

**Insper Instituto de Ensino e Pesquisa**  
**Programa de Mestrado Profissional em Economia**

**Maurício da Costa Pereira**

**OS RISCOS DO *CARRY TRADE* SOB UMA ABORDAGEM  
NÃO-PARAMÉTRICA**

**São Paulo**  
**2011**

Maurício da Costa Pereira

**Os riscos do *carry trade* sob uma abordagem não-paramétrica**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia do Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de concentração: Finanças e Macroeconomia Aplicadas

Orientador: Prof. Dr. Marco Lyrio – Insper

**São Paulo**  
**2011**

Pereira, Mauricio da Costa

Os riscos do *carry trade* sob uma abordagem não-paramétrica /  
Maurício da Costa Pereira; orientador: Marco Lyrio – São Paulo:  
Insper, 2011.

Dissertação (Mestrado – Programa de Mestrado Profissional  
em Economia. Área de concentração: Finanças e Macroeconomia  
Aplicadas) – Insper Instituto de Ensino e Pesquisa.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Maurício da Costa Pereira

Os riscos do *carry trade* sob uma abordagem não-paramétrica

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia do Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de concentração: Finanças e Macroeconomia Aplicadas

Aprovado em: Julho/2011

## Banca Examinadora

Prof. Dr. Marco Lyrio  
Orientador

Instituição: Insper

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Fernando Nascimento de Oliveira

Instituição: Banco Central do Brasil

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Jose Luiz Rossi Junior

Instituição: Insper

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela inspiração e pela força necessária para a execução deste trabalho.

Aos meus pais pela educação e bons exemplos, que tanto contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

Agradeço ao professor Marco Lyrio pela orientação, dedicação e motivação. E por todo o suporte, sem o qual este trabalho não seria possível.

Agradeço aos meus colegas de trabalho pelo apoio e incentivo, e pela tolerância neste período que precisei conciliar trabalho e vida acadêmica.

## RESUMO

PEREIRA, Maurício da Costa. **Os riscos do *carry trade* sob uma abordagem não-paramétrica** 2011. Dissertação (Mestrado) – Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo, 2011.

A violação da Paridade Descoberta da Taxa de Juros e a lucratividade das estratégias de *carry trade* estão intimamente relacionadas e representam uma das anomalias mais estudadas em Finanças Internacionais. Nesta dissertação, estendemos um dos estudos que tentam explicar o excesso de retorno associando-o a uma compensação pelos riscos incorridos (no nosso caso, o risco de assimetria e curtose). Através da análise da escolha ótima da carteira de um investidor representativo, investigamos o impacto do risco dos momentos de ordem superior da distribuição de retornos, para tanto utilizamos uma modelagem não-paramétrica aplicada sobre uma estrutura baseada em função de utilidade. Verificamos que tais momentos tem impacto efetivo na composição ótima da carteira e, além disso, que há assimetria positiva do retorno do câmbio condicional ao diferencial de taxa de juros.

Palavras-chave: *carry trade*; assimetria; risco; análise não-paramétrica



## ABSTRACT

PEREIRA, Maurício da Costa Pereira. **The risk of Carry Trades based on a nonparametric approach** 2011. 97 f.. Dissertation (Mastership) – Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo, 2011.

The failure of the Uncovered Interest Rate Parity (UIP) and the profitability of the currency carry trade strategy are closely related, and has been one of the most studied puzzles in International Finance. In this work, we further develop one of the studies that explains the excess return achieved with carry trades as a remuneration for the specific risks incurred (in our case, skewness and kurtosis risks). Analyzing the optimal portfolio choice of a representative investor, we investigate the impact of the risks of the higher-order moments of the distribution of returns, for this purpose we used a nonparametric utility-based approach. We found that such moments have effective impact on the portfolio optimal choice and, moreover, that there is a positive skewness conditional on interest rate differential.

Keywords : carry trade; skewness; risk; nonparametric analysis

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Estatísticas não condicionais dos retornos semanais da taxa de câmbio.....	27
Tabela 2 - Teste da UIP (Dados semanais).....	28
Tabela 3 – Análise Estatística de Retornos Mensais .....	43
Tabela 4 – Teste UIP (Dados Mensais) .....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histograma dos retornos semanais da taxa de câmbio .....	28
Figura 2 – Análise Não-Paramétrica .....	30
Figura 3 – Momentos condicionais (Libra esterlina).....	32
Figura 4 – Momentos condicionais (Franco suíço) .....	32
Figura 5 – Momentos condicionais (Iene japonês).....	33
Figura 6 – Momentos condicionais (Dólar australiano) .....	33
Figura 7 – Momentos condicionais (Dólar canadense) .....	34
Figura 8 – Momentos condicionais (Real brasileiro) .....	34
Figura 9 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Libra esterlina) .....	37
Figura 10 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Franco Suíço) .....	37
Figura 11 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Iene japonês) .....	37
Figura 12 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar Australiano) .....	38
Figura 13 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar canadense).....	38
Figura 14 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Real brasileiro).....	38
Figura 15 – Histograma dos retornos mensais da taxa de câmbio .....	44
Figura 16 – Análise não-paramétrica (dados mensais).....	45
Figura 17 – Momentos Condicionais (Libra esterlina, dados mensais) .....	46
Figura 18 – Momentos Condicionais (Franco suíço, dados mensais).....	46
Figura 19 - Momentos Condicionais (Iene japonês, dados mensais) .....	47
Figura 20 - Momentos Condicionais (Dólar australiano, dados mensais).....	47
Figura 21 - Momentos Condicionais (Dólar canadense, dados mensais).....	48
Figura 22 - Momentos Condicionais (Real brasileiro, dados mensais).....	48
Figura 23 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Libra esterlina, dados mensais).....	49
Figura 24 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Franco suíço, dados mensais).....	49
Figura 25 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Iene japonês, dados mensais).....	49
Figura 26 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar australiano, dados mensais).....	50
Figura 27 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar canadense, dados mensais).....	50
Figura 28 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Real brasileiro, dados mensais).....	50

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
REVISÃO DA LITERATURA .....	14
EMBASAMENTO TEÓRICO .....	16
Paridade Coberta da Taxa de Juros (CIP).....	16
Paridade Descoberta da Taxa de Juros (UIP) .....	17
Testes da CIP e UIP.....	18
Prêmio de Risco.....	19
MODELO .....	20
Estratégia de <i>Carry Trade</i> .....	20
Sinal: Diferencial da Taxa de Juros.....	21
Escolha Ótima da Carteira.....	21
Equivalente de Certeza .....	22
Abordagem Não-Paramétrica .....	23
Momentos Condicionais.....	24
RESULTADOS EMPÍRICOS .....	26
Dados .....	26
Sumário de Estatísticas.....	27
Modelo Não-paramétrico.....	29
Momentos Condicionais.....	31
Carteira Ótima e Equivalente de Certeza .....	35
Dados Mensais.....	39
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS .....	41
APÊNDICE .....	42
TABELAS .....	43
FIGURAS .....	44

## INTRODUÇÃO

O mercado internacional de câmbio negocia por dia cerca de US\$ 4 trilhões<sup>1</sup>, montante que excede facilmente a necessidade real da economia, já que em pouco mais de duas semanas seria negociado neste mercado um volume maior do que o PIB anual de todo o mundo<sup>2</sup>. Este volume de negociação tem apresentado crescimento consistente e significativamente superior tanto ao PIB dos países envolvidos quanto ao fluxo de comércio internacional, indicando que parte representativa das operações de câmbio estaria ligada à especulação com moedas.

Uma das estratégias de investimento comumente usada na especulação cambial, e que é um dos pontos de estudo desta dissertação, é o *carry trade* de moedas. Nesta estratégia, o investidor se financia em uma moeda de taxa de juros baixa (moeda de “financiamento”) com o objetivo de aplicar em uma moeda de taxa de juros mais alta (moeda de “investimento”).

A hipótese da paridade descoberta da taxa de juros (UIP, em inglês, *uncovered interest rate parity*) afirma que a diferença das taxas de juros entre duas moedas é igual à variação esperada da taxa de câmbio entre as mesmas, ou seja, os ganhos com o diferencial de taxa de juros seriam compensados pela depreciação da moeda e, portanto, não haveria oportunidades de lucros. Em outras palavras, sendo o mercado eficiente e os investidores neutros ao risco, taxas de câmbio a termo (*forward rates*) seriam previsões não viesadas das taxas de câmbio à vista (*spot rates*). Assim, em teoria, a UIP implica que o *carry trade* não poderia gerar excesso de retorno, já que as taxas de câmbio se moveriam para compensar o diferencial de taxa de juros.

Grande parte da literatura empírica sobre mercado de câmbio não gera resultados que suportem a UIP. Na verdade, a maioria dos estudos rejeita consistentemente a validade desta teoria, pois, ao contrário do que seria previsto pela mesma, em média, moedas com taxas de juros altas tendem a se apreciar em relação às moedas com taxas de juros mais baixas.

Esta violação da UIP, também conhecida como “*forward premium puzzle*”, é o que torna as estratégias de *carry trade* lucrativas.

---

<sup>1</sup> “*Triennial Central Bank Survey - Report on global foreign exchange market activity*” é uma pesquisada conduzida a cada 3 anos pelo BIS (*Bank for International Settlements*) e, em sua mais recente versão (2010), estimou este volume diário para o mercado internacional de câmbio.

<sup>2</sup> “*IMF World Economic Outlook*” divulgado pelo FMI (abril de 2011) estima o PIB mundial de 2010 em aproximadamente US\$ 62,9 trilhões, e US\$ 68,7 trilhões para 2011.

Muitos estudos tentam explicar tal anomalia e o excesso de retorno do *carry trade*, associando esta lucratividade a uma compensação pelo risco incorrido. Esta explicação, porém, não justificaria, por exemplo, o elevado índice de Sharpe da estratégia, já que esta é uma medida de desempenho ajustada ao risco.

Outra explicação, também relacionada a riscos, foca nos momentos de ordem superior da distribuição dos retornos: os riscos de assimetria e excesso de curtose. Esta nova percepção, sugerida no trabalho de Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009) é um dos pontos estudados nesta dissertação.

Neste trabalho, analisamos a assimetria e a curtose da distribuição dos retornos da taxa de câmbio entre pares de algumas das moedas mais usadas em estratégias de *carry trade*: Libra esterlina (GBP), Franco suíço (CHF), Iene Japonês (JPY), Dólar australiano (AUD), Dólar canadense (CAD) e Real brasileiro (BRL). Sendo todas estas moedas avaliadas contra o Dólar Americano (USD).

Para evitar o problema de utilizar um modelo estatístico específico e para capturar o impacto dessas medidas, utilizamos uma modelagem não-paramétrica baseada no trabalho de Brandt (1999).

Fazemos uso também de uma abordagem relacionada à utilidade de um agente representativo para refletir na sua composição ótima de carteira os riscos implícitos (os momentos de ordem superior) na distribuição dos retornos da taxa de câmbio.

Utilizando dados semanais e mensais do período entre Janeiro de 2000 até Dezembro de 2007, pudemos evidenciar assimetria positiva na distribuição dos retornos do câmbio condicional ao diferencial de taxa juros e verificamos que a escolha da carteira ótima do investidor representativo é impactada não somente pelo retorno esperado, mas também pelos outros momentos da distribuição.

Além desta introdução, o presente trabalho contém mais 5 seções. Na próxima seção, explicamos brevemente alguns estudos que tratam tanto dos riscos de assimetria quanto da abordagem não-paramétrica que utilizamos; na sequência, fazemos uma revisão teórica dos conceitos elementares de finanças internacionais. Nas seção seguinte, explicamos o modelo proposto e suas modificações. Finalmente, apresentamos os dados utilizados na parte empírica, os resultados obtidos e a conclusão.

## REVISÃO DA LITERATURA

O ponto de partida desta dissertação é o trabalho de Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009) que relaciona o risco de *crash* no mercado de câmbio com as estratégias de *carry trade*. Segundo esses autores, “*crash*”, assim como o *forward premium puzzle*, é mais um “*puzzle*” do mercado de câmbio e é descrito como a ocorrência de movimentos abruptos inesperados sem divulgação de nova informação relacionada (informações que impactem nos fundamentos). Eles propõem que estes movimentos repentinos podem ser devidos à reversão das estratégias de *carry trade* quando os especuladores sofrem restrições de financiamento (problemas de liquidez).

Esta proposta seria consistente com as descobertas do estudo, entre elas: (i) diferencial positivo de taxa de juros está associado a assimetria positiva<sup>3</sup> (*skewness* positivo) dos retornos da taxa de câmbio; (ii) o diferencial de taxa de juros está associado a posições especulativas na moeda de investimento; (iii) posições especulativas aumentam o risco de *crash*; (iv) perdas financeiras na estratégia de *carry trade* diminuem as posições especulativas e a probabilidade de *crash*; (v) um aumento do risco global ou da aversão ao risco coincide com reduções de *carry trade* especulativos.

Grande parte da literatura em macroeconomia e finanças sobre o *forward premium puzzle* foca implicitamente no retorno médio dos *carry trades*. Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009) estão entre os primeiros a examinar empiricamente a assimetria dos retornos da taxa de câmbio condicionada ao diferencial de taxa de juros, isto é, ao risco de *crash* das estratégias de *carry trade*.

Chen, Hong e Stein (2001) utilizam uma abordagem semelhante para o mercado de ações que, de forma análoga ao mercado de câmbio, também apresenta histórico de retornos com assimetria negativa. Em seu trabalho, os autores estudam o risco de *crash* e o relacionam com algumas métricas de risco: volume de negociação, assimetria na distribuição de retornos passados e assimetria da volatilidade implícita de opções de ações.

O presente trabalho aplica o estudo de Brunnermeier, Nagel e Pedersen a 6 moedas (entre elas o Real brasileiro) cotadas em relação ao Dólar americano, tentando confirmar algumas das descobertas dos autores (por exemplo, assimetria positiva do retorno do câmbio

---

<sup>3</sup> Importante salientar que Brunnermeier et al. (2009) utilizam o padrão inverso de taxa de câmbio com relação aos demais trabalhos na literatura de finanças. Desta forma, os autores encontram assimetria negativa condicional ao diferencial de taxa de juros.

condicional ao diferencial de juros e risco de *crash*), mas utilizando a metodologia proposta por Brandt (1999).

Brandt (1999) desenvolve uma abordagem não-paramétrica para estudar como a escolha Consumo x Investimento depende de variáveis que tentam prever oportunidades de investimentos variantes no tempo. O método adota uma estrutura de utilidade esperada e consiste em resolver as equações de Euler que caracterizam a escolha ótima da carteira para um investidor representativo. A maior vantagem desta abordagem seria evitar a dependência de modelos estatísticos específicos para modelar a previsibilidade dos retornos.

Dewachter e Lyrio (2005) utilizam a mesma abordagem proposta por Brandt para avaliar o valor econômico das regras de negociação técnica (*Technical Trading*). Os autores propõem que outra vantagem desta metodologia é que ela incorpora todos os momentos dos retornos no problema da maximização da utilidade esperada do investidor. A análise empírica mostra que o conteúdo informacional dos sinais usados nas regras de negociação técnica dependem não apenas da média dos retornos, mas também da variância dos mesmos.

A utilização desta abordagem nos permite calcular de forma não-paramétrica os momentos de ordem superior condicional ao diferencial de taxa de juros e, também, verificar o impacto destes momentos na escolha ótima da carteira do agente representativo.



