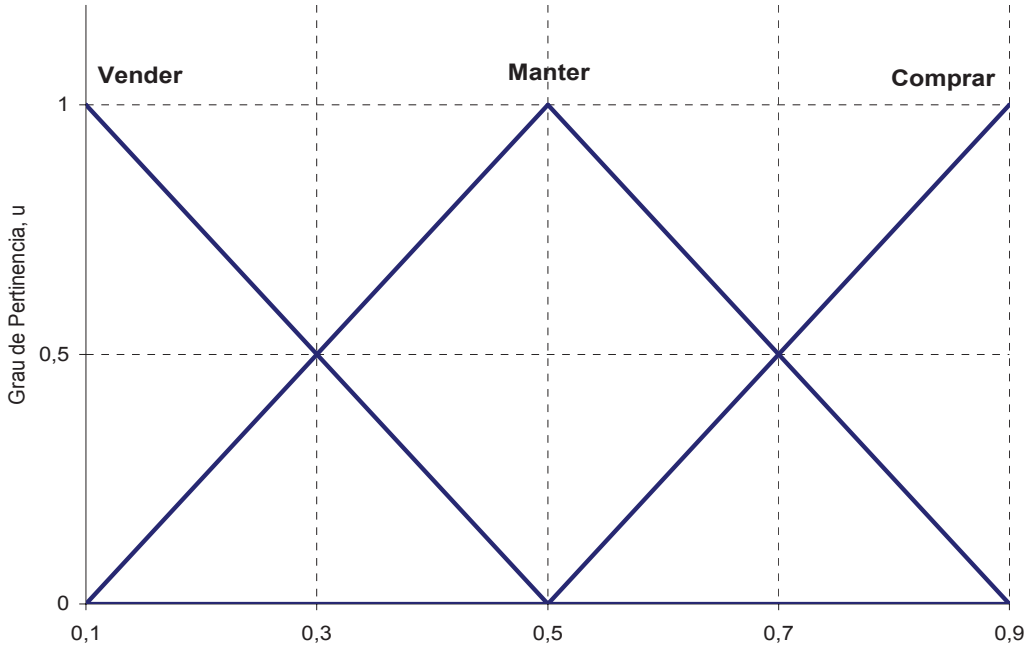

Gráfico 8:- Representação da variável lingüística STATUS

2.8.2.4 FUZZIFICAÇÃO

O processo de Fuzzificação é onde ocorre a transformação de entradas discretas, ou CRISP, em entradas Fuzzy, ou Nebulosas.

Tomando-se como exemplo a representação da variável lingüística RSI apresentada anteriormente (Gráfico 5), tem-se, para o modelo RSI indicando o valor discreto de 40, que o valor “fuzzificado” de RSI é PEQUENO com grau de pertinência 0,37 e GRANDE com grau de pertinência de 0,63.

2.8.2.5 BASE DE REGRAS FUZZY

Uma vez obtidas as entradas fuzzy, o modelo deverá realizar as inferências necessárias para gerar as saídas dos conjuntos fuzzy. Esse processo consiste na aplicação de regras que simulam o conhecimento do especialista.

Inicialmente, foram utilizadas 18 (dezoito - Tabela 2) regras no formato “Se-Então” para a montagem da base de regras do Sistema Proteu, porém, no decorrer da montagem do protótipo, a redução no número de regras para 10 (dez - Tabela 2), apresentou resultados melhores, mostrando que, nem sempre, sistemas mais complexos, são mais eficientes.

Esta base de regras, que simula o conhecimento especialista e que relaciona as diversas variáveis e seus respectivos valores, é descrita a seguir:

Se (RSI = Grande) E (MA = Positivo) E (MACD = Positivo),
Então (Resposta = Comprar)

Tabela 2:- Tabela com as 18 (dez) regras inicialmente utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro

REGRAS	RSI	MM	MACD	RESP
REGRA 1:	**PEQUENO**	**POSITIVO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 2:	**PEQUENO**	**POSITIVO**	**NEUTRO**	**COMPRAR**
REGRA 3:	**PEQUENO**	**POSITIVO**	**NEGATIVO**	**MANTER**
REGRA 4:	**PEQUENO**	**NEUTRO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 5:	**PEQUENO**	**NEUTRO**	**NEUTRO**	**MANTER**
REGRA 6:	**PEQUENO**	**NEUTRO**	**NEGATIVO**	**MANTER**
REGRA 7:	**PEQUENO**	**NEGATIVO**	**POSITIVO**	**MANTER**
REGRA 8:	**PEQUENO**	**NEGATIVO**	**NEUTRO**	**MANTER**
REGRA 9:	**PEQUENO**	**NEGATIVO**	**NEGATIVO**	**VENDER**
REGRA 10:	**GRANDE**	**POSITIVO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 11:	**GRANDE**	**POSITIVO**	**NEUTRO**	**MANTER**
REGRA 12:	**GRANDE**	**POSITIVO**	**NEGATIVO**	**MANTER**
REGRA 13:	**GRANDE**	**NEUTRO**	**POSITIVO**	**MANTER**
REGRA 14:	**GRANDE**	**NEUTRO**	**NEUTRO**	**MANTER**
REGRA 15:	**GRANDE**	**NEUTRO**	**NEGATIVO**	**VENDER**
REGRA 16:	**GRANDE**	**NEGATIVO**	**POSITIVO**	**MANTER**
REGRA 17:	**GRANDE**	**NEGATIVO**	**NEUTRO**	**VENDER**
REGRA 18:	**GRANDE**	**NEGATIVO**	**NEGATIVO**	**VENDER**

Após a exclusão de algumas regras redundantes, passou-se a utilizar o seguinte conjunto de regras:

Tabela 3:- Tabela com as 10 (dez) regras utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro

REGRAS	RSI	MM	MACD	RESPOSTA
REGRA 1:	**PEQUENO**	**POSITIVO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 2:	**PEQUENO**	**POSITIVO**	**NEUTRO**	**COMPRAR**
REGRA 3:	**PEQUENO**	**NEUTRO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 4:	**GRANDE**	**POSITIVO**	**POSITIVO**	**COMPRAR**
REGRA 5:	**PEQUENO**	**NEGATIVO**	**NEGATIVO**	**VENDER**
REGRA 6:	**GRANDE**	**NEUTRO**	**NEGATIVO**	**VENDER**
REGRA 7:	**GRANDE**	**NEGATIVO**	**NEUTRO**	**VENDER**
REGRA 8:	**GRANDE**	**NEGATIVO**	**NEGATIVO**	**VENDER**
REGRA 9:	**GRANDE**	**POSITIVO**	**NEUTRO**	**MANTER**
REGRA 10:	**PEQUENO**	**NEGATIVO**	**NEUTRO**	**MANTER**

2.8.2.6 DEFUZZIFICAÇÃO

A etapa de defuzzificação consiste na transformação dos valores fuzzy, calculados anteriormente, em valores discretos (ou CRISP). Para isto, utilizou-se o resultado da implicação obtida com cada regra e, através do método das médias ponderadas (HOLBERT, 2004)0, obteve-se um valor discreto, conforme apresentado a seguir:

$$\overline{B_k} = \frac{\sum_{i=1}^{p} m_i w_i}{\sum_{i=1}^{p} m_i}$$

Fórmula 4:- Cálculo pelo método das médias ponderadas.

Onde 'mi' é o grau de pertinência após a implicação de MANDANI (1977)0 para a i-ésima REGRA, e 'wi' é o peso associado a cada uma das “p” REGRAS.

2.8.2.7 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar o que foi explanado será apresentado um exemplo para todas as 10 regras descritas.

Na etapa de fuzzificação, onde ocorre a classificação das variáveis de entrada com relação às respectivas variáveis lingüísticas, utilizou-se os seguintes valores de entrada para as variáveis modeladas:

- **RSI** = 51 é **Pequeno** com grau de pertinência 0,493 e **Grande** com grau 0,507
- **MM** = 21 **Negativo** com grau de pertinência 0 (zero), **Neutro** com grau 0,894 e **Positivo** com grau 0,106
- **MACD** = 0 é **Negativo** com grau de pertinência 0 (zero), **Neutro** com grau 1 (um) e **Positivo** com grau 1 e Muito Positivo com grau 0 (zero)

O método de Mandani (1977)0 foi utilizado nesta simulação, porém, o método do produto de Larsen (1980) também poderia ter sido aplicado.

Portanto, aplicando-se o mínimo para cada umas das regras, obtemos a seguinte tabela:

Tabela 4:- Cálculo da Implicação das Regras

REGRAS	Implicação
REGRA 1:	0,00
REGRA 2:	0,11
REGRA 3:	0,00
REGRA 4:	0,00
REGRA 5:	0,00
REGRA 6:	0,00
REGRA 7:	0,00
REGRA 8:	0,00
REGRA 9:	0,00
REGRA 10:	0,11

No Gráfico 15 (ver ANEXO I), pode-se observar a projeção das regras sobre as variáveis de saída descritas anteriormente.

Utilizando-se o método de médias ponderadas (HOLBERT, 2004) na defuzzificação do sistema, o seguinte cálculo é realizado:

$$\overline{B_k} = \frac{\sum_{i=1}^{p} m_i w_i}{\sum_{i=1}^{p} m_i} = \frac{0 \times 0{,}9 + 0{,}11 \times 0{,}9 + \ldots + 0{,}11 \times 0{,}5}{0 + 0{,}11 + \ldots + 0{,}11} = 0{,}70$$

Onde 'mi' é o grau de pertinência da i(ésima) REGRA e 'wi' é o peso associado a cada REGRA.

Um outro método que poderíamos utilizar na etapa de defuzificação seria o do cálculo do centro de massas, o qual consiste a calcular o baricentro da figura formada pela união de todas as respostas apresentadas nas regras descritas anteriormente (como pode ser visualizado a seguir). Porém, devido a complexidade, do ponto de vista de implementação em uma planilha excel, este método não foi utilizado.

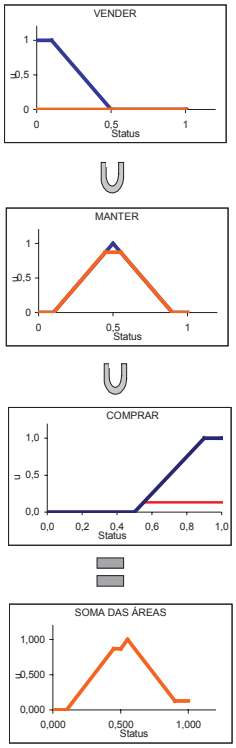

Gráfico 9:- Representação do método de cálculo do centro de massas.

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Sistema ***Proteu*** é um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros que utiliza Lógica Fuzzy e Indicadores Técnicos para simular o comportamento de um analista financeiro.

Diferentemente de um Trading System, não possui a capacidade de operar ativos, mas sim, fornecer informações com as possibilidades de alta (ou baixa) destes.

Este sistema pode ser alimentado com informações (e.g. preços de fechamento, preços de abertura, preços médios) de qualquer tipo de ativo que possua série histórica (e.g. ações, moedas, 'commodities'). Posteriormente, estas informações são processadas e as respostas de cada um dos indicadores técnicos (MA, MACD, RSI) são calculados e armazenados. No diagrama a seguir (Figura 2), pode-se observar o que foi descrito.

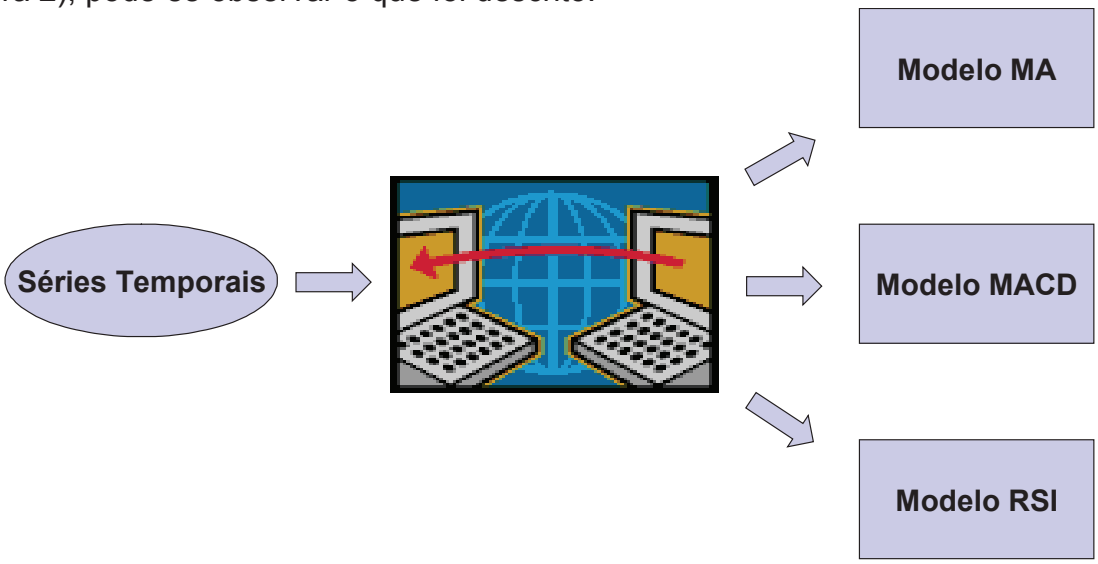

Figura 2:- Representação das Séries Temporais e dos Modelos Econômicos utilizados no Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy

Um banco de dados armazena as séries históricas e os resultados das simulações dos modelos técnicos fornecendo subsídios para o processo decisório. Neste momento ocorre a fuzzificação das respostas dos modelos técnicos.

O Sistema Especialista (Expert System) é a parte principal do sistema, capaz de informar ao usuário qual é a sua recomendação para o ativo em análise, com base nos dados históricos armazenados (fuzzificados) e por meio regras utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro. Então, através do processo de defuzzificação, o investidor obtém a recomendação de compra ou venda para um determinado ativo.

O diagrama a seguir (Figura 3), ilustra o que foi explanado anteriormente:

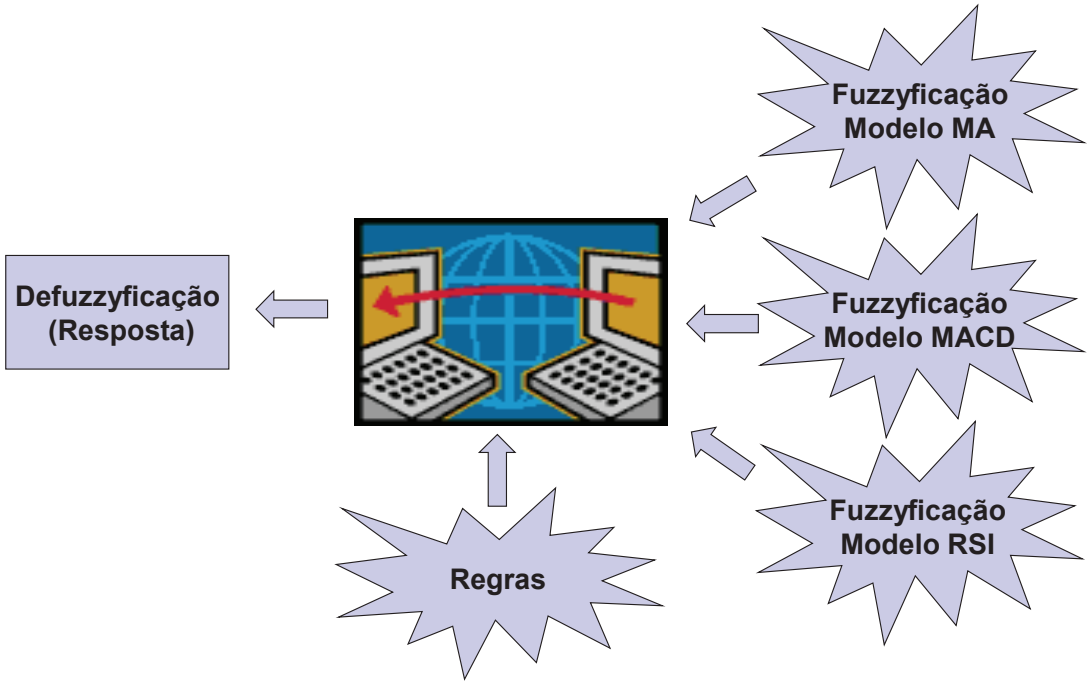

Figura 3:- Representação das etapas de Fuzzificação, Inferência das regras e defuzzificação do Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy

O protótipo deste sistema foi totalmente desenvolvido em planilhas Excel, pois, além de facilitar a manipulação de dados e alteração de variáveis, permite fácil instalação em qualquer computador provido de leitor de planilhas.

O esquema a seguir (Figura 4) representa a forma com que as planilhas foram modularizadas, de forma a permitir um melhor controle do processo.

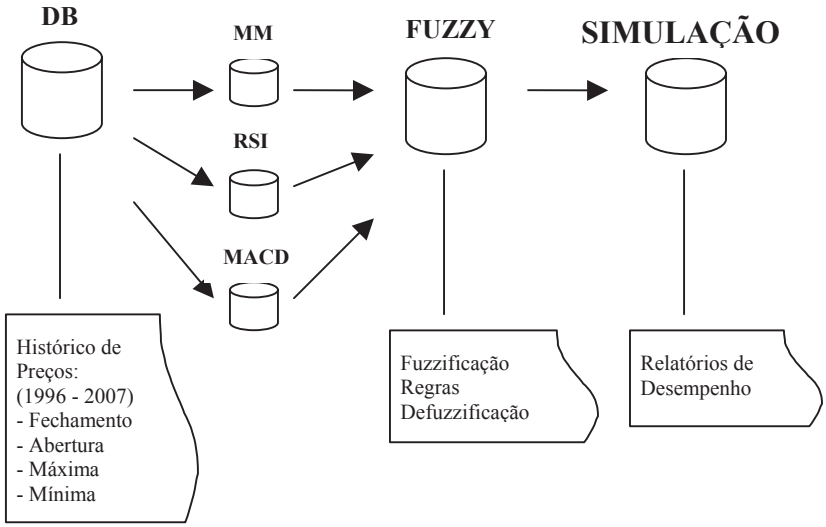

Figura 4:- Representação da modularização das planilhas utilizadas na construção do sistema

A dificuladade encontrada decorrente do uso de planilhas como protótipo é o grande tempo demandado durante a simulação de grandes bases de dados (aproximadamente 1 minuto para cada ano de simulação). Todas as simulações foram realizadas tomando-se como base 10 (dez) anos de dados históricos (de janeiro de 1998 a dezembro de 2007).

3.1 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

Como cada um dos modelos técnicos utiliza parametros variáveis para seus cálculos (e.g. Média Móvel de 10 dias, Média Móvel Exponencial de 50 dias, Desvio Padrão de 20 dias), estes parâmetros podem variar de acordo com os ativos analisados (MURPHY, 2003), portanto, é necessário realizar uma pré-calibração destes modelos.

Para evitar que ocorra algum tipo de maximização de resultados, deve-se tomar o cuidado de utilizar uma base de dados anterior ao período de simulações.

Neste caso, a pré-calibração ocorreu com base nos preços de fechamento dos ativos analisados para o período janeiro de 1996 a dezembro de 1997, permancendo as variáveis inalteradas para os períodos subsequentes (janeiro de 1998 a dezembro de 2007).

Após a parametrização dos modelos técnicos as simulações podem ser realizadas.

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Para efetuar a validação do Sistema, foram criados 2 (dois) “Trading Systems” (é importante ressaltar que este não é o propósito original do Proteu, tal análise foi realizada apenas e então somente para a demonstração da potencialidade do sistema), onde, no primeiro, não são utilizadas regras fixas para zerar uma posição caso esteja ocorrendo prejuízo; e, no segundo, as regras de STOP/LOSS são utilizadas (ou seja, determinação de alguma métrica para finalizar a posição).

Utilizou-se uma massa de dados com os valores de fechamento do Índice Bovespa - IBOVESPA - (BOVESPA, 2007), no período de 1998 a 2007, para verificar se as sugestões fornecidas pelo sistema foram corretas. Em outras palavras, deve-se verificar se o investidor que aplicasse o seu dinheiro conforme as decisões do sistema conseguiria obter bons resultados.

Os resultados foram comparados com o modelo padrão “Buy-and-Hold”; tal modelo consiste em simplesmente comprar determinado ativo e permanecer comprado durante todo o período de análise e é um dos modelos mais básicos para se verificar a eficiência de um sistema.

Foram realizadas também comparações com os modelos técnicos trabalhando de forma isolada, permitindo assim, verificar o quão eficiente é o modelo fuzzy é em relação a cada um dos modelos técnicos.

4.1.1 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

As respostas obtidas pelo sistema são baseadas no histórico do ativo analisado, e seus valores são apresentados diariamente na forma de possibilidades (e.g. 7/1/1998 – Possibilidade de Alta ≈ 70%).

Para a análise utilizou-se o seguinte critério para operar um ativo (conforme cada modelo):

1. MODELO FUZZY (SEM utilização de regras de STOP/LOSS)
   - Enquanto a Resposta Fuzzy for maior que 70%, comprar (ou permanecer comprado);
   - Enquanto a Resposta Fuzzy for menor que 30%, vender (ou permanecer vendido);
   - Enquanto a Resposta Fuzzy estiver entre 70% e 30%, zerar (ou permanecer zerado).

2. MODELO FUZZY STOP (COM utilização de regras de STOP/LOSS)
   - Se a posição do sistema estiver ZERADA e a Resposta Fuzzy for maior que 70%, comprar;
   - Se a posição do sistema estiver ZERADA e a Resposta Fuzzy for menor que 30%, vender;
   - Se a posição do sistema estiver COMPRADA e o Preço Atual < MAX(Preço da Posição Atual), zerar;
   - Se a posição do sistema estiver VENDIDA e o Preço Atual > MIN(Preço da Posição Atual), zerar.

Onde MAX(...) e MIN(...) significa, respectivamente, o Máximo e o Mínimo Preço Alcançado pelo Ativo desde o momento inicial da operação.

Não houve qualquer tipo ou tentativa de maximização de resultados para o período analisado, sendo que este critério de operação foi adotado de modo aleatório.

4.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

A seguir (Gráfico 10), é apresentado o resultado da simulação para o ativo em questão (IBOVESPA).

Foi escolhido este índice em detrimento das próprias ações pois estas, durante períodos muito longos, geralmente, apresentam alterações (e.g. distribuição de dividendos, grupamento de ações, etc.) que afetam a cotação histórica do ativo de modo abrupto, impedindo assim, uma correta análise de tendências.

Além disto, se os resultados se mostrarem promissores para o IBOVESPA, isto significa que, para grande parte dos papeis que possuem uma correlação positiva com o IBOVESPA, também apresentariam bons resultados se utilizados neste sistema.

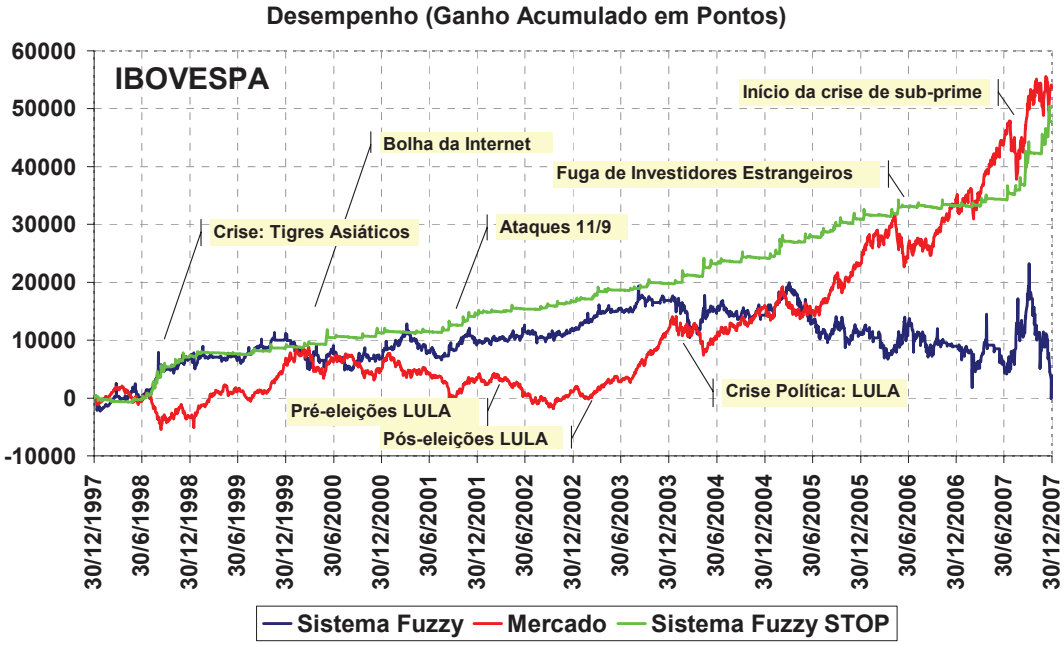

Gráfico 10:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema versus Valor Acumulado do mercado, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

Fonte: BOVESPA/Adaptado

O Gráfico 10 e o Gráfico 11 representam uma comparação entre os resultados acumulados do mercado e do sistema (SEM regras de STOP/LOSS e COM regras de STOP/LOSS), além dos indicadores técnicos MM, MACD e RSI. Ambos foram inicializados com posição inicial igual a zero. O ganho acumulado é mensurado na mesma unidade do mercado, ou seja, se o sistema "compra" o ativo a 60,00 e "vende" a 70,00, seu lucro é de 10,00.

Vale ressaltar que nenhuma corretagem, ou taxa por operação é computada. Além disto, não existe qualquer tipo de remuneração no período que o sistema não opera.

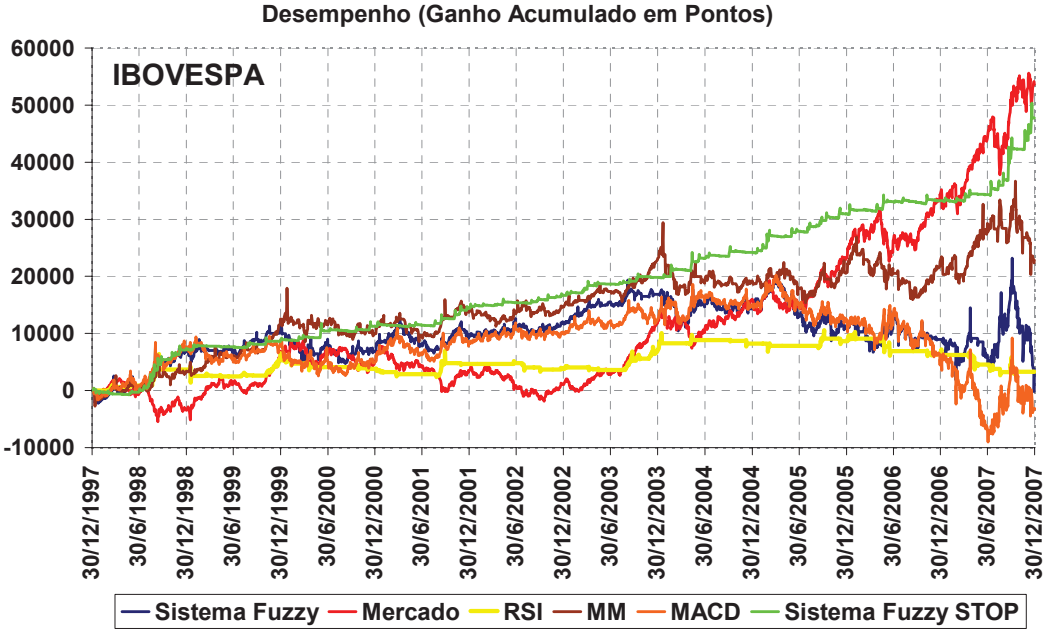

Gráfico 11:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema versus Valor Acumulado do mercado e Modelos Técnicos, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

Fonte: BOVESPA/Adaptado

O Gráfico 12 e o Gráfico 13 representam o ganho acumulado por operação realizada durante o período analisado para os modelos FUZZY e FUZZY STOP. O ganho acumulado é mensurado na mesma unidade do mercado, conforme observado anteriormente. Sempre que o sistema "zera" sua posição, o sistema retorna a posição inicial igual a zero. Novamente, nenhuma corretagem, ou taxa por operação é computada. Além disto, não existe qualquer tipo de remuneração no período em que o sistema não opera.

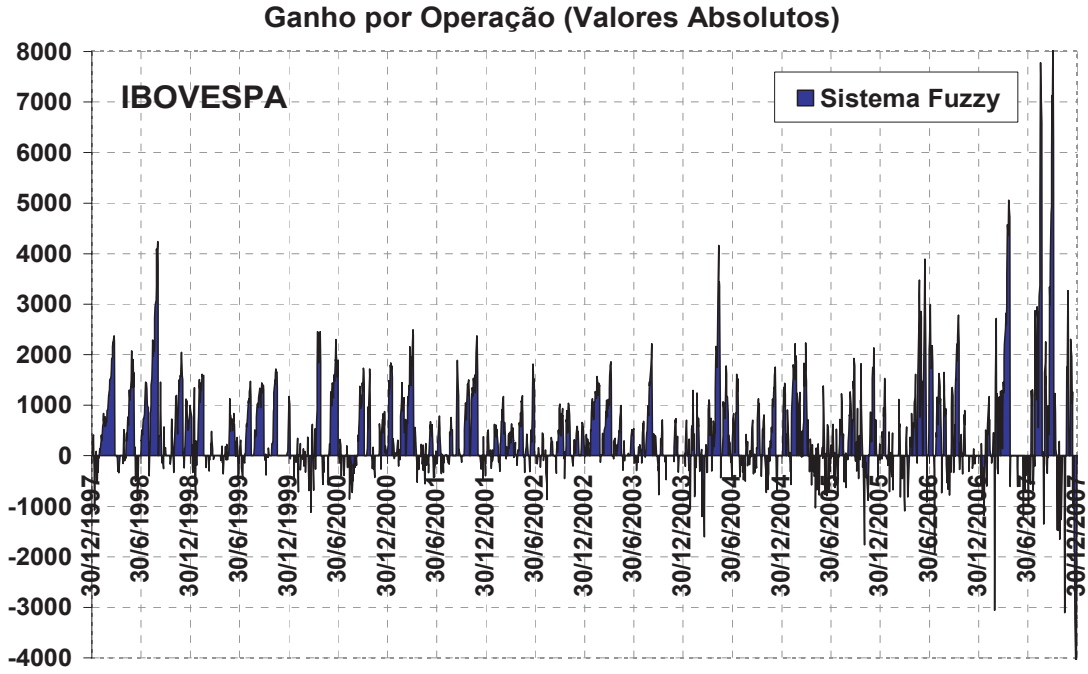

Gráfico 12:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY SEM regras de STOP/LOSS, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

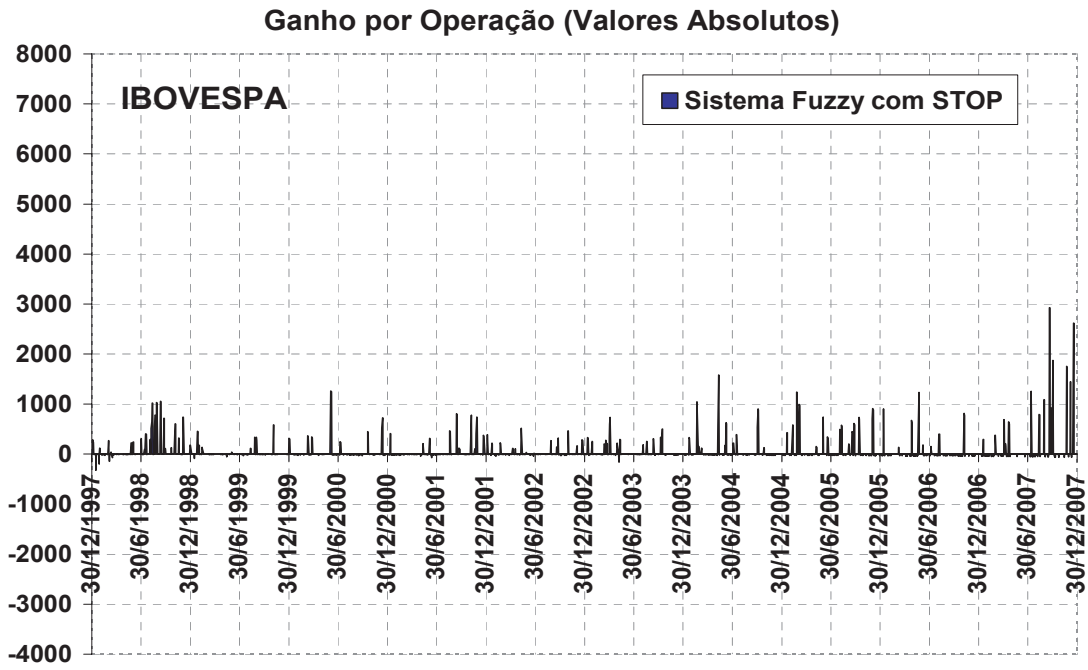

Gráfico 13:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY STOP COM regras de STOP/LOSS, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

A tabela a seguir apresenta um resumo referente ao Gráfico 10, onde:

- Retorno Anual: retorno anual calculado como a soma do Lucro/Prejuízo dividido pelo valor do mercado do início daquele ano.
- # Trades: número de operações feitas pelo sistema naquele ano.
- Volatilidade Anualizada: desvio-padrão dos retornos diários, em base anual.

Tabela 5:- Resumo de desempenho descrito no Gráfico 10

ANO	Retorno Anual			# Trades			Volatilidade Anualizada		
	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-33,5%	66,3%	1,7%	1	20	81	57,3%	46,9%	40,6%
1999	151,9%	65,0%	24,0%	0	20	73	46,3%	41,7%	24,6%
2000	-10,7%	-25,7%	-0,1%	0	29	72	32,8%	26,7%	19,0%
2001	-11,0%	6,1%	19,1%	0	34	89	33,3%	29,2%	24,4%
2002	-17,0%	15,4%	16,3%	0	25	81	32,9%	27,0%	20,7%
2003	97,3%	45,0%	27,2%	0	24	74	24,0%	20,1%	13,8%
2004	17,8%	-11,5%	19,5%	0	28	85	28,4%	24,0%	17,1%
2005	27,7%	-12,8%	26,2%	0	38	90	24,8%	21,8%	15,6%
2006	32,9%	-6,0%	6,9%	0	29	81	23,9%	20,1%	14,2%
2007	43,6%	-11,3%	32,0%	0	27	75	27,2%	22,1%	17,9%
Total	**526,5%**	**132,8%**	**372,0%**	**1**	**274**	**801**	**33,1%**	**28,0%**	**20,8%**

Na Tabela 6 (ver ANEXO II) é apresentado uma comparação mais ampla, onde também são comparados os modelos técnicos isoladamente.

O fato de o sistema ter apresentado um desempenho em ganhos acumulados inferior (Gráfico 10), porém muito próximo ao mercado (no período considerado), não indica um fracasso do sistema, pois, como foi demosntrado no modelo que utiliza regras de "*STOP/Loss"*, o retorno foi positivo em todos os anos analizados e o risco (ou volatilidade anualizada) mostrou-se muito inferior se comparada ao mercado. Além disto, durante os 10 anos de análise, apenas nos últimos 3 (três) anos o modelo que não utilizou regras de "*STOP/Loss"* apresentou desempenho não satisfatório.

Apesar dos Indicadores Técnicos MM e MACD apresentarem, na maior parte do tempo, um desempenho em ganhos absolutos superior aos modelos do Sistema Fuzzy, as perdas e o risco envolvido nessas operações mostraram-se muito maiores (Gráfico 11), portanto, a utilização desses modelos de forma isolada, apesar de momentaneamente trazer grandes lucros, traz também grande risco para o investidor.

O modelos FUZZY e FUZZY STOP apresentaram um grande potencial de ganho por operação durante o período (Gráfico 12 e Gráfico 13). Onde os operações positivas apresentaram valores qualitativos e quantitativos superiores às operações negativas, ou seja, na maior parte do tempo os modelos forneceram informações corretas a respeito da tendência de curto prazo do mercado.

O Gráfico 14 representa uma comparação entre o desempenho dos modelos FUZZY, FUZZY STOP e Mercado, para um investimento inicial de R$100,00 durante o período analisado.

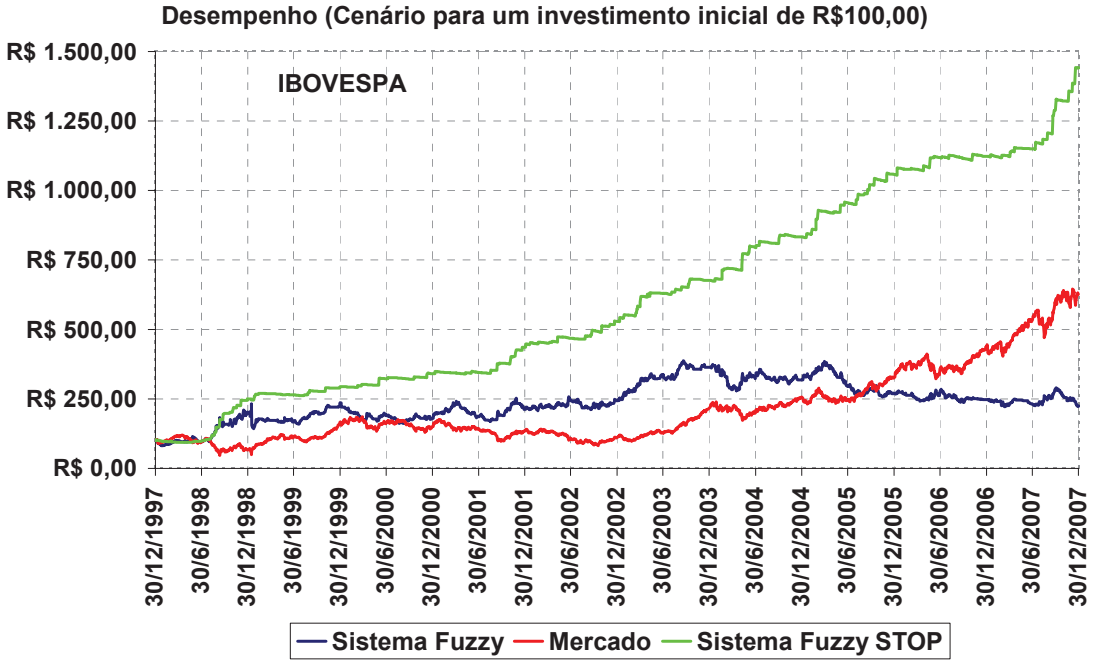

Gráfico 14:- Evolução do desempenho dos Modelos do Sistema versus desempenho do mercado considerendo-se um investimento inicial de R$100,00, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

