

Matheus Moreira Silva Rebouças dos Santos

**Proposição de Modelo Matemático para
Estratégia de *Hedging* baseada em
Contraordem**

Salvador

2016

Matheus Moreira Silva Rebouças dos Santos

Proposição de Modelo Matemático para Estratégia de *Hedging* baseada em Contraordem

Monografia apresentada ao Colegiado de Sistemas de Informação da Universidade do Estado da Bahia como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas da Informação.

Universidade do Estado da Bahia
Departamento de Ciências Exatas e da Terra I
Colegiado de Sistemas de Informação

Orientador: Diego Gervasio Frías Suárez
Coorientador: Leandro de Souza Coelho

Salvador
2016

Matheus Moreira Silva Rebouças dos Santos

Proposição de Modelo Matemático para Estratégia de *Hedging* baseada em
Contraordem/ Matheus Moreira Silva Rebouças dos Santos. – Salvador, 2016-
73 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Diego Gervasio Frías Suárez

Monografia (Graduação) – Universidade do Estado da Bahia
Departamento de Ciências Exatas e da Terra I
Colegiado de Sistemas de Informação, 2016.

1. ForEx. 2. Hedge. 2. Modelagem Matemática. I. Suárez, Diego Gervasio Frías.
II. Título

Matheus Moreira Silva Rebouças dos Santos

Proposição de Modelo Matemático para Estratégia de *Hedging* baseada em Contraordem

Monografia apresentada ao Colegiado de Sistemas de Informação da Universidade do Estado da Bahia como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas da Informação.

Trabalho aprovado. Salvador, 16 de novembro de 2016:

Diego Gervasio Frías Suárez
Orientador

Maria Livia Astolfo Coutinho
Convidada

Julian Hermógenes Quezada Celedón
Convidado

Salvador
2016

Dedico à memória de minhas avós, Maria e Antônia.

Agradecimentos

A minha mãe, pelos inúmeros sacrifícios e pela inabalável dedicação à minha formação como ser humano.

Aos amigos que fiz ao longo da até então curta vida, dentro e fora do contexto acadêmico, pelo afeto e pela resiliência em me aturar.

A minha madrinha e aos familiares que me apoiaram.

Aos educadores que tive até aqui, pela generosidade em compartilhar seu conhecimento, técnico ou não.

A meus orientadores pela paciência e compreensão.

E a todos aqueles que contribuíram, direta ou obliquamente, proposital ou involuntariamente, nessa minha jornada.

"Die Philosophen haben die Welt
nur verschieden interpretiert,
es kommt aber darauf an,
sie zu verändern."
(K. Marx)

Resumo

Esse trabalho teve como objetivo propor um modelo matemático que servisse de base para uma estratégia de *hedging* para o mercado ForEx baseada na abertura de uma ordem oposta à que se queira compensar. Para isso foram analisadas as variáveis, estabelecidas suas relações em termos matemáticos e definidos parâmetros de entrada para o modelo. O comportamento desse modelo foi simulado através de um projeto na linguagem C e seus resultados foram submetidos a critérios estatísticos de validação. Apesar da restrita assertividade dos resultados em decorrência de suas limitações, o modelo deu resultados incipientes, mas promissores. Esses resultados ainda não garantem ganhos expressivos, mas podem ser o ponto de partida para o desenvolvimento de um modelo mais refinado e confiável.

Palavras-chave: ForEx. Hedge. Modelagem Matemática.

Abstract

This work had the objective to propose a mathematical model which would sustain a hedging strategy for the ForEx market based on the opening of an opposite order to the one that is intended to be compensated. In order to do so, the variable were analyzed, their relations in mathematical terms were established and the input parameters to the model were defined. The model's behavior was simulated through a project written in C programming language and its results underwent statistic validation criteria. Despite the restricted assertiveness of the results due to its limitations, the model offered incipient but promising results. These results do not yet guarantee expressive gains, however, they may be the starting point to developing a more refined and reliable model.

Keywords: ForEx. Hedge. Mathematical Modelling.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Interface do <i>MetaTrader4</i>	30
Figura 2 – Interface do <i>MetaEditor</i>	30
Figura 3 – Interface do examinador de estratégias do MT4.	31
Figura 4 – Etapas da modelagem matemática.	36
Figura 5 – Macroarquitetura do projeto.	41
Figura 6 – Microarquitetura da segunda etapa.	42
Figura 7 – Microarquitetura da terceira etapa.	42
Figura 8 – Distribuições para os balanços dos dias 27 (à esq.) e 28 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).	51
Figura 9 – Distribuições para os balanços dos dias 27 (à esq.) e 28 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).	51
Figura 10 – Distribuições para os balanços dos dias 29 (à esq.) e 30 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).	52
Figura 11 – Distribuições para os balanços dos dias 29 (à esq.) e 30 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).	52
Figura 12 – Distribuições para os balanços dos dias 2 (à esq.) e 3 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).	53
Figura 13 – Distribuições para os balanços dos dias 2 (à esq.) e 3 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).	53
Figura 14 – Distribuições para os balanços dos dias 4 (à esq.) e 5 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).	53
Figura 15 – Distribuições para os balanços dos dias 4 (à esq.) e 5 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).	54
Figura 16 – Distribuições para os balanços dos dias 6 (à esq.) e 7 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).	54
Figura 17 – Distribuições para os balanços dos dias 6 (à esq.) e 7 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).	54

Lista de tabelas

Tabela 1 – Moedas mais transacionadas no ForEx.	27
Tabela 2 – Informações de validação por tipo de ordem compensada.	50
Tabela 3 – Ternas candidatas a ótimas.	52

Lista de abreviaturas e siglas

ATS	<i>Automated Trading Systems</i>
csv	<i>Comma-separated values</i>
dir.	direita
esq.	esquerda
EA	<i>Expert Advisors</i>
ForEx	<i>Foreign Exchange Market</i>
MQL	<i>MetaQuotes Language</i>
MT4	<i>MetaTrader4</i>

Lista de símbolos

Λ	Letra grega maiúscula Lambda
λ	Letra grega minúscula Lambda
μ	Letra grega minúscula Mu
π	Letra grega minúscula Pi
θ	Letra grega minúscula Theta

Sumário

1	INTRODUÇÃO	25
2	O MERCADO FINANCEIRO E O FOREX	27
2.1	Do ForEx	27
2.2	Do MetaTrader	29
3	HEDGING	33
4	MODELAGEM MATEMÁTICA	35
5	TRABALHOS CORRELATOS	39
6	METODOLOGIA	41
7	PROJETO	45
7.1	Modelo	45
7.1.1	Funções preliminares	45
7.1.2	Equações fundamentais	45
7.1.3	Fatores de otimização	47
7.2	Testes	49
8	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICES	61
	APÊNDICE A – RELAÇÃO ENTRE O VALOR IDENTIFICADOR DE TERNAS E OS FATORES DE OTIMIZAÇÃO.	63
A.1	Encontrar o identificador com os fatores	63
A.2	Encontrar os fatores com o identificador	64
	APÊNDICE B – COLETOR DE DADOS	65
	APÊNDICE C – SIMULADOR	67

1 Introdução

Quando se fala em mercado financeiro, costuma vir logo à mente o mercado de ações. Entretanto, apesar de não tão famoso no Brasil, o mercado de câmbio, ou *Foreign Exchange Market* (doravante, *ForEx*), é o maior mercado financeiro do mundo em volume de transações, ultrapassando diariamente a cifra de quatro trilhões de dólares (INVESTOPEDIA, 2016a).

O *ForEx* é um mercado através do qual vendedores e compradores negociam divisas de vários países. Segundo a Investopedia (2016c), entre as moedas mais transacionadas estão o dólar estadunidense, o euro, o iene japonês, a libra esterlina, o franco suíço, o dólar canadense, o dólar australiano e o neozelandês e o rande sul-africano.

Dentro do contexto dos mercados financeiros, o *ForEx* é um mercado de alta liquidez e alto risco e, no mundo financeiro, uma forma de mitigar os riscos é o emprego de *hedging*, que é uma operação que tem como objetivo proteger outros investimentos das intempéries do mercado financeiro (BERTOLO, 2010). Contudo, há alguns problemas no emprego dessa técnica. O mais intuitivo desses problemas é o risco inerente ao *hedging*, pois ele, como toda operação financeira ou investimento, está submetido à imprevisibilidade do mercado, e seu êxito não é, pois, garantido. Outro, menos óbvio, é que a decisão de executar a operação de *hedging*, seus parâmetros (por exemplo, o preço acordado em um contrato futuro) e, conseqüentemente, suas chances de sucesso estão fortemente sujeitos à experiência de quem opera, ao *feeling*. Até onde se sabe, o primeiro problema é incontornável. O segundo, porém, pode ser abordado e é o alvo principal do presente trabalho.

O objetivo geral deste projeto foi propor, de maneira exploratória, um modelo matemático que sirva de sustentação para uma estratégia de *hedging* que funciona com a abertura de uma contraordem. Para isso, serão cumpridos os objetivos parciais de desenvolver o modelo matemático que dará sustentação à estratégia, testar o modelo com dados reais do mercado de câmbio através de simulações, e avaliar a validade do modelo com base nos critérios determinados na metodologia proposta no Capítulo 6 desta monografia.

A simplicidade da estratégia de *hedging* proposta facilita seu entendimento mesmo para investidores menos experientes: caso haja uma ordem aberta gerando prejuízo, uma ordem do tipo oposto e com volume maior é aberta para tentar beneficiar-se da tendência da cotação prejudicial à primeira e mitigar as perdas. Espera-se que o desenvolvimento de um modelo matemático rigoroso, que ajude a determinar em que condições a contraordem deve ser aberta, qual deve ser seu volume e em que momento ambas devem ser fechadas possa oferecer mais robustez e confiabilidade à estratégia proposta. Além disso, os estudos

necessário para a formulação da estratégia e do modelo que a sustenta pode proporcionar um conhecimento mais profundo do mercado financeiro - e, mais especificamente, do ForEx - e de seu funcionamento, elucidando dúvidas sobre as variáveis que o compõem e suas correlações.

Esta monografia é o relato do desenvolvimento desse modelo matemático e de sua validação. Ela é composta de oito capítulos.

O [Capítulo 2](#), o [Capítulo 3](#) e o [Capítulo 4](#) compõem o referencial teórico do trabalho. Eles abordam, respectivamente, o mercado financeiro - com foco no mercado de câmbio -, o *hedging* como operação financeira e o processo de modelagem matemática.

O [Capítulo 5](#) apresenta alguns trabalhos correlatos, seus pontos de proximidade e suas diferenças em relação ao trabalho aqui relatado.

O [Capítulo 6](#) descreve a metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho.

O [Capítulo 7](#) apresenta o relato do projeto propriamente dito: na primeira seção, as equações que compõem o modelo e, na segunda seção, a implementação do simulador para os testes.

No [Capítulo 8](#), são apresentadas as conclusões e propostos os possíveis trabalhos futuros.

2 O mercado financeiro e o ForEx

Segundo [Burton e Nesiba \(2010\)](#), no contexto financeiro, mercado é o nome que se dá ao mecanismo que põe em contato vendedores e compradores de bens, independentemente de onde estejam localizados. Ainda de acordo com os autores, uma das formas mais comuns de classificar os mercados agregados sob a alcunha de mercado financeiro é com base no instrumento financeiro negociado nesses mercados. Alguns exemplos são o mercado de ações, no qual parcelas do capital social de companhias são transacionadas ([COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS, 2016b](#)), e o de debêntures, valores mobiliários que representam direito de crédito ao investidor ([BM&FBOVESPA, 2016](#)).

