

Um Estudo da Aplicação de Modelo “Bayes-Fuzzy” para a Previsão de um Mercado Financeiro

Jobson M. Silva, Jaime S. Sichman^{*}, Paulo S. Cugnasca

Departamento de Engenharia da Computação e Sistemas Digitais (PCS)
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, SP – Brasil

jobson.silva@usp.br, {jaime.sichman, paulo.cugnasca}@poli.usp.br

Abstract. *In the context of quantitative investment funds (or quant funds), with partially or totally automated investment strategies, this work proposes a simplified model that can be used as an initial step for a practical application in this field. The model, which is entitled “Bayes-Fuzzy”, makes use of fuzzy logic and Bayes theorem to forecast financial market variables and use that forecast to guide investment decisions. The proposed model was implemented and tested for investments in the Brazilian stock market (Bovespa). According to the obtained experimental results, a quant fund using this model was able to achieve a higher yield than the “buy and hold” strategy.*

Resumo. *No contexto de fundos de investimento quantitativos, com modelos de investimento parcial ou totalmente automatizados, este trabalho propõe um modelo simplificado que pode servir como base para uma aplicação prática nessa área de aplicação. O modelo, denominado “Bayes-Fuzzy”, usa lógica fuzzy e teorema de Bayes para prever variáveis do mercado financeiro e fundamentar decisões de investimento. O modelo proposto foi implementado e testado para investimento em ações da bolsa de valores de São Paulo (Bovespa). De acordo com os testes experimentais realizados, o fundo quantitativo experimental usando este modelo conseguiu rentabilidade maior do que a estratégia “buy and hold”.*

1. Introdução

No Brasil, a bolsa de valores se firmou nos últimos anos como uma importante fonte de financiamento das empresas. Ao mesmo tempo, também se tornou cada vez mais uma importante opção para pessoas físicas que começam a diversificar seus investimentos. Apesar do maior risco, os fundos de ações se mostram uma opção interessante pela facilidade proporcionada ao investidor em relação ao investimento direto em ações. Alguns fundos de ações começam a usar modelos matemáticos de investimento para fundamentar decisões, no que constituem os chamados fundos quantitativos. Tais fundos usam modelos matemáticos que tomam como base informações de histórico tais como preços, valorizações e índices de mercado para fundamentar a decisão de investimento. O objetivo é conseguir um maior controle de risco e a consideração de um número maior de variáveis para se fundamentar o investimento, em relação ao número que tipicamente seria possível analisar com agentes humanos.

O objetivo deste trabalho é propor um modelo e estudar os detalhes de uma possível aplicação de tais técnicas no contexto de um fundo quantitativo de ações. O trabalho mostra como o teorema de Bayes e a lógica fuzzy foram utilizados para esse domínio, seguido dos resultados experimentais obtidos com a implementação prática. A base de comparação utilizada para se medir o impacto do uso deste modelo nesse domínio é a comparação com a estratégia de investimento “buy and hold” (comprar e

^{*} Jaime S. Sichman é parcialmente financiado pelo CNPq.

manter). O modelo foi implementado e testado com ações específicas da bolsa de valores de São Paulo (Bovespa) e seu uso se mostrou mais rentável que o uso da estratégia passiva “comprar e manter”. Apesar do uso de ações para o teste, o modelo apresentado pode ser utilizado para qualquer outro tipo de ativo que possua as mesmas características de ações.

O modelo proposto utiliza algumas simplificações e premissas e, portanto, deve ser considerado como uma base para se montar um modelo mais sofisticado que possa ser aplicado ao mundo real. Em particular, este modelo ainda não considera os custos das operações de compra e venda junto às corretoras de valores. Além disso, o modelo ainda não conta com ferramentas que mensurem ou gerenciem o risco do investimento, ou seja, o modelo é focado na obtenção de retornos maiores em comparação ao investimento direto no ativo objeto do fundo em que o modelo será aplicado. Por estas limitações e pelo fato de o contexto de aplicação de fundos quantitativos ser bastante incipiente e ainda pouco estudado, principalmente para o mercado brasileiro, este modelo não pretende refutar ou ser comparado a outros modelos paramétricos de previsão do mercado financeiro, e sim propor uma nova estratégia válida de investimento automatizado por meio da aplicação das técnicas de lógica Fuzzy e teorema de Bayes.

No contexto de previsão do mercado financeiro, o diferencial deste trabalho é a abordagem voltada a fundos quantitativos e também a consideração de ativos específicos, mais voláteis, ao invés de portfólio de ativos ou o índice Bovespa.

A estrutura deste artigo é a seguinte: na próxima seção os conceitos básicos do mercado financeiro necessários ao entendimento do trabalho serão resumidamente apresentados. O modelo proposto, bem como as justificativas para algumas escolhas realizadas, serão detalhados na seção 3, e os resultados obtidos nos experimentos realizados são apresentados e analisados na seção 4. Finalmente, a seção 5 mostra as conclusões e possíveis evoluções deste trabalho.

2. Conceitos Básicos

Antes de partir para os detalhes do modelo de investimento sendo proposto, é importante definir alguns conceitos que serão usados. O objetivo é evitar interpretações erradas que comprometam o entendimento deste trabalho. Estas definições não são completas ou exaustivas; assume-se, portanto, um conhecimento mínimo de alguns destes conceitos. Algumas definições são feitas de forma simplificada, focando no que é usado neste trabalho.

- *Ativo*: no contexto deste trabalho, um ativo será considerado apenas como uma ação negociada em bolsa de valores. Apesar disso, os termos ação e ativo são usados de forma intercambiável, para reforçar a idéia de que o modelo pode ser usado também no caso mais genérico de um ativo.

- *Estratégia “buy and hold”*: o mesmo que “comprar e manter”, é uma estratégia passiva de investimento, na qual o investidor compra certo ativo e o mantém no portfólio indefinidamente;

- *Análise técnica*: a análise técnica é uma tentativa de se prever os movimentos futuros do preço de um ativo por meio da análise da seqüência histórica de preços do ativo, não levando em consideração outros fatores como ambiente econômico e outros

dados da empresa. O uso desta técnica se baseia na psicologia do investidor e sua resposta a formações de preço e suas movimentações [Dourra and Siy 2001]. O valor de um ativo reflete o encontro entre os que acreditam que o ativo irá se valorizar (compra) versus aqueles que pensam o contrário (venda). O modelo aqui proposto se baseia em análise técnica.

- *Análise fundamentalista*: a análise fundamentalista é um tipo de análise financeira que tenta prever o comportamento do preço de um ativo por meio da análise de fundamentos do ativo ou da empresa ligada ao ativo. Vários indicadores financeiros são utilizados para definir se determinada ação é ou não um bom investimento [Cruz and Raposo 2002]. Pelo fato de os dados necessários para esta análise serem de difícil obtenção, essa técnica não é utilizada neste trabalho.

- *Fundos quantitativos*: fundos quantitativos são fundos de investimento que utilizam uma “receita” de aplicação em certos ativos, geralmente utilizando modelos matemáticos para se prever o comportamento do preço dos ativos e assim investir. Há diversas formas de se classificar um fundo quantitativo, dentre elas o tipo de técnica ou modelo utilizado e quanto ao grau de intervenção humana no processo. Quanto ao tipo de técnica, usa-se o termo *trend follower* [Kerstner 2003] para se classificar os fundos que usam como base a análise técnica para fundamentar o modelo, como é o caso deste trabalho. Quanto ao grau de intervenção humana, do modo geral temos os fundos “caixa preta” ou *black box*, em que o processo é totalmente automatizado e os fundos “caixa cinza” ou *gray box*, onde o processo é híbrido, com intervenção humana mas parcialmente automatizado. No contexto deste trabalho, foi considerado um fundo “caixa preta”; entretanto, nada impede que o modelo proposto seja aplicado também num fundo “caixa cinza”.

3. Modelo “Bayes-Fuzzy”

3.1. Introdução

O modelo proposto neste trabalho é um fundo quantitativo de ações “caixa preta” que investe em apenas um ativo por vez. A operação será feita com uma quantidade X de capital. A cada instante, todo este capital estará aplicado no ativo ou todo este capital estará não aplicado. Para simplificar a operação do fundo, não haverá aplicação parcial do capital disponibilizado e também não haverá aporte adicional de capital. As análises serão feitas sobre o capital investido inicialmente. Os detalhes do modelo de investimento são mostrados na figura 1, onde se pode perceber que o passo mais importante é o passo ou decisão “Deve vender?”, onde será aplicado o modelo “Bayes-Fuzzy”. O motivo da verificação apenas de venda é que se considera que o capital já é aplicado no momento inicial. A partir de então, a verificação é feita apenas em relação à venda como resultado do padrão adotado, já que se utiliza a condição “Deve vender?” como uma condição logicamente complementar em relação à decisão “Deve comprar?”.

O modelo “Bayes-Fuzzy” utiliza como base o histórico de valorizações de um ativo para então prever o que deve acontecer com o ativo em um determinado dia, o que faz com que o fundo que o utilize seja do tipo *trend follower*. No modelo proposto, o histórico de preços e valorização de preço de certo ativo pode ser representado por um vetor, em que o índice de cada posição corresponde a um dia útil D_i do mercado de ações e o conteúdo de cada posição corresponde à valorização $V(D_i)$.

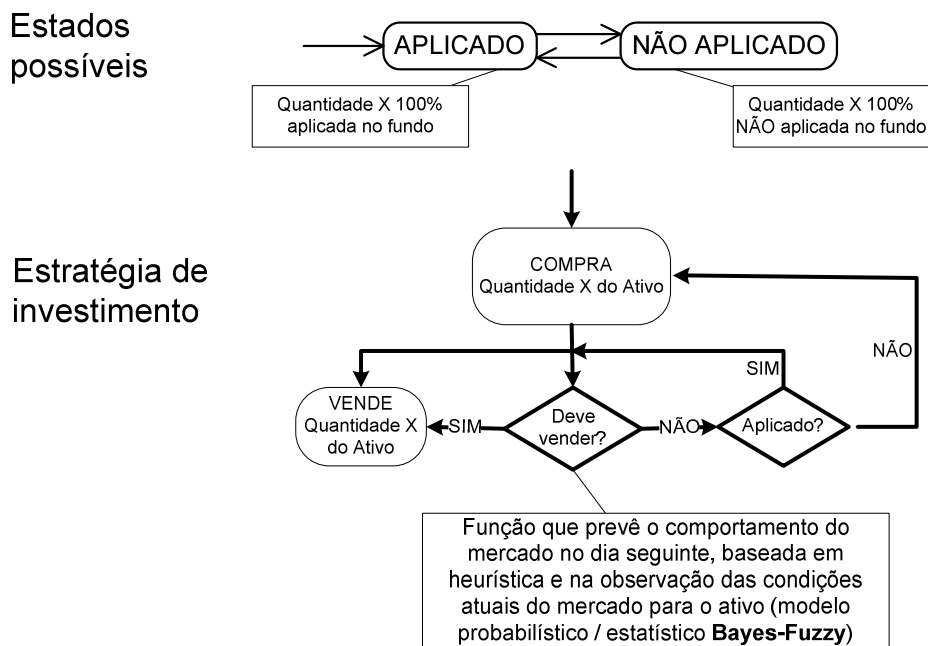


Figura 1. Modelo ou estratégia de investimento.

Considerando que o preço do ativo no dia D_i é representado por $P(D_i)$, a valorização diária $V(D_i)$ pode ser definida pela seguinte fórmula (em %):

$$V(D_i) = \frac{100 \cdot [P(D_i) - P(D_{i-1})]}{P(D_{i-1})}$$

Por exemplo, se o preço de um ativo no dia 20/01/2008 é R\$43,00 e no dia 21/01/2008 é R\$43,43, a valorização do dia 21/01/2008 é igual a $(43,43 - 43,00) / (43,00) = 1,00\%$.

As próximas seções detalham respectivamente a revisão bibliográfica sobre previsão de valorização de ativos (seção 3.2) e as justificativas de uso e mapeamento da lógica fuzzy junto a teorema de Bayes (seções 3.3 e 3.4).

3.2. Previsão de valorização de ativos

De acordo com [Morettin 2008] e também vários estudos citados em [Borba, Costa Jr., Murcia e Souto-Maior 2006], a teoria de que variáveis financeiras como valorização de ativos seguem um modelo de caminho aleatório (*random walk*), e por consequência não previsível, tem sido bastante questionada nos últimos anos. Estes diversos estudos citados têm mostrado evidências de que a valorização ou retorno de ações é de certa forma previsível, com forte evidência de heteroscedasticidade condicional, significando que estes retornos não são independentes e uniformemente distribuídos conforme o modelo de caminho aleatório prevê. Por outro lado, é assumido que esse tipo de previsão pode ser bastante limitada devido à baixa auto-correlação tipicamente encontrada em séries temporais financeiras e também ao fato de que esse tipo de variável possui tendência de gerar agrupamentos de volatilidades, ou valorizações excessivamente positivas ou negativas, ao longo do tempo [Morettin 2008]. Isso sugere

um tratamento diferenciado dos modelos de previsão para identificar e dar pesos diferentes a dados que pertencem a tais grupos de volatilidade, que na prática refletem situações de anormalidade do mercado, como crises ou bolhas. O modelo Bayes-Fuzzy aqui proposto não é sofisticado a ponto de tratar tais agrupamentos de volatilidade, mas segue alguns princípios básicos relacionados à auto-correlação dos dados de valorização estudados, conforme será detalhado mais adiante. Similarmente ao trabalho apresentado por [Borba, Costa Jr., Murcia e Souto-Maior 2006], o estudo aqui apresentado propõe uma estratégia para investimento que é comparada à estratégia passiva (comprar e manter), com a diferença de que o modelo aqui proposto se utiliza também de teorema de Bayes além da lógica Fuzzy. Outra diferença importante é a consideração de ativos específicos para investimento e não o índice Bovespa, que na prática é um portfólio ou composição de diversas ações. A volatilidade (neste caso, o desvio padrão da valorização) de apenas uma ação é tipicamente maior que a volatilidade de um portfólio de ações, pelo fato de o portfólio ser criado justamente para aumentar a diversificação e diminuir volatilidade, que nada mais é que uma medida de risco [Elton, Gruber, Brown e Goetzmann 2007]. A previsão de valorização de ativos mais voláteis é geralmente menos efetiva se comparada a ativos menos voláteis como portfólios ou índices pela própria existência de agrupamentos de volatilidades [Morettin 2008], o que justifica a proposição de novos métodos ou modelos como o aqui proposto.

3.3. Aplicação de Lógica Fuzzy

Na grande maioria dos problemas reais, os estados dos eventos são vagos, e torna-se difícil decidir entre estes dois valores verdade [Borba, Costa Jr., Murcia e Souto-Maior 2006]. De acordo com [Zebda 1998], “A teoria dos conjuntos fuzzy não é uma teoria de decisão, mas sim um cálculo (uma linguagem de modelagem) em que fenômenos vagos nos sistemas humanísticos podem ser tratados de forma sistemática”. Assim, em um conjunto fuzzy, o grau de pertinência associado a cada proposição define o quanto cada proposição satisfaz certa propriedade associada a um conjunto.

De acordo com [Ross, Booker e Parkinson 2002], a associação de lógica fuzzy com o teorema de Bayes pode ser usada como uma ligação entre teoria da probabilidade e teoria de conjuntos fuzzy. Especificamente, as medidas de probabilidade se relacionam a conjuntos fuzzy pelo uso de funções de pertinência. A função de pertinência de um conjunto fuzzy pode ser interpretada como a função de verossimilhança. Isto é verdade porque o processo para definir a função de pertinência é subjetivo por natureza. Especificamente neste trabalho, o uso de lógica fuzzy junto ao uso do teorema de Bayes tem por objetivo lidar melhor com a classificação das valorizações do ativo como positivas, negativas ou estáveis antes de mapear as probabilidades. Usando lógica clássica, valorizações infinitesimalmente positivas (como por exemplo: 0,05%) são consideradas como positivas da mesma forma que uma variação fortemente positiva (como por exemplo: 14,2%). O mesmo acontece para valorizações negativas. Da mesma forma, com a lógica clássica apenas a valorização de 0,00%, ou manutenção do preço do ativo, seria considerada como valorização estável. Com o uso de lógica fuzzy, pode-se estabelecer um grau de pertinência aos conjuntos valorização positiva, negativa e estável para a valorização de cada dia. Desta forma, uma valorização infinitesimalmente positiva ou negativa pode ser considerada como uma valorização estável (ausência de valorização), dependendo dos parâmetros adotados para a função de pertinência. Pelo fato da transição entre os diferentes tipos de

valorização não ser mais tão abrupta, a previsão a ser feita com base nestas valorizações deverá ser mais acertada, já que a classificação das valorizações em positiva, negativa e estável será mais próxima do que é tipicamente considerado como relevante por um investidor.

O modelo proposto irá então considerar os seguintes parâmetros fuzzy:

- V_{max} : limite superior positivo de valorização, acima do qual uma valorização é considerada como sendo 100% positiva e 0% estável. Exemplo: $V_{max} = 0,25\%$.

- V_{min} : limite inferior negativo de valorização, abaixo do qual uma valorização é considerada como sendo 100% negativa e 0% estável. Exemplo: $V_{min} = -0,25\%$.

O modelo considera os seguintes conjuntos fuzzy, com as respectivas definições de pertinência (lembrando que $V_{max} > 0$ e $V_{min} < 0$):

- $V+$ (valorização positiva):

para $V(D_i) \leq 0 \rightarrow$ Pertinência ($V+$) = 0

para $0 < V(D_i) < V_{max} \rightarrow$ Pertinência ($V+$) = $(1/V_{max}) \cdot V(D_i)$

para $V(D_i) \geq V_{max} \rightarrow$ Pertinência ($V+$) = 1

- $V-$ (valorização negativa):

para $V(D_i) \leq V_{min} \rightarrow$ Pertinência ($V-$) = 1

para $V_{min} < V(D_i) < 0 \rightarrow$ Pertinência ($V-$) = $(1/V_{min}) \cdot V(D_i)$

para $V(D_i) \geq 0 \rightarrow$ Pertinência ($V-$) = 0

- $V=$ (valorização estável):

para $V(D_i) \leq V_{min} \rightarrow$ Pertinência ($V=$) = 0

para $V_{min} < V(D_i) \leq 0 \rightarrow$ Pertinência ($V=$) = $(-1/V_{min}) \cdot V(D_i)$

para $0 < V(D_i) < V_{max} \rightarrow$ Pertinência ($V=$) = $(1/V_{max}) \cdot V(D_i)$

para $V(D_i) \geq V_{max} \rightarrow$ Pertinência ($V=$) = 0

A figura 2 mostra graficamente as funções de pertinência dos três conjuntos fuzzy definidos.

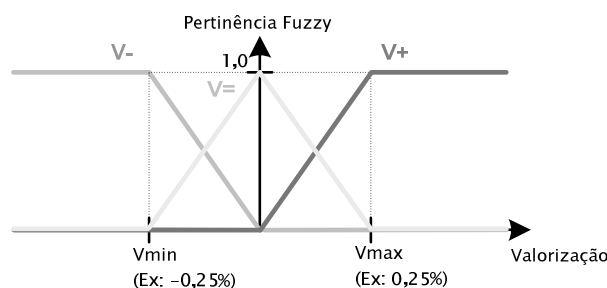


Figura 2. Gráfico de pertinência fuzzy dos conjuntos $V-$, $V+$ e $V=$, para $V_{min} = -0,25\%$ e $V_{max} = 0,25\%$.

3.4. Aplicação do Teorema de Bayes

O teorema de Bayes estabelece uma forma de se trabalhar com probabilidades condicionais, conforme mostra a fórmula a seguir:

$$P(H | E) = \frac{P(E | H) \cdot P(H)}{P(E)}$$

em que:

- $P(H | E)$: probabilidade da hipótese H dada a ocorrência do evento E ou probabilidade ‘a posteriori’ da hipótese;

- $P(E | H)$: probabilidade do evento E dada a ocorrência da hipótese H ou probabilidade ‘a posteriori’ do evento;

- $P(H)$: probabilidade da hipótese H (‘a priori’);

- $P(E)$: probabilidade do evento E (‘a priori’).

Para aplicar o teorema de Bayes ao cenário do modelo sendo proposto, serão consideradas as valorizações do ativo durante três dias consecutivos, para então se tentar prever a valorização do ativo no quarto dia. Esta escolha está baseada no estudo apresentado em [O’Connor, Remus and Griggs 1997]. Este estudo mostra que os investidores apresentam diferentes tendências e comportamentos para série de subidas e descidas do preço de um ativo. Assim, as pessoas podem tomar decisões com base em informações recentes. Por exemplo, se a bolsa apresentar alta durante vários dias consecutivos poderá haver uma tendência à realização de lucros e com isso uma queda, mesmo que o cenário macroeconômico esteja favorável. Por outro lado, se a bolsa cair durante vários dias consecutivos poderá haver uma tendência para que os preços voltem a subir, mesmo com um cenário macroeconômico desfavorável. Com base neste estudo, um período menor que três dias pode não ser suficiente para se detectar tendências e por outro lado um período maior pode incluir variações muito grandes de tendências que geram ruído para a tomada de decisão.

Conforme mostrado em [O’Connor, Remus and Griggs 1997], dependendo das variáveis consideradas há uma grande possibilidade de atenuação da previsão, principalmente para tendências de baixa. Por exemplo, ao se considerar um período de cinco dias pode se gerar atenuação se for usada como base a média de valorização do período e o período tiver sido de alta nos dois primeiros dias e queda nos três últimos dias. A estratégia de se considerar exatamente três dias de valorização do ativo para fundamentar a previsão do próximo dia foi usada com sucesso pelo estudo apresentado por [Borba, Costa Jr., Murcia e Souto-Maior 2006], no qual se usa apenas lógica fuzzy para se prever a direção do índice Bovespa.

Com base nesses estudos, e aplicando o conceito mostrado à valorização de apenas um ativo, foi adotada portanto a heurística de se considerar como significativa a valorização ou desvalorização de três dias consecutivos, levando-se em conta o que acontece no quarto dia para se definir a probabilidade da ação subir ou cair no futuro. Assim, podemos aplicar o teorema de Bayes com as seguintes definições de evidências e hipótese (a notação aqui usada é simplificada, portanto $V(D_{i-1})$ é denotado como V_{D-1} e assim por diante):

- *Evidências*:

V_{D-1} (valorização no dia D_{i-1}): manifestações V_{D-1}^+ , V_{D-1}^- e $V_{D-1}^=$

V_{D-2} (valorização no dia D_{i-2}): manifestações V_{D-2}^+ , V_{D-2}^- e $V_{D-2}^=$

V_{D-3} (valorização no dia D_{i-3}): manifestações V_{D-3}^+ , V_{D-3}^- e $V_{D-3}^=$

- *Hipótese*: valorização no quarto dia D.

A partir de uma tabela de probabilidades, calculada com base em dados históricos, pode-se calcular a probabilidade de valorização do ativo em um dia futuro. Especificamente, deseja-se prever a valorização do dia de amanhã (D), com base na valorização já sabida do dia de hoje (D-1), de ontem (D-2) e de antes de ontem (D-3). Para tanto, deve-se calcular o seguinte vetor de probabilidades:

$$P(V_D | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x) = \begin{bmatrix} P(V_D^+ | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x) \\ P(V_D^- | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x) \\ P(V_D^= | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x) \end{bmatrix}$$

Em que $P(V_D | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x)$ significa o vetor de probabilidade da valorização do dia D ser positiva, negativa ou estável, dada a intersecção das valorizações nos dias (D-3), (D-2) e (D-1). Os índices z, y e x podem ter associados os valores +, - ou = (positiva, negativa ou estável) Em resumo, este vetor de probabilidades dá a previsão da valorização do ativo no dia D, dadas as valorizações nos três dias anteriores, com a hipótese de a definição da probabilidade da valorização no dia D ser positiva, negativa ou estável (valores nas linhas 1, 2 e 3 respectivamente do vetor). É importante destacar que como o dia D e os três dias anteriores constituem uma “janela deslizante” ao se aplicar este método continuamente no tempo, este modelo pode ser considerado dinâmico, ou seja, assim como em uma série temporal não é desprezada a seqüência temporal das variáveis. Apesar disso, a consideração da seqüência temporal é propositalmente limitada, o que é coerente com o baixo índice de auto-correlação tipicamente encontrado em séries temporais financeiras [Moretton 2008].

Com o uso do vetor de probabilidade definido calculado dia a dia, pode-se usar a probabilidade de a valorização no dia D ser negativa para se tomar uma decisão de investimento (compra ou venda do ativo). O modelo “Bayes-Fuzzy” se utilizará então da seguinte condição para se tomar a decisão de compra ou venda do ativo:

$$P(V_D^- | V_{D-3}^z \cap V_{D-2}^y \cap V_{D-1}^x) \geq P(V_D^-)_{MAX} ?$$

Na desigualdade acima, o valor da esquerda corresponde à probabilidade de a valorização no dia D ser negativa, dada a valorização nos três dias anteriores que podem ser negativas, positivas ou estáveis, de acordo com a definição fuzzy já apresentada. O valor da direita, $P(V_D^-)_{MAX}$ corresponde a um parâmetro do modelo que indica o máximo de probabilidade de valorização negativa sob o qual ainda se deseja investir no ativo. Por exemplo, pode-se adotar um valor de 0,5 ou 50%, indicando que o máximo que se deseja é uma probabilidade de desvalorização, ou valorização negativa de 50%. Acima deste valor de probabilidade de desvalorização, o ativo será vendido se o fundo estiver com aplicações neste ativo, ou, caso o fundo não esteja aplicado no ativo não será comprada nenhuma quantidade do ativo. Esta desigualdade é usada como a condição para se responder a pergunta “Deve vender?” da figura 1.

4. Resultados Experimentais

Para se testar o modelo “Bayes-Fuzzy”, foi desenvolvida uma aplicação para plataforma Windows denominada “Bayes-Fuzzy Model Simulator” que implementa o modelo. Esta

aplicação possui uma interface gráfica simples que permite a entrada dos parâmetros do modelo e arquivos com os dados históricos de valorização. Como saída, a aplicação permite a visualização da valorização ou rentabilidade acumulada de um fundo quantitativo de ações que implementa o algoritmo proposto, comparando esta valorização com a valorização acumulada da estratégia “buy and hold” no mesmo período.

Usando a aplicação foram feitos testes com dados reais de valorizações de dois ativos: ações da Gerdau (código GGBR4) e Petrobrás (PETR4). Ambos são ativos que possuem alto volume de negociação diário na Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) e compõem o índice Bovespa, sendo portanto bastante representativos. Foram coletados dados de preço diários de 4 anos consecutivos para estes dois ativos: 2004, 2005, 2006 e 2007. Sobre o preço diário foi calculada a valorização diária em relação ao dia anterior, com o uso da fórmula de $V(D_i)$ explicitada na seção 3. Os dados de 2004 e 2005 foram usados como dados de treino, para se montar a tabela de probabilidades. Já os dados de 2006 e 2007 foram usados como dados de teste.

As figuras 3 e 4 mostram os resultados. Para as ações da GGBR4, o fundo “Bayes-Fuzzy” teve valorização de 40%, contra 26% da outra estratégia. A valorização adicional final foi de 14% e a valorização adicional média de 3%. No caso das ações PETR4, a valorização do fundo “Bayes-Fuzzy” foi de 131%, contra 124% da estratégia “buy and hold”. A valorização adicional final foi de 7% e valorização adicional média foi de 15%.

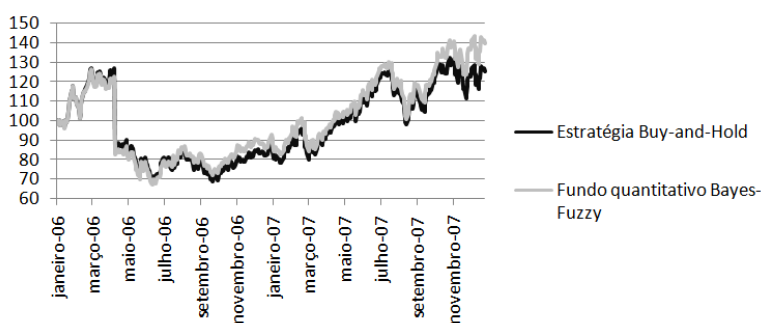


Figura 3. Simulação para ações da Gerdau (GGBR4), capital inicial de R\$100,00, período de janeiro de 2006 até dezembro de 2007, $V_{\max} = 0,10\%$, $V_{\min} = -0,10\%$ e $P(V_{-D})_{\max} = 50\%$.

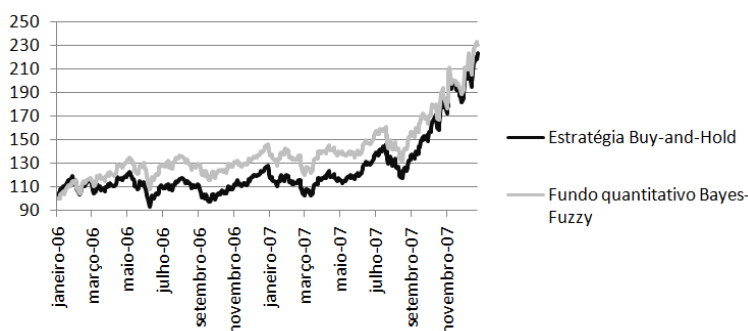


Figura 4. Simulação para ações da Petrobrás (PETR4), capital inicial de R\$100,00, período de janeiro de 2006 até dezembro de 2007, $V_{\max} = 0,25\%$, $V_{\min} = -0,25\%$ e $P(V_{-D})_{\max} = 50\%$.

5. Conclusões

Nos dois casos analisados nos testes experimentais, a valorização do fundo quantitativo “Bayes-Fuzzy” foi maior que a valorização da estratégia “buy and hold” tanto no longo prazo (valorização adicional final) quanto no curto prazo (valorização adicional média). Portanto, pode-se afirmar que para estes dados experimentais utilizados, o modelo proposto pode ser utilizado com dados reais para a criação de um fundo quantitativo simplificado. Apesar disto, conforme já destacado, este modelo deve ainda considerar uma série de variáveis do mundo real para ser efetivamente aplicado na prática.

A evolução do trabalho também pode ocorrer com a consideração de conjuntos de dados mais abrangentes tanto em relação ao tempo quanto em relação ao número e tipos de ativos testados. Sobre a comparação a modelos similares reais, há uma óbvia dificuldade de obtenção dos detalhes da real estratégia de investimento sendo utilizada pelas instituições financeiras em seus fundos, além do fato de este tipo de fundo ser relativamente novo no contexto do mercado analisado (mercado brasileiro). Mesmo assim, é importante que seja feita uma comparação com um modelo que possa ser aplicado em condições semelhantes.

Referências

- Borba, J. A., Costa Jr., N. C. A., Murcia, F. D. R. e Souto-Maior, C. D. (2006). *O Índice IBOVESPA e a Lógica Fuzzy: Uma Nova Estratégia de Investimento* – UFSC, Brazil.
- Cruz, A. J. O. and Raposo, R. C. T. (2002). “*Stock Market Prediction Based on Fundamental Analysis with Fuzzy-Neural Networks*” – NCE-IM, UFRJ, Brazil.
- Dourra, H. and Siy, P. (2001). “*Investment using Technical Analysis and Fuzzy Logic*” – Department of Electrical Engineering, Wayne State University, Detroit, United States.
- Elton, E. J., Gruber, M. J., Brown, S. J., Goetzmann, W. N. (2007). “*Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*” 7th edition, John Wiley & Sons, Inc., United States.
- Kerstner, L. (2003). “*Quantitative Trading Strategies: Harnessing the Power of Quantitative Techniques to Create a Winning Trading Program*”, McGraw-Hill Professional, p. 55-74.
- Morettin, A. Pedro (2008). “*Econometria Financeira – Um curso em séries temporais financeiras*” – Editora Blucher, São Paulo, Brazil.
- O’Connor, M., Remus and W., Griggs, K. (1997). “*Going up-going down: How good are people at forecasting trends and changes in trends?*” Journal of Forecasting. Vol. 16, p.165-176.
- Ross, T. J., Booker, J. M., Parkinson, W. J. (2002). “*Fuzzy logic and probability applications: bridging the gap*”, p. 85, SIAM, Berkeley, California, United States.
- Zebda, A. (1998). “*The problem of ambiguity and the use of fuzzy set theory in accounting: a perspective and opportunities for research. Applications of fuzzy sets and the theory of evidence to accounting II*”. v. 7, p. 20-33, London: Jai Press.