## EMBASAMENTO TEÓRICO

### Paridade Coberta da Taxa de Juros (CIP)

Existem dois tipos principais de operações no mercado de câmbio: operações à vista (*spot rates*) e operações a termo (*forward rates*). O primeiro tipo se refere às operações cotadas para entrega imediata da moeda para o comprador (na prática, a entrega geralmente acontece em dois dias úteis) e a segunda modalidade se refere às transações em que se estabelece hoje a taxa de câmbio a ser usada para entrega de moeda numa data futura. Este tipo de transação permite, por exemplo, que se fixe um valor em moeda doméstica de um fluxo futuro de recebíveis em moeda estrangeira.

A relação entre as taxas de câmbio à vista e a termo pode ser derivada com um exemplo ilustrativo. Considere um investidor que pode aplicar R\$1,00 em um título brasileiro pré-fixado com vencimento em um período  $t+1$ . O retorno sobre seu investimento ao fim do período será de:

$$(1 + i_t) \tag{1}$$

onde  $i_t$  é taxa de juros doméstico válida em  $t$  para o prazo  $t+1$ .

Este mesmo investidor, caso opte por um investimento nos EUA, precisará converter R\$1,00 em Dólares americanos (US\$) pela cotação de câmbio corrente e, em seguida, aplicar este montante em dólares sob a taxa de juros do título americano. Para se livrar do risco de flutuação cambial, ele pode realizar uma operação no mercado futuro na qual vende os dólares resultantes no seu investimento. Assim, seu retorno bruto no fim do período será de:

$$\frac{1}{S_t} (1 + i_t^*) F_t \tag{2}$$

onde  $i_t^*$  é taxa de juros em moeda estrangeira (US\$),  $S_t$  é a taxa de câmbio R\$/US\$ (montante em moeda doméstica por moeda estrangeira), e  $F_t$  é a taxa de câmbio a termo (*forward*) contratada em  $t$  e válida em  $t+1$ .

Desconsiderando eventos de inadimplemento e demais riscos, ambas opções de investimento deveriam gerar o mesmo retorno, caso contrário, haveria oportunidades de arbitragem a serem exploradas. Isto é, haveria uma demanda maior pelo ativo de retorno mais alto e uma oferta maior do ativo de retorno mais baixo, forçando uma alteração dos preços de ambos até que seus retornos fossem iguais e o mercado voltasse ao equilíbrio.

Desta forma, podemos derivar a equação da Paridade Coberta de Taxas de Juros (ou CIP, do inglês *Covered Interest rate Parity*), igualando os retornos (1) e (2):

$$(1 + i_t) = \frac{1}{S_t} (1 + i_t^*) F_t \quad (3)$$

Rearrmando os termos, obtemos:

$$\frac{F_t}{S_t} = \frac{(1+i_t)}{(1+i_t^*)} \quad (4)$$

Na literatura, a equação da CIP é mais comumente apresentada em termos de logaritmos:

$$f_t - s_t = i_t - i_t^* \quad (5)$$

onde  $f_t = \ln(F_t)$ ,  $s_t = \ln(S_t)$ , e foi usada a aproximação  $\ln(1+i_t) = i_t$ .

A Paridade Coberta da Taxa de Juros é, portanto, uma condição de equilíbrio de não-arbitragem entre mercados com taxas de juros sob títulos com natureza de riscos equivalentes. Obviamente, estamos considerando o mercado eficiente no sentido de os agentes aproveitarem oportunidades de arbitragem, além da inexistência de custos de transação ou controle de capital.

### **Paridade Descoberta da Taxa de Juros (UIP)**

De forma semelhante ao exemplo da seção anterior, imaginemos um outro par de moedas em que não exista mercado futuro de câmbio, ou, alternativamente, que o investidor tenha uma previsão para a taxa de câmbio no período seguinte ( $S_{t+1}^e$ ) e opte por não fixar esta cotação no futuro. Neste caso, devemos substituir na equação (2) o valor de  $F_t$  pela expectativa da taxa de câmbio  $S_{t+1}^e$ , e o equilíbrio de mercado pode ser obtido igualando o retorno esperado das duas opções de investimento:

$$(1 + i_t) = \frac{1}{S_t} (1 + i_t^*) S_{t+1}^e \quad (6)$$

Observe que na equação acima, todas as variáveis são conhecidas no instante  $t$ , com exceção da taxa de câmbio no futuro  $S_{t+1}^e$ , por isso, aplicar recursos no título estrangeiro deve ser encarado como um investimento de risco. E, portanto, para que tal equação represente um equilíbrio de mercado, deve-se assumir que os investidores são neutros ao risco, ou seja, eles se interessam apenas pelo retorno esperado.

Assim, sob a hipótese de neutralidade ao risco e mercados eficientes, a equação (6) implica que os ganhos com investimentos em moedas com taxa de juros mais altas serão

compensados pela desvalorização cambial. Tal equilíbrio é derivado da equalização da oferta e demanda, de forma análoga a condição de equilíbrio da CIP.

Rearrmando a equação (6) e aplicando logaritmos, obtemos a forma mais usual da Paridade Descoberta da Taxa de Juros (ou UIP):

$$E_t(\Delta e_{t+1}) = i_t - i_t^* \quad (7)$$

onde  $E_t(\Delta e_{t+1}) = \ln\left(\frac{S_{t+1}^e}{S_t}\right)$ .

Combinando a CIP e UIP, obtemos a seguinte expressão:

$$S_{t+1}^e = F_t \quad (8)$$

Esta equação indica que, sob a hipótese de neutralidade a risco, a taxa de câmbio a termo (*forward*) é uma previsão não viesada do taxa de câmbio a vista no futuro.

### Testes da CIP e UIP

Como a Paridade Coberta da Taxa de Juros (CIP) é uma condição de equilíbrio de não-arbitragem, sua validade é mais fácil de ser testada e verificada. A maioria dos estudos empíricos, dentre os quais podemos relacionar Frenkel e Levich (1975) e Clinton (1988), não encontram oportunidades de arbitragens lucrativas e persistentes no longo prazo que sirvam para rejeitar esta hipótese.

Desvios da CIP podem ser explicados por diversos fatores como custos de transação envolvidos nas operações de arbitragem, existência de controles sobre a mobilidade de capital, risco de inadimplemento e risco político.

Por outro lado, violações da Paridade Descoberta da Taxa de Juros (UIP) tem sido frequentemente registradas na literatura empírica e para tal se cunhou o termo “*forward premium puzzle*”.

De acordo com a CIP, taxa de juros doméstica superior à taxa de juros estrangeira implica que a taxa de câmbio a termo (*forward*) é maior que a taxa de câmbio à vista (*spot*), e a essa diferença chamamos de *forward premium*. Ou seja, segundo a equação (3), se  $i_t > i_t^*$  então  $F_t > S_t$ , e chamamos de prêmio a expressão  $(F_t - S_t) / S_t$ .

Nesta situação de diferencial de taxas de juros, se a UIP fosse válida, seria esperado que o câmbio doméstico se depreciasse e a taxa de câmbio a termo (*forward*) fosse uma previsão do câmbio à vista (*spot*) no futuro.

Na verdade, moedas negociadas com *forward premium* muitas vezes não depreciam de acordo com o diferencial de taxa de juros, ao contrário, a previsão da taxa de câmbio futura é

viesada e estas moedas tendem em média a se apreciar. Esta anomalia já foi documentada em inúmeros trabalhos empíricos na literatura de finanças, como em Hodrick (1987), Froot e Thaler (1990) e Lewis (1995), e deveria refletir a falha de uma das hipóteses conjuntas da UIP: neutralidade ao risco ou eficiência de mercado.

### **Prêmio de Risco**

Grande parte das explicações na falha da UIP foca no prêmio de risco, ou seja, a lucratividade do *carry trade* seria atribuído ao risco incorrido. Alguns estudos, entre eles o próprio trabalho de Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009), mostram, entretanto, que mesmo ajustando ao risco, tais estratégias teriam o retorno muito alto (índice de Sharpe significativamente acima do investimento no mercado de ações, por exemplo). Isto sugere que os investidores têm uma aversão ao risco muito grande, ou os modelos não capturam corretamente os riscos envolvidos.

Índice de Sharpe (em inglês, *Sharpe Ratio*) é uma métrica de desempenho ajustada ao risco e basicamente mostra o excesso de retorno do investimento por unidade de risco. É uma medida simples e amplamente usada, mas considera o risco apenas como o desvio padrão dos retornos observados. Obviamente esta simplicidade da medida ignora outras formas de risco, como os momentos superiores da distribuição (assimetria e curtose).

Como foi citado na nossa revisão da literatura, Brunnermeier et al. (2009) estão entre os primeiros a analisar empiricamente o risco assimetria e, neste trabalho, seguiremos esta linha de estudo, investigando o seu impacto na construção da carteira ótima de um agente representativo.

## MODELO

Como já foi descrito, moedas negociadas com *forward premium* tendem a se apreciar contrariando a hipótese da UIP. Esta anomalia é explorada por investidores quando montam suas operações de *carry trade*.

Nesta dissertação, vamos estudar uma estratégia simples de *carry trade* e, através de uma análise não-paramétrica, verificar o impacto do nível de aversão ao risco do investidor na construção de sua carteira ótima seguindo tal estratégia. A abordagem não-paramétrica deveria ser capaz de capturar os momentos de ordem superior da distribuição (assimetria e curtose), tornando possível analisar o efeito destes riscos na compensação do retorno esperado do investidor.

### Estratégia de *Carry Trade*

Desconsiderando os custos de transação, o resultado de uma operação de *carry trade* utilizando  $W_t$  unidades monetárias é:

$$W_{t+1} = W_t \left[ (1 + i_t^*) \frac{S_{t+1}}{S_t} - (1 + i_t) \right] \quad (9)$$

A forma mais básica de se montar um *carry trade*, assumindo que não há riqueza inicial conforme a equação acima, é muito simples: se a taxa de juros doméstica for menor do que a taxa de juros estrangeira, o investidor se financia sob taxa de juros local e aplica em moeda estrangeira, caso contrário, o financiamento é feito sob taxa de juros estrangeira e o investimento em moeda doméstica. Ou seja, o montante  $W_t$  investido normalizado para 1 unidade de moeda doméstica é:

$$W_t = \begin{cases} +1 & \text{se } i_t < i_t^* \\ -1 & \text{se } i_t \geq i_t^* \end{cases} \quad (10)$$

Obviamente o resultado de tal estratégia está ligado à variação da taxa de câmbio, já que no instante inicial a única fonte de incerteza na equação (9) é a taxa de câmbio no período seguinte  $S_{t+1}$ . É fácil notar também que a escolha do investidor se baseia exclusivamente no diferencial de taxas de juros (doméstico e estrangeiro) no instante inicial.

Desta forma, parece natural considerar este diferencial de taxas de juros como sinal usado pelo investidor para previsão de oportunidades de investimento. Além disso, Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009) identificam que as atividades especulativas com

moedas se intensificam com a ampliação deste diferencial. Assim, com base neste sinal poderemos replicar a abordagem proposta por Brandt (1999).

Nesta abordagem, é utilizada uma modelagem não-paramétrica para o cálculo dos momentos de uma distribuição condicionais ao sinal observado. Em nosso caso, estamos interessados em calcular o valor esperado do retorno da taxa de câmbio condicional ao diferencial de taxa de juros.

Em seguida, utilizando este sinal e uma estrutura adequada de utilidade esperada, mostraremos como o investidor irá compor sua carteira ótima baseada em sua função de utilidade.

### Sinal: Diferencial da Taxa de Juros

Vamos definir a variável  $z_t$  como o sinal usado pelo investidor para a previsão de oportunidades de investimento:

$$z_t = i_t - i_t^* \quad (11)$$

### Escolha Ótima da Carteira

Um agente representativo (investidor) com preferências  $U(W)$  se defronta com duas opções de investimento:

- i. Aplicar sua riqueza  $W$  na taxa de juros em moeda local obtendo um retorno de  $(1+i)$ :

$$W_{t+1} = W_t (1+i_t) \quad (\text{investimento sem risco})$$

- ii. ou investir numa estratégia de *carry trade*, convertendo a riqueza  $W$  pela cotação do câmbio ( $S_t$ ), aplicando este valor em taxa de juros na moeda estrangeira com retorno de  $(1+i^*)$ , e convertendo de volta para moeda local sob a nova taxa de câmbio ( $S_{t+1}$ ):

$$W_{t+1} = \frac{W_t}{S_t} (1 + i_t^*) S_{t+1} \quad (\text{investimento com risco})$$

A cada instante  $t$ , o investidor deve decidir que fração  $\alpha$  de sua riqueza deve ser alocada na estratégia de *carry trade*. O restante é investido em taxa de juros local (investimento sem risco). Desta forma:

$$W_{t+1} = W_t \left[ (1 - \alpha)(1 + i_t) + \alpha \frac{1}{S_t} (1 + i_t^*) S_{t+1} \right] \quad (12)$$

No instante da montagem da carteira, o investidor desconhece a taxa de câmbio em  $t+1$ , assim, terá sua decisão baseada na expectativa de valorização da mesma. Podemos, então, reescrever (12) assim:

$$W_{t+1} = W_t \left[ (1 - \alpha)(1 + i_t) + \alpha(1 + i_t^*)(1 + \Delta e_{t+1}) \right] \quad (13)$$

Na próxima sub-seção, definiremos um operador não-paramétrico de esperança condicional que nos permitirá fazer a substituição da expectativa de retorno da taxa de câmbio em (13):

$$\Delta e_{t+1} = E[\Delta s_{t+1} | z_t = (i_t - i_t^*)] \quad (14)$$

Voltando a escolha da carteira do investidor, seu objetivo é determinar um  $\alpha_t$  de modo a maximizar sua utilidade esperada, definida pela função de utilidade CRRRA (aversão relativa ao risco constante):

$$U(W) = \begin{cases} \frac{W^{1-\gamma}}{1-\gamma} & \text{se } \gamma > 0 \text{ e } \gamma \neq 1 \\ \ln(W) & \text{se } \gamma = 1 \end{cases} \quad (15)$$

onde  $\gamma$  representa o nível de aversão ao risco do agente.

Observe que se o investidor fosse neutro ao risco ele se basearia apenas no retorno esperado da sua estratégia de carry trade, assim o montante  $\alpha$  seria mais infinito ou menos infinito a depender de suas expectativas sobre a valorização ou desvalorização do câmbio. A função de utilidade é que permite o investidor calibrar sua carteira de forma mais “prudente” condicionado à sua percepção de risco.

Segundo o modelo, as oportunidades de investimento variam no tempo e são correlacionadas com a variável de previsão  $z_t$ . O investidor, então, maximiza sua utilidade esperada condicional ao sinal observado no tempo  $t$ :

$$\alpha_{\text{ótimo}}(z_t) = \arg \max_{\alpha_t} (E[U(W_{t+1}) | z_t]) \quad (16)$$

Desta forma, a carteira ótima do investidor pode ser determinada como a fração  $\alpha_{\text{ótimo}}$  da riqueza que soluciona a seguinte equação de Euler:

$$E \left[ \frac{\partial U(W_{t+1})}{\partial \alpha} | z_t \right] = 0 \quad (17)$$

onde a derivada é avaliada em  $\alpha_{\text{ótimo}}(z_t)$ .

Na sub-seção anterior, definimos esta variável de previsão (sinal)  $z_t$  como a diferença entre as taxas de juros doméstica e estrangeira.

### Equivalente de Certeza

Podemos definir um determinado nível de retorno ( $r_{ec}$ ), condicional ao sinal  $z_t$ , que daria ao investidor o mesmo nível de utilidade que aquela esperada investindo  $\alpha_t$  na carteira

de investimento com risco conforme a solução ótima da equação de Euler. Em outras palavras, buscamos a solução da seguinte expressão:

$$U(W_{ec}) = E[U(W_{t+1}|z_t = \bar{z})] \quad (18)$$

onde  $W_{ec} = W_t(I+r_{ec})$ .

Conforme demonstração do Apêndice, podemos reescrever a equação (13) da seguinte forma:

$$W_{t+1} = W_t(1 + i + \alpha\tilde{\Delta}e_{t+1}) \quad (19)$$

onde  $\tilde{\Delta}e_{t+1}$  é o excesso de retorno esperado acima do diferencial de taxas de juros, isto é,  $\tilde{\Delta}e_{t+1} = \Delta e_{t+1} + i^* - i$ .

Fazendo a expansão de Taylor de 2ª ordem ao redor do ponto riqueza inicial,  $W_t$ , obtemos:

$$r_{ec}(z_t = \bar{z}) = i + E(\alpha_{\acute{o}timo}\tilde{\Delta}e_{t+1}|z_t = \bar{z}) + \frac{1}{2}\frac{U''W_t}{U'}E\left((\alpha_{\acute{o}timo}\tilde{\Delta}e_{t+1})^2|z_t = \bar{z}\right) \quad (20)$$

Como a função de utilidade  $U(W)$  é do tipo CRRA, podemos fazer a substituição das derivadas da função utilidade e obtemos:

$$r_{ec}(z_t = \bar{z}) = i + E(\alpha_{\acute{o}timo}\tilde{\Delta}e_{t+1}|z_t = \bar{z}) + \frac{1}{2}\gamma E\left((\alpha_{\acute{o}timo}\tilde{\Delta}e_{t+1})^2|z_t = \bar{z}\right) \quad (21)$$

Dewachter e Lyrio (2005) mencionam que, por construção, este equivalente de certeza é viesado para baixo, determinando, portanto, uma fronteira inferior para o valor financeiro da regra de previsão considerada.

### Abordagem Não-Paramétrica

Apresentaremos a abordagem proposta por Brandt (1999) na estimação da condição de ótimo em (17). De fato, a adaptação sugerida por Dewachter e Lyrio (2005) para esta abordagem é que se aproxima mais dos objetivos deste trabalho.

A composição ótima da carteira  $\alpha_{\acute{o}timo}(z_t = \bar{z})$  pode ser estimada usando o método dos momentos generalizados (GMM) com uma matriz de ponderação  $Q$  adequada:

$$\alpha_{\acute{o}timo}(z_t = \bar{z}) = \arg \min_{\alpha_t} (gQg') \quad (22)$$

$$g = E_{emp} \left[ \frac{\partial U(W_{t+1})}{\partial \alpha} | z_t = \bar{z} \right] \quad (23)$$

onde  $E_{emp}$  representa o operador de esperança condicional não-paramétrica definida numa amostra de T observações. Tal operador é definido como:



$$E_{emp}[X_{t+1}|z_t = \bar{z}] = \frac{\sum_{j=1}^T K(u_j) X_{j+1}}{\sum_{j=1}^T K(u_j)} \quad (24)$$

onde  $K(u)$  é uma função Kernel em  $u_j$ ,  $u_j = (z_j - \bar{z})/h$ , e  $h$  é o parâmetro de suavização (em inglês, “bandwidth”, ou “smoothing parameter”). Este parâmetro determina quanto das observações podem estar afastadas de  $\bar{z}$  e ainda contribuir para a estimação da esperança condicional ( $E_{emp}$ ).

Brandt (1999) sugere a utilização de uma função Kernel Normal (Gaussiana), que utiliza todas as observações, mas atribui pesos maiores aos estados mais próximos do sinal de referência ( $\bar{z}$ ):

$$K(u_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2}u_j^2\right)} \quad (25)$$

Deve-se observar que por se tratar de uma abordagem não-paramétrica, a escolha ótima do investidor será impactada por todos os momentos da distribuição e não apenas pelo retorno esperado. Poderemos, então, observar as reações dele para situações em que a variância, a assimetria ou o excesso de curtose sejam maiores e isto seja refletido em sua função de utilidade.

### Momentos Condicionais

Com base neste arcabouço não-paramétrico, pode-se calcular os momentos da distribuição de retornos de taxa de câmbio da amostra estudada, condicional ao diferencial de taxa de juros.

O retorno da taxa câmbio ( $\Delta e_{t+1}$ ) é a variável de interesse  $X_{t+1}$  na equação (24) e seu valor esperado, para cada sinal  $\bar{z}$  escolhido, é calculado como a média ponderada de todos os retornos de câmbio da amostra. Esta ponderação é feita segundo a equação (25) e se baseia na “distância” entre o diferencial de juros do sinal  $\bar{z}$  e o diferencial de juros ( $z_j$ ) observado na amostra.

As variáveis estatísticas são definidas da seguinte forma:

- 1º momento:

$$\text{Retorno Esperado Câmbio} = E_t[\Delta e_{t+1}|z_t = \bar{z}] \quad (26)$$

- 2º momento:

$$\begin{aligned} \text{Variância} &= E_t[(\Delta e_{t+1} - E[\Delta e_{t+1}])^2 | z_t = \bar{z}] \\ &= E_t[(\Delta e_{t+1})^2 | z_t = \bar{z}] - E_t^2[(\Delta e_{t+1}) | z_t = \bar{z}] \end{aligned} \quad (27)$$

- 3º momento:

$$\begin{aligned} \text{Assimetria} &= E_t[(\Delta e_{t+1} - E[\Delta e_{t+1}])^3 | z_t = \bar{z}] \\ &= E_t[(\Delta e_{t+1})^3 | z_t = \bar{z}] - 3E_t[\Delta e_{t+1} | z_t = \bar{z}]E_t[(\Delta e_{t+1})^2 | z_t = \bar{z}] - \\ &\quad 2E_t^3[\Delta e_{t+1} | z_t = \bar{z}] \end{aligned} \quad (28)$$

- 4º momento:

$$\begin{aligned} \text{Curtose} &= E_t[(\Delta e_{t+1} - E[\Delta e_{t+1}])^4 | z_t = \bar{z}] \\ &= E_t[(\Delta e_{t+1})^4 | z_t = \bar{z}] - 4E_t[\Delta e_{t+1} | z_t = \bar{z}]E_t[(\Delta e_{t+1})^3 | z_t = \bar{z}] + \\ &\quad 6E_t^2[\Delta e_{t+1} | z_t = \bar{z}]E_t[(\Delta e_{t+1})^2 | z_t = \bar{z}] - 3E_t^4[\Delta e_{t+1} | z_t = \bar{z}] \end{aligned} \quad (29)$$

Observe que para os momentos de ordem superior, podemos adaptar a equação (24) da seguinte maneira:

$$E_{emp}[(\Delta e_{t+1})^n | z_t = \bar{z}] = \frac{\sum_{j=1}^T K(u_j)(\Delta e_{j+1})^n}{\sum_{j=1}^T K(u_j)} \quad (30)$$

onde  $n$  é a ordem do momento de interesse.

Vale ressaltar que na parte empírica deste trabalho, os momentos de ordem 3 e 4 foram padronizados:  $m_k = \frac{\mu_k}{\sigma^k}$ , onde  $\mu_k$  é o  $k$ -ésimo momento central e  $\sigma$  é o desvio-padrão.

Podemos testar (28) para verificar uma das descobertas de Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009), que afirma que o diferencial positivo de taxa de juros está associado a assimetria positiva dos retornos da taxa de câmbio. Tentaremos verificar também se a curtose gera algum tipo de impacto relevante na percepção de risco do investidor.

Logicamente, podemos testar a validade da UIP utilizando a equação (26).

## RESULTADOS EMPÍRICOS

### Dados

Foram utilizadas séries semanais e mensais de taxas de juros dos seguintes países, cujas moedas são reconhecidas como intensamente utilizadas nas estratégias *carry trade*: Estados Unidos (USD), Reino Unido (GBP), Suíça (CHF), Japão (JPY), Austrália (AUD), Canadá (CAD) e Brasil (BRL). A partir de agora, utilizaremos os símbolos entre parênteses para identificar cada moeda nos gráficos e tabelas de nossos resultados empíricos.

Com exceção do Brasil, para o qual utilizamos os primeiros vencimentos do Futuros de DI negociados na BM&F<sup>4</sup>, as demais taxas foram obtidas através da Bloomberg e representam as taxas LIBOR<sup>5</sup> da Associação Britânica de Bancos (BBA).

A moeda USD (Dólar Americano) será considerada a moeda estrangeira e todas as outras seis moedas serão as moedas domésticas para montagem da estratégia de *carry trade*. As taxas de câmbio são cotadas em referência ao Dólar americano, assim os valores são expressos em montante de moeda doméstica por Dólar americano.

Foram utilizados dados do período entre Janeiro de 2000 até Dezembro de 2007. O objetivo era fazer uso dos dados mais recentes, mas evitar o período da crise de 2008, no qual a assimetria e o risco de *crash* eram evidentes.

Para a análise semanal um total de 418 observações faz parte da amostra e, para a análise mensal, há 97 observações.

---

<sup>4</sup>[http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/a-bmfbovespa/download/series-mercados\\_futuro-de-di.pdf](http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/a-bmfbovespa/download/series-mercados_futuro-de-di.pdf)

<sup>5</sup> A definição da taxa LIBOR está disponível no website do BBA, <http://www.bba.org.uk>. Acrescentamos no Apêndice a descrição obtida no sistema Bloomberg.

## Sumário de Estatísticas

A primeira parte de nossa análise estatística é em relação à série histórica de retornos das taxas de câmbios. As principais métricas estão dispostas na tabela 1 e também na parte inferior dos histogramas mostrados na figura 1.

As medidas não condicionais mostram o que já está bem documentado nos estudos sobre *carry trade*: moedas de financiamento (CHF e JPY, por exemplo) apresentam assimetria (*skewness*) negativa, enquanto as moedas de investimento (AUD, CAD e BRL) têm assimetria positiva. Além disso, as moedas de investimento têm retorno médio negativo, o que é um indicativo que a hipótese da UIP é violada. Nas medidas de curtose foram subtraídos o valor 3 para termos uma comparação com a normal e todas as moedas tem distribuição de retornos leptocúrticas (“caudas pesadas”). O Real apresenta curtose acentuadamente superior as demais, como já seria esperado dado que esta é a única moeda de mercado emergente presente no estudo.

Tabela 1- Estatísticas não condicionais dos retornos semanais da taxa de câmbio

Moeda	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose*
<b>GBP</b>	-0.04%	1.08%	0.17	0.52
<b>CHF</b>	-0.08%	1.33%	-0.06	0.01
<b>JPY</b>	0.01%	1.19%	-0.35	0.47
<b>AUD</b>	-0.07%	1.49%	0.38	0.53
<b>CAD</b>	-0.09%	1.00%	0.13	0.11
<b>BRL</b>	-0.01%	2.28%	0.89	10.69

**Nota:** \*curtose apresentada é igual a curtose calculada subtraída do valor 3.

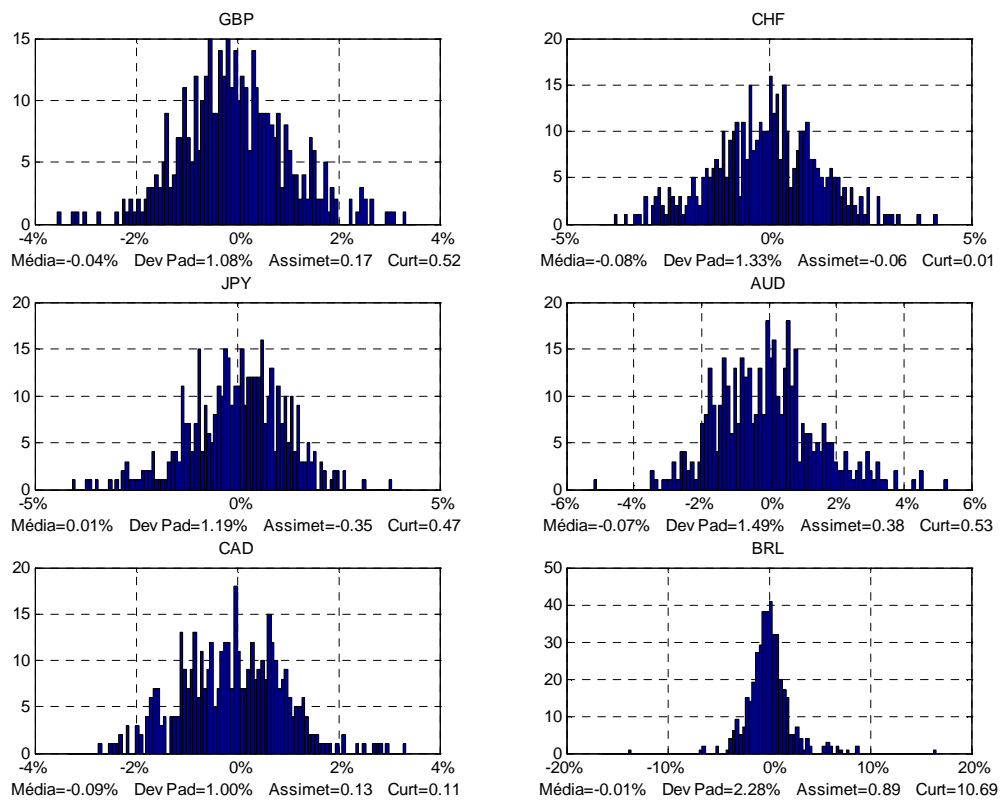


Figura 1 - Histograma dos retornos semanais da taxa de câmbio

A tabela seguinte mostra o teste clássico da UIP. Pode-se observar que para todas as moedas estudadas esta hipótese é rejeitada e, conforme esperado, o  $R^2$  é muito baixo, ou seja, a estratégia de *carry trade* é, em média, lucrativa, mas é arriscada já que a explicação do retorno das taxas de câmbio não está no diferencial de taxa de juros.

Tabela 2 - Teste da UIP (Dados semanais)

$\Delta s_{t+1} = \beta_1 + \beta_2(i_t - i_t^*) + \varepsilon_{t+1}$			
Moeda	$\beta_2$	D.P.	$R^2$
<b>GBP</b>	-1.8402	2.6518	0.0017
<b>CHF</b>	-3.6499	1.7031	0.0045
<b>JPY</b>	-2.3373	2.5575	0.0045
<b>AUD</b>	-4.9477	2.5760	0.0089
<b>CAD</b>	-1.7376	1.2568	0.0011
<b>BRL</b>	-0.3255	2.6518	0.0002

Nota: D.P. é o desvio padrão da estatística apresentada

### Modelo Não-paramétrico

A análise não-paramétrica permite obter relações mais flexíveis entre as variáveis estudadas. A figura 2 mostra a relação entre o diferencial de taxa de juros e o retorno esperado da taxa de câmbio para cada uma das moedas estudadas. Os dados apresentados nos gráficos foram anualizados multiplicando os valores semanais por 52.

A reta em negrito mostra a regressão linear usada para testar a UIP, conforme a tabela 2. A linha tracejada mostra o valor do retorno do câmbio esperado em função do sinal observado estimado de forma não-paramétrica, conforme a equação (26). A reta ascendente mostra o resultado esperado caso a hipótese da Paridade Descoberta das Taxas de Juros fosse válida. Visualmente, ambas as técnicas utilizadas (paramétricas e não-paramétricas) não suportam a UIP e o *forward premium puzzle* é detectado.

Entretanto, para algumas moedas a análise não-paramétrica indica que a violação da UIP aparece somente a partir de um determinado nível de diferencial de taxa de juros. Por exemplo, a Libra esterlina (GBP) tem a curva do modelo não-paramétrico acompanhando a reta da UIP até que o diferencial de juros ultrapasse aproximadamente 1,5% ao ano. Ou seja, segundo o modelo, a estratégia de *carry trade* entre GBP e USD não seria lucrativa para diferenciais de juros mais baixos, em outras palavras, os ganhos com o diferencial de juros nestes casos são compensados pela desvalorização do câmbio.

O Real brasileiro apresenta comportamento semelhante e, apesar de a curva não-paramétrica não estar sobreposta à reta da UIP, observa-se que a mesma é ascendente para diferenciais de juros mais baixos. Isto mostra que, até certo ponto, a violação da hipótese pode não ser verificada através do modelo proposto.

Vale notar também que as regressões linear e não-paramétrica se movem de maneira coordenada, isto é, o resultado não-paramétrico de forma geral oscila sobre a reta da regressão de mínimos quadrados ordinários.

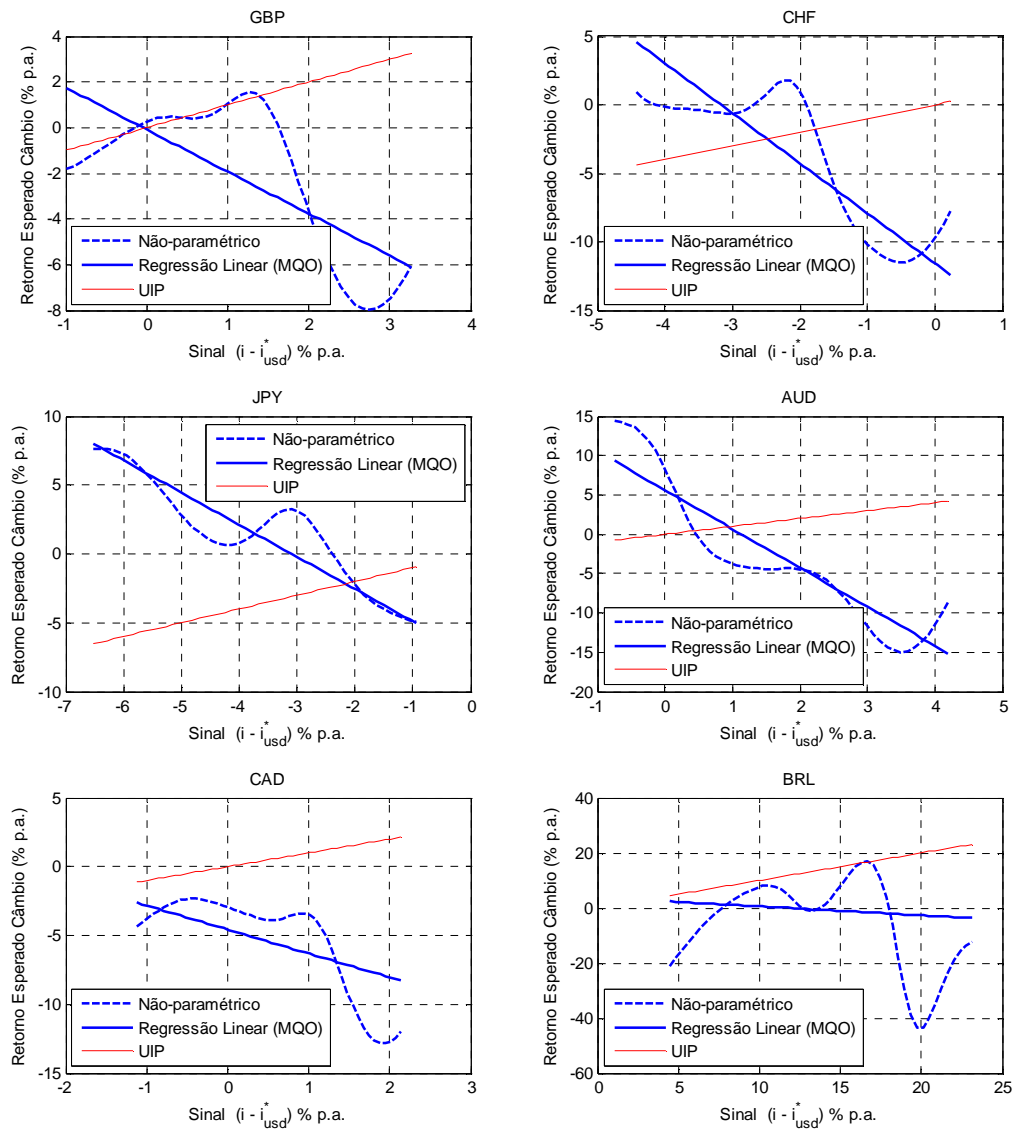


Figura 2 – Análise Não-Paramétrica

## Momentos Condicionais

Continuando com a técnica não-paramétrica, podemos observar mais alguns resultados interessantes nos momentos de ordem superior da distribuição da taxa de retorno de câmbio. As figuras 3 a 8 ilustram os resultados em gráficos para cada moeda, mostrando o histograma dos sinais observados na amostra e os momentos de ordem 2, 3 e 4 (variância, assimetria e curtose).

Como já foi mencionado, Brunnermeier, Nagel e Pedersen (2009) em seu trabalho identificam que as atividades especulativas com moedas se intensificam com a ampliação do diferencial de juros. Por isso, poderíamos esperar também que a variância condicional fosse impactada, aumentando com este diferencial de taxa de juros. Este comportamento, entretanto, é evidente somente para algumas moedas, como Canadá (CAD), Brasil (BRL) e Reino Unido (GBP).

O 3º momento nos mostra um resultado mais interessante e corrobora com as conclusões de Brunnermeier et al. (2009): há indícios de que a assimetria aumenta com o diferencial de taxa de juros. Vamos tomar como exemplo uma moeda de financiamento (Franco suíço, CHF) e uma moeda de investimento (Dólar Australiano, AUD), que estão representadas nas figuras 4 e 6, respectivamente.

Na figura 4, a assimetria (*skewness*) de uma moeda de financiamento (CHF) fica mais negativa à medida que a diferença entre as taxas de juros cresce em módulo. A figura 6 mostra um comportamento análogo para uma moeda de investimento (AUD): neste caso o *skewness* fica mais positivo com o aumento do diferencial de juros. Em geral, este comportamento também é observado para as demais moedas.

Os gráficos de curtose não nos permitem fazer conclusões tão fortes. Em geral, as distribuições são leptocúrticas (“caudas gordas”), resultado já observado na análise estatística não-condicional, mas não existe uma relação aparente com o diferencial de taxa de juros.



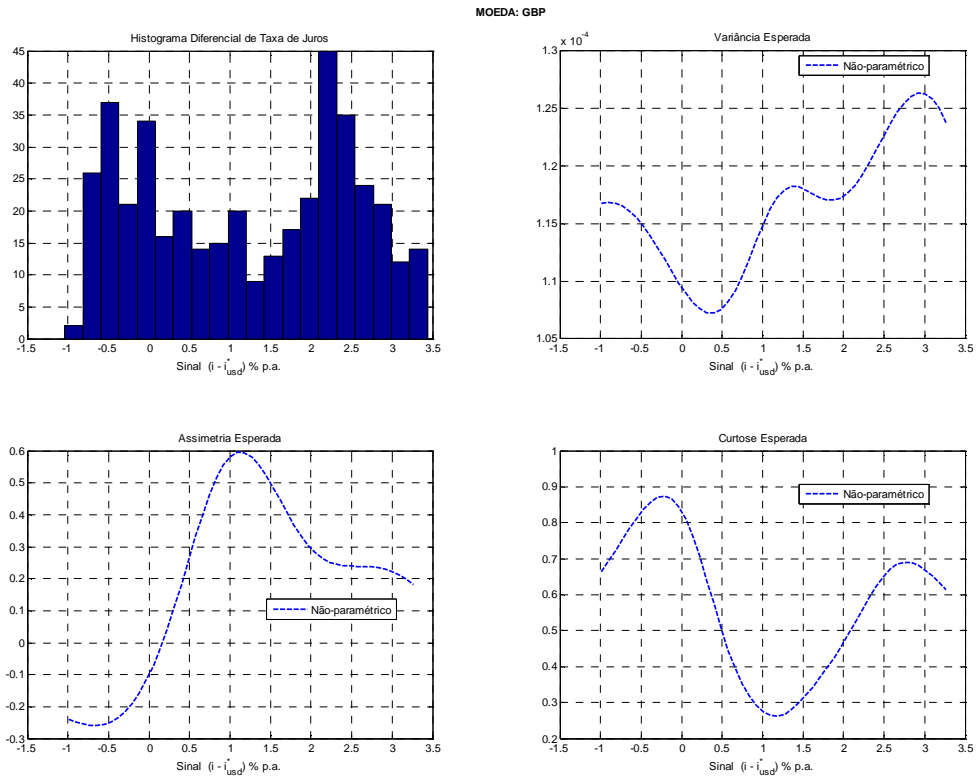


Figura 3 – Momentos condicionais (Libra esterlina)

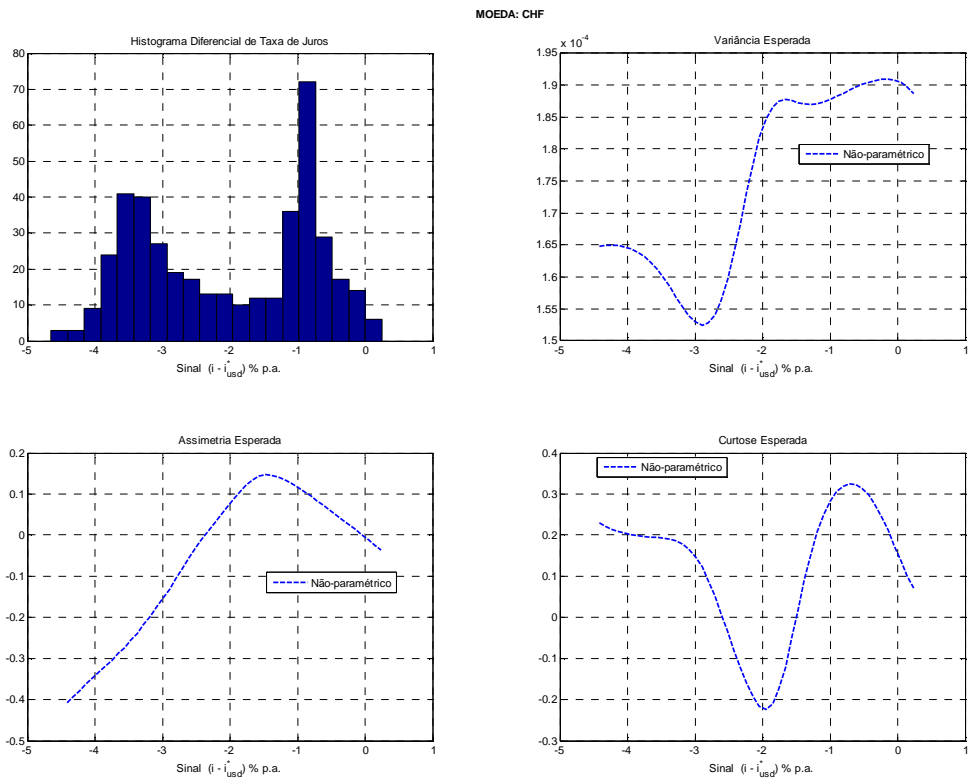


Figura 4 – Momentos condicionais (Franco suíço)

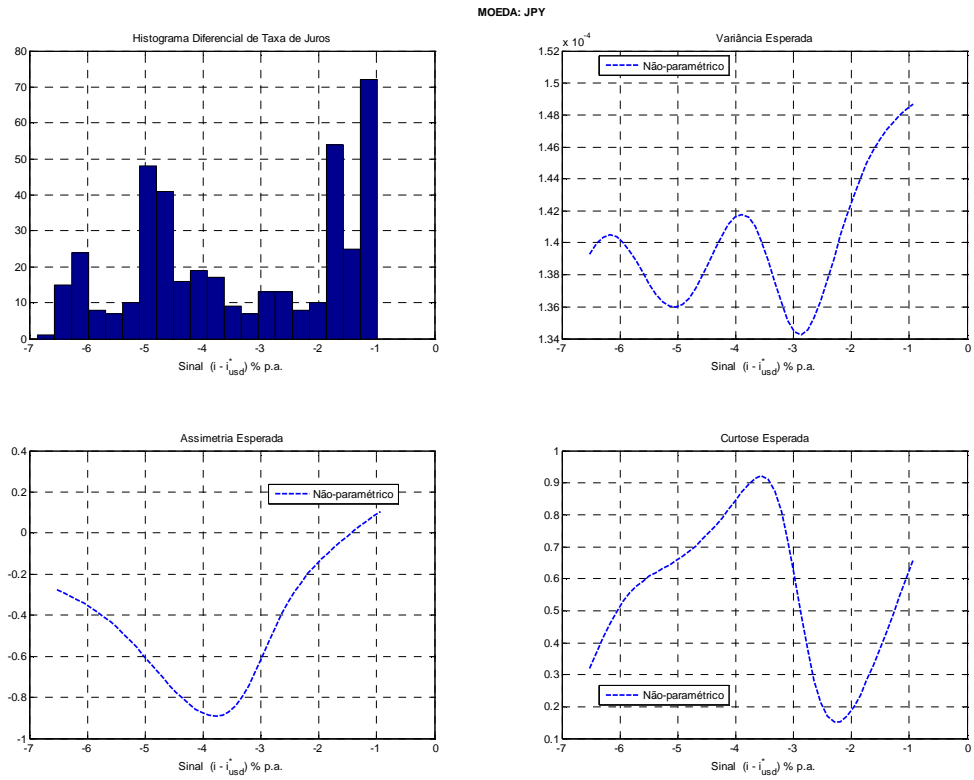


Figura 5 – Momentos condicionais (Iene japonês)

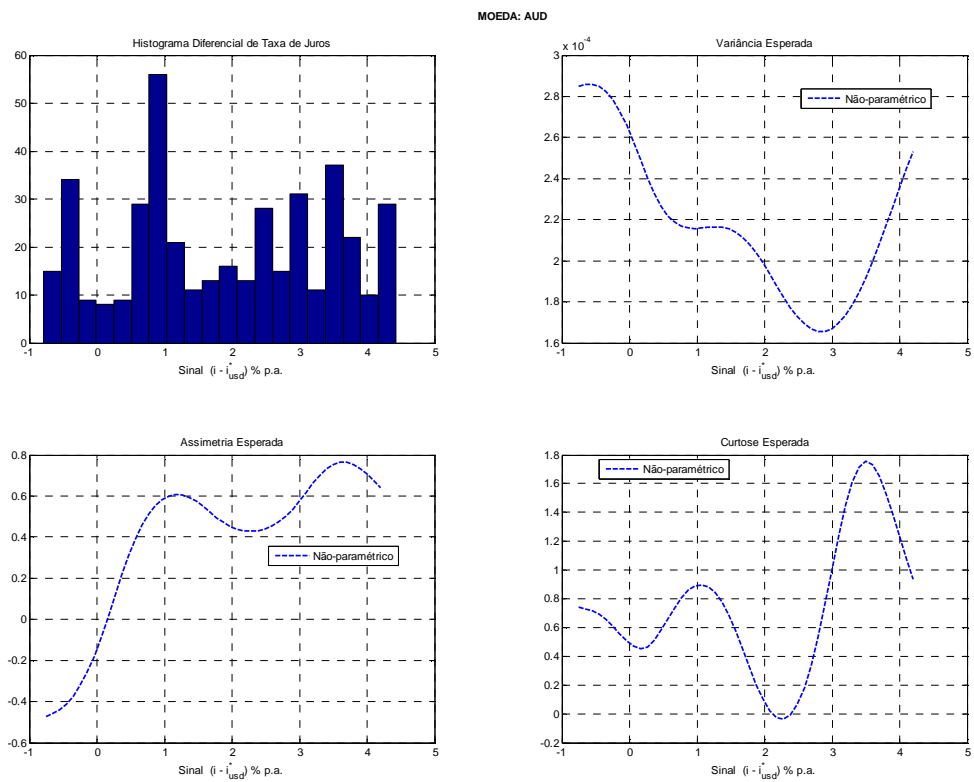


Figura 6 – Momentos condicionais (Dólar australiano)

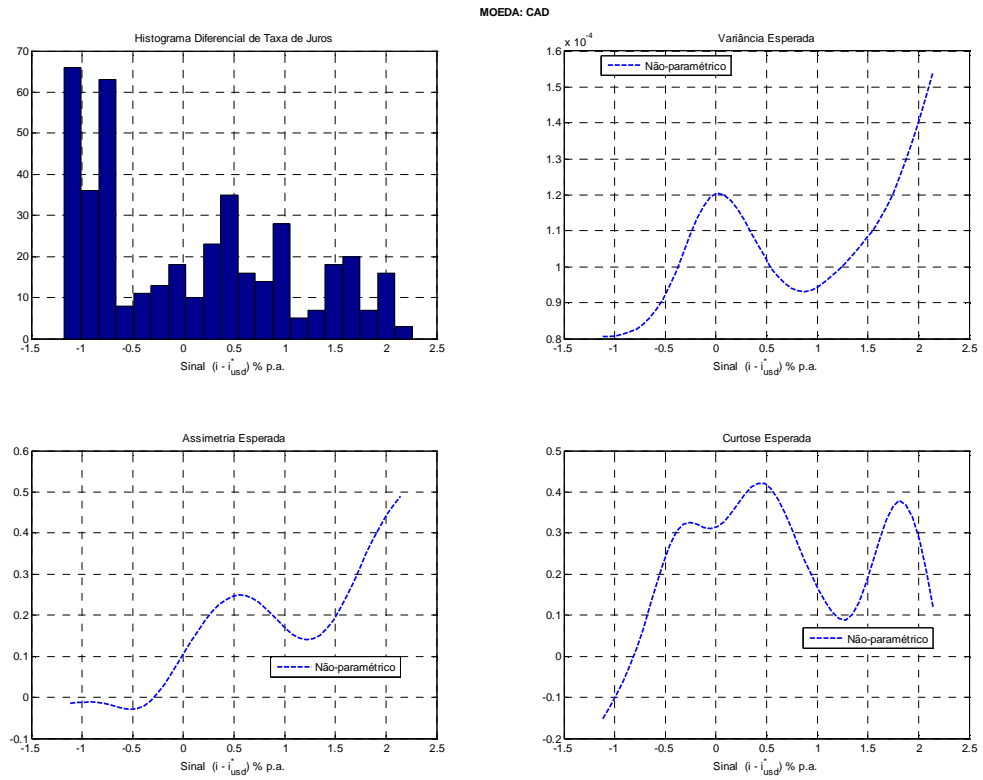


Figura 7 – Momentos condicionais (Dólar canadense)

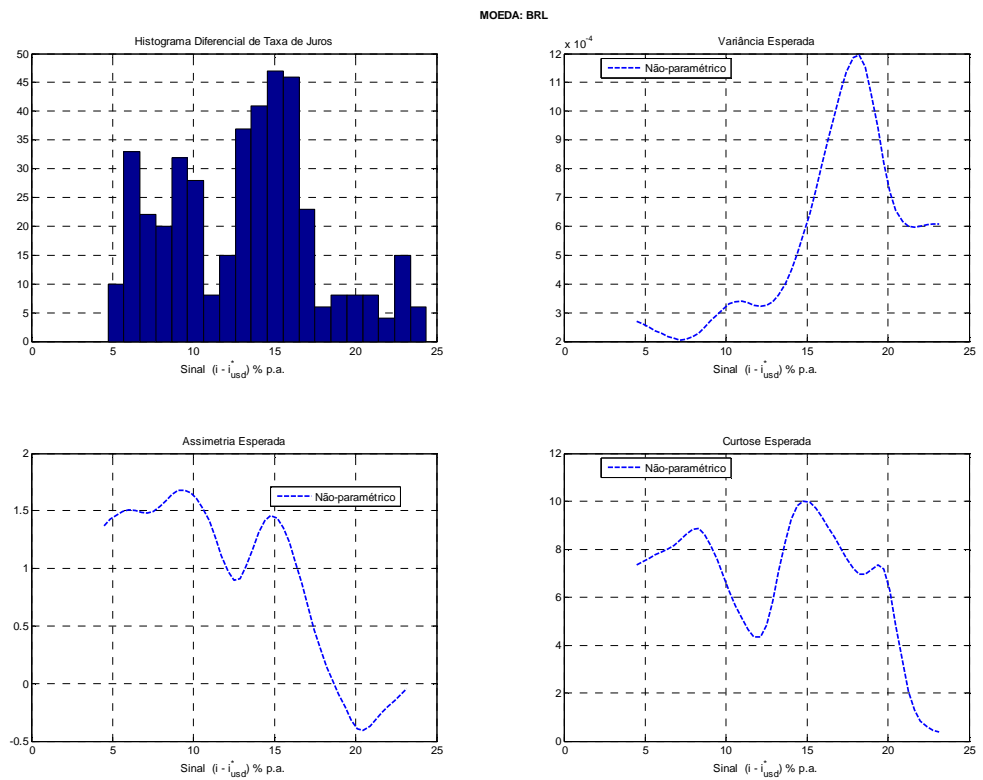


Figura 8 – Momentos condicionais (Real brasileiro)

### Carteira Ótima e Equivalente de Certeza

A composição ótima da carteira é obtida através das soluções da equação (16), utilizando o método proposto por Brandt (1999). Foram utilizados três níveis diferentes de aversão ao risco ( $\gamma = 4, 6$  e  $8$ ) e, apesar de não ser encontrado consenso na literatura sobre o valor ideal deste parâmetro, eles serão úteis para estudarmos o comportamento do investidor frente ao risco.

Obviamente seria esperado que quanto maior a aversão ao risco, menor seria o valor do alfa ( $\alpha$ ) na composição ótima da carteira de investimento. Além disso, se  $\alpha > 1$ , então o investidor estaria se alavancando na estratégia de *carry trade*, i.e., ele toma emprestado na moeda doméstica para aplicar em Dólar americano (USD). Analogamente, se  $\alpha < 0$ , o investidor está se financiando em moeda estrangeira (USD) para investir de forma alavancada em moeda doméstica.

Os resultados do Equivalente de Certeza devem ser interpretados de forma semelhante: quanto maior a aversão ao risco, menor o retorno certo que traria ao investidor o mesmo nível de utilidade que o retorno esperado da carteira ótima.

As figuras 9 a 14 das páginas seguintes ilustram os resultados para as 6 moedas utilizadas neste estudo, todas em relação ao Dólar americano.

Valores de alfa maiores que zero ( $\alpha > 0$ ) são encontrados quando o a estratégia de *carry trade* tem retorno esperado positivo, ou seja, quando o diferencial de taxa de juros é maior do que a desvalorização esperada da moeda doméstica. Valores de alfa menores que zero ( $\alpha < 0$ ) indicam exatamente o oposto: a diferença das taxas de juros não compensa a variação esperada da moeda doméstica.

Quando o alfa é exatamente igual a zero ( $\alpha = 0$ ), a variação da taxa de câmbio se iguala ao diferencial de taxa de juros (como seria previsto pela UIP). Estes pontos nas figuras 9 a 14 coincidem com os pontos dos gráficos da figura 1 onde a reta da UIP toca a linha que representa a regressão não-paramétrica. Em outras palavras, os pontos onde alfa é zero representam os instantes, na modelagem não-paramétrica, em que a UIP é válida, ou seja, o retorno com o diferencial de taxa de juros é compensando pela expectativa de desvalorização da moeda. Desta forma, considerando o agente avesso ao risco, não haveria razão para que o mesmo investisse numa estratégia arriscada sem excesso de retorno, daí a sua carteira ótima mostrar alfa nulo.

Vamos ilustrar com um exemplo. Na sub-seção anterior, mencionamos que o retorno não-paramétrico da Libra esterlina concorda com o retorno do câmbio da equação da UIP, até determinado nível de diferencial de taxas de juros. Assim, seria esperado que o investidor entrasse na estratégia de *carry trade* somente quando o diferencial de juros ultrapassasse tal nível, pois, abaixo deste patamar o retorno esperado da estratégia é próximo de zero. Relembrando que a lucratividade do *carry trade* está intimamente relacionada à violação da UIP, ou seja, se a UIP for válida, o investidor não tem ganhos com esta estratégia.

Os gráficos da figura 9 nos permitem verificar este comportamento. O gráfico da esquerda mostra o alfa ótimo da carteira e observamos que o mesmo é pouco expressivo para diferenciais de juros inferiores a 1,5%. O gráfico do equivalente de certeza mostra o mesmo resultado de uma maneira alternativa: quando a diferença de taxa de juros é menor que 1,5%, o investidor avesso ao risco não precisa de nenhum excesso de retorno sem risco para ficar indiferente com relação a estratégia de *carry trade*, já que nestes pontos a lucratividade desta estratégia é próxima a zero.

Voltando à figura 2, observamos que as curvas do modelo não-paramétrico para as moedas CHF, JPY, AUD e BRL interceptam a reta da UIP em um único ponto. Estes pontos correspondem precisamente aos zeros da função Carteira Ótima das figuras 10, 11, 12 e 14, isto é, indicam os momentos em que o valor do alfa se anula e, conseqüentemente, o investidor inverte sua estratégia, deixando de investir em uma moeda (doméstica ou estrangeira) para investir na outra.

O Dólar canadense (CAD) é a única moeda cujo retorno esperado da taxa de câmbio, segundo o modelo não-paramétrico, é sempre inferior ao valor esperado pela hipótese da UIP. Assim, independente do diferencial de taxa de juros, é sempre lucrativo para o investidor se financiar em moeda estrangeira (USD) e aplicar no Dólar canadense, conforme observamos no gráfico da Carteira Ótima da figura 13, que mostra o alfa sempre negativo.

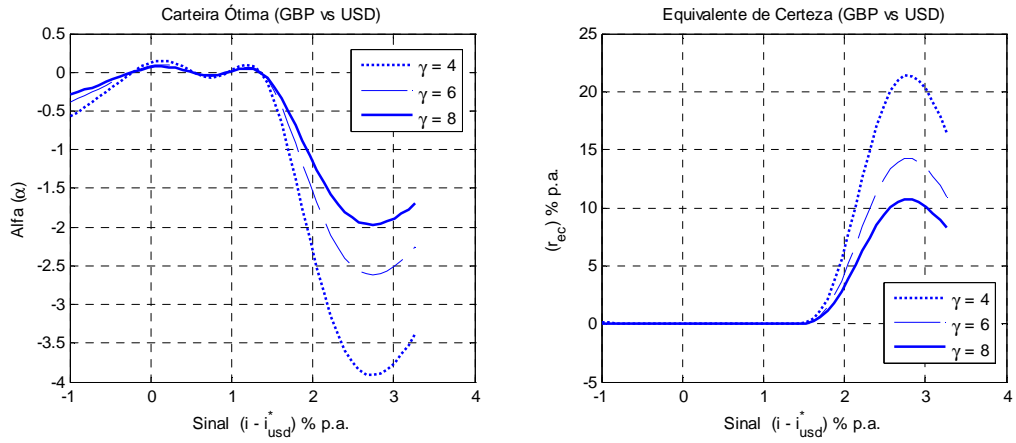


Figura 9 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Libra esterlina)

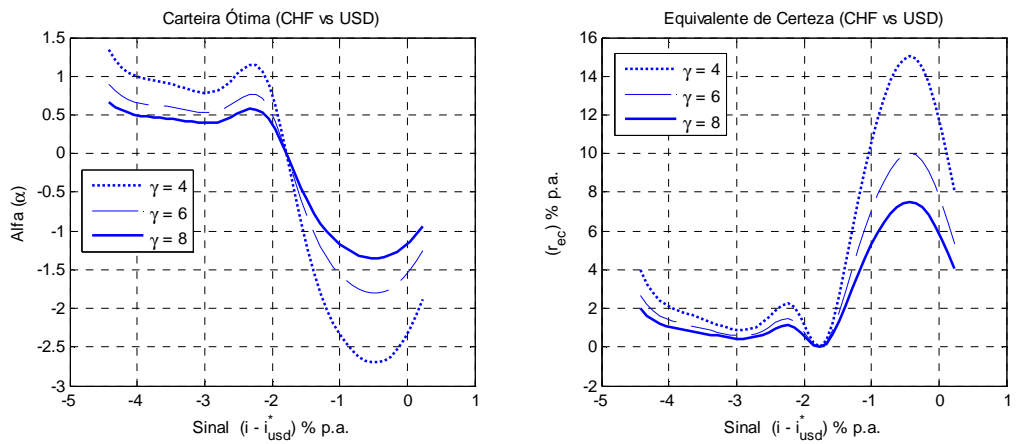


Figura 10 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Franco Suíço)

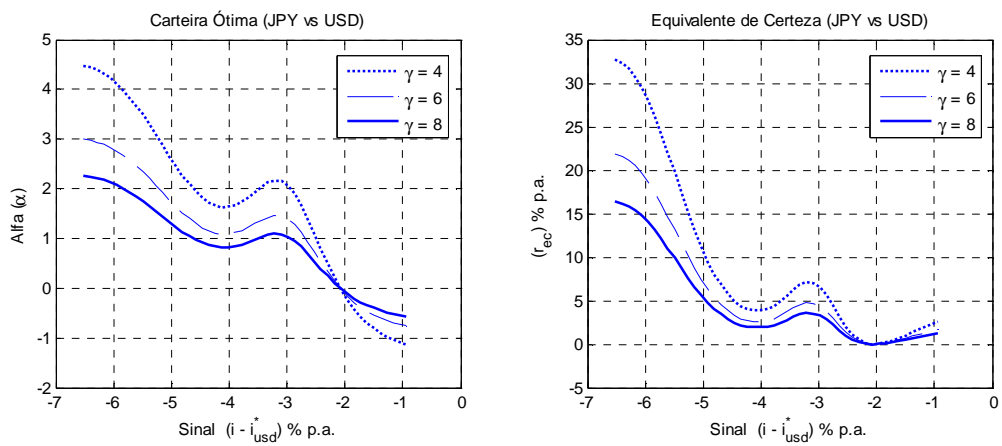


Figura 11 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Iene japonês)

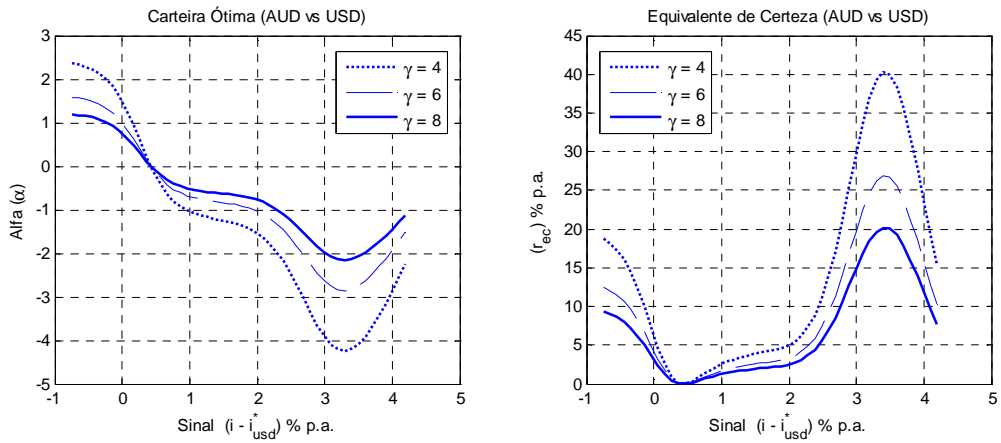


Figura 12 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar Australiano)

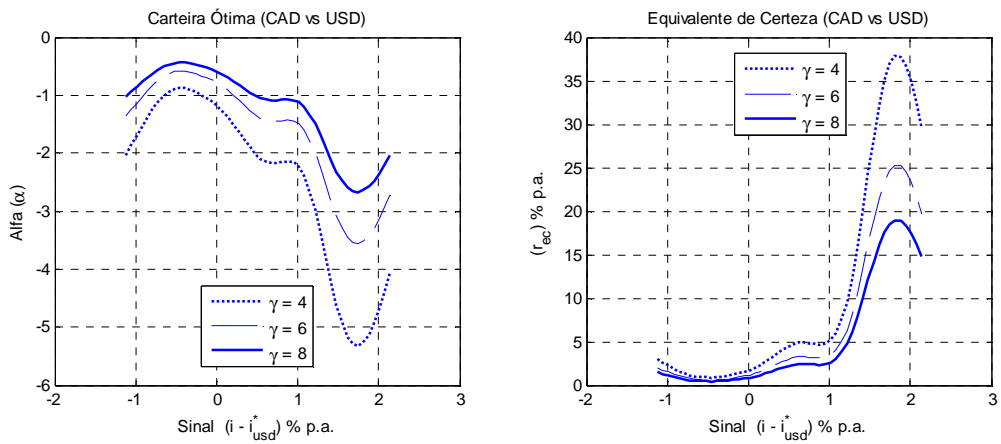


Figura 13 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar canadense)

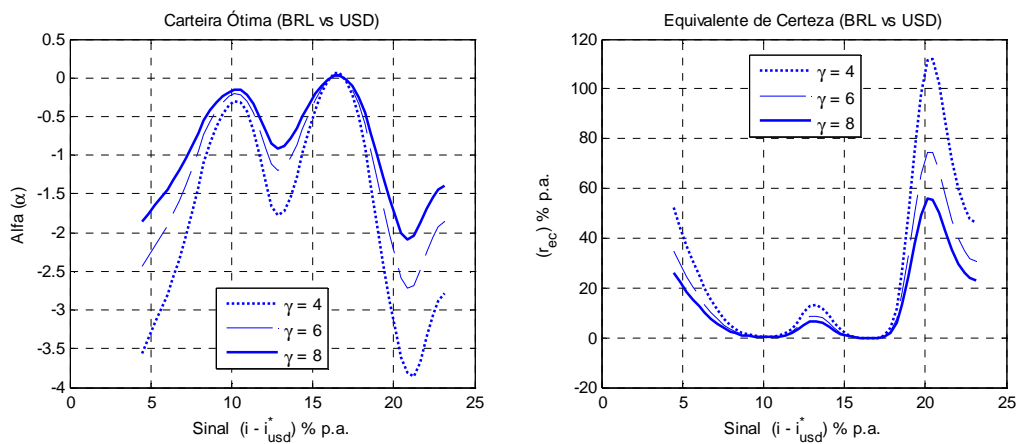


Figura 14 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Real brasileiro)

A análise dos gráficos leva a algumas conclusões esperadas: (i) o investidor aplica na moeda (doméstica ou estrangeira) de acordo com o retorno esperado da estratégia, (ii) quanto mais avesso ao risco, menor a proporção da sua carteira sujeita a incerteza, (iii) momentos de ordem superior afetam a composição ótima da carteira do investidor.

Por outro lado, não se pode determinar a importância separadamente de cada um dos momentos da distribuição na composição da carteira ótima. Para tanto, seriam necessárias outras amostras de dados com mesmo retorno esperado e variância, e momentos de ordem superior (assimetria e curtose) diferentes. Outra possibilidade, seria a utilização de uma outra família de função de utilidade na qual fosse possível ajustar parâmetros específicos de assimetria e curtose.

### **Dados Mensais**

Uma crítica que pode ser feita às estratégias de *carry trade* seria que sua lucratividade teórica é bastante impactada quando se leva em conta os custos de transação, pois os gastos para remontar a carteira ótima semanalmente poderiam diminuir o excesso de retorno observado.

Para ilustrar tal impacto, refizemos a análise apresentada anteriormente para o mesmo período de dados, mas utilizando uma frequência de dados mensal, e apresentamos nossos resultados (tabelas e gráficos) no anexo.

Nossa análise fica estatisticamente mais pobre devido à menor quantidade de observações na amostra, mas não gera resultados que confrontam o que observamos no estudo com dados semanais. Ou seja, as mesmas conclusões obtidas com dados semanais podem ser estendidas para os dados com frequência maior.



## CONCLUSÃO

Este trabalho investiga, através de uma abordagem não-paramétrica, os riscos das estratégias de *carry trade*.

Explicamos em que consiste o *carry trade*, uma das estratégias de especulação com moedas comumente usada no mercado internacional de câmbio, e cuja lucratividade se baseia na violação da UIP. Esta hipótese estabelece que os ganhos auferidos com o diferencial de taxa de juros seriam compensados pela desvalorização cambial, mas os resultados da maioria dos estudos na área não suportam tal afirmação. Na verdade, existe uma regularidade empírica que contradiz esta hipótese e é explorada pelos investidores, que na literatura convecionou-se a chamar de *forward premium puzzle*.

Indicamos algumas das explicações mais frequentes em Finanças Internacionais para este “*puzzle*”, mencionando que muitos estudos relacionam a lucratividade desta estratégia aos riscos incorridos. Um dos trabalhos citados aborda este risco de uma forma menos convencional, focando na assimetria dos retornos da taxa de câmbio: moedas com taxas de juros mais altas carregam consigo o risco de “*crash*”.

Com o objetivo de expandir este estudo, utilizamos neste trabalho um modelo não-paramétrico para investigar os momentos de ordem superior (assimetria e curtose) condicionais ao diferencial de taxa de juros. Para as moedas estudadas na parte empírica desta dissertação, detectamos aumento de assimetria na distribuição dos retornos do câmbio relacionado com o aumento do diferencial de juros, corroborando com a ideia de risco de *crash*. A análise do excesso de curtose não gerou resultados conclusivos.

Aplicando tal abordagem não-paramétrica num modelo de escolha ótima de carteira baseada em função de utilidade, verificamos que o investidor avesso a risco investe na estratégia de *carry trade* quando seu retorno esperado é positivo, mas numa proporção inversa ao seu nível de aversão a risco. E este montante investido é reflexo não somente do retorno esperado, mas também dos outros momentos da distribuição (variância, assimetria e curtose, por exemplo). Por outro lado, não podemos avaliar o impacto individual de cada uma dessas medidas estatísticas na percepção de risco do investidor.

Esta abordagem, então, poderia ser estendida para uma família de função de utilidade diferente, na qual fosse possível controlar a influência de cada momento da distribuição através de parâmetros da função.

## REFERÊNCIAS

BIS (Bank for International Settlements), *Triennial Central Bank Survey: Report on global foreign exchange market activity in 2010*. Disponível em <<http://www.bis.org/publ/rpfx10t.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2011.

BRANDT, M. *Estimating Portfolio and Consumption Choice: A Conditional Euler Equations Approach*, *Journal of Finance* 54 (5), pp. 1609 – 1645, 1999.

BRUNNERMEIER, M. K.; NAGEL, S.; PEDERSEN, L.H. *Carry Trades and Currency Crashes*, NBER Chapters, in: NBER Macroeconomics Annual 2008 National Bureau of Economic Research, Inc, 2009.

CHEN, J.; H. HONG; STEIN, J.C. *Forecasting Crashes: Trading Volume, Past Returns and Conditional Skewness in Stock Prices*, *Journal of Financial Economics* 61, 345 – 381, 2001

CLINTON, K., *Transactions Costs and Covered Interest Arbitrage: Theory and Evidence*, *Journal of Political Economy*, 96, pp. 358–70, 1988.

CUTHBERTSON, Keith; NITZSCHE, Dirk. *Quantitative Financial Economics*. 2. ed. Chichester: John Wiley and Sons, pp. 549 – 590, 2004.

DEWACHTER, H.; LYRIO, M. *The Economic Value of Technical Trading Rules: A Nonparametric Utility-based Approach*, *International Journal of Finance and Economics* 10 (1), pp. 41-62, 2005.

DANTHINE, Jean-Pierre; Donaldson, John B.. *Intermediate Financial Theory*. 2. ed. Burlington: Elsevier Academic Press, pp. 35 - 91, 2005.

FRENKEL, J.A; LEICH, R.M., *Covered Interest Arbitrage: Unexploited Profits?*, *Journal of Political Economy*, 83, pp. 325–38, 1975.

FROOT, K. A.; THALER, R. H. *Anomalies: foreign exchange*, *Journal of Economics Perspectives*, 4, pp. 179-192, 1990.

HODRICK, R.J. *The Empirical Evidence on the Efficiency of Forward and Futures Foreign Exchange Markets*, London: Harwood, 1987.

IMF (Fundo Monetário Internacional), *World Economic Outlook Reports*. Disponível em <<http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=29>>. Acesso em 15 de maio de 2011.

LEWIS, K. *Puzzles in International Financial Markets*. Handbook of International Economics, vol. 3, ed. Amsterdam: G. M. Grossman and K. Rogoff, 1995.

## APÊNDICE

### Demonstração da Equação (19)

Expandindo a equação (13), obtemos:

$$W_{t+1} = W_t [1 + i_t - \alpha - \alpha i_t + \alpha(1 + i_t^* + \Delta e_{t+1} + i_t^* \Delta e_{t+1})]$$

Para valores razoáveis de taxas de juros e retornos de câmbio, podemos usar a aproximação  $i_t^* \Delta e_{t+1} \approx 0$ , e reescrever a equação assim:

$$W_{t+1} = W_t [1 + i_t - \alpha - \alpha i_t + \alpha + \alpha i_t^* + \alpha \Delta e_{t+1}]$$

Fazendo as simplificações e colocando alfa em evidência:

$$W_{t+1} = W_t [1 + i_t + \alpha(\Delta e_{t+1} + i_t^* - i_t)]$$

Definindo expressão  $\tilde{\Delta}e_{t+1} = \Delta e_{t+1} + i_t^* - i_t$ , como o excesso de retorno do *carry trade*, encontramos:

$$W_{t+1} = W_t (1 + i + \alpha \tilde{\Delta}e_{t+1})$$

### Definição da Taxa LIBOR

Consultando a tela de Ajuda do sistema Bloomberg, temos a seguinte definição da taxa LIBOR:

“As taxas LIBOR do BBA são compostas por taxas cotadas por bancos participantes. Os bancos cotam essa taxa de acordo com a taxa cobrada por empréstimos tomados de outros bancos, o que constitui a taxa de empréstimo interbancário praticada no mercado, para volumes regularmente negociados, antes das 11h00 (hora de Londres), quando a taxa oficial é publicada. Oito bancos fornecem a taxa para o comitê AUD; doze para o CAD e CHF, e dezesseis para o comitê do EUR, GBP, JPY e USD.

Cálculo: para cada moeda e vencimento, as cotações máximas e mínimas do mercado não são consideradas e é tirada a média das outras cotações. O resultado é cotado em cinco casas decimais. Base do cálculo: GBP e EUR 365 são calculados numa base de 365 dias. O EUR, USD, JPY, CHF, AUD e CAD são calculados na base de 360 dias. Datas (liquidação) do valor: se não for um dia útil no principal centro financeiro do país da moeda em questão, a taxa do próximo dia útil nos dois centros financeiros será considerada. Obs.: caso uma variação tardia ocorra a qualquer taxa bancária de referência, a taxa BBA LIBOR somente pode ser alterada até as 12h00 no dia em que foi fixada.”

## TABELAS

### PERIODICIDADE MENSAL

Tabela 3 – Análise Estatística de Retornos Mensais

Moeda	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose*
<i>GBP</i>	-0.21%	2.27%	-0.06	-0.09
<i>CHF</i>	-0.35%	2.71%	-0.23	-0.28
<i>JPY</i>	0.09%	2.67%	0.25	-0.09
<i>AUD</i>	-0.30%	3.10%	0.21	0.10
<i>CAD</i>	-0.39%	2.20%	0.05	-0.03
<i>BRL</i>	-0.01%	4.49%	0.78	2.69

Nota: \*curtose apresentada é igual a curtose calculada subtraída do valor 3.

Tabela 4 – Teste UIP (Dados Mensais)

$\Delta s_{t+1} = \beta_1 + \beta_2(i_t - i_t^*) + \varepsilon_{t+1}$			
Moeda	$\beta_2$	D.P.	R <sup>2</sup>
<i>GBP</i>	-1.8819	2.2157	0.0076
<i>CHF</i>	-3.6548	2.6112	0.0204
<i>JPY</i>	-2.6535	1.8313	0.0218
<i>AUD</i>	-4.8317	2.5312	0.0373
<i>CAD</i>	-1.0197	2.7348	0.0015
<i>BRL</i>	-0.6261	1.1314	0.0032

# FIGURAS

## PERIODICIDADE MENSAL

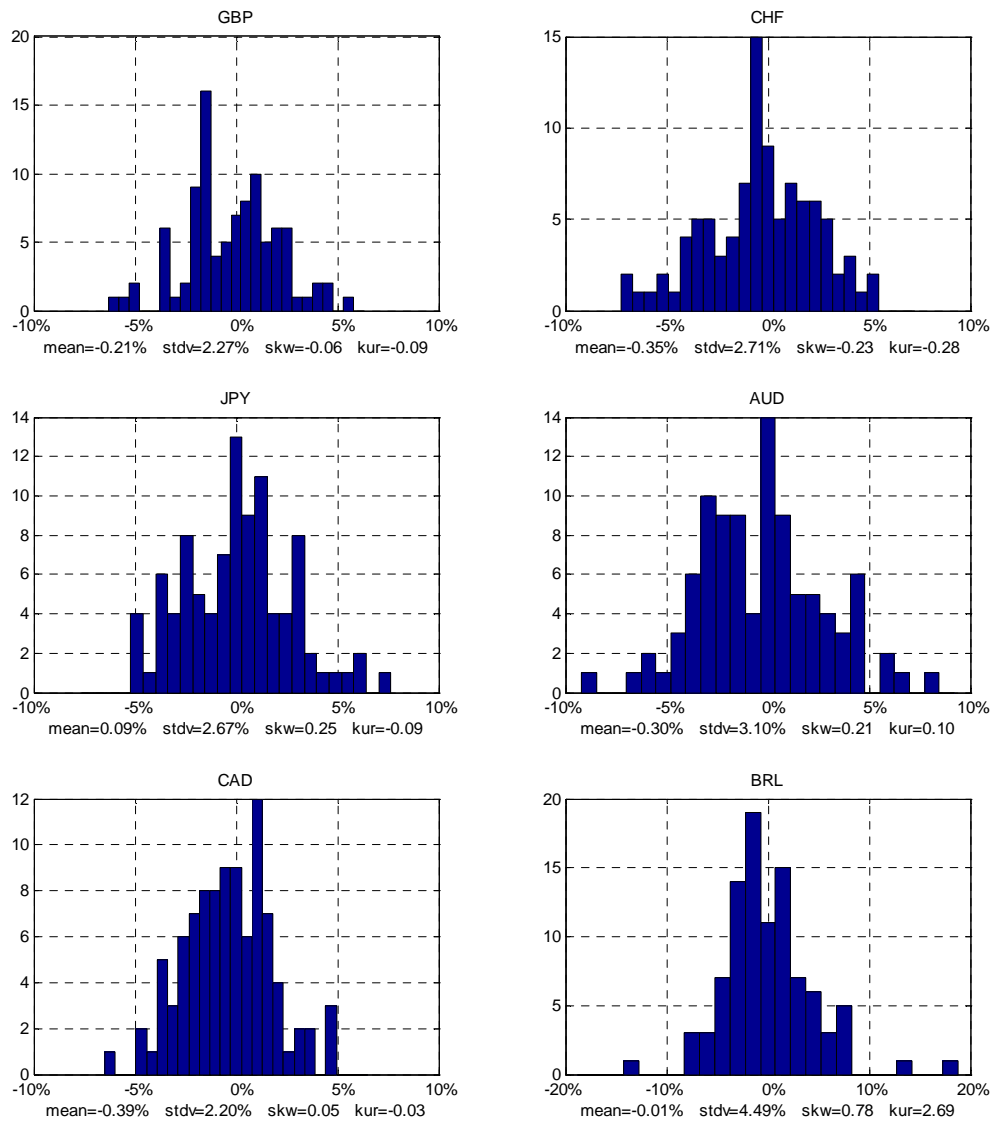


Figura 15 – Histograma dos retornos mensais da taxa de câmbio

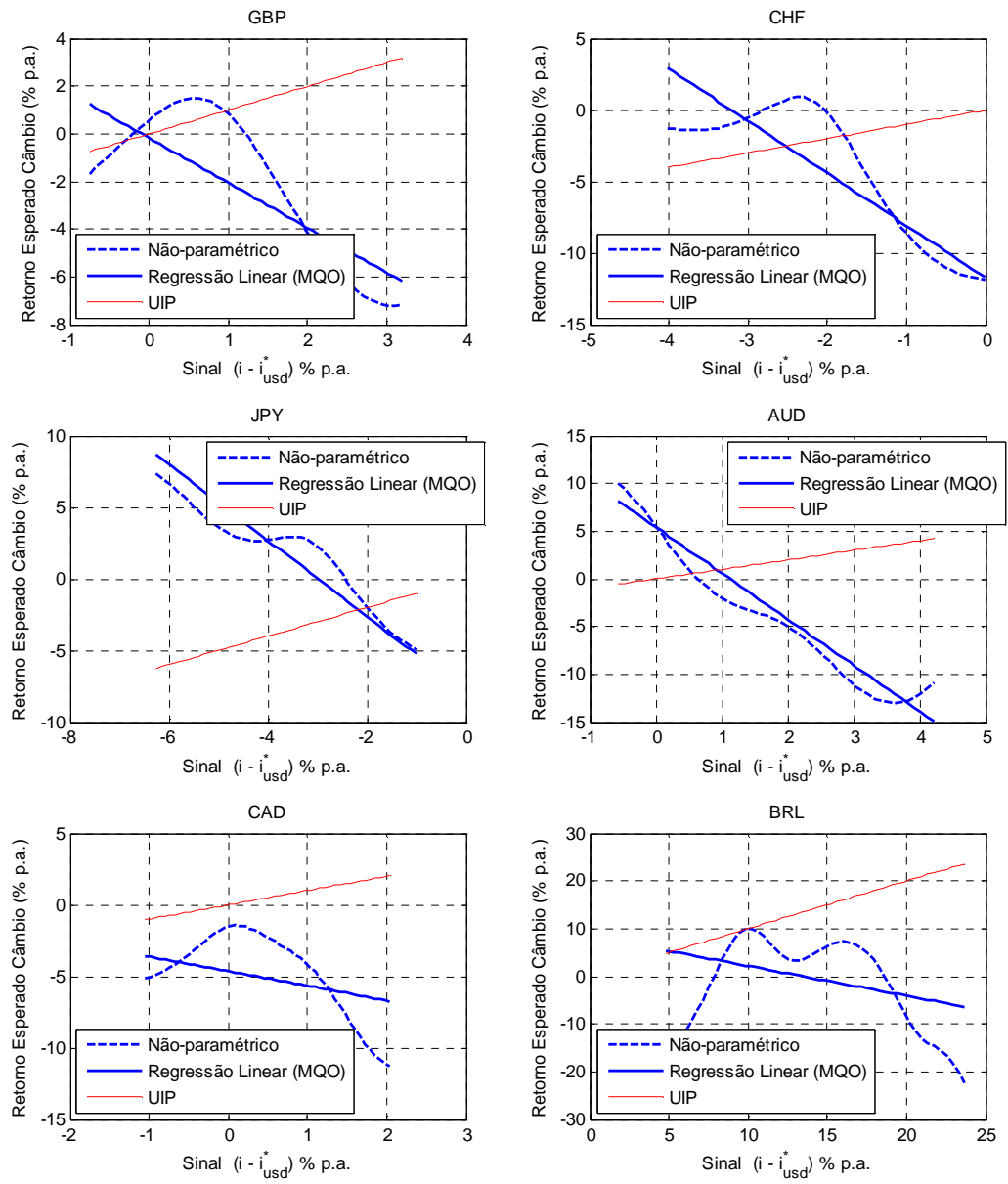


Figura 16 – Análise não-paramétrica (dados mensais)

### Momentos Condicionais

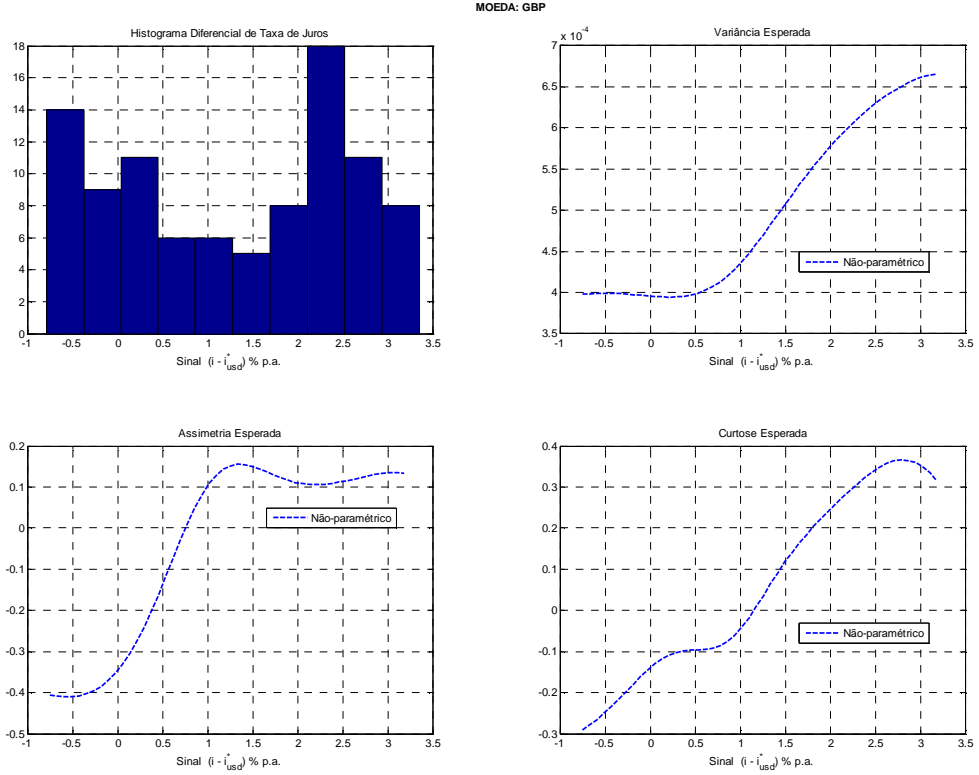


Figura 17 – Momentos Condicionais (Libra esterlina, dados mensais)

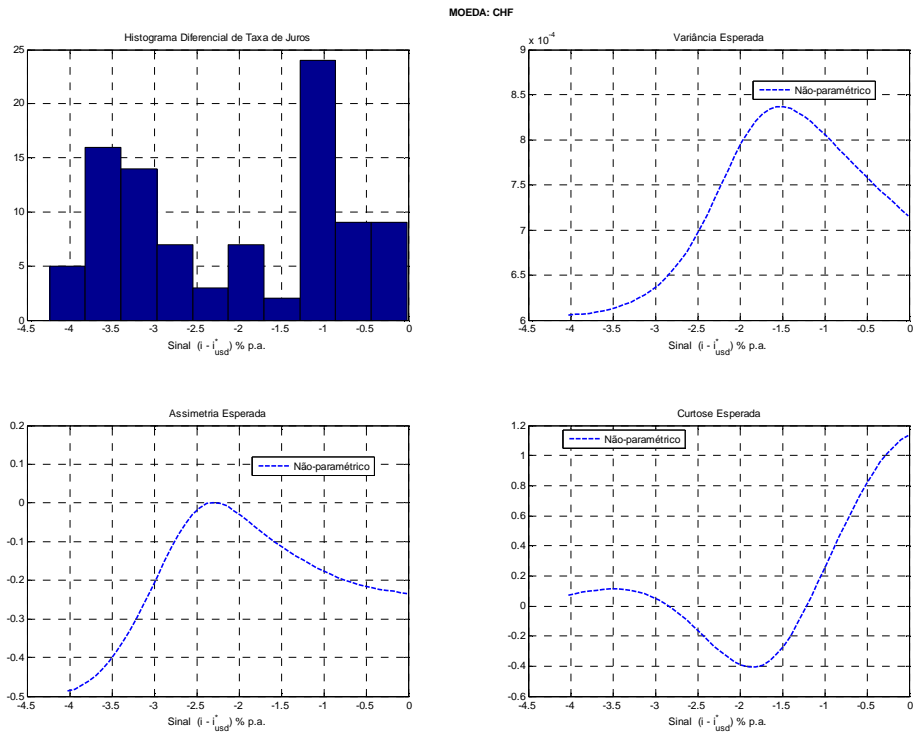


Figura 18 – Momentos Condicionais (Franco suíço, dados mensais)

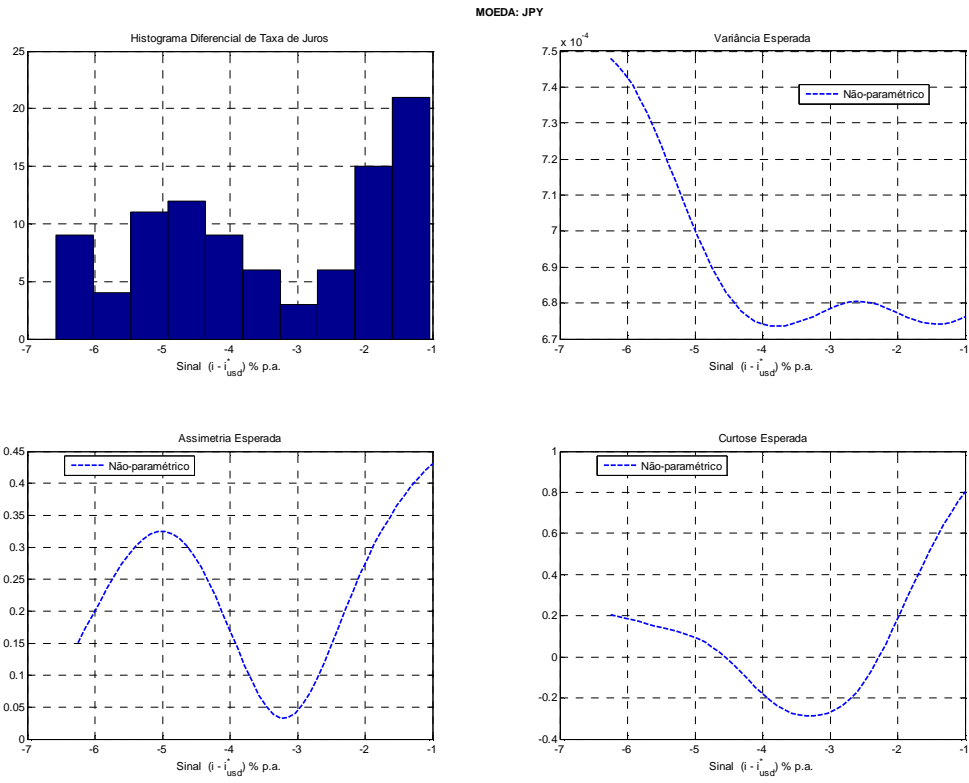


Figura 19 - Momentos Condicionais (Iene japonês, dados mensais)

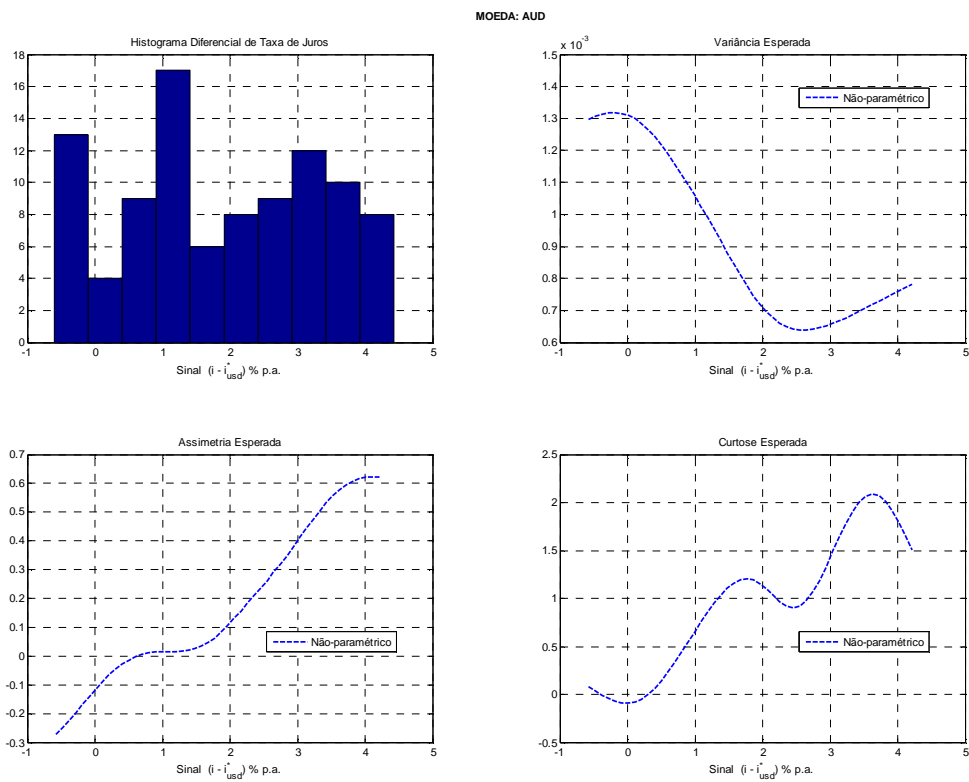


Figura 20 - Momentos Condicionais (Dólar australiano, dados mensais)



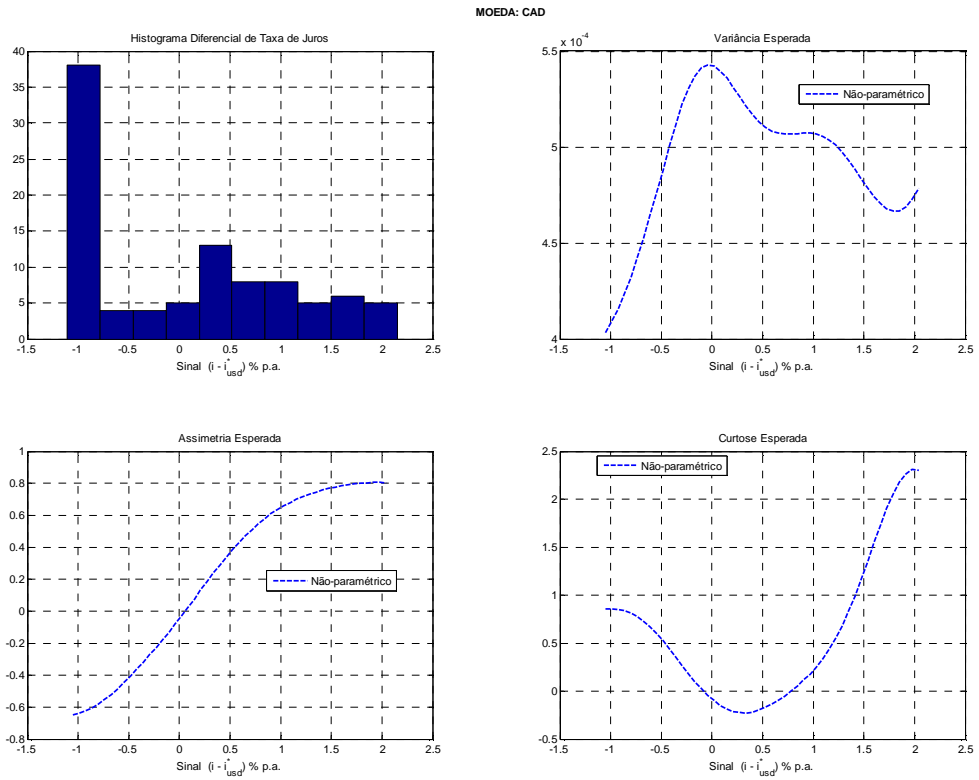


Figura 21 - Momentos Condicionais (Dólar canadense, dados mensais)

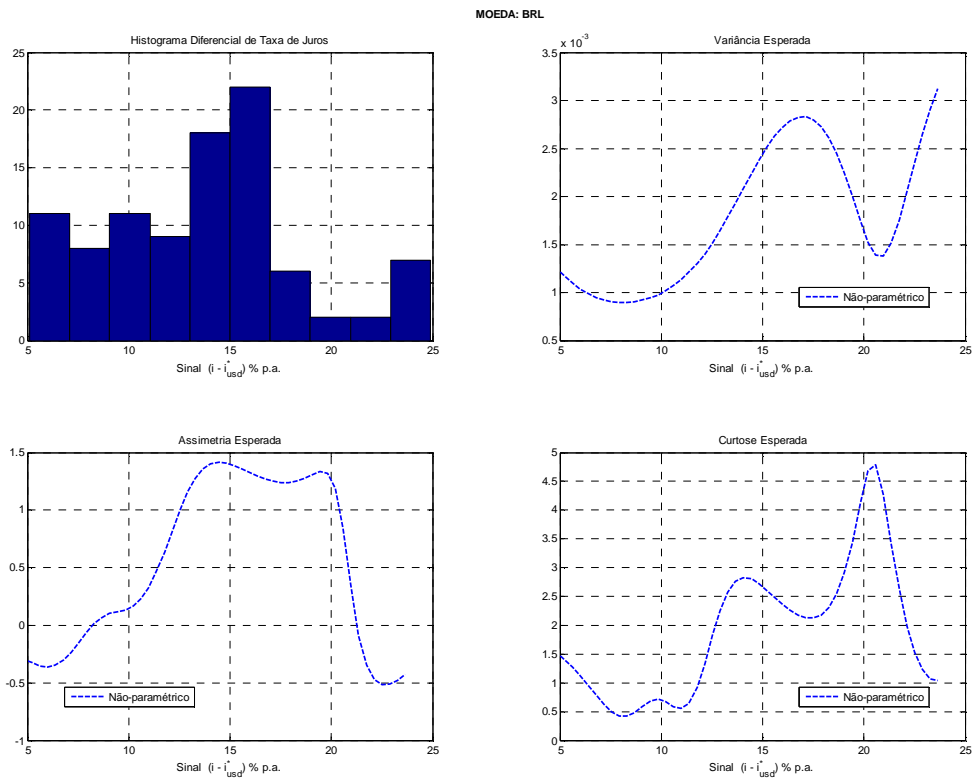


Figura 22 - Momentos Condicionais (Real brasileiro, dados mensais)

### Carteira Ótima e Equivalente de Certeza

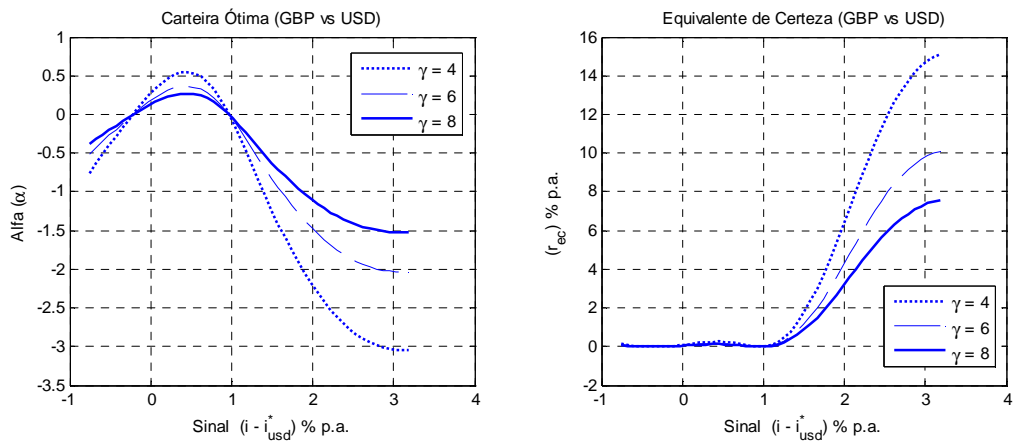


Figura 23 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Libra esterlina, dados mensais)

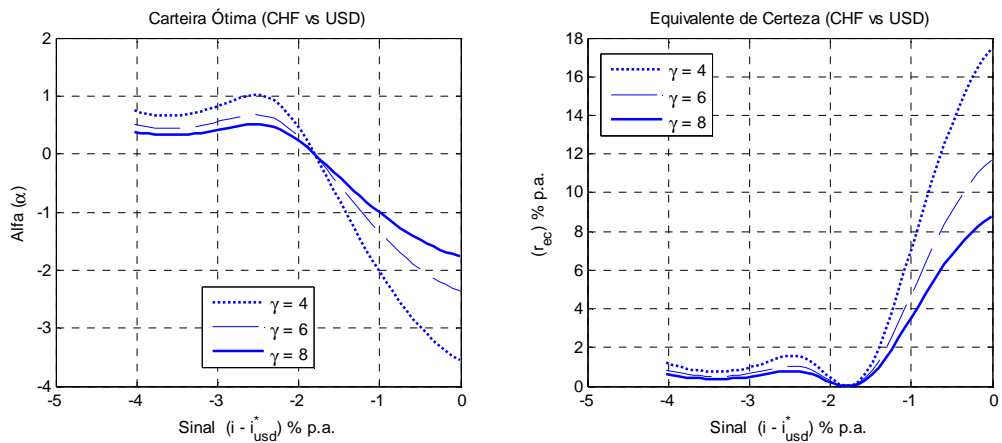


Figura 24 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Franco suíço, dados mensais)

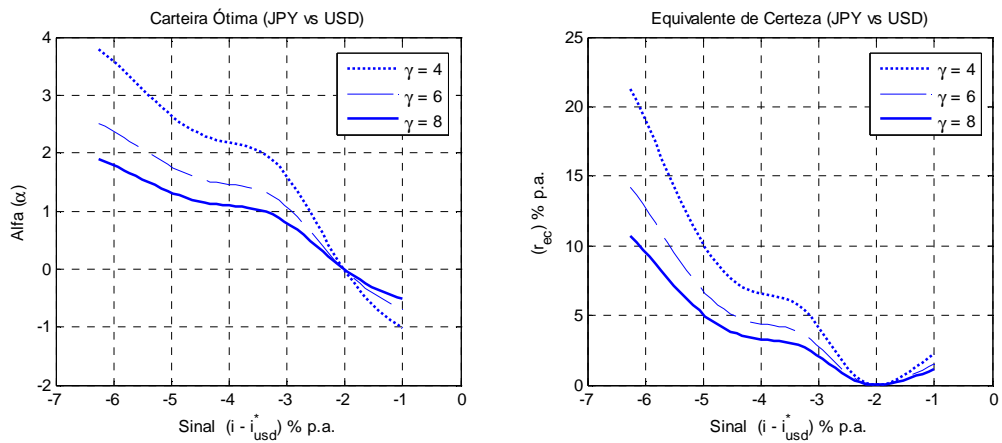


Figura 25 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Iene japonês, dados mensais)

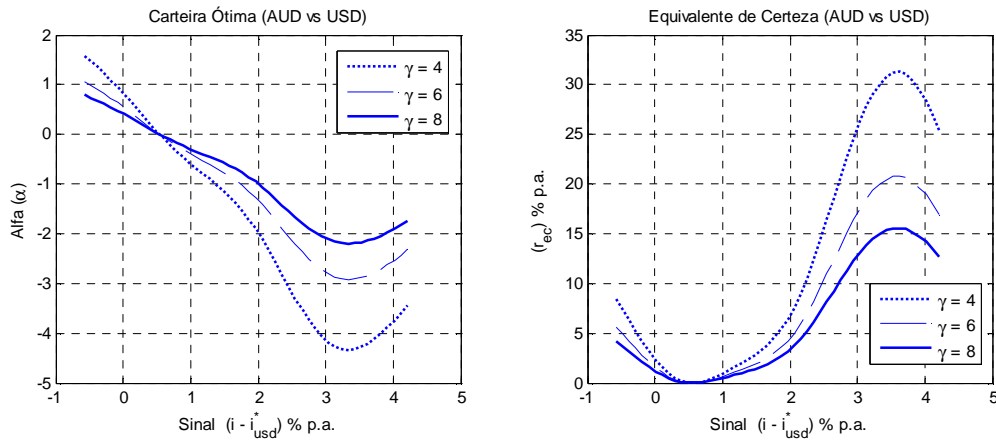


Figura 26 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar australiano, dados mensais)

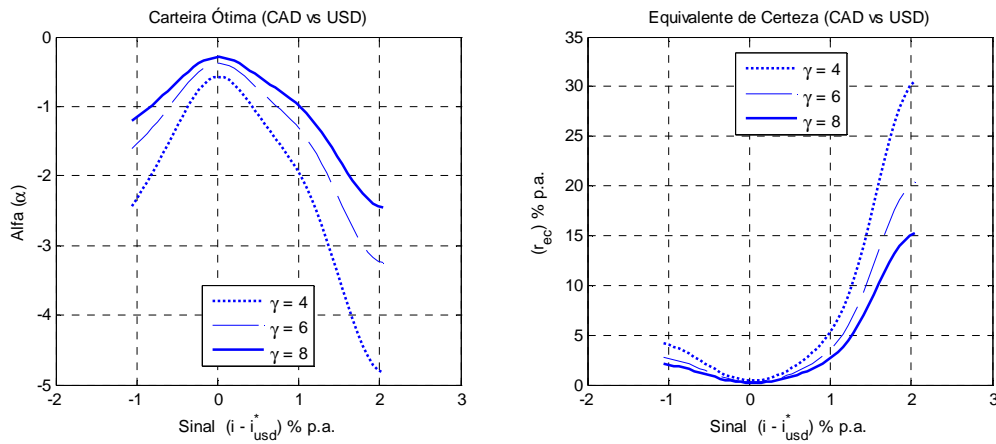


Figura 27 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Dólar canadense, dados mensais)

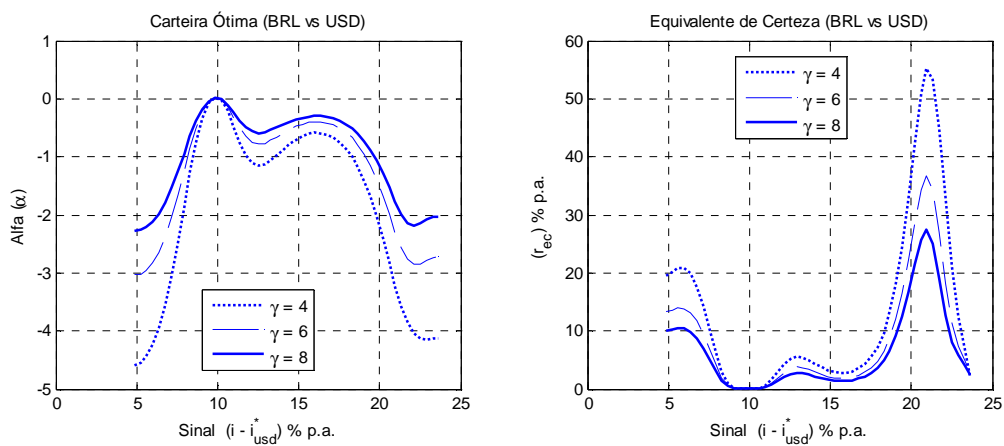


Figura 28 – Carteira Ótima e Equivalente de Certeza (Real brasileiro, dados mensais)