A despeito de não ser tão conhecido quanto o mercado de ações, o *Foreign Exchange Market* (doravante, ForEx) é o maior mercado financeiro do mundo quando se trata de volume de transações ([RENKINS, 2016](#)). [Garner \(2012, p. 5\)](#) define-o como um mercado de abrangência mundial, descentralizado e paralelo através do qual as contrapartes negociam pares divisas de diferentes países através de corretoras, simultaneamente vendendo uma e comprando outra. A [Tabela 1](#) lista as moedas mais transacionadas no mercado ForEx.

Tabela 1: Moedas mais transacionadas no ForEx.

Posição	Símbolo	País	Moeda
1º	USD	Estados Unidos	Dólar
2º	EUR	União Europeia (Vários)	Euro
3º	JPY	Japão	Iene
4º	GBP	Reino Unido (Vários)	Libra
5º	AUD	Austrália	Dólar
6º	CHF	Suíça	Franco
7º	CAD	Canadá	Dólar
8º	HKD	Hong Kong	Dólar

Fonte: Adaptado de [Bank For International Settlements \(2010, p. 9\)](#).

Os aspectos gerais, decorrentes de o ForEx pertencer ao agregado chamado financeiro, e específicos, relacionados ao funcionamento particular do ForEx, que são relevantes para este trabalho são apresentados na seção seguinte.

2.1 Do ForEx

As negociações de divisas no ForEx se dão em pares, representados na forma moeda base/moeda cotação, por exemplo, EUR/USD. A cotação representada indica quantos dólares são necessários para se comprar um euro.

As cotações são representadas convencionalmente como um par de valores, a exemplo de 0.8532/35. O primeiro valor representa o preço de compra do mercado (o *Bid*), ou a quantidade de moeda de cotação obtida na venda de uma unidade da moeda base. O segundo, geralmente resumido nos dois últimos dígitos, representa o preço de venda do mercado (o *Ask*), ou a quantidade de moeda de cotação a ser paga na compra de uma unidade de moeda base.

À diferença entre o *Ask* e o *Bid* dá-se o nome de *spread*. No exemplo citado o *spread* seria de 0.0003. Uma vez que as ordens são abertas e fechadas em valores de mercado opostos - quer dizer, uma posição de compra é aberta no *Ask* e fechada no *Bid*; uma de venda, aberta no *Bid* e fechada no *Ask* - fica a cargo do investidor pagar a diferença dos valores, o *spread*. As corretoras por meio das quais se negocia no ForEx oferecem a seus clientes a opção de transacionar com *spread* fixo ou variável. Isso é possível porque o preço base é o *Bid*. Caso o *spread* fixo seja escolhido, a distância entre o *Ask* e o *Bid* permanece a mesma¹ com o passar do tempo. Caso se escolha o variável, as cotações ficam totalmente submetidas às variações do mercado (BROOKS; DOLAN, 2015). De qualquer maneira, o total pago pelo investidor referente ao *spread* depende ainda do volume negociado, ou seja, do lote da ordem.

Chama-se *pip* (*Percentage in point* ou *price interest point*) a unidade de mudança de taxa de câmbio. Assim, o *spread* do exemplo anterior também pode ser descrito com 3 *pips*. A cotação do exemplo é dada em quatro casas decimais, como é o caso das moedas mais transacionadas no ForEx - com exceção das cotações baseadas no iene, que são dadas em duas (ARCHER; BICKFORD, 2005). Entretanto, algumas corretoras oferecem mais uma casa de precisão, chamada de *pip* fracionário (*fractional pip*), equivalente a um décimo de *pip*. Por isso, é comum ver as cotações baseadas na moedas mais negociadas representadas com cinco casas decimais (FORMAN, 2006) (três, no caso das baseadas em iene).

Transações no ForEx são feitas regularmente em um lote padrão de cem mil dólares e os lotes das ordens são representados como razões desse lote padrão (ARCHER; BICKFORD, 2005). Caso o lote de uma ordem seja 1, por exemplo, cada *fractional pip* equivalerá a um dólar (multiplicando-se o valor *fractional pip* pelo tamanho do lote e pelo lote padrão, nesse caso, $0.00001 \cdot 1 \cdot 100000$). Caso o lote da ordem seja 0.1, cada *fractional pip* equivale a dez centavos de dólar.

Analogamente ao mercado financeiro em geral, no ForEx as negociações são feitas por meio da abertura de ordens de compra e venda. Segundo Garner (2012), há os seguintes tipos de ordem no ForEx:

¹ É possível que haja alterações no *spread*, entretanto, o investidor é informado caso elas ocorram (FOREX IS SIMPLE, 2010).

- Ordens a mercado (*market orders*): também chamadas de ordens ao melhor, são abertas a preço de mercado, isto é, *Bid* para uma ordem de venda e o *Ask* para uma ordem de compra.
- Ordens limite (*limit orders*): ordens programadas para iniciar caso seja alcançado um preço específico determinado pelo investidor ou um mais favorável.
- *Stop Orders*: utilizadas para conter perdas ou garantir margem de lucro, são executadas quando determinado limite de preço admissível é ultrapassado e as condições se tornam desfavoráveis.

As ordens limite e as *stop orders* podem ser confundidas, mas a diferença entre elas consiste no comportamento em relação ao preço limite estabelecido. Caso seja programada uma ordem limite para o preço P, por exemplo, ela vai ser executada caso seja atingido um preço igual a P ou, no caso, de uma ordem de compra, um menor do que P e, no caso de uma ordem de venda, um maior do que P. Estabelecendo-se o mesmo preço P para uma *stop order*, uma ordem de venda é executada quando o preço atual atinge um valor menor do que P e uma de compra, se o preço atual atinge um valor maior do que P (DIFFEN, 2016).

Quanto aos custos de manutenção da ordem, além do *spread*, há a comissão paga à corretora e o *rollover* (em algumas fontes, também chamado de *swap*). A comissão é frequentemente dada em função do volume negociado, mas pode envolver uma quantia fixa por ordem. Além disso, a comissão é cobrada pela corretora tanto na abertura quanto no fechamento da posição. O *rollover* decorre da compra e venda imediata de dada quantidade de moeda em datas diferentes. Isso ocorre quando uma ordem permanece durante a abertura e fechamento do mercado. A quantia paga pelo *rollover* também depende do volume negociado (GARNER, 2012).

Para lidar de maneira mais sistemática com todas as nuances das negociações, no contexto geral do mercado financeiro, tem crescido o emprego dos chamados sistemas de negociação automatizada, ou *automated trading systems* (ATSs), programas de computador responsáveis por abrir, gerir e fechar ordens. No MetaTrader, plataforma de negociação *online* no mercado ForEx, um programa de negociação automatizada recebe o nome de *expert advisor* (doravante, EA). Essa plataforma e seus principais recursos são apresentados na seção seguinte.

2.2 Do MetaTrader

O *MetaTrader4*, correntemente abreviado para MT4, é uma das mais populares plataformas de negociação eletrônica para ForEx. Ele é desenvolvido originalmente pela

MetaQuotes Software Corporation, mas muitas corretoras oferecem versões customizadas licenciadas (YOUNG, 2010). A Figura 1 apresenta a interface do *MetaTrader4*.

Segundo Young (2010), a popularidade do MT4 deve-se, entre outros fatores, ao fato de ele ser gratuito e incluir ferramentas de análise técnica bastante úteis ao investidor, mas, sobretudo, à *MetaQuotes Language (MQL4)*, linguagem de programação, bastante semelhante a C, empregada na criação de indicadores e *ATSs*.

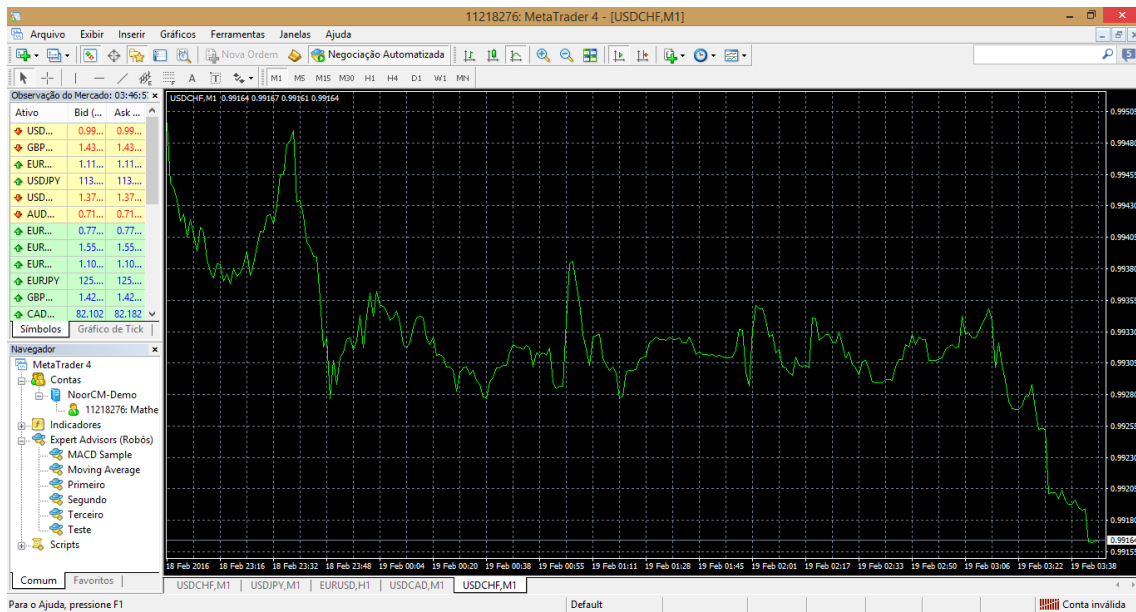


Figura 1: Interface do *MetaTrader4*.

Fonte: Print Screen da interface do *MetaTrader4*.

A programação dos indicadores e *EAs* é feita através do recurso *MetaEditor*, um editor para a linguagem MQL, embutido no MT4, cuja interface é apresentada na Figura 2.

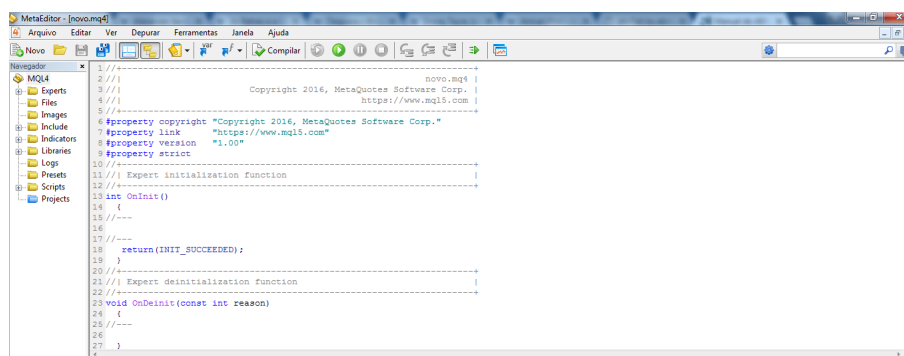


Figura 2: Interface do *MetaEditor*.

Fonte: Print Screen da interface do *MetaEditor*.

Outro recurso do *MetaTrader4* bastante prestadió ao usuário é o examinador de estratégias. Ele serve para testar as estratégias implementadas nos *EAs* com dados históricos do mercado armazenados na ferramenta, com o intuito de fazer aprimoramentos

às estratégias, caso se mostrem necessários. A interface do examinador de estratégias é apresentada na Figura 3.

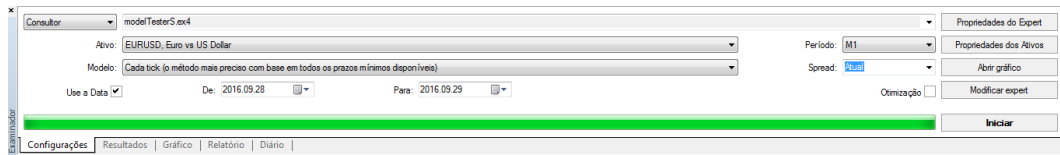


Figura 3: Interface do examinador de estratégias do MT4.