O ganho financeiro apresentado na simulação do modelo FUZZY STOP (Gráfico 14) é muito superior ao desempenho do mercado, apesar disto, mostra-se necessário ressaltar que o sistema não é um "Trading System" e, portanto, não deveria ser utilizado como tal, pois não consegue exaurir todas os elementos que determinam a evolução dos mercados. Este sistema é apenas uma ferramenta de análise e, portanto, deve ser visto como algo a apoiar o processo decisório (conjuntamente com outras ferramentas e/ou informações).

5 CONCLUSÕES

O sistema consegue gerar resultados positivos (para o ativo avaliado - IBOVESPA), de forma consistente e com menor volatilidade que o mercado.

A utilização da Lógica Fuzzy permitiu tratar, numericamente, expressoões como: "positivo", "baixo", "grande". Além disto, por ser de fácil aplicação, permitiu que toda a sua manipulação fosse realizada em planilhas Excel.

Portanto, a aplicação das técnicas de Lógica Fuzzy no auxílio a tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros mostrou-se bastante satisfatória, dado que conseguiu reduzir o risco e obter melhor desempenho se comparado com o mercado ou com os modelos técnicos isoladamente.

Apesar deste sistema estar longe de alcançar um dos principais desafios que existem atualmente no mercado financeiro (o qual talvez seja utópico), de tentar prever com exatidão o comportamento do mercado, foi possível demonstrar que, utilizando técnicas de inteligência artificial (neste caso, Lógica Fuzzy) associada a utilização de modelos empregados em análise técncia, é possível simular o comportamento de um analista financeiro, de forma racional, imparcial, ágil e com baixo risco.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Apesar da utilização da Lógica Fuzzy ter apresentado um excelente desempenho, talvez a grande contribuição que esta técnica possa trazer seja a utilização conjunta com outras técnicas de inteligência artificial, como Redes Neurais, Algorítmos Genéticos ou Redes Bayesianas. Assim, teríamos sistemas híbridos, onde seria possível aproveitar ao máximo os benefícios de cada técnica.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA[2]

ANDRADE, M. T. Computação “Fuzzy” – Transparências para a disciplina de pós graduação do Departamento de Engenharia Elétrica Sistemas Digitais (341) – EPUSP – São Paulo. 2005.

APPEL, G. The Moving Average Convergence Divergence Method, Great Neck, NY: Signalert, 1979.

BERTOLO, L. A. Curso de Matemática Financeira – FAFICA - Catanduva-SP, 2002.

BONESIO, M.; DUDZIAK, E.; REIS, M. Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses – EPUSP – 3ª Edição – 2006.

BOVESPA Introdução ao Mercado de Capitais – 38pg, São Paulo 1999.

BOVESPA Metodologia Completa do IBOVESPA 2007. Disponível em: <http://www.bovespa.com.br> Acesso em: 27 jan., 2008.

FAMA, E. F. "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work," Journal of Finance, 25:2, 383-417. 1970.

FORTUNA, E. Mercado Financeiro – Produtos e Serviços, QUALITYMARK, Ed. 2007.

HOLBERT, K. E.; PANT, S. N. Fuzzy Logic in Decision Making and Signal Processing - Fulton School of Engineering. 2004. Disponível em: <http://enpub.fulton.asu.edu/PowerZone/FuzzyLogic/index.htm> Acesso em: 27 jan., 2008.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. Econometrica, Vol. 47, No. 2 (Mar., 1979), pp. 263-292

KIRKPATRICK, C. D. DAHLQUIST, J. R. *Technical Analysis, The Complete Resource for Financial Market Technicians. 2006.*

LARSEN P. M. Industrial applications of fuzzy logic control. *Int. Journal in man, machine studies*, vol. 12, num. 1, pp. 3-10, 1980.

LEMOS, M. A.. Controle Fuzzy na Qualidade de Imagens de um Sistema de Aquisição de Imagens para Aplicação de Multas de Transito, EPUSP – 2003.

[2] A ordenação da Referência Bibliográfica obedece a ordem alfabética

LIMA, I. S.; LIMA, G. A.; PIMENTEL, R. C. Curso de Marcado Financeiro, FIPECAFI, editora Atlas, 2006.

MAMDANI E. H., "Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey," in Fuzzy Automata and Decision Processes, M. M. Gupta, G. N. Saridis and B. R. Gaines, eds., North-Holland, New York, pp. 1-13. 1977.

MURPHY, J. J. Technical Analysis of the Financial Markets, NYIF 2003.

MURPHY, J. J. Stockcharts – web financial chart. 2006. Disponível em: <http://stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school> Acesso em: 27 jan., 2008.

SHLEIFER, A. Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance, Oxford University Press. 1999.

STEVEN, V. An Introduction To Global Financial Markets, Macmillan Press Ltd. 4th Edition. 2006.

WILDER, H. W. Jr., New Concepts in Technical Trading Systems**,** Trend Research. 1987.

ZADEH, L. A.; Out Line of a new approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, Journal IEEE Trans. On Systems, Man, And Cybernetics, Vol. SMC-3, N^{o}1, January 1973

7 REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

COPELAND T.E.; WESTON J.F. Financial Theory and Corporate Policy, Addison-Wesley, West Sussex. 1988.

FLETCHER, R. Practical methods of Optimization, 2nd ed, John Wiley, New York, 1989.

HIRA, Celio; ITO, D. H.; PEREIRA, C.; Trabalho de Formatura: Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros, EPUSP, São Paulo, Brasil 64 p. 2004.

LUGER, G.; STUBBLEFIELD, W. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving (5th ed.), The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., pp. 720. 2004.

ROSS T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc, 1995.

SHAW, I. S. Controle e Modelagem Fuzzy. ED. Edgard Blucher, São Paulo. 1999.

SHIMIZU, T. Decisão nas Organizações, São Paulo, ed. Atlas, 2006

SPIEGEL, M. R.; Probabilidade e Estatística, Ed. McGrawHill, São Paulo. 1978.

