

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

GUSTAVO BRUNO FABIANO CERSOSIMO

ANÁLISE DA ESTRATÉGIA DE PAIRS TRADING POR COINTEGRAÇÃO NA B3
DE 2004 A 2020

SÃO PAULO

2022

GUSTAVO BRUNO FABIANO CERSOSIMO

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA ESTRATÉGIA DE PAIRS TRADING POR
COINTEGRAÇÃO NA B3 DE 2004 A 2020**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo (USP), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Economia

Orientador: Professor Dr. Ricardo Dias de Oliveira Brito

SÃO PAULO

2022

RESUMO

O presente trabalho busca entender como os parâmetros escolhidos arbitrariamente na estratégia de *Pairs Trading* por cointegração influenciam no seu retorno e nas métricas de risco, no mercado acionário brasileiro (B3) de 2004 a 2020. Parâmetros como: período de formação dos pares, período de operação, número de pares utilizados simultaneamente e *triggers* da abertura e fechamento de operações são flexibilizados visando entender como afetam a rentabilidade da estratégia. Os resultados obtidos indicam que os melhores retornos têm como parâmetros utilizados períodos de formação dos pares de 9 a 12 meses, período de operação de 4 a 6 meses e *trigger* de início de operações de 2 desvios padrão, além de estratégias com menos pares sendo operados simultaneamente. Esses resultados corroboram a literatura do tema, que usa parâmetros semelhantes para indicarem retornos robustos no mercado acionário de diversas localizações geográficas ao redor do mundo.

Palavras-chave: *Pairs Trading*. Cointegração. Estratégia. *Spread*. *Trigger*.

Classificação JEL: G11, G12, G17

ABSTRACT

This project aims to better understand how different parameters arbitrarily chosen on a *Pairs Trading* by cointegration strategy affects its return and risk parameters. The study is made on the Brazilian stock market (B3) between 2004 and 2020. Parameters such as pairs formation period, trading period, number of pairs traded simultaneously, and open and close triggers are sensitized to analyze the effect of each one on the strategy profitability. The obtained results show that the best combination of parameters include a pair formation period between 9 and 12 months, trading period in the range of 4 to 6 months and an opening trigger of 2 standard deviations, in addition to strategies with fewer pairs trading in the same period. These results corroborate with the existing literature, that use similar parameters to obtain robust returns on different financial markets all over the world.

Keywords: Pairs Trading, cointegration, strategy, spread, trigger.

JEL Classification: G11, G12, G17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Patrimônio sob gestão dos fundos quantitativos no Brasil	9
Figura 2 – Preços diários normalizados Kennecott e Uniroyal e abertura e fechamento de operações	14
Figura 3 – Evolução dos preços diários e <i>spread</i> das ações VALE5 e BRAP4	16
Figura 4 – Preço, retorno diário e CRI da empresa USIMINAS	23
Figura 5 – Exemplos de pares cointegrados e não cointegrados	24
Figura 6 – Spread, indicador da operação e resultado do par CRFB3/TRPL4	26
Figura 7 – Visualização teórica de uma operação L&S	27
Figura 8 – Retorno das 128 estratégias, separadas pela característica de limitação de pares ...	29
Figura 9 – Exemplo par em que o <i>stop loss trigger</i> é ativado	35
Figura 10 – Distribuição de retorno das estratégias testadas	37
Figura 11 – 5 melhores estratégias do estudo e comparação com benchmarks	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos Parâmetros Utilizados na Literatura Existente	10
Tabela 2 – Resultados obtidos por Huck e Afawubo (2015)	18
Tabela 3 – Nome e Código das 150 empresas utilizadas no artigo	21
Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas estratégias	21
Tabela 5 – Exemplos das 9408 diferentes estratégias testadas	22
Tabela 6 – Características das 128 estratégias testadas	29
Tabela 7 – Resultados 128 estratégias, por parâmetro	30
Tabela 8 – Dez melhores e piores estratégias testadas	31
Tabela 9 – Características das estratégias testadas, por parâmetro	33

LISTA DE SIGLAS

1. PTS – *Pairs Trading Strategy*
2. L&S – *Long & Short*
3. EUA – Estados Unidos da América
4. MQO – Mínimos Quadrados Ordinários
5. CRI – *Cumulative Return Index*
6. ECM – *Error Correction Model*
7. SQD – Soma do Quadrado das Diferenças
8. MQO – Mínimos Quadrados Ordinários
9. DCF – *Discounted Cash Flow*
10. ADF – *Augmented Dickey-Fuller*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DA LITERATURA	12
3 METODOLOGIA	20
3.1 BASE DE DADOS E PERÍODO DE ESTUDO	20
3.2 ESTRATÉGIA DE PAIRS TRADING POR COINTEGRAÇÃO	22
4 RESULTADOS	28
4.1 REPETIÇÃO DE ATIVOS EM DIFERENTES PARES OPERADOS	28
4.2 RESULTADO DAS 9408 ESTRATÉGIAS TESTADAS	32
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a quantidade de estratégias de investimento cresceu exponencialmente com a modernização do mercado de capitais. A estratégia de *Pairs Trading* (PTS) surge no final do século XX e, desde então, tem sido usada para diversificar os investimentos e minimizar o risco do patrimônio gerido, principalmente, por fundos de investimento (hedge funds).

Ela consiste, na compra e venda simultânea de um par de ativos, buscando obter lucro com a operação e diminuindo seu risco, por não estar “apostando” efetivamente na valorização ou desvalorização do mercado. A PTS pode ser baseada nas características qualitativas ou quantitativas dos ativos. No primeiro caso, o objetivo é alcançar uma valorização relativa decorrente das diferentes características das empresas, ou de um melhor posicionamento de mercado entre elas (exemplo: compra de empresas que estão em um período de crescimento e venda de empresas que estão em um período de perda de participação no mercado; ou compra de empresas que se beneficiam de um aumento da taxa de juros e venda das empresas que se prejudicam com tal movimento).

No segundo caso, que será o objeto de estudo do presente artigo, a ideia é encontrar dois ativos que tenham movimentos históricos semelhantes e, caso ocorra uma divergência de magnitude relevante, uma operação é iniciada onde a ação supervalorizada é vendida e a ação subvalorizada é comprada, esperando que esse suposto “erro de precificação” se corrija no futuro (GATEV *et al.*, 2006). Nesse modo de operação, as semelhanças e diferenças qualitativas das empresas pouco importam e, apenas o preço dos ativos é utilizado. A técnica quantitativa de exploração da estratégia de *Pairs Trading* pode ser feita através de diferentes métodos, como: método de distância, método de cópula e método de cointegração, entre outros.

A PTS pelo método de distância já foi bastante testada na literatura (em diferentes geografias e períodos), enquanto a estratégia pelo método de cointegração (assim como pelo método de cópula) não tem a mesma abrangência e popularidade. À vista disso, é de interesse do artigo ampliar a literatura acadêmica no tema da estratégia de *Pairs Trading* por cointegração e entender como a rentabilidade e medidas de risco, no Brasil, se comparam aos demais estudos.

O objetivo desse artigo é estressar os diferentes parâmetros utilizados na estratégia de *Pairs Trading* por cointegração, buscando entender como cada um deles afeta a rentabilidade, a volatilidade e o risco da estratégia na bolsa de valores brasileira entre 2004 e 2020, além de comparar os resultados obtidos com a literatura já existente, para verificar se os parâmetros

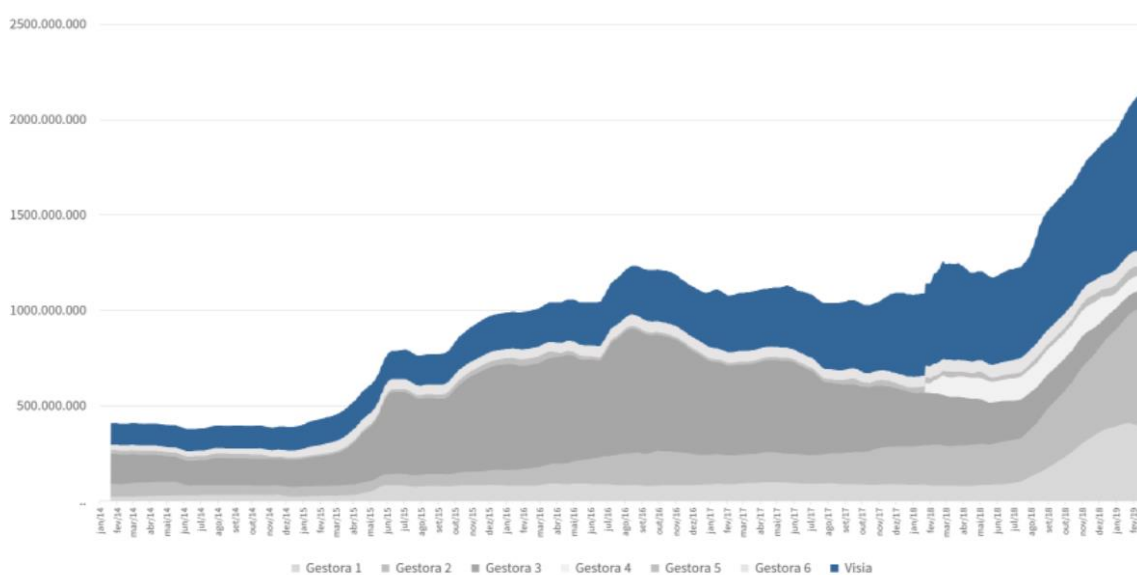
escolhidos arbitrariamente na literatura são, de fato, os melhores parâmetros a serem utilizados, segundo os resultados obtidos. Para isso, os parâmetros sensibilizados são: (i) o período de formação dos pares, (ii) o período subsequente de operação dos pares encontrados, (iii e iv) os indicadores (*triggers*) de abertura e fechamento das operações de cada um dos pares, (v) o indicador de realização de prejuízo (*stop loss*) em caso de pares que divirjam substancialmente da sua “média” e (vi) o número de pares operados no mesmo período.

O estudo de formas alternativas de investimento vem ganhando relevância no mercado de capitais e, conseqüentemente, na literatura acadêmica. Estratégias como: factor investing, trend following e mean reversion são apenas alguns exemplos de técnicas criadas para se aproveitar oportunidades de mercado e/ou de diversificação do portfólio através de dados quantitativos e estatísticos disponíveis.

Um estudo do crescimento do patrimônio de fundos quantitativos (fundos que utilizam diversas estratégias baseadas em estatística e dados para rentabilizarem o seu patrimônio) feito pela Giant Steps Capital (Figura 1), aponta que entre 2014 e 2019, esses fundos mais do que triplicaram o patrimônio, chegando a mais de R\$ 2 bilhões apenas no Brasil, um crescimