UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

**LÓGICA FUZZY ATUANDO NA PREVISÃO DE VARIAÇÕES DE PREÇOS DE
ATIVOS FINANCEIROS**

LEOCÁDIO BARGAS ALVES

MARINGÁ – PR

2017

Leocádio Bargas Alves

LÓGICA FUZZY ATUANDO NA PREVISÃO DE VARIAÇÕES DE PREÇOS DE ATIVOS FINANCEIROS

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Software da UniCesumar - Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Software, sob a orientação do Professor Mestre Edson Alexandre Domingues Moreno.

MARINGÁ – PR

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO
LEOCÁDIO BARGAS ALVES

**LÓGICA FUZZY ATUANDO NA PREVISÃO DE VARIAÇÕES DE PREÇOS DE
ATIVOS FINANCEIROS**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Software da
UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em Engenharia de Software, sob a orientação do
Professor Mestre Edson Alexandre Domingues Moreno.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

LÓGICA FUZZY ATUANDO NA PREVISÃO DE VARIAÇÕES DE PREÇOS DE ATIVOS FINANCEIROS

Leocádio Bargas Alves

RESUMO

O presente artigo demonstra a construção de um modelo que se utiliza dos comportamentos de investidores submetendo-os a lógica Fuzzy para prever possibilidades de baixas ou altas diárias do ativo financeiro ouro. Emprega um período de variações diárias do preço do ouro de 01/1980 a 04/2017. Os primeiros 7409 dias servem para levantamento das regras do sistema Fuzzy e os restantes 2000 dias servem para simular dois investimentos: um manipula a estratégia comprar e manter; o outro tira proveito do sistema Fuzzy e compara a renda obtida entre os dois. Embora o modelo proposto estime saídas prováveis, ainda assim produziu melhores resultados comparado à simulação que utilizou a estratégia comprar e manter.

Palavras-chave: Estratégia comprar e manter. Ouro. Sistema Fuzzy.

FUZZY LOGIC ACTING ON FORECAST OF PRICE VARIATIONS IN FINANCIAL ASSETS

ABSTRACT

The present paper demonstrates the construction of a model that uses the behavior of investors by subjecting them to Fuzzy logic to predict possible daily lows or highs of the financial gold asset. It uses a period of daily variations of the price of gold from 04/01/1980 to 04/07/2017. The first 7409 days are used to survey the rules of the Fuzzy system and the remaining 2000 days are used to simulate two investments. One investment manipulates the purchase and hold strategy, the other takes advantage of the Fuzzy system and compares the income obtained between the two. Although the proposed model estimates likely outputs it, still produced better results than the simulation that used the purchase and hold strategy.

Key words: Fuzzy System. Gold. Purchase and hold strategy.

1 INTRODUÇÃO

O mercado financeiro utiliza de vários tipos de análises econômicas, tais como: variações de taxas de juros, taxa de inflação, lucro de uma empresa e variações de estoques agrícolas para fazer análise de preço de um ativo. Além dessas análises econômicas, os comportamentos dos investidores parecem também afetar os preços dos ativos, bastando verificar que após uma série de altas consecutivas de um ativo o investidor tende a realizar lucro jogando a variação do preço do ativo para baixo, mesmo que a conjuntura econômica do ativo esteja favorável.

Alguns trabalhos seguem o mesmo raciocínio, dentre eles:

O artigo “O Índice IBOVESPA e a Lógica Fuzzy: Uma Nova Estratégia de Investimento” (SOUTO-MAIOR et al., 2006), no qual os autores utilizam a lógica Fuzzy para simular a previsão de rendimento de um investimento baseando-se na análise dos três dias anteriores do índice Ibovespa. A simulação prevê baixa ou alta de acordo com a análise para o dia, que ocorrerá o investimento durante um período de teste de mil dias da variação do índice Ibovespa, no qual se retirava do investimento e realizava lucro se a previsão do dia fosse de baixa e voltava ao investimento quando a previsão fosse de alta para o índice Ibovespa, comparando o resultado ao rendimento do investimento, que também baseado no índice Ibovespa, utilizava a estratégia de comprar e manter e só se retirar do investimento e realizar lucro após o mesmo período de mil dias.

A dissertação “Sistemas Inteligentes Para Auxiliar Na Tomada De Decisões No Mercado De Capitais” (Lima, 2012), cujo autor faz a modelagem e análise comparativa de vários tipos de sistemas computacionais inteligentes utilizando as técnicas de inteligência computacional lógica Fuzzy e redes neurais artificiais, com o intuito de oferecer boas informações para a tomada de decisões no mercado financeiro.

A dissertação “Sistema De Tomada De Decisão Para Compra E Venda De Ativos Financeiros Utilizando Lógica Fuzzy” (Pereira, 2008), na qual o mestrando desenvolve uma ferramenta, o Sistema ProteuFuzzy, baseado em técnicas de lógica Fuzzy, que tem como objetivo auxiliar o analista financeiro em decisões sobre compra ou venda de um ativo financeiro e simular o comportamento do mesmo gerando recomendações diárias para tentar minimizar o risco do investimento.

No entanto, este trabalho pretende identificar padrões de comportamento de investidores em relação à baixa ou alta de um ativo financeiro em dias anteriores ao dia do investimento utilizando a Lógica Fuzzy para tentar prever se, no dia do investimento, haverá baixa ou alta de preço do ativo, simulando uma renda obtida de um ativo financeiro durante um período de seu histórico de variações de preço de 2000 dias adquiridos do site Investing.com, com data de início em 09/07/2009 e término em 07/04/2017, utilizando a estratégia de comprar e manter:

[...] uma estratégia de investimento onde um investidor compra ações e as mantém por um longo período, baseada na ideia de que no longo prazo os mercados financeiros têm uma boa taxa de retorno mesmo considerando que possui uma alta volatilidade. (Wikipédia, 2017).

Após obter a renda da estratégia comprar e manter, é comparado com a renda desse mesmo ativo no mesmo período, utilizando como entrada no sistema Fuzzy, as variações de preços de 4 dias anteriores de todos os dias do período considerado para prever os dias, como resultados de saída do modelo que o ativo terá baixa ou alta e, conseqüentemente, venda ou compra do mesmo, tentando com isso minimizar os impactos da baixa de preço e maximizar os ganhos na renda do investimento no período.

Para verificar se o modelo deste trabalho trará bons resultados e se o comportamento de investidores influenciam no valor de um ativo financeiro, será usada uma série histórica de 7409 dias adquiridos do mesmo site Investing.com da série histórica de 2000 dias, com início em 04/01/1980 e término em 08/07/2009, com suas respectivas variações de preços de 4 dias anteriores de cada dia da série, para se extrair o peso probabilístico de quantas vezes a mesma série de baixas e altas de 4 dias anteriores aos dias da série ocorreram, utilizando para isso o software Microsoft Excel (2013). Será usado também, um ativo financeiro que não foi utilizado ainda para esse tipo de estudo - o ouro, pois o comportamento dos investidores muda em relação ao tipo do ativo financeiro que estão investindo.

O motivo da utilização da Lógica Fuzzy neste trabalho, foi pelo fato de que a mesma não retorna um valor binário como uma resposta ao comportamento incerto do ser humano e sim uma resposta provável numérica, probabilística e não exata atribuída a termos linguísticos, conforme a citação do autor:

A teoria dos conjuntos fuzzy não é uma teoria de decisão, mas sim um cálculo (uma linguagem de modelagem) onde fenômenos vagos nos sistemas humanísticos podem ser tratados de forma sistemática. (ZEBDA, 1998 apud SOUTO-MAIOR et al., 2006, p. 3).

Dessa forma, tornando o uso de um modelo fundamentado no software MathWorks FuzzyLogic Toolbox (2012), melhor condizente para uma previsão financeira de um investimento no ativo utilizado para este trabalho.

Após essa introdução, o trabalho assim está organizado: no capítulo 2 é apresentada a seção 2.1, em que é exibida uma explicação sobre os conceitos da Lógica Fuzzy; a seção 2.2, que explica o funcionamento do Sistema Fuzzy, cujas subseções explicam o operador lógico de intersecção, o *Degree of Support* (DoS), os módulos e o método, usados para construir o modelo proposto; e a seção 2.3, em que mostra como foi implementado o modelo proposto deste trabalho. No capítulo 3 é apresentado o resultado e a discussão e no capítulo 4 a conclusão do artigo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 LÓGICA FUZZY

Na Lógica Binária, desenvolvida por Aristóteles (384 - 322 A.C.), a proposição é totalmente definida em verdadeira ou falsa (SOUTO-MAIOR et al., 2006, p.3). No entanto, em se tratando de problemas complexos, fica impossível definir tão precisamente a proposição como verdadeira ou falsa, e sim como Jan Lukasiewicz em 1930 propõe, uma afirmação pode ser ao mesmo tempo verdadeira e falsa (OTTAVIANO; FEITOSA, 2003 apud Lima, 2012, p. 28).

A Lógica Fuzzy foi desenvolvida no artigo intitulado “Fuzzy Sets” (ZADEH, 1965), com o objetivo de tratar resultados imprecisos expostos na lei da contradição (Lima, 2012, p. 28).

Usada muitas vezes em sistemas financeiros para transformar resultados subjetivos em objetivos:

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 apud PEREIRA, 2008, p. 25).

Gráfico 1 - Diferenças entre a Lógica Binária e a Lógica Fuzzy

O gráfico 1 mostra como seria a representação da variação de um suposto índice financeiro em ambas as lógicas - no gráfico da Lógica Binária, a barra de baixa e alta do índice terminam de forma abrupta em 0%, dando uma noção de como os conjuntos são separados nitidamente. Porém, para muitos investidores no mercado financeiro, nem tudo que está abaixo de 0% é considerado baixa e nem tudo que está acima de 0% é considerado alta. É para resolver esse tipo de problema que foi desenvolvida a Lógica Fuzzy.

Nos gráficos, faz-se uso da barra vertical na qual se expõe o grau de pertinência, valores entre 0 e 1, que cada termo linguístico (baixa e alta) tem em relação ao que quanto os investidores podem ponderar que um índice é considerado em alta e quanto é considerado em baixa. Percebe-se que as variações que estão entre -0,3% e 0,3% misturam-se entre os conjuntos de alta e baixa, não havendo uma distinção nítida entre os conjuntos.

2.2 SISTEMA FUZZY

O sistema Fuzzy produz estimativas de um sistema complexo a partir de informações fornecidas como entradas para esse sistema, seu resultado é baseado em uma estrutura de regras e pesos montados sobre conhecimentos heurísticos humanos e na agregação dos resultados de cada regra para simular uma decisão humana, conforme cita o autor:

Os sistemas fuzzy estimam funções com descrição parcial do comportamento do sistema, onde especialistas podem prover o conhecimento heurístico ou esse conhecimento pode ser inferido a partir de dados de entrada e de saída do sistema (Lima, 2012, p.45).

O fluxograma 1 mostra como decorre os processos de um sistema Fuzzy desde as informações inseridas como entradas até a saída precisa.

Fluxograma 1 - Processos do sistema Fuzzy

Fonte: Ortega (2001) apud Lima (2012, p. 46)

2.2.1 Fuzzificador

“O módulo ‘fuzzificador’ é um número clássico valorado que se traduz por entradas em valores *fuzzy*. Com esse módulo, pode-se modelar matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos *fuzzy*.” (Lima, 2012, p. 47). Dessa forma, o fuzzificador transforma as variáveis de entrada em graus de pertinência e as aderem a conjuntos Fuzzy. Um termo linguístico é atribuído a cada variável de entrada e cada conjunto Fuzzy é representado por uma função de pertinência que estará associada a cada termo linguístico (Pereira, 2010 apud Lima, 2012, p. 46).

O termo linguístico representa um grau de pertinência da variável de entrada associando-a a um grupo qualitativo chamado de conjunto Fuzzy, conforme citado pelo autor: “Uma variável linguística é definida como ‘uma variável cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy’” (TANSCHKEIT, 2003 apud CHAMOVITZ; COSENZA, p. 4). A função de pertinência determina o grau de pertinência e é definida por um humano, que se baseia em sua intuição para implementar a função (Lima, 2012, p. 46).

O gráfico 2 mostra como fica a implementação da função de pertinência, baseando-se na intuição de uma pessoa, e para ela, o termo linguístico baixa significa, que se todos os dados inseridos forem menores que 0,5 considera-se que os mesmos estão no conjunto Fuzzy de BAIXA e alta significa, que se todos os dados inseridos forem maiores que -0,5, considera-se que os mesmos estão no conjunto Fuzzy de ALTA.

A figura 1 explica que grau de pertinência de acordo com a função de pertinência do gráfico 2 tem um dado com valor -0,5.

Figura 1 - Conjuntos Fuzzy depois da fuzzificação da variável de entrada

Na figura 1, dada a entrada de um dado com valor -0,5, a entrada atinge um grau de pertinência 1 para o conjunto Fuzzy de BAIXA, enquanto que, para o conjunto Fuzzy de ALTA, o grau de pertinência é 0, considerando valores entre 0 e 1 no eixo vertical.

2.2.2 Regra Fuzzy

“A regra Fuzzy é uma unidade capaz de capturar algum conhecimento específico e um conjunto de regras é capaz de descrever um sistema em suas várias possibilidades.” (Lima, 2012, p. 47). Nesse caso, um conjunto de regras descreve o sistema em muitas possibilidades. Cada regra é uma proposição estruturada da forma SE {antecedente} ENTÃO {consequente}, em que o antecedente é uma condição elástica e o consequente é uma conclusão (Lima, 2012, p. 47).

A composição de partes antecedentes é realizada através do operador lógico AND, no qual se faz a intersecção entre os conjuntos Fuzzy. As figuras 2 e 3 mostram a definição que explica essa abordagem.

Figura 2 - Definição de intersecção entre conjuntos Fuzzy

Seja $D = A \cap B$

$$D(x) = \min[A(x), B(x)] = A(x) \wedge B(x)$$

Fonte: Gimenez (2009, p. 25)

Em cada regra existe um valor de 0 a 1, chamado *Degree of Support* (DoS). Quando o DoS da regra é igual a 0, significa que a regra é irrelevante; quando o DoS é igual a 1, significa que a regra é importante e quando o DoS está entre 0 e 1, significa que a regra é uma fração considerável (SOUTO-MAIOR et al., 2006, p. 7). A figura 4 exemplifica o funcionamento do DoS.

Na tabela 1 foi montado como exemplo, um conjunto de regras Fuzzy com o operador lógico AND e o DoS. Estas regras Fuzzy servirão de entrada para o módulo de inferência Fuzzy.

Tabela 1 - Conjunto de regras para um sistema Fuzzy com duas entradas e uma saída

1. If (DADO is BAIXA) and (DADO is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (1)
2. If (DADO is BAIXA) and (DADO is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (1)
3. If (DADO is BAIXA) and (DADO is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (1)
4. If (DADO is BAIXA) and (DADO is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (1)
5. If (DADO is ALTA) and (DADO is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (1)
6. If (DADO is ALTA) and (DADO is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (1)
7. If (DADO is ALTA) and (DADO is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (1)
8. If (DADO is ALTA) and (DADO is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (1)

Fonte: Elaborada pelo autor

2.2.3 Inferência Fuzzy

A inferência Fuzzy aplica os operadores lógicos aos conjuntos Fuzzy de entrada da parte antecedente de cada regra para formar o conjunto Fuzzy da parte consequente (Lima, 2012, p. 48).

Dentre os diversos métodos para fazer a inferência Fuzzy, o mais comum é o Mamdani, no qual múltiplas entradas se transformam em uma única saída podendo se estender para múltiplas saídas (Lima, 2012, p. 49).

A figura 3 mostra como a Inferência Fuzzy aplica o operador AND baseando-se na Regra Fuzzy 1 da tabela 1 e em entradas de dados fuzzificadas pela função de pertinência do gráfico 2.

Figura 3 - Inferência Fuzzy baseada em regra Fuzzy com operador AND e DoS igual a 1

Fonte: Elaborada pelo autor

Na figura 3, a ENTRADA_1, parte antecedente da proposição, está identificada no conjunto Fuzzy de BAIXA, de acordo com a regra Fuzzy, com valor de -1 e grau de pertinência 1, a ENTRADA_2, parte antecedente, está também identificada no conjunto Fuzzy de BAIXA, com valor de 0 e grau de pertinência 0,5. O RESULTADO inferido, parte consequente da regra Fuzzy, identificada no conjunto Fuzzy de BAIXA de acordo com o operador AND e o DoS, é o resultado da intersecção entre os conjuntos Fuzzy antecedentes com o grau de pertinência dividido pelo valor 1 do DoS da regra Fuzzy, mostrando o conjunto Fuzzy resultante com grau de pertinência 0,5.

A figura 4 mostra como a inferência Fuzzy aplica o DoS baseando-se na regra Fuzzy 3 da tabela 1, porém mudando o valor do DoS de 1 para 0,5, e em entradas de dados fuzzificadas pela função de pertinência do gráfico 2.

Figura 4 - Inferência Fuzzy baseada em regra Fuzzy com DoS igual a 0,5

Na figura 4, a ENTRADA_1, parte antecedente da proposição, está identificada no conjunto Fuzzy de BAIXA, de acordo com a regra Fuzzy, com valor de -1 e grau de pertinência 1, a ENTRADA_2, parte antecedente, está identificada no conjunto Fuzzy de ALTA, com valor de 0 e grau de pertinência 0,5. O RESULTADO inferido, parte consequente da regra Fuzzy, identificada no conjunto Fuzzy de BAIXA de acordo com o operador AND, o resultado da intersecção entre os conjuntos Fuzzy antecedentes ficaria com grau de pertinência 0,5 se continuar a ser dividido por DoS 1. No entanto agora, o grau de pertinência é dividido pelo valor

0,5 do DoS da regra Fuzzy, mostrando o conjunto Fuzzy resultante com grau de pertinência 0,25.

Após formular todos os conjuntos Fuzzy consequentes de cada regra Fuzzy, a inferência Fuzzy do método Mandami fará a união de todos os conjuntos Fuzzy consequentes e os transformará em um único conjunto Fuzzy (Lima, 2012, p. 53).

A figura 5 expõe como a inferência Fuzzy faz a união dos conjuntos Fuzzy consequentes baseando-se no conjunto de regra Fuzzy da tabela 1.

Figura 5 - União de conjuntos Fuzzy pela inferência Fuzzy em um único

Fonte: Elaborada pelo autor

Na figura 5, pode-se perceber que o conjunto Fuzzy final é a união de todos os conjuntos Fuzzy consequentes da intersecção de todos os conjuntos Fuzzy antecedentes de todas as regras Fuzzy da tabela 1. O conjunto Fuzzy final estampa todos os elementos que vão de valor -2 a 2 que tem grau de pertinência igual e abaixo de 0,5. Esse conjunto Fuzzy final é a entrada para o defuzzificador.

2.2.4 Defuzzificador

O defuzzificador tem o objetivo de exibir um valor numérico que melhor representa o conjunto Fuzzy produzido pela inferência Fuzzy, para ser usado como tomada de decisão, conforme descreve o autor:

A defuzzificação é um procedimento que nos permite interpretar a distribuição de possibilidades da saída de um modelo linguístico fuzzy de forma quantitativa, ou seja, ele nos fornece um valor numérico representativo que captura o significado essencial dessa distribuição de possibilidades. (ORTEGA, 2001, P. 47).

O defuzzificador utiliza do método Centróide, o qual se baseia no centro de área do agrupamento dos conjuntos Fuzzy, dividindo o conjunto Fuzzy final em duas partes iguais (Melo, 2011, p. 30 e 31).

A figura 6 mostra a fórmula matemática que obtém o centro de área. A variável D é o valor de fuzzificado, N é o total de pontos considerados para cálculo, y_i é os valores do conjunto Fuzzy, $\mu(y_i)$ é o grau de pertinência e i é o intervalo (Melo, 2011, p. 28 e 29).

Figura 6 - Fórmula do Centro de Área

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \cdot \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(y_i)}$$

Fonte: Melo (2011, p. 31)

O gráfico 3 mostra o conjunto Fuzzy final da figura 5 e o cálculo que é feito para o conjunto ser de fuzzificado.

Gráfico 3 - Conjunto Fuzzy Final da figura 5

Fonte: Elaborada pelo autor

No gráfico 3, aplicando a fórmula do método Centróide no conjunto Fuzzy final, chega-se ao resultado de valor 0, que é o ponto de identificação do centro de área do conjunto Fuzzy final.

2.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O fluxograma 2 mostra as sequências entre os processos que foram necessários para a implementação do modelo.

Fluxograma 2 - Sequências dos processos do modelo

Fonte: Elaborada pelo autor

A construção do modelo foi dividido em três partes:

2.3.1 Construindo utilizando o software Microsoft Excel (2013)

Organização em tabelas das variações diárias do valor do ouro utilizando o software Microsoft Excel (2013) para se extrair as probabilidades de ocorrência de todas as possibilidades de baixa e alta dos 4 dias anteriores e para servir como histórico de dados para outras partes do modelo.

2.3.1.1 Implementando tabela de extração de ocorrências das possibilidades

Nesse processo, foi organizada uma tabela obtendo uma série histórica de 7409 dias da variação do valor do ouro do site Investing.com, com início em 04/01/1980 e término em 08/07/2009, construída com a variação dos 4 dias anteriores correspondente a cada dia da série.

A escolha de 4 dias anteriores correspondente a cada dia da série histórica foi baseado em testes em tabelas montadas com 2, 3 e 5 dias anteriores, em que se chegou a resposta mais satisfatória, para o modelo proposto, de 4 dias anteriores, pois foi a que obteve os melhores resultados.

A tabela 2 mostra uma pequena parte de como foi implementada a tabela de extração de ocorrência das possibilidades, pois não caberia toda a tabela no texto.

Tabela 2 - Pequena parte da tabela de extração de ocorrências de possibilidades

TABELA DE EXTRAÇÃO DE OCORRENCIA DE POSSIBILIDADES					
DATA	VARIAÇÃO				
	D	D-1	D-2	D-3	D-4
08.07.2009	-2,13%	0,52%	-0,72%	-1,09%	1,50%
07.07.2009	0,52%	-0,72%	-1,09%	1,50%	-1,41%
06.07.2009	-0,72%	-1,09%	1,50%	-1,41%	-0,03%
02.07.2009	-1,09%	1,50%	-1,41%	-0,03%	0,17%
01.07.2009	1,50%	-1,41%	-0,03%	0,17%	0,54%
30.06.2009	-1,41%	-0,03%	0,17%	0,54%	1,10%
29.06.2009	-0,03%	0,17%	0,54%	1,10%	0,36%
26.06.2009	0,17%	0,54%	1,10%	0,36%	-1,60%
25.06.2009	0,54%	1,10%	0,36%	-1,60%	0,17%

Fonte: Dados da pesquisa

Essa tabela foi usada para se extrair a soma da ocorrência de cada série de possibilidades durante todo o período de 7409 dias. Série de possibilidades, que nesse contexto, quer dizer um conjunto de variações do valor do ouro dos 4 dias anteriores.

2.3.1.2 Implementando tabela de teste

Nesse processo foi montada outra tabela da mesma forma que a tabela anterior, porém foi usado um histórico de variações de preço do ouro de 2000 dias, com data de início em 09/07/2009 e término em 07/04/2017. Ela serviu de teste para simular um investimento em ouro durante um período de 2000 dias, tanto para o método comprar e manter quanto para o modelo deste trabalho.

2.3.1.3 Implementando tabela de possibilidades

Durante esse processo, construiu-se uma tabela com todas as séries de possibilidades, em que cada dia anterior foi classificado como 100% baixa - todas as variações que fossem iguais ou menores que -0,2%; ou 100% alta - todas as variações que fossem iguais ou maiores que 0,2%.

A classificação do que foi considerado variações de 100% baixa ou de 100% alta, foi baseado em intuição humana na qual pesou o fato de que variações do valor do ouro entre -0,2% e 0,2% seriam irrelevantes e de pouca interferência nos cálculos probabilísticos necessários ao modelo.

A tabela 3 mostra como ficou a implementação da tabela de possibilidades. Essa tabela serviu de entrada para o processo de cálculo probabilístico de ocorrências.

2.3.1.4 Implementando cálculo probabilístico de ocorrências

Após a implementação da tabela de extração de ocorrência de possibilidades e a tabela de possibilidades, foi acrescido nesta, o cálculo da soma da ocorrência de cada série relacionado ao seu dia posterior, se foi de 100% baixa ou de 100% alta, dividindo esse valor pela soma total das ocorrências de cada série de possibilidades que ocorreram na tabela de extração de ocorrências das

possibilidades, conseguindo assim um valor probabilístico de ocorrências que cada série de possibilidade tem em relação às variações de 100% baixas ou 100% altas de seus dias posteriores.

Tabela 3 - Tabela de possibilidades com o cálculo probabilístico de ocorrências

TABELA DE POSSIBILIDADES COM O CALCULO PROBABILÍSTICO						
D-1	D-2	D-3	D-4	D_BAIXA <= -0,2%	D_ALTA >= 0,2%	QUANT.
<= -0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	33,33%	51,28%	117
<= -0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	35,03%	42,68%	157
<= -0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	37,87%	43,79%	169
<= -0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	39,75%	42,24%	161
<= -0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	28,22%	55,83%	163
<= -0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	39,18%	50,61%	245
<= -0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	30,09%	50,00%	216
<= -0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	40,79%	40,13%	152
>= 0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	36,02%	43,48%	161
>= 0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	42,16%	37,84%	185
>= 0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	40,32%	40,73%	248
>= 0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	47,85%	35,41%	209
>= 0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	<= -0,2%	48,52%	33,73%	169
>= 0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	>= 0,2%	46,01%	33,33%	213
>= 0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	<= -0,2%	43,03%	35,15%	165
>= 0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	>= 0,2%	46,61%	33,90%	118

Fonte: Dados da pesquisa

Na tabela 3, por exemplo, percebe-se que a série de possibilidades que tem o dia D-1 como 100% baixa, o dia D-2 como 100% baixa, o dia D-3 como 100% alta e o dia D-4 como 100% alta, ocorreram 42,24% das 161 vezes em que a série de possibilidades ocorreu em toda a tabela de extração de ocorrências de possibilidades, desde que relacionada ao dia posterior D_ALTA.

Essas séries de possibilidades e suas probabilidades de ocorrência se transformaram em regras Fuzzy e em seus DoS respectivamente no módulo de inferência Fuzzy do software FuzzyLogic Toolbox (2012).

2.3.2 Construindo utilizando o software FuzzyLogic Toolbox (2012)

Desenvolvimento do sistema Fuzzy utilizando o software FuzzyLogic Toolbox (2012) para fazer a fuzzificação e defuzzificação de todas as variações do valor do ouro da tabela de teste.

2.3.2.1 Implementando as funções de pertinência

As funções de pertinência das entradas e saída foram implementadas, especificando as variáveis linguísticas de Baixa com grau de pertinência 1 para variações do valor do ouro que fossem menores ou iguais a -0,2% e grau de pertinência 0 para variações que fossem maiores ou iguais a 0,2%. As variáveis linguísticas de ALTA foram implementadas especificando graus de pertinência contrários as variáveis linguísticas de BAIXA.

A escolha de configurar as funções de pertinência desta forma foi baseada em testes, nos quais se configurou as funções de pertinência com variações de -0,5% a 0,5%, -0,4% a 0,4%, e -0,3% a 0,3%, chegando-se a melhores resultados elaborando as funções de pertinência, especificando as variações com grau de pertinência 1 para variações que fossem menores ou iguais a -0,2% e maiores ou iguais a 0,2%.

A figura 7 mostra como ficaram implementadas as 5 funções de pertinência referentes às 4 entradas de dias anteriores e a saída do sistema Fuzzy. Após a inserção das entradas no fuzzificador, o mesmo fuzzifica as entradas de acordo com as respectivas funções de pertinência e as transforma em conjuntos Fuzzy enviando-as para o módulo de inferência Fuzzy. Após passarem pelo módulo de inferência Fuzzy, os mesmos foram unidos em um único conjunto Fuzzy, o qual foi enviado ao defuzzificador para ser defuzzificado de acordo com a função de pertinência estabelecida com o intuito de fornecer um valor numérico como saída do sistema.

Fonte: Dados da pesquisa

A figura 8 mostra a estrutura do sistema Fuzzy após implementação das funções de pertinência de suas 4 entradas e sua saída.

Figura 8 - Sistema Fuzzy após sua implementação

Fonte: Dados da pesquisa

2.3.2.2 Implementando as regras Fuzzy

Para fazer a implementação desse processo, foram usadas as séries da tabela de possibilidades combinadas com as variáveis linguísticas BAIXA e ALTA para construir as regras Fuzzy e os valores dos cálculos probabilísticos das variáveis linguísticas D_BAIXA e D_ALTA de cada série de possibilidades da tabela de possibilidades, para implementar o DoS de cada Regra Fuzzy.

A tabela 4 mostra uma parte da tabela de regras Fuzzy configuradas no módulo de inferência Fuzzy. Para abranger todas as possibilidades de combinações de conjuntos Fuzzy, foram implementadas 32 regras Fuzzy cada uma com seus respectivos operadores lógicos AND e seus DoS.

Tabela 4 - Parte de todas as regras FuzzyCOLUNA
DE DoS

1. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3333)
2. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (0.5128)
3. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3503)
4. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (0.4268)
5. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3787)
6. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (0.4379)
7. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3975)
8. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (0.4224)
9. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.2822)
10. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (0.5583)
11. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3918)
12. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (0.5061)
13. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3009)
14. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is ALTA) (0.5)
15. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.4079)
16. If (D-1 is BAIXA) and (D-2 is ALTA) and (D-3 is ALTA) and (D-4 is ALTA) then (RESULTADO is ALTA) (0.4013)
17. If (D-1 is ALTA) and (D-2 is BAIXA) and (D-3 is BAIXA) and (D-4 is BAIXA) then (RESULTADO is BAIXA) (0.3602)

Fonte: Dados da pesquisa

2.3.3 Construindo programas utilizando o software MATLAB (2012)

Construção de dois programas: um para simular investimentos pelo método comprar e manter, e outro utilizando o sistema Fuzzy, ambos suportados pelo software MATLAB (2012).

2.3.3.1 Implementando programa do método comprar e manter

O fluxograma 3 mostra como foi estruturado a implementação de um programa que calculou a variação do valor do ouro percorrendo a tabela de teste e retornando a variação total do valor do ouro do período da tabela.

Fluxograma 3 - Estrutura do programa do método comprar e manter

Fonte: Elaborada pelo autor

Esse programa tem a finalidade de simular um investimento em ouro no período de 2000 dias pelo método comprar e manter, para seu resultado ser comparado com o resultado do programa que utiliza o sistema Fuzzy.

2.3.3.2 Implementando programa utilizando sistema Fuzzy

Implementação de um programa que calcule a variação do valor do ouro percorrendo a tabela de teste, utilizando o sistema Fuzzy implementado neste artigo, conforme evidenciado no fluxograma 4.

Após a execução do percorrimto da tabela de teste, o programa compara com o resultado do programa anterior e apresenta a comparação.

Esse programa tem a mesma finalidade do programa anterior, mas pelo fato de utilizar o sistema Fuzzy e comparar a saída defuzzificada com um valor atribuído pelo especialista, o programa tenta identificar os dias que provavelmente teriam baixas, ou seja, que as saídas defuzzificadas seriam menores do que o valor atribuído, não somando as variações do valor do ouro desses dias, somente somando as variações que o sistema Fuzzy indicava probabilidade de alta, ou melhor, que as saídas defuzzificadas seriam maiores ou iguais do que o valor atribuído.

O valor atribuído pelo especialista teve o objetivo de testar qual a melhor saída do sistema Fuzzy, que trouxe o melhor resultado da simulação do investimento para o período especificado na tabela de teste.

Fluxograma 4 - Fluxo das atividades do programa utilizando sistema Fuzzy

Fonte: Elaborada pelo autor

O fluxograma 4 mostrou o fluxo das atividades do programa que utiliza o sistema Fuzzy.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após vários testes executando o programa e comparando o resultado com o resultado do programa do método comprar e manter chegou-se a um valor de -0,8 como sendo o melhor valor atribuído pelo especialista a ser comparado com o resultado de saída do sistema Fuzzy, para encontrar o maior rendimento de uma simulação em um investimento de 2000 dias.

Ou seja, se a saída do sistema Fuzzy, para o dia em questão for maior ou igual a -0,8 significa que o sistema Fuzzy previu alta para o investimento do dia, portanto o programa soma a variação do valor do ouro, porém se a saída for abaixo desse valor, significa que o sistema Fuzzy previu baixa para o investimento do dia, portanto o programa não soma a variação do valor do ouro.

A tabela 5 demonstra a rentabilidade do programa que utiliza o sistema Fuzzy perante os diferentes valores atribuídos pelo especialista.

Tabela 5 - Resultado dos valores testados

VALORES ESCOLHIDOS PELO ESPECIALISTA	RENDAS DO SISTEMA FUZZY	RENDAS DO COMPRAR E MANTER	TOTAL DE DIAS INVESTIDOS	DIAS ACERTADOS COM VARIAÇÕES MAIORES QUE ZERO	DIAS ACERTADOS EM RELAÇÃO AOS DIAS INVESTIDOS	DIFERENÇAS DAS RENDAS FUZZY EM RELAÇÃO AS RENDAS COMPRAR E MANTER
-1,4	38,43%	38,43%	2000	1031	51,55%	0%
-1,1	38,43%	38,43%	2000	1031	51,55%	0%
-0,9	47,21%	38,43%	1888	981	51,96%	22,84%
-0,8	74,19%	38,43%	1772	930	52,44%	93,02%
-0,5	33,98%	38,43%	1376	713	33,98%	-11,58%
-0,2	31,98%	38,43%	1236	644	52,10%	-16,78%
0	47,42%	38,43%	1123	589	52,44%	23,38%
0,1	69,77%	38,43%	969	529	54,59%	81,54%
0,4	43,99%	38,43%	717	390	54,39%	14,45%
0,7	22,56%	38,43%	356	197	55,33%	-41,27%
1	22,25%	38,43%	344	191	55,52%	-42,08%
1,3	4,30%	38,43%	109	62	56,88%	-88,79%
1,7	0,00%	38,43%	0	0	0%	-100%

Fonte: Dados da pesquisa

Como destacado na tabela 5, quando o valor atribuído é menor ou igual a -1,1, a renda do programa que utiliza o sistema Fuzzy fica sem diferença da renda do método comprar e manter. Isso quer dizer que, o programa soma todas as variações da tabela de teste sem fazer distinção entre alta e baixa, porque resultados maiores ou iguais a -1,1 é a saída defuzzificada de todas as entradas de 4 dias anteriores de cada dia da tabela de teste.

No entanto, valores atribuídos maiores ou iguais a 1,7 não existem para nenhuma saída defuzzificada, por esse motivo não há investimento em nenhum dia da tabela de teste, retornando 0% de renda e prejuízo de 100% em relação à renda do método comprar e manter.

A melhor renda obtida, utilizando o sistema Fuzzy, como amparo a tomada de decisão, foi de 74,19% quando o valor atribuído pelo especialista foi de -0,8 - um resultado 93,02% maior que a renda obtida pelo método comprar e manter que foi de 38,43%. O sistema teve acerto de 930 dias com variações maiores que zero, ou melhor, 52,44% de um total de 1772 dias em que o programa indicou investimento.

4 CONCLUSÃO

O artigo expôs o desenvolvimento de um modelo que utilizou um grande período de variações de preços do ativo financeiro ouro atrelado a um sistema Fuzzy para prever os dias que o preço estará em baixa, tentando assim diminuir os impactos na renda de um investimento no ativo.

O modelo deste artigo mostrou que, aliar lógica Fuzzy à análise financeira de ativos financeiros é uma boa maneira de auxiliar em tomadas de decisões, retornando bons resultados de investimentos em relação ao método comprar e manter. Mostrou também que, o comportamento dos investidores, quanto à compra ou venda de um ativo financeiro, são influenciados pelas séries de baixas e altas dos dias anteriores ao dia do investimento, podendo servir de base para montar as regras que o sistema Fuzzy necessita.

REFERÊNCIAS

CHAMOVITZ, I.; COSENZA, C.A.N. **Lógica Fuzzy**: Alternativa viável para projetos complexos no Rio de Janeiro. Anais do XIV PROFUNDÃO – 27,28 e 29 de outubro de 2010 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

GIMENEZ, B. A. **Aplicação de redes neurais e lógica fuzzy na simulação do jogo de barganha com ultimato**. 2009. 73 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP. 2009.

INVESTING.COM. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/gold-historical-data>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

LIMA, I. R. **Sistemas inteligentes para auxiliar na tomada de decisões no mercado de capitais**. 2012. 192 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2012.

MATHWORKS (2012). **FuzzyLogic Toolbox** [software de computador]. MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts EUA.

MATHWORKS (2012). **MATLAB** [software de computador]. MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts EUA.

MELO, L. G. **Sistemas fuzzy probabilísticos: geração automática de regras e defuzzificação bayesiana**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – UTFPR, Curitiba - PR. 2011.

MICROSOFT (2013). **Excel** [software de computador]. Microsoft Corporation, Redmond, Washington EUA.

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina**. 2001. 152 f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP. 2001.

PEREIRA, C. R. T. **Sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros utilizando lógica fuzzy**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2008.

SOUTO-MAIOR, C. D.; MURCIA, F. D.; BORBA, J. A.; JUNIOR, N. C. A. C. **O Índice IBOVESPA e a Lógica Fuzzy**: Uma Nova Estratégia de Investimento. In: Congresso Virtual Brasileiro de Administração, Internet, III, Nov. 2006. Disponível em:<<http://www.convibra.com.br/publicacoes.asp?ev=115&eva=18&lang=pt&te=33&anais=1>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

WIKIPÉDIA. **Comprar e manter**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Comprar_e_manter>. Acesso em: 09 abr. 2017.

ZADEH, L. **Fuzzy Sets**. Information and Control. Vol. 8, p.338-353, 1965.