WINSTON, W. A. Introduction to Mathematical Programming, 2nd ed. Duxbury Press, 1995.

8 ANEXO I

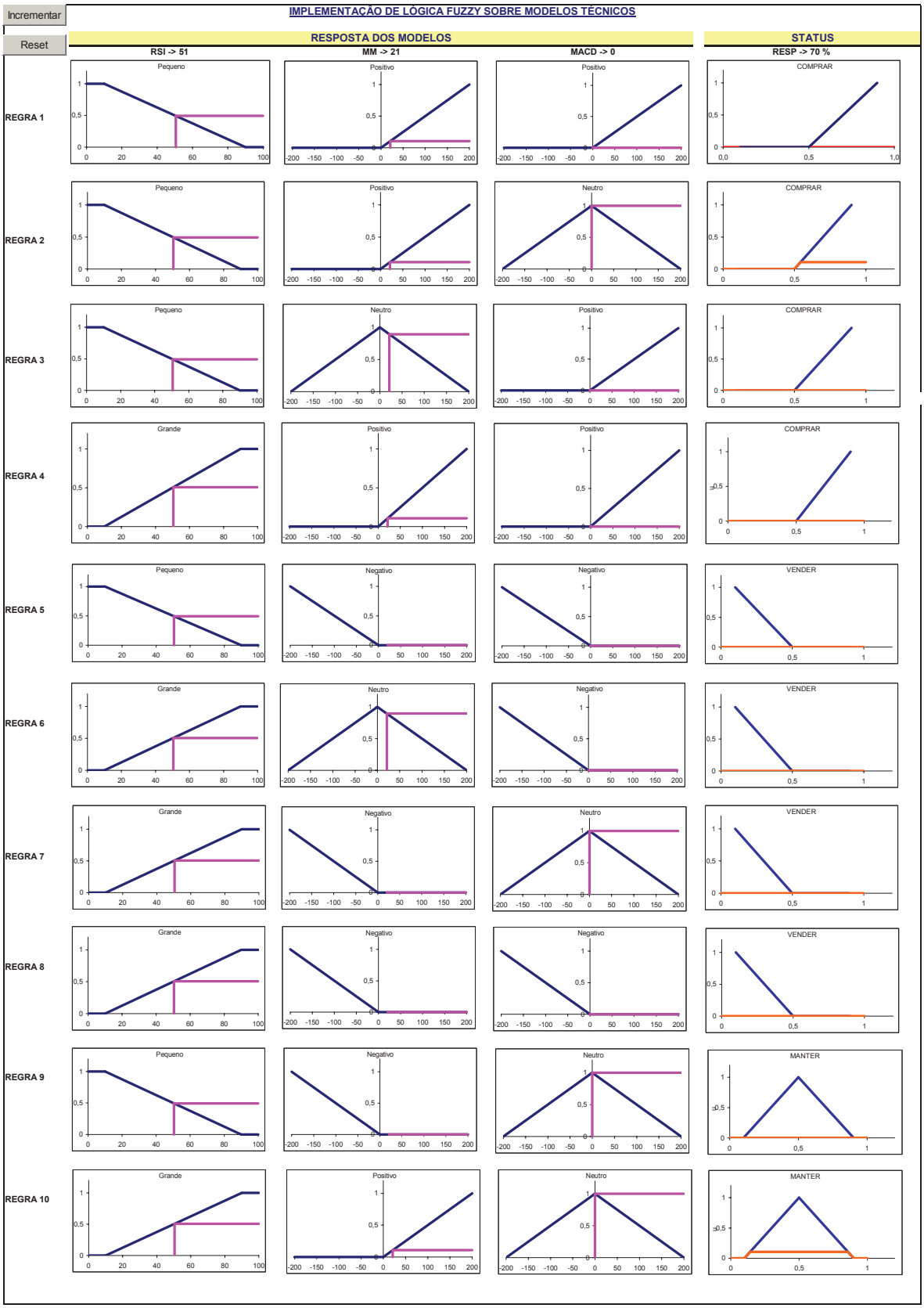

Gráfico 15:- Projeção das regras sobre as variáveis de saída.

9 ANEXO II

Tabela 6:- Resumo de desempenho descrito no *Gráfico 11*

IBOVESPA						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-33,5%	31,2%	72,3%	34,9%	66,3%	1,7%
1999	151,9%	134,2%	9,7%	41,0%	65,0%	24,0%
2000	-10,7%	-47,6%	-23,2%	-16,1%	-25,7%	-0,1%
2001	-11,0%	24,2%	9,9%	5,6%	6,1%	19,1%
2002	-17,0%	6,4%	12,2%	-6,1%	15,4%	16,3%
2003	97,3%	73,5%	23,1%	28,9%	45,0%	27,2%
2004	17,8%	-40,3%	11,1%	4,8%	-11,5%	19,5%
2005	27,7%	5,6%	-9,9%	1,7%	-12,8%	26,2%
2006	32,9%	5,6%	-19,1%	-7,1%	-6,0%	6,9%
2007	43,6%	0,5%	-18,7%	-6,6%	-11,3%	32,0%
Total	**526,5%**	**146,9%**	**45,0%**	**88,6%**	**132,8%**	**372,0%**

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	15	26	6	20	81
1999	0	15	38	12	20	73
2000	0	22	39	7	29	72
2001	0	22	36	8	34	89
2002	0	21	34	5	25	81
2003	0	12	36	14	24	74
2004	0	24	34	6	28	85
2005	0	21	46	5	38	90
2006	0	17	39	10	29	81
2007	0	19	41	12	27	75
Total	**1**	**188**	**369**	**85**	**274**	**801**

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	57,3%	49,5%	49,3%	31,4%	46,9%	40,6%
1999	46,3%	42,1%	43,3%	32,9%	41,7%	24,6%
2000	32,8%	28,7%	28,9%	11,0%	26,7%	19,0%
2001	33,3%	27,2%	29,9%	14,5%	29,2%	24,4%
2002	32,9%	28,1%	29,5%	9,2%	27,0%	20,7%
2003	24,0%	20,0%	21,8%	10,8%	20,1%	13,8%
2004	28,4%	22,4%	24,7%	10,7%	24,0%	17,1%
2005	24,8%	19,0%	20,9%	5,7%	21,8%	15,6%
2006	23,9%	19,5%	20,9%	8,7%	20,1%	14,2%
2007	27,2%	21,1%	24,2%	7,0%	22,1%	17,9%
Total	**33,1%**	**27,7%**	**29,3%**	**14,2%**	**28,0%**	**20,8%**