Fonte: Print Screen da interface do MetaTrader4.

Na aba de Configurações, são selecionados o *EA*, o ativo negociado e o intervalo de tempo, entre parâmetros. Na aba de Resultados são impressas as aberturas e os fechamentos de ordens ocorridos. Na aba Gráfico é exibida esquematicamente a atuação do consultor (*EA*) testado. Na aba Relatório são detalhadas as informações técnicas da execução. Na aba Diário é impresso o *log* da execução do consultor testado (GLOBAL FUTURES AND FOREX, LTD., 2012).

3 Hedging

Segundo o *Cambridge Dictionary*, *hedge* significa "sebe, cerca viva" (CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2016). Entretanto, dentro do contexto das finanças, essa expressão toma novo significado: *Hedge* é o nome dado à operação financeira que tem por objetivo diminuir a exposição do investimento feito por uma firma aos riscos inerentes ao mercado (TREANOR; FINANCE, 2008). Por derivação morfológica, *hedging* é o nome que se dá ao ato de empregar a operação de *hedge*.

O *hedging* funciona de maneira similar a uma apólice de seguro, uma tentativa de se antecipar às vicissitudes. A necessidade dessa antecipação incorre das feições do próprio mercado financeiro, volúvel e estocástico, no qual preços de ativos flutuam em decorrência de fatores tanto internos quanto ambientais externos ao mercado.

Esta operação é amplamente empregada em várias modalidades do mercado financeiro, como o mercado de capitais, o de crédito, o de *commodities* e o ForEx. Este último é um dos mercados em que mais se emprega o *hedge* (HECKINGER et al., 2013).

Uma forma de empregar *hedge* é através do investimento em derivativos, que são valores mobiliários cujo valor depende de outros ativos. Ilustrando, se um firma tem investimentos em determinado par de divisas, EUR/USD, por exemplo, contando com a valorização dessa cotação - ou seja, na apreciação do euro em relação ao dólar -, essa mesma firma pode adquirir contratos futuros (acordos feitos entre investidores para comprar ou vender determinado ativo a um preço definido em algum momento específico no futuro) que contem com a depreciação da cotação. Dessa maneira, o que for perdido no investimento principal, caso a cotação não se aprecie, pode ser ressarcido com o investimento derivado, guardadas as devidas proporções dos investimentos. Essa estratégia pode ser bem sucedida devido ao fato de que a relação entre o comportamento de um ativo e seus derivados é, comumente, definida de maneira clara, como no caso citado no exemplo. Por outro lado, uma desvantagem é que essa estratégia frequentemente exige uma grande quantidade de capital disponível para investimento (INVESTOPEDIA, 2016b).

Outra forma usual de *hedging* é a diversificação de portfólio. Essa estratégia consiste em, dado um investimento principal que se queira cobrir, investir em algum outro ativo que 1) relacionado ou não àquele do investimento a se cobrir, costume apresentar comportamento mais uniforme a despeito de recessões ou outros choques econômicos e/ou 2) comporte-se, aparentemente, de maneira inversamente proporcional àquela do ativo do investimento principal. A desvantagem observada é que, por conseguinte às sabidas imprevisibilidade e exposição do mercado financeiro a fatores ambientais, nunca há total garantia que determinado ativo vá se comportar de maneira estável frente aos

choques e crises ou de maneira inversamente proporcional a outro ([INVESTOPEDIA, 2016b](#)). Essa desvantagem pode ser potencializada caso essa estratégia de *hedging* não seja empregada com base em uma análise técnica dos ativos envolvidos, mas em conclusões não profissionais.

Outra estratégia de *hedging* é a chamada *risk reversal*, bastante empregada no mercado de opções de câmbio, derivado do ForEx. Ela consiste em combinar posições opostas (como uma opção de venda e outra de compra), geralmente com volumes diferentes em favor da operação de interesse, de forma a estar preparado para oscilações em qualquer direção. Essa limita as perdas, mas, conseqüentemente, também limita os ganhos ([DEROSA, 2011](#)). A estratégia de *hedging* baseada em contraordem, empregada neste trabalho, é uma forma de implementar a estratégia de *hedging* citada.

A proposta de desenvolver um modelo matemático com o objetivo de fornecer mais robustez a essa estratégia está alinhada com a tendência de aplicar recursos da Matemática e da Estatística como ferramentas de análise do mercado, no intuito de obter maior confiabilidade nos investimentos. Entre esses recursos está o processo de Modelagem Matemática, abordado no capítulo seguinte.

4 Modelagem matemática

Segundo [Dym \(2004\)](#), um modelo matemático é a representação do comportamento de mecanismos do mundo real em linguagem matemática. A modelagem matemática é, portanto, o processo de construção de uma representação idealizada do mundo real em termos matemáticos, descrevendo seus elementos e as relações entre eles. O principal propósito desse processo é expandir o conhecimento científico sobre o mundo. Além disso, é possível também explorar os efeitos de mudanças em um determinado sistema e auxiliar na tomada de decisões ([LAWSON; MARION, 2008](#)).

[Meerschaert \(2007\)](#) descreve a abordagem da modelagem matemática em cinco passos, que seguem:

1. Fazer a pergunta: nessa etapa é necessário levantar as variáveis, fazer suposições sobre elas e descrever suas aparentes relações matemáticas, de modo que seja possível formular, em termos matemáticos o problema que se quer resolver ou a pergunta que se quer responder.
2. Escolher a abordagem de modelagem: partindo da descrição do problema que se almeja resolver, produto da etapa anterior, é preciso, então, escolher a estratégia matemática a ser empregada para resolver o problema. Alguns exemplos de estratégias são otimização linear de uma ou mais variáveis e análise de pontos extremos da função, dependendo da forma como o problema foi descrito.
3. Formular o modelo: nessa etapa deve-se reformular o problema descrito na primeira etapa de acordo com a abordagem matemática escolhida na segunda.
4. Resolver o modelo: nessa etapa busca-se encontrar a solução do problema reformulado na etapa anterior, usando o procedimento convencional de resolução da abordagem selecionada na segunda etapa da modelagem.
5. Responder a pergunta: solucionado o problema em termos matemáticos, resta responder a pergunta que motivou o processo de modelagem.

Em um nível mais alto de abstração e com maior abrangência, [Lawson e Marion \(2008\)](#) descrevem o processo de modelagem em quatro grandes atividades. A Figura 4 ilustra esse processo.

A primeira atividade é a construção do modelo. Nessa fase são feitas a definição do nível de detalhamento do modelo, a divisão entre o sistema que se pretende modelar e o ambiente no qual ele está inserido e a formulação de fato do modelo. É nesse estágio

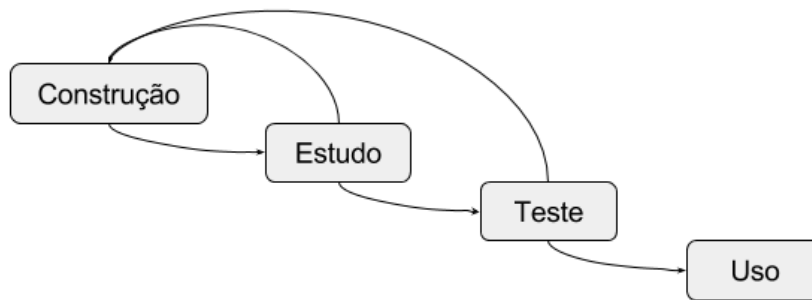


Figura 4: Etapas da modelagem matemática.

Fonte: Adaptado de [Lawson e Marion \(2008\)](#).

também que é definida abordagem matemática. Essa atividade equivaleria às três primeiras etapas do processo proposto por [Meerschaert \(2007\)](#).

A segunda atividade é o estudo do modelo, que compreende duas subatividades: a análise de sensibilidade e a modelagem dos resultados. A primeira subatividade consiste na variação dos valores dos parâmetros do modelo a fim de estudar seu comportamento e detectar possíveis inconsistências. A segunda é a definição da forma e da interpretação dos resultados produzidos pelo modelo. Essa atividade contempla, mas também extrapola a quarta etapa do processo de [Meerschaert \(2007\)](#).

A terceira atividade é a de teste do modelo. Aqui, alimenta-se o modelo com dados preferencialmente diferentes daqueles da etapa de estudo com o fito de validá-lo ou verificá-lo. Segundo os autores, a validação é o confronto entre os resultados do modelo e os dados observados no mundo real, enquanto a verificação é a comparação entre os resultados fornecidos pelo modelo e sua descrição.

A quarta atividade constitui-se da apresentação do modelo construído, estudado e testado a seu usuário final. Convém, aqui, destacar as informações do modelo que são relevantes a usuário final, de modo que, respaldado por elas, ele seja capaz de tomar decisões.

Estes estágios, apesar de apresentados de maneira sequencial, nem sempre se seguem de maneira tão trivial. Durante o processo de modelagem, é comum que problemas identificados nas fases de estudo e de teste levem a um retorno ao estágio de construção e, nele sendo feitas modificações, é preciso repetir os estágios de estudo e teste.

Entretanto, há limitações às quais se submete a modelagem matemática, decorrentes tanto do próprio caráter abstrativo do processo, quanto de falhas na implementação ou restrição de recursos. Quantidades insuficientes de dados, por exemplo, limitam inerentemente as conclusões que podem ser tiradas do modelo. O poder computacional de que se pode dispor para fazer simulações necessárias pode também representar uma restrição ao

desenvolvimento do trabalho ([KAPUR, 1988](#)). Há, ademais, situações cuja complexidade não é (ou não pode ser) suficientemente apercebida dada a abstração necessária à modelagem e/ou ao número estrito de variáveis que se podem levantar e com as quais se pode trabalhar.

5 Trabalhos correlatos

O artigo "*Hedging by Sequential Regression: an Introduction to the Mathematics of Option Trading*" (FOELLMER; SCHWEIZER, 1989) é a transcrição de uma fala no encontro anual da Associação Suíça de Atuários (*Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker*) de 1987. Nele os autores fazem uma breve introdução de alguns aspectos relevantes da teoria matemática que são aplicados no mercado, mais particularmente, no mercado de opções¹. Entre esses aspectos estão a regressão linear e o modelo de *Blacks-Scholes*, que tem como objetivo fazer estimativas teóricas de preços de opções (BLACK; SCHOLES, 1973). Este artigo aproxima-se do presente trabalho por abordar o emprego de conceitos da Matemática e da Estatística no mercado financeiro. Diferencia-se, contudo, pelo contexto - o mercado de opções - e por não se tratar de um trabalho de modelagem, mas, *grosso modo*, de divulgação de contribuições científicas anteriores.

Na dissertação "O Risco de Base, a Efetividade do Hedging e um Modelo para a Estimativa de Base: Uma Contribuição ao Agronegócio do Café em Minas Gerais" (FILENI, 1999), os autores apresentam um estudo sobre o desempenho do contrato futuro do café como forma de cobrir o investimento feito. Os critérios de avaliação desta técnica de *hedging* foram sua capacidade de diminuir o risco de preço do contrato futuro, em comparação com o preço à vista, e a utilidade do contrato na facilitação das decisões de compra e venda. Nos resultados do trabalho, verificou-se que o risco do contrato foi consideravelmente menor que o de preço à vista, mostrando a capacidade do *hedging* de reduzir riscos. A dissertação aproxima-se do presente trabalho por estudar a eficiência de uma técnica de *hedging* na redução dos riscos de um investimento. Entretanto, distancia na forma de *hedging* escolhida - o contrato futuro - e no contexto do estudo, o mercado de negociação de *commodities*.

O artigo "Determinação da Razão de Hedge Ótima para o Boi Gordo no Mercado Futuro da BM&F pela Aplicação da Simulação de Monte Carlo" (FIGUEIREDO; NETO; REZENDE, 2009) é o relato do esforço para determinar a razão ótima de *hedge* para o investimento analisado. Primeiro, levantou-se a série temporal do preço da arroba do boi gordo no estado de Goiás. Então, analisou-se a estacionariedade - variação aleatória ao redor de um média constante - das séries de preço à vista e futuro. Por fim, para determinar a razão ótima, foi aplicada a simulação de Monte Carlo, método desenvolvido por Stan Ulam e John Von Neumann, que usa números aleatórios para determinar a distribuição de uma estatística (ECKHARDT, 1987). O artigo aproxima-se do presente trabalho pela aplicação de métodos matemáticos em uma operação financeira com o intuito de proteger

¹ No mercado de opções são negociados os direitos de venda ou compra de um bem em uma data futura a um preço fixo (COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS, 2016a).

um investimento. Distancia-se, porém, assim como o trabalho citado no parágrafo anterior, por seu contexto - o mercado futuro da BM&F.

Na monografia "Indicadores Baseados em Diferenças de Primeira Ordem para Orientar Robôs no Mercado ForEx"(BORTOLI FILHO, 2015), o autor relata a proposição e o desenvolvimento de uma análise técnica aplicada no mercado ForEx com o objetivo de extrair indicadores que orientem robôs investidores na tomada de decisões. Para isso, é utilizada uma abordagem de Inteligência Artificial, as Redes Neurais, para encontrar padrões em séries temporais. Diferentemente dos trabalhos correlatos citados anteriormente, a monografia compartilha com o presente trabalho o contexto (o mercado ForEx), distanciando-se, contudo, no objeto do trabalho, que é o reconhecimento de padrões.

6 Metodologia

A metodologia empregada consiste, em pequena escala, em quatro grandes etapas: a modelagem, a coleta de dados, a simulação e a validação. A Figura 5 apresenta a macroarquitetura do projeto.

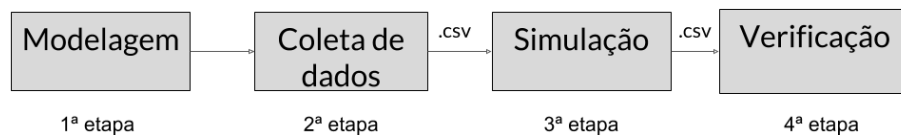


Figura 5: Macroarquitetura do projeto.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A primeira etapa compreendeu os seguintes passos:

- reconhecer os conceitos fundamentais da negociação através de uma ordem a mercado, sejam eles o preço de abertura e de fechamento de uma ordem, seu lucro e seu volume (lote) e a comissão e o *rollover* associados a ela. Este passo exigiu a proposição de funções e variáveis auxiliares na formulação do modelo, que não necessariamente estavam ligadas diretamente à negociação;
- determinar os fatores de otimização do modelo, responsáveis por estipular a condição de início da compensação, o volume da ordem compensatória e a variação de preço necessária para que se compense a perda;
- estabelecer a relação entre os fatores de otimização de modo a definir a condição de parada da compensação.

A segunda etapa teve como objetivo colher dados do mercado ForEx com os quais foi alimentada a etapa seguinte, a de simulação. Esses dados foram passados em formato *.csv* (*Comma-Separated Values*)¹.

Olhando mais proximamente, a segunda etapa foi composta pela construção do *EA* de coleta de dados do mercado no *MetaEditor*, da execução desse *EA* no examinador de estratégias do *MetaTrader4* e da persistência dos dados colhidos em um arquivo *.csv*. A Figura 6 mostra essa microarquitetura.

¹ Arquivos CSV são arquivos que contêm linhas nas quais valores são separados com um determinado delimitador - mais comumente, a vírgula - e que têm como um de seus objetivos a comunicação entre aplicações díspares (SHAFRANOVICH, 2005).

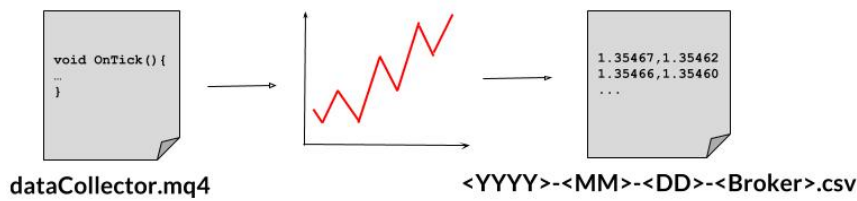


Figura 6: Microarquitetura da segunda etapa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As *tags* `<YYYY>`, `<MM>` e `<DD>` representam os valores de ano, mês e data em formato de quatro, dois e dois dígitos, respectivamente. A *tag* `<Broker>` representa o nome da corretora.

A terceira etapa consistiu na construção, em linguagem C, de um simulador de negociações para testar o funcionamento do modelo que foi desenvolvido. Esta etapa forneceu como saída outro arquivo `.csv`, com os resultados da simulação, que serviu como entrada da etapa seguinte.

Mais profundamente, essa etapa foi composta da transcrição das variáveis do modelo e suas relações para a linguagem de programação, da construção e execução do projeto em C para simular negociações e da persistência dos resultados em um arquivo `.csv`. A Figura 7 mostra a microarquitetura da segunda etapa.

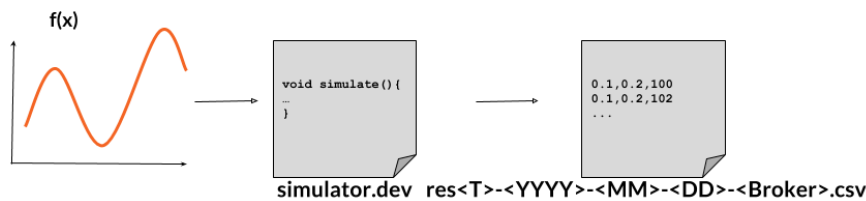


Figura 7: Microarquitetura da terceira etapa.

Fonte: Parcialmente adaptado de <https://goo.gl/ZrpT5m>.

A *tag* `<T>` representa o tipo da primeira ordem aberta, podendo assumir os valores 'B' (*Buy*), para uma ordem de compra - compensada por um de venda - e 'S' (*Sell*), para uma ordem de venda - compensada por uma de compra. Essa *tag* é reutilizada nos nomes de outros arquivos `.csv`, códigos-fonte e variáveis no decorrer deste trabalho.

Para a validação, foi criado um fator de análise $\mu_{<T>}$, definido por:

$$\mu_{<T>} = h \cdot N(B_i),$$

onde h é o indicativo de *hedging*, que assume valor 1 caso a ordem de compensação tenha sido aberta e 0 caso não, e $N(B_i)$ é função de normalização, dada por:

$$N(B_i) = \frac{B_i - B_{MIN}}{B_{MAX} - B_{MIN}},$$

onde B_i é o balanço que se quer normalizar e B_{MIN} e B_{MAX} são valores mínimo e máximo de balanço obtidos.

Foi definido um fator limiar, determinado pelas condições $B_i = 0$ e $h = 1$, dado por:

$$\mu_{<T>,L} = \frac{-B_{MIN}}{B_{MAX} - B_{MIN}}.$$

Os conjuntos de parâmetros de entrada cujos fatores de análise $\mu_{<T>}$ forem maiores do que o limiar $\mu_{<T>,L}$ são candidatos a ótimos.

7 Projeto

Este capítulo traz o modelo matemático desenvolvido e a implementação computacional do trabalho.

7.1 Modelo

Nesta seção estão descritas as equações que compõem o modelo matemático desenvolvido.

7.1.1 Funções preliminares

Seja T_i a tendência da ordem i , de modo que $T_i = 1$, caso a ordem seja de compra, e $T_i = -1$, caso a ordem seja de venda. Assim sendo, define-se a função buy , dependente de T_i , tal que:

$$buy(T_i) = \begin{cases} 1, & \text{quando } T_i = 1 \\ 0, & \text{quando } T_i = -1 \end{cases}$$

Define-se também $sell$, de modo que:

$$sell(T_i) = \begin{cases} 0, & \text{quando } T_i = 1 \\ 1, & \text{quando } T_i = -1 \end{cases}$$

Sabendo que a ordem $i + 1$ deve sempre ser oposta à ordem i , conclui-se que $T_i = -T_{i+1}$. Com base nisso, generalizando as definições de buy e $sell$, pode-se dizer que:

$$buy(T_{i+1}) = \frac{1 + T_{i+1}}{2} = \frac{1 - T_i}{2} \text{ e}$$

$$sell(T_{i+1}) = 1 - buy(T_{i+1}) = \frac{1 + T_i}{2}.$$

7.1.2 Equações fundamentais

Seja O_i o preço de abertura (*opening price*) da ordem i , definido por:

$$O_i = buy(T_i) \cdot Ask_{i,O} + sell(T_i) \cdot Bid_{i,O}, \quad (7.1)$$

sendo $Ask_{i,O}$ e $Bid_{i,O}$ o *Ask* e o *Bid* no momento da abertura da ordem i , respectivamente.

Seja C_i o preço atual (*current price*) da ordem i , dado por:

$$C_i = \text{sell}(T_i) \cdot \text{Ask} + \text{buy}(T_i) \cdot \text{Bid}, \quad (7.2)$$

sendo Ask e Bid o Ask e o Bid no instante presente, respectivamente.

Assim são definidos C_i e O_i por duas razões:

- Uma vez que o lucro obtido com a diferença de cotação é dado, simplificadamente, por $T_i \cdot (C_i - O_i)$, para que haja ganho real é necessário que o Ask atual seja menor do que o Bid de abertura da ordem (para o caso de uma venda) ou que o Bid atual seja maior do que o Ask no momento da abertura (para o caso de uma ordem de compra). Isso implica em dizer que o ganho calculado dessa maneira já desconta o *spread* pago pelo investidor¹.
- Dada a forma de cálculo de lucro apresentada no item anterior, pode-se inferir que sempre que a cotação se mover na direção lucrativa à ordem i , $T_i \cdot (C_i - O_i) \geq 0$, e, na direção prejudicial, $T_i \cdot (C_i - O_i) < 0$, independentemente do tipo da ordem.

A comissão total (X) cobrada para a ordem i pode ser calculada da seguinte forma:

$$X(\lambda_i) = (x_1 \cdot \Lambda_S \cdot \lambda_i + x_0) \cdot \text{Bid}_{i,X}, \quad (7.3)$$

sendo x_1 a comissão variável com o lote, dada em dólares por volume de dólares transacionados², Λ o lote padrão negociado, λ_i o lote da ordem i - uma razão do lote padrão - e x_0 a comissão fixa (caso haja). O valor da comissão é multiplicado por $\text{Bid}_{i,X}$, o Bid específico para o cálculo da comissão, que é, por sua vez, da do por:

$$\text{Bid}_{i,X} = \text{sell}(T_i) \cdot \text{Bid}_{i,O} + \text{buy}(T_i) \cdot \text{Bid}_{i,C}, \quad (7.4)$$

onde $\text{Bid}_{i,O}$ é o Bid no momento da abertura da ordem i , e $\text{Bid}_{i,C}$, no fechamento.

O lucro (π) da ordem i pode ser calculado por:

$$\pi_i = \lambda_i \left[T_i \frac{(C_i - O_i)}{p} \right] - [X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i], \quad (7.5)$$

sendo R_i o possível *rollover* cobrado para a ordem i .

¹ Designado para *spread* fixo.

² Por exemplo, se a comissão é definida por \$60 por milhão de dólares transacionados, $x_1 = 60/1000000$, ou $x_1 = 6 \cdot 10^{-5}$.

7.1.3 Fatores de otimização

Seja L a perda máxima aceita pelo investidor, pode-se afirmar que L não pode ser superior aos custos da corretagem, isto é:

$$-L > X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i, \quad (7.6)$$

Tranformando-se a inequação em igualdade, insere-se f_L (*hedging trigger*), primeiro fator a ser otimizado, que define a perda máxima aceitável, respeitando a condição $f_L > 2$ - dado que a comissão é cobrada na abertura e no fechamento da ordem:

$$L = -f_L[X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i]. \quad (7.7)$$

Quando o lucro - no caso, prejuízo - da ordem i se iguala à perda aceitável, tem-se a condição de abertura da ordem de *hedging*, representada por $i + 1$, e o preço atual da ordem i torna-se o preço de abertura da ordem $i + 1$, isto é,:

$$\text{quando } \pi_i = L, \quad (7.8)$$

$$O_{i+1} = C_i. \quad (7.9)$$

Substituindo-se (7.5) em (7.9), tem-se:

$$L = \lambda_i \left[T_i \frac{(C_i - O_i)}{p} \right] - [X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i], \quad (7.10)$$

que, com a substituição de (7.9) e sua simplificação, fornece o preço de abertura da ordem $i + 1$:

$$O_{i+1} = O_i + \frac{p T_i}{\lambda_i} (1 - f_L) [X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i], \quad (7.11)$$

levando-se em consideração que $\frac{1}{T_i} = T_i$.

De forma análoga à de (7.5), o lucro da ordem $i + 1$ é dado por:

$$\pi_{i+1} = \lambda_{i+1} T_{i+1} \frac{C_{i+1} - O_{i+1}}{p} - [X_{\lambda_i} + \lambda_i \cdot R_i]. \quad (7.12)$$

Objetivando-se fazer com que a soma dos lucros da ordens i e $i + 1$ seja maior do que zero, isto é:

$$\pi_i + \pi_{i+1} > 0, \quad (7.13)$$

substituindo (7.5) e (7.12) em (7.13) tem-se:

$$\frac{T_i}{p} \left[\lambda_i(C_i - O_i) + \Lambda_{i+1}(O_{i+1} - C_{i+1}) \right] > [X(\lambda_i) + \lambda_i \cdot R_i] > [X(\lambda_{i+1}) + \lambda_{i+1}R_{i+1}]. \quad (7.14)$$

Para que haja a compensação desejada, é necessário:

1. que a cotação se mova na direção oposta àquela que é lucrativa para a ordem i - e, conseqüentemente, na mesma direção que é lucrativa à ordem $i + 1$:

$$T_i(C_i - O_i) < 0 \text{ e } T_i(O_{i+1} - C_{i+1}) > 0; \quad (7.15)$$

2. e que a razão do lote da ordem $i + 1$ seja maior do que a da ordem i :

$$\lambda_{i+1} > \lambda_i. \quad (7.16)$$

Na transformação da última inequação em igualdade, apresenta-se mais um fator a ser otimizado, o *hedging strength* (f_λ), que define a razão entre os lotes das ordens i e $i + 1$:

$$f_\lambda = \frac{\lambda_{i+1}}{\lambda_i}, \quad (7.17)$$

respeitando a condição $f_\lambda > 1$.

A inequação (7.14) pode ser, assim, reescrita:

$$\lambda_i(C_i - O_i) - f_\lambda \lambda_i(C_{i+1} - O_{i+1}) > pT_i[X(\lambda_i) + \lambda_i R_i] + [X(\lambda_{i+1}) + \lambda_{i+1}R_{i+1}]. \quad (7.18)$$

Dado que a ordem $i + 1$ tem volume maior que a ordem i , espera-se que a diferença entre o preço atual que faz a perda ser zerada e o preço de abertura da ordem $i + 1$ - *spread* incluso - seja menor do que a diferença entre o preço de abertura da ordem $i + 1$ e o de abertura da ordem i , incluindo também o *spread*. Noutros termos:

$$(O_{i+1} - O_i) > (C_{i+1} - O_{i+1}) \text{ ou } -(O_i - O_{i+1}) > (C_{i+1} - O_{i+1}) \quad (7.19)$$

Para transformar a inequação (7.19) em uma igualdade, introduz-se o terceiro fator a ser otimizado, o *hedging set point* (f_C):

$$-f_C(O_i - O_{i+1}) = (C_{i+1} - O_{i+1}) \text{ ou } f_C = -\frac{(C_{i+1} - O_{i+1})}{(O_i - O_{i+1})}, \quad (7.20)$$

respeitando-se a condição $0 < f_C \leq 1$.

Substituindo-se (7.20) em (7.18), tem-se a equação do preço atual que zera o prejuízo:

$$C_i = O_i + \frac{pT_i}{\lambda_i} \{ [X(\lambda_i) + \lambda_i R_i] + [X(\lambda_{i+1}) + \lambda_{i+1} R_{i+1}] \} - f_\lambda f_C (O_i - O_{i+1}), \quad (7.21)$$

na qual se pode substituir $(O_i - O_{i+1})$ pelo que se tem em (7.11):

$$C_i = O_i + \frac{p \cdot T_i}{\lambda_i} \{ [X(\lambda_{i+1}) + \lambda_{i+1} R_{i+1}] + [X(\lambda_i) + \lambda_i R_i] [1 - f_\lambda f_C (f_L - 1)] \}. \quad (7.22)$$

De acordo com a metodologia associada à etapa de modelagem, os preços de abertura e fechamento (O_i e C_i), o lucro (π_i), o lote (λ_i), a comissão ($X(\lambda_i)$) e o *rollover* (R_i) são os conceitos fundamentais relacionados à negociação de uma ordem; a tendência (T_i), as funções *buy* e *sell* e o fator p são as ferramentas de modelagem; o *hedging trigger* (f_L), o *hedging strength* (f_λ) e o *hedging set point* (f_C) são os fatores de otimização e o valor de C_i que zera o prejuízo é a condição de parada que relaciona tais fatores.

7.2 Testes

Para coletar os dados do mercado, foi codificado um *EA* chamado *dataCollector.mq4*³, que foi compilado no editor do MetaTrader e executado. Os dados coletados pelo programa são referentes aos dias 27, 28, 29 e 30 de setembro e 2, 3, 4, 5, 6 e 7 de outubro de 2016, para o par EUR/USD1. Nos arquivos de persistência foram salvos cada par de *Ask* e *Bid* e o tempo transcorrido até tal par, em segundo. Esses dados serviram de parâmetro de entrada para um projeto em C chamado *simulator.dev*⁴.

No código-fonte desse projeto foram definidos os limites inferiores (FL_MIN, FLAMBDA_MIN e FC_MIN), de acordo com as condições expressas no modelo, e os superiores (FL_MAX, FLAMBDA_MAX e FC_MAX) dos fatores de otimização e os coeficientes de acréscimo (FL_FACTOR, FLAMBDA_FACTOR e FC_FACTOR).

Segue trecho do código-fonte *main.c*:

Código 7.1: Função *main* do código-fonte *main.c*

³ O código completo consta no Apêndice B.

⁴ O código completo consta no Apêndice C.

```

int main(int argc, char *argv[]) {
    double fl;
    double flambda;
    double fc;

    fp = openFile(SOURCE_FILE_NAME, "r");

    for(fl=FL_MIN; fl<=FL_MAX; fl+=FL_FACTOR){
        for(flambda=FLAMBDA_MIN; flambda<FLAMBDA_MAX; flambda+=FLAMBDA_FACTOR){
            for(fc=FC_MIN; fc<FC_MAX; fc+=FC_FACTOR){
                simulate(fl, flambda, fc, BUY_ORDER, TREND_BUY, RES_FILE_BUY);
                simulate(fl, flambda, fc, SELL_ORDER, TREND_SELL, RES_FILE_SELL);
            }
        }
    }
    return 0;
}

```

A simulação foi submetida a algumas restrições arbitrárias. São elas:

- Um valor arbitrário de volume para a primeira ordem, atribuído à constante `LOT_1`, equivalente, no modelo, à variável λ_i . O valor estabelecido foi 1.0;
- Um valor arbitrário de comissão variável, atribuído à constante `DEFAULT_COMMISSION`, equivalente, no modelo, ao produto $x_1 \cdot \Lambda_S$. O valor estabelecido foi o valor padrão de comissão da conta ECN-PRO da corretora *Tallinex*⁵, que é de seis dólares por lote padrão, o valor de comissão fixo, assim como de *rollover*, foi zero.

A partir dos valores de balanço final oriundos da simulação, foram calculados os valores dos fatores $\mu_{<T>}$ e $\mu_{<T>,L}$. A [Tabela 2](#) traz as informações que servem a todos os conjuntos de dados de entrada.

Tabela 2: Informações de validação por tipo de ordem compensada.

	$\langle T \rangle = B$	$\langle T \rangle = S$
B_{MAX}	448904.1778	1216.78552
B_{MIN}	-112360.8222	-347.21448
$\mu_{<T>,L}$	0.2001921056898257	0.2220041432225064

Fonte: Elaborada pelo autor.

As figuras 8 a 17 mostram a distribuição dos fatores $\mu_{<T>}$. No eixo das abscissas estão as ternas com as combinações de valores dos fatores de otimização f_L , f_λ e f_C ,

⁵ *Tallinex* é uma corretora que atua sob a jurisdição de São Vicente e Granadinas e transaciona mais de dez bilhões de dólares mensalmente ([TALLINEX, 2016](#)).

nessa ordem. Essas ternas são representadas por um valor identificador θ^6 . No eixo das ordenadas, estão os valores do fator de análise relacionados às ternas. Ambas as grandezas apresentadas nos eixos dos gráficos são adimensionais.

A Figura 8, a Figura 10, a Figura 12, a Figura 14 e a Figura 16 mostram as distribuições dos fatores $\mu_{<T>}$ para os vários conjuntos de dados de entrada e o limiar $\mu_{<T>,L}$, para $<T> = B$, ou seja, para uma ordem de compra compensada por uma de venda.

A Figura 9, a Figura 11, a Figura 13, a Figura 15 e a Figura 17 mostram as distribuições dos fatores $\mu_{<T>}$ e o limiar $\mu_{<T>,L}$, para $<T> = S$, isto é, para uma ordem de venda compensada por uma de compra.

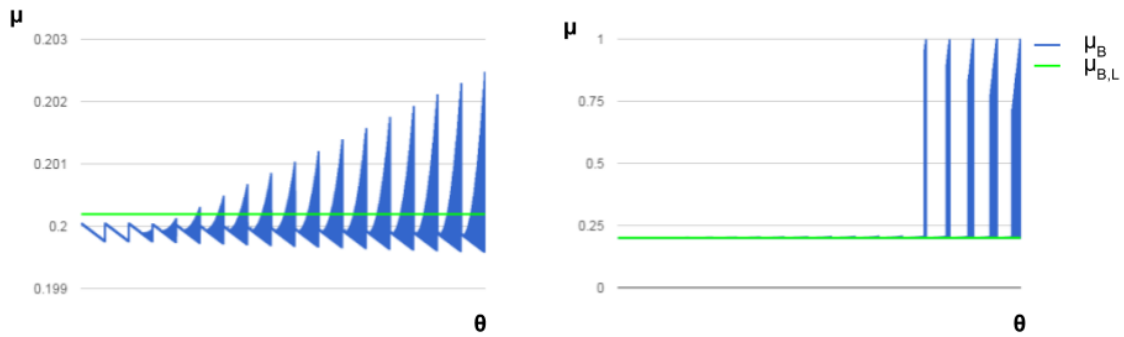


Figura 8: Distribuições para os balanços dos dias 27 (à esq.) e 28 (à dir.) de setembro de 2016 ($<T> = B$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

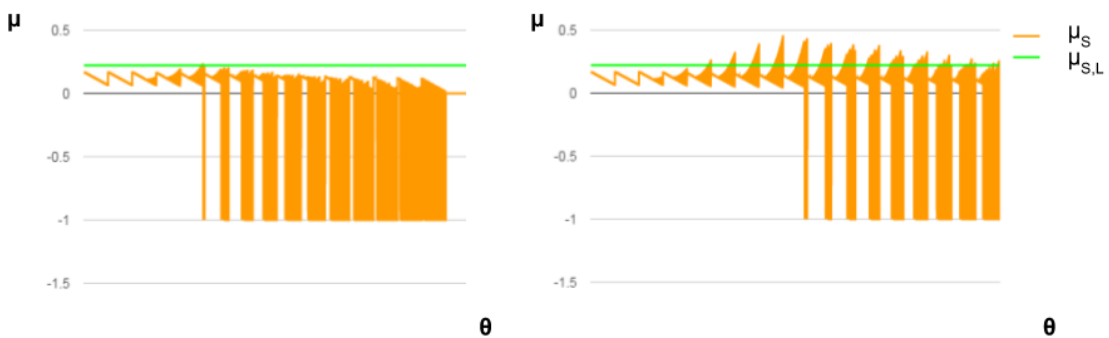


Figura 9: Distribuições para os balanços dos dias 27 (à esq.) e 28 (à dir.) de setembro de 2016 ($<T> = S$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dentre as ternas de fatores de otimização que alcançaram ou ultrapassaram o limiar determinado, foram escolhidas as cinco mais bem-sucedidas são apresentadas na Tabela 3,

⁶ A relação entre os valores das ternas e o valor identificador está descrita no Apêndice A.

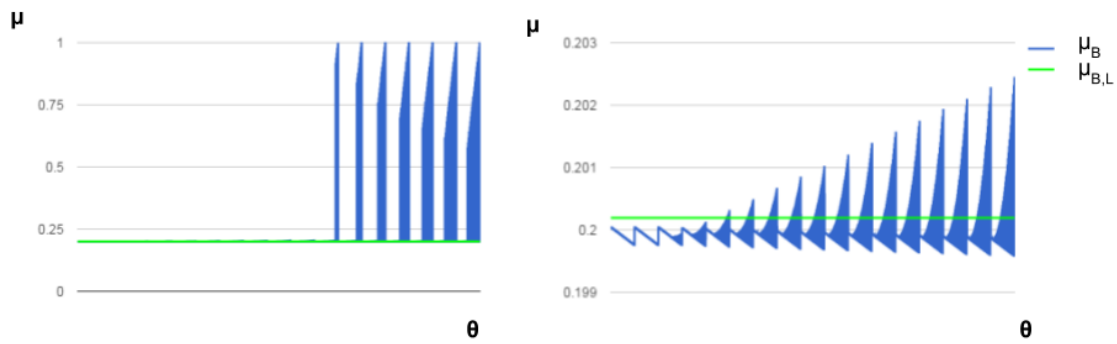


Figura 10: Distribuições para os balanços dos dias 29 (à esq.) e 30 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

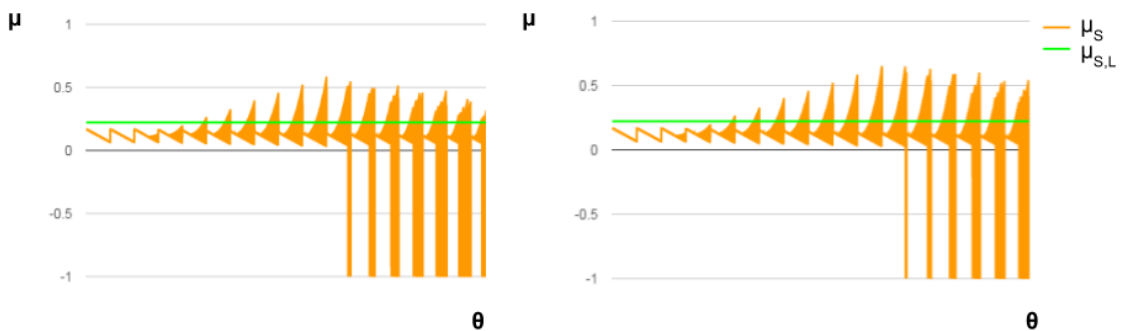


Figura 11: Distribuições para os balanços dos dias 29 (à esq.) e 30 (à dir.) de setembro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

junamente com o número de dias, considerando os dez dias testados referenciados no [Capítulo 6](#), em que elas, no mínimo, atingiram o limiar. Elas estão organizadas em ordem crescente de valores dos fatores e decrescente do número de dias de sucesso.

Tabela 3: Ternas candidatas a ótimas.

Posição	Terna (f_L, f_λ, f_C)	$\langle T \rangle = B$	$\langle T \rangle = S$
1º	(4.0; 4.6; 1.0)	9	8
2º	(4.0; 4.7; 1.0)	9	8
3º	(4.0; 4.8; 1.0)	9	7
4º	(4.0; 4.9; 1.0)	9	6
5º	(4.0; 5.0; 1.0)	9	6

Fonte: Elaborada pelo autor.

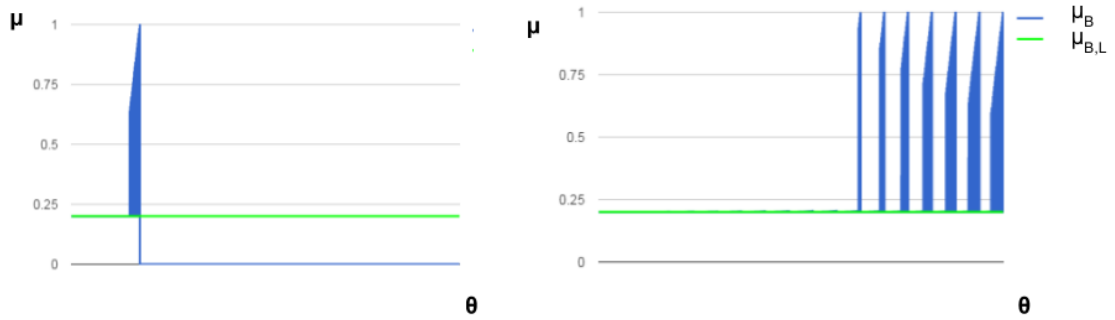


Figura 12: Distribuições para os balanços dos dias 2 (à esq.) e 3 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

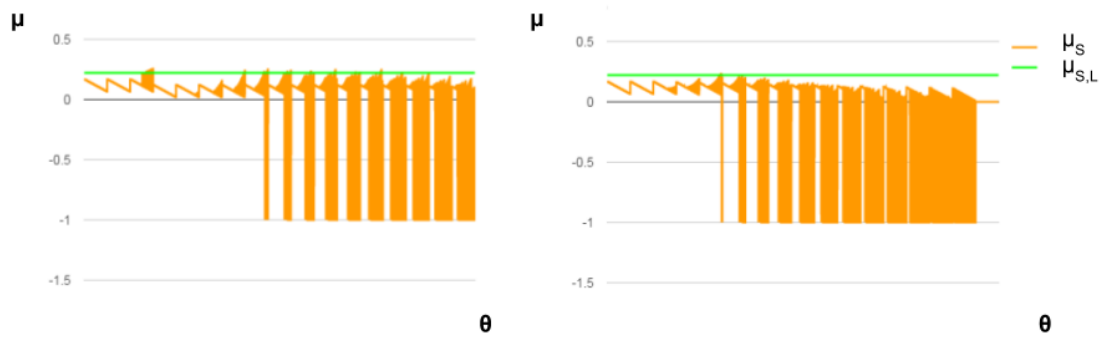


Figura 13: Distribuições para os balanços dos dias 2 (à esq.) e 3 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

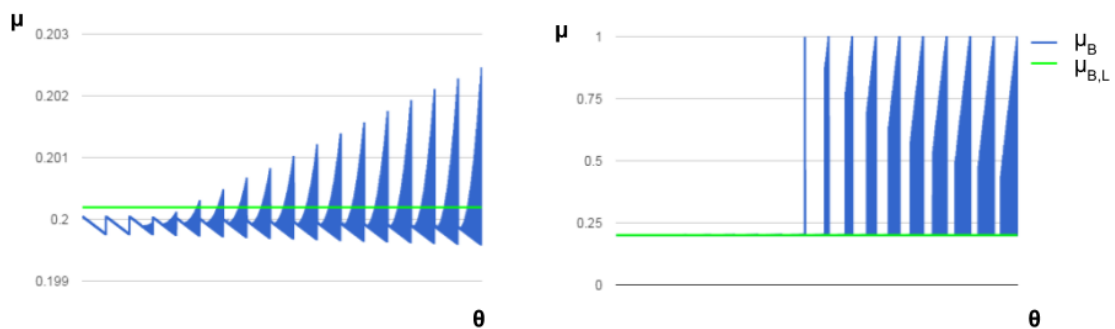


Figura 14: Distribuições para os balanços dos dias 4 (à esq.) e 5 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

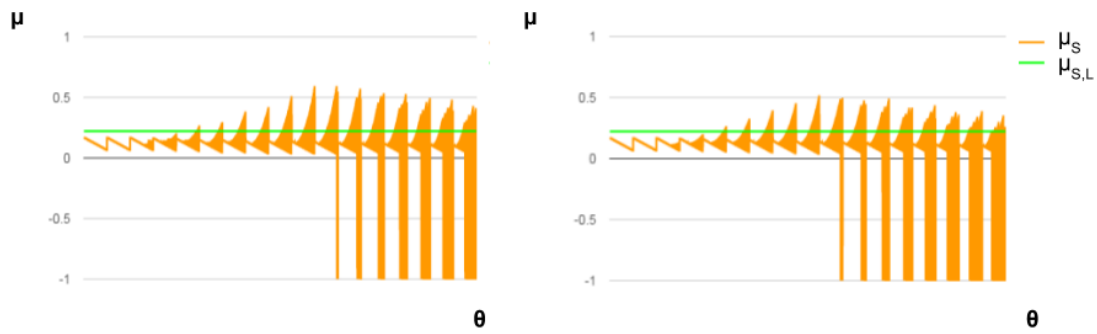


Figura 15: Distribuições para os balanços dos dias 4 (à esq.) e 5 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

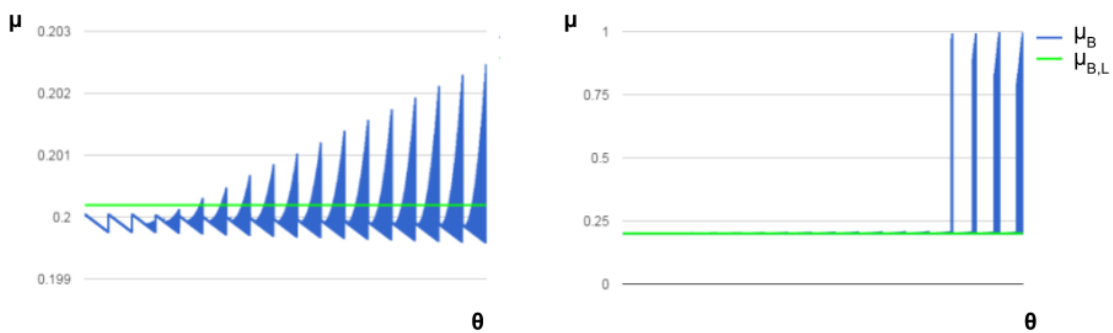


Figura 16: Distribuições para os balanços dos dias 6 (à esq.) e 7 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = B$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

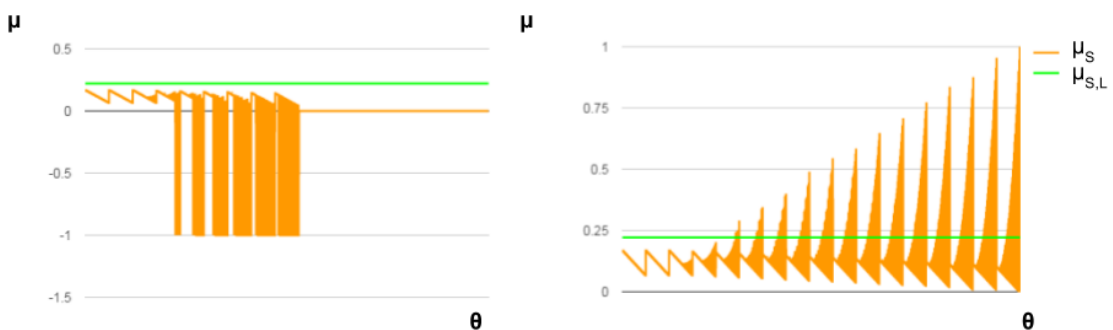


Figura 17: Distribuições para os balanços dos dias 6 (à esq.) e 7 (à dir.) de outubro de 2016 ($\langle T \rangle = S$).

Fonte: Elaborada pelo autor.

8 Conclusões

Este trabalho teve com objetivo principal propor um modelo matemático que servisse de sustentação para uma estratégia de *hedging* baseada na abertura de uma ordem oposta àquela cujo prejuízo se queira mitigar. Para isso, primeiramente, foram definidos os limites do modelo, as variáveis concernentes à abertura e fechamento de uma ordem foram levantadas e suas relações, matematizadas. Então, foram coletados dados históricos do mercado para submetê-los ao modelo. Em seguida foi construído um simulador de negociações em linguagem C que, alimentado com os dados coletados, pusesse em prática a teoria do modelo, sob algumas restrições arbitrárias. Os resultados obtidos foram sujeitos a critérios de avaliação com base nos balanços finais das negociações.

Os limites do escopo do modelo e as restrições impostas à simulação, mas necessárias à circunscrição do trabalho, impedem conclusões categóricas. Apesar disso, o modelo apresentou comportamento satisfatório, dado que, através dos testes, foi possível obter conjuntos de valores para os fatores de otimização que, com diferentes dados de cotação como entrada, conseguiram a compensação do prejuízo. Pode-se dizer, circunspectamente, que a simulação retornou conjuntos de valores que, sob verificação mais profunda, podem se mostrar ótimos.

Como trabalhos futuros, pode-se sugerir o refinamento do modelo e da simulação, adicionando a seu escopo características do mercado de câmbio que não foram modeladas, como a margem de investimento e os limites de perda e ganho de uma ordem (*take profit* e *stop loss*). Conviria também executar uma análise comportamental das ordens, conjugada à análise dos balanços finais feita, investigando os movimentos das ordens durante o tempo em que ficarem abertas.

Acredita-se que uma abordagem que pode se mostrar promissora seria o emprego de algoritmos genéticos com o objetivo de buscar combinações potencialmente ótimas de valores para os fatores do modelo frente à multitudine de parâmetros que podem influenciar o sucesso da negociação. Os algoritmos genéticos oferecem a oportunidade de explorar maiores e mais complexos conjuntos de soluções do que a programação procedural (HOLLAND, 1992).

Referências

- ARCHER, M.; BICKFORD, J. *Getting Started in Currency Trading: Winning in Today's Hottest Marketplace*. Wiley, 2005. (Getting Started In.....). ISBN 9780471738336. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=xMSoA3UcMsYC>>. Citado na página 28.
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. *Triennial Central Bank Survey*. 2010. Disponível em: <<http://www.bis.org/publ/rpfx10.pdf>>. Citado na página 27.
- BERTOLO, L. A. *Entenda o famoso Hedge*. 2010. Disponível em: <<http://www.bertolo.pro.br/AdminFin/HTML/Hedge.htm>>. Acesso em: 15/08/2016. Citado na página 25.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*. 1973. Citado na página 39.
- BM&FBOVESPA. *Debêntures*. 2016. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/renda-fixa-privada-e-publica/debentures.htm>. Acesso em: 16/08/2016. Citado na página 27.
- BORTOLI FILHO, M. A. *Indicadores Baseados em Diferenças de Primeira Ordem para Orientar Robôs no Mercado FOREX*. 2015. Citado na página 40.
- BROOKS, K.; DOLAN, B. *Currency Trading For Dummies*. Wiley, 2015. ISBN 9781118989814. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=M5C9BQAAQBAJ>>. Citado na página 28.
- BURTON, M.; NESIBA, R. *Intro to Financial Markets and Institutions*. Unknown Publisher, 2010. ISBN 9780765628039. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=N8mhy1xgLRgC>>. Citado na página 27.
- CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. *hedge tradução de Inglês para Português*. 2016. Disponível em: <<http://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles-portugues/hedge>>. Citado na página 33.
- COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. *Mercado de Opções*. 2016. Disponível em: <http://www.portaldoinvestidor.gov.br/menu/Menu_Investidor/derivativos/mercado_opcoes.html>. Acesso em: 15/09/2016. Citado na página 39.
- COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS. *O que é uma Ação?* 2016. Disponível em: <http://www.portaldoinvestidor.gov.br/menu/Menu_Investidor/valores_mobiliarios/debenture.html>. Acesso em: 16/08/2016. Citado na página 27.
- DEROSA, D. *Options on Foreign Exchange*. Wiley, 2011. (Wiley Finance). ISBN 9781118097564. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zYTIYowJ_QMC>. Citado na página 34.
- DIFFEN. *Limit Order vs Stop Order - Difference and Comparison | Diffen*. 2016. Disponível em: <http://www.diffen.com/difference/Limit_Order_vs_Stop_Order>. Acesso em: 25/08/2016. Citado na página 29.

- DYM, C. *Principles of Mathematical Modeling*. Elsevier Academic Press, 2004. (Principles of Mathematical Modeling, v. 54-55). ISBN 9780122265518. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=pZkD0o5IzR4C>>. Citado na página 35.
- ECKHARDT, R. *Stan Ulam, John von Neumann and the Monte Carlo Method*. Los Alamos Science, 1987. Citado na página 39.
- FIGUEIREDO, R. S.; NETO, O. J. d. O.; REZENDE, S. O. *Determinação da Razão de Hedge Ótima para o Boi Gordo no Mercado Futuro da BMF pela Aplicação da Simulação Monte Carlo*. 2009. Citado na página 39.
- FILENI, D. H. *O Risco de Base, a Efetividade do Hedging e um Modelo para a Estimativa da Base: Uma Contribuição ao Agronegócio do Café em Minas Gerais*. 1999. Citado na página 39.
- FOELLMER, H.; SCHWEIZER, M. *Hedging by Sequential Regression: an Introduction to the Mathematics of Option Trading*. 1989. Citado na página 39.
- FOREX IS SIMPLE. Ayankeng ETKL, 2010. (KISS). Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=UNstCgAAQBAJ>>. Citado na página 28.
- FORMAN, J. *The Essentials of Trading: From the Basics to Building a Winning Strategy*. Wiley, 2006. (Wiley Trading). ISBN 9780470009789. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=UBfo0TojOn0C>>. Citado na página 28.
- GARNER, C. *Currency Trading in the Forex and Futures Markets*. Pearson Education, 2012. ISBN 9780132779661. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=LhhTQ0qHAT8C>>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.
- GLOBAL FUTURES AND FOREX, LTD. *MetaTrader 4 and MetaEditor*. [S.l.], 2012. Citado na página 31.
- HECKINGER, R. et al. *Understanding Derivatives: Markets and Infrastructure*. [S.l.]: Federal Reserve Bank of Chicago, 2013. Citado na página 33.
- HOLLAND, J. H. *Genetic Algorithms*. *Scientific American*, p. 66–72, 7 1992. Citado na página 55.
- INVESTOPEDIA, . *Forex Walkthrough | Investopedia*. 2016. Disponível em: <<http://www.investopedia.com/walkthrough/forex/>>. Acesso em: 17/04/2016. Citado na página 25.
- INVESTOPEDIA, . *Hedge*. 2016. Disponível em: <<http://www.investopedia.com/terms/h/hedge.asp>>. Acesso em: 18/04/2016. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- INVESTOPEDIA, . *Top 8 Most Tradable Currencies | Investopedia*. 2016. Disponível em: <<http://www.investopedia.com/articles/forex/08/top-8-currencies-to-know.asp>>. Acesso em: 18/04/2016. Citado na página 25.
- KAPUR, J. *Mathematical Modelling*. Wiley, 1988. ISBN 9788122400069. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=NuQeYMTIvoYC>>. Citado na página 37.
- LAWSON, D.; MARION, G. *An Introduction to Mathematical Modelling*. 2008. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

- MEERSCHAERT, M. *Mathematical Modeling*. Elsevier/Academic Press, 2007. ISBN 9780123708571. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=776kZdFu_UQC>. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- RENKINS, J. *Forex Trading Book for Dummies*. Lulu.com, 2016. ISBN 9781329893764. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=U-ycCwAAQBAJ>>. Citado na página 27.
- SHAFRANOVICH, Y. *RFC 4180 - Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files*. 2005. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc4180>>. Acesso em: 22/09/2016. Citado na página 41.
- TALLINEX. *Tallinex - FX Trading Software*. 2016. Disponível em: <<https://www.tallinex.com/>>. Acesso em: 25/09/2016. Citado na página 50.
- TREANOR, S.; FINANCE, O. S. U. *The Effectiveness of the Operational and Financial Hedge: Evidence from the Airline Industry*. Oklahoma State University, 2008. ISBN 9780549778417. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=gBv0ejgJA-4C>>. Citado na página 33.
- YOUNG, A. R. *Expert Advisor Programming*. [S.l.]: Edgehill Publishing, 2010. ISBN 9780982645901. Citado na página 30.

Apêndices

APÊNDICE A – Relação entre o valor identificador de ternas e os fatores de otimização.

Os valores mínimos de f_L , f_λ e f_C para os testes foram, respectivamente, 2.0, 1.1 e 0.2, e os máximos, também respectivamente, 10.0, 5.0 e 1.0. A valor de acréscimo desses fatores, em ordem, foram 0.5, 0.1 e 0.1.

Como é possível observar no código que consta na [seção 7.2](#), os valores são combinados empregando-se três laços de repetição do tipo *for*, de modo que, cada vez que f_C assume todos seus valores possíveis, f_λ é acrescido uma vez, e, cada vez que f_λ assume todos seus possíveis valores, f_L é acrescido, até que este atinja seu valor máximo. São geradas, assim 6120 combinações dos fatores de otimização.

Para estabelecer a relação entre o número da terna e os fatores que a compõem, os valores possíveis de cada um dos fatores podem ser enxergados como uma progressão aritmética finita (doravante, PA). Neste apêndice, os valores possíveis de f_C serão referenciados como uma PA de nome A , os de f_λ como uma de nome B e os de f_L , como uma de nome C .

O primeiro valor a_1 de A é 0.2, sua razão r_A é 0.1, seu número de elementos N_A , 9 e seu último valor a_9 , 1.0. Um elemento qualquer dessa PA é referenciado como a_i .

O primeiro valor b_1 de B é 1.1, sua razão r_B é 0.1, seu número de elementos N_B , 40 e seu último valor b_{40} , 5.0. Um elemento qualquer dessa PA é referenciado como b_j .

O primeiro valor c_1 de C é 2.0, sua razão r_C é 0.5, seu número de elementos N_C , 17 e seu último valor c_{17} , 10.0. Um elemento qualquer dessa PA é referenciado como c_k .

Na [seção A.1](#) será proposta uma forma de se obter o valor identificador θ de uma terna a partir dos valores dos fatores de otimização. Na [seção A.2](#), será apresentada uma maneira de, com o valor *theta*, se encontrar os valores dos fatores de otimização.

A.1 Encontrar o identificador com os fatores

Seja uma função $F(a_i, b_j, c_k)$, tal que:

$$F(a_i, b_j, c_k) = N_A \cdot N_B \cdot \left(1 + \frac{(c_k - c_1)}{r_C}\right) - N_A \cdot \left[N_B - \left(1 + \frac{(b_j - b_1)}{r_B}\right) \right] - \left[N_A - \left(1 + \frac{(a_i - a_1)}{r_A}\right) \right],$$

a qual, recebendo valores quaisquer dos fatores de otimização f_L , f_λ e f_C (em F representados, respectivamente, por c_k , b_j e a_i), retorna o valor identificador correspondente àquela terna.

A.2 Encontrar os fatores com o identificador

Sejam as primitivas *mod* e *div* representações dos valores de resto e de quociente de uma divisão euclidiana. Seja $G(\theta)$ que, recebendo um valor identificador θ , retorne os valores c_k , b_j e a_i (que representam os fatores f_L , f_λ e f_C , nessa ordem). Cada um dos fatores pode ser calculado a partir da obtenção de sua posição (k , j e i) em sua respectiva PA.

Dessa maneira,

$$g_C = c_k = c_1 + (k - 1) \cdot r_C,$$

tal que

$$k = (\theta \operatorname{div} N_A \cdot N_B) + 1;$$

$$g_B = b_j = b_1 + (j - 1) \cdot r_B,$$

tal que

$$j = [(\theta \operatorname{mod} N_A \cdot N_B) \operatorname{div} N_A] + 1 \text{ e}$$

$$g_A = a_i = a_1 + (i - 1) \cdot r_A,$$

tal que

$$i = [(\theta \operatorname{mod} N_A \cdot N_B) \operatorname{mod} N_A].$$

$G(\theta)$ é composta pelas funções g_A , g_B e g_C .

APÊNDICE B – Coletor de Dados

Código B.1: dataCollector.mq4

```

//+-----+
//|                                     dataCollector.mq4 |
//|                                     Copyright 2016, MetaQuotes Software Corp. |
//|                                     https://www.mql5.com |
//+-----+
#property copyright "Copyright 2016, MetaQuotes Software Corp."
#property link      "https://www.mql5.com"
#property version   "1.00"
#property strict

//--- input parameters
int   FilePointer;
string FileAsk;
string FileBid;
string FileTime;
string FileName;
string Broker;
int   DayBase;
int   initialTime;

//+-----+
//| Expert initialization function |
//+-----+
int OnInit()
{
//---
    initialTime = TimeCurrent();
    Broker = "TallinexDemo";
    FileName = Year()+"-"+Month()+"-"+Day()+"-"+Broker+".csv";
    FilePointer = FileOpen(FileName,FILE_CSV|FILE_WRITE|FILE_READ);
    DayBase = Day();
    Alert("Data Collecting Started: ",Year(),"-",Month(),"-",Day());
//---
    return(INIT_SUCCEEDED);
}

//+-----+
//| Expert deinitialization function |
//+-----+

```

```

void OnDeinit(const int reason)
{
//---
    if(FilePointer>=0){
        FileClose(FilePointer);
    }

    Alert("Data Collecting Ended: ",Year(),"-",Month(),"-",Day());
}
//+-----+
//| Expert tick function |
//+-----+
void OnTick()
{
//---
    RefreshRates();
    FileAsk = DoubleToStr(Ask,5);
    FileBid = DoubleToStr(Bid,5);
    FileTime = IntegerToString(TimeCurrent()-initialTime,5);

    if(Day()!=DayBase){
        if(FilePointer>=0){
            FileClose(FilePointer);
        }
        DayBase = Day();
        FileName = Year()+"-"+Month()+"-"+Day()+"-"+Broker+".csv";
        FilePointer = FileOpen(FileName,FILE_CSV|FILE_WRITE|FILE_READ);
    }

    if(FilePointer>=0){
        FileWrite(FilePointer,FileAsk,FileBid,FileTime);
    }
}
//+-----+

```

APÊNDICE C – Simulador

Códigos-fonte do projeto *simulator.dev*:

Código C.1: main.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "ea_simulator.h"

#define FL_MAX 10.0
#define FL_MIN 2.0
#define FL_FACTOR 0.5

#define FLAMBDA_MAX 5.0
#define FLAMBDA_MIN 1.1
#define FLAMBDA_FACTOR 0.1

#define FC_MAX 1.0
#define FC_MIN 0.2
#define FC_FACTOR 0.1

#define SOURCE_FILE_NAME "2016-10-2-TallinexDemo.csv"

int main(int argc, char *argv[]) {
    double fl;
    double flambda;
    double fc;

    fp = openFile(SOURCE_FILE_NAME, "r");

    for(fl=FL_MIN; fl<=FL_MAX; fl+=FL_FACTOR){
        for(flambda=FLAMBDA_MIN; flambda<FLAMBDA_MAX; flambda+=FLAMBDA_FACTOR){
            for(fc=FC_MIN; fc<FC_MAX; fc+=FC_FACTOR){
                simulate(fl, flambda, fc, BUY_ORDER, TREND_BUY, RES_FILE_BUY);
                simulate(fl, flambda, fc, SELL_ORDER, TREND_SELL, RES_FILE_SELL);
            }
        }
    }
}
```

```

    system("PAUSE");
    return 0;
}

```

Código C.2: ea_simulator.h

```

#ifndef EA_SIMULATOR_INCLUDED
#define EA_SIMULATOR_INCLUDED

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define TIME_OUT 900
#define LOT_1 1.0
#define DEFAULT_COMMISSION 6.0
#define RES_FILE_BUY "resB-2016-10-2.csv"
#define RES_FILE_SELL "resS-2016-10-2.csv"
#define TREND_BUY 1
#define TREND_SELL -1

typedef enum{BUY_ORDER, SELL_ORDER}order_type;

typedef struct t{
    order_type type;
    int trend; //-1 for sell, 1 for buy
    double lot;
    double openPrice;
    double closePrice;
    double profit;
}ORDER;

FILE *fp;
FILE *results;
int line;
int hedgeMoment;
double p;
ORDER order1;
ORDER order2;

FILE * openFile(char fileName[],char *mode);

int getTrend(order_type type);

```

```
int buy(int trend);
int sell(int trend);

double ask(int tick);
double bid(int tick);
int timePassed(int tick);

double getOpenPrice(int trend, int tick);
double getCurrentPrice(int trend, int tick);

double getLossFromFL(double fl);
double getLotFromFLambda(double flambda);
double getClosePriceFromFC(double fl, double flambda, double fc);

void simulate(double fl, double flambda, double fc, order_type p_type, int
    p_trend, char resultsFile[]);

double getCommission(double lot);

void saveResults(char fileName[], double fl, double flambda, double fc,
    double totalProfit, int time, int hedge);
#endif
```

Código C.3: ea_simulator.c

```
#include "ea_simulator.h"

int line = 1;
double p = .00001;
int hedgeMoment = 0;

FILE * openFile(char fileName[], char *mode){
    FILE *fp;
    fp = fopen(fileName,mode);
    if ( fp != NULL ){
        return fp;
    }
    else{
        printf("Not able to open selected file!\n");
        system("PAUSE");
        exit(1);
    }
}
```

```
    }
}

int getTrend(order_type type){
    return 1-2*type;
}

int buy(int trend){
    return (1+trend)/2;
}

int sell(int trend){
    return 1-buy(trend);
}

double ask(int tick){
    char l[23];
    const char *d = ";";
    char *c;

    fseek(fp,(tick-1)*sizeof l,SEEK_SET);
    fgets(l, sizeof l, fp);
    c = strtok(l,d);

    return atof(c);
}

double bid(int tick){
    char l[23];
    char *d = ";";
    char *c;

    fseek(fp,(tick-1)*sizeof l,SEEK_SET);
    fgets(l, sizeof l, fp);
    c = strtok(l,d);
    c = strtok(NULL,d);

    return atof(c);
}

int timePassed(int tick){
    char l[23];
```

```
char *d = "";
char *c;

fseek(fp, (tick-1)*sizeof l, SEEK_SET);
fgets(l, sizeof l, fp);
c = strtok(l,d);
c = strtok(NULL,d);
c = strtok(NULL,d);

return atoi(c);
}

double getOpenPrice(int trend, int tick){
    return buy(trend)*ask(tick)+sell(trend)*bid(tick);
}

double getCurrentPrice(int trend, int tick){
    return sell(trend)*ask(tick)+buy(trend)*bid(tick);
}

double getLossFromFL(double fl){
    return getCommission(order1.lot)*fl;
}

double getLotFromFLambda(double flambda){
    return order1.lot*flambda;
}

double getClosePriceFromFC(double fl, double flambda, double fc){
    return order1.openPrice+((p*order1.trend)/order1.lot)*
    (getCommission(order2.lot)+getCommission(order1.lot)*(1-flambda*fc*(fl-1)));
}

double getCommission(double lot){
    return 2*DEFAULT_COMMISSION*lot*bid(1);
}

void saveResults(char fileName[], double fl, double flambda, double fc,
    double totalProfit, int time, int hedge){
    results = openFile(fileName,"a+");
    fprintf(results, "%.1f;%.1f;%.1f;%.5f;%d;%d\n", fl, flambda, fc, totalProfit, time, hedge);
    fclose(results);
}
```

```

}

void simulate(double fl, double flambda, double fc, order_type p_type, int
  p_trend, char resultsFile[]){
  int hedging = 0;

  order1.type = p_type;
  order1.trend = getTrend(p_type);
  order1.lot = LOT_1;
  order1.openPrice = getOpenPrice(order1.trend, line);

  while(1){
    order1.profit =
      (order1.lot*order1.trend*(getCurrentPrice(order1.trend,line)-order1.openPrice))/p;

    //First Order Time Out
    if(timePassed(line)>=TIME_OUT && hedging==0){
      double b1 = order1.profit-getCommission(order1.lot);
      saveResults(resultsFile,fl,flambda,fc,b1,timePassed(line),hedging);
      printf("\t\t1 - TIME OUT: %d\n\n\n",timePassed(line));
      break;
    }

    //Hedge Order Time Out
    if(timePassed(line)-hedgeMoment>=TIME_OUT && hedging!=0){
      double b2 = order2.profit+order1.profit
        -getCommission(order1.lot)-getCommission(order2.lot);
      saveResults(resultsFile,fl,flambda,fc,b2,timePassed(line),hedging);
      printf("\t\t2 - TIME OUT: %d\n\n\n",timePassed(line));
      break;
    }

    //Hedge Condition
    if((order1.profit-getCommission(order1.lot))<-1*getLossFromFL(fl) &&
      hedging == 0){
      order2.type = 1-p_type;
      order2.trend = getTrend(1-p_type);
      order2.lot = getLotFromFLambda(flambda);
      order2.openPrice = getOpenPrice(order2.trend,line);

      order2.profit = (order2.lot*order2.trend*
        (getCurrentPrice(order2.trend,line)-order2.openPrice))/p;

```

```
        hedgeMoment = timePassed(line);
        hedging = 1;
    }

    //Hegde Order Update
    if(hedging != 0){
        order2.profit = (order2.lot*order2.trend*
            (getCurrentPrice(order2.trend,line)-order2.openPrice))/p;
    }

    //Hedge Close Price
    if(p_trend*(getCurrentPrice(order1.trend,line)-
        getClosePriceFromFC(fl,flambda,fc))<=0 && hedging!=0){
        double finalBalance = order2.profit+order1.profit
            -getCommission(order1.lot)-getCommission(order2.lot);
        saveResults(resultsFile,fl,flambda,fc,finalBalance,
            timePassed(line),hedging);
        break;
    }

    if(getCurrentPrice(order1.trend,line)<=0.0){
        printf("END OF FILE!!!");
        saveResults(resultsFile,fl,flambda,fc,-999999.99999,timePassed(line),0);
        break;
    }

    line++;
}
line = 1;

order2.profit = 0.0;
order2.trend = 0;
order2.lot = 0.0;
order2.openPrice = 0.0;
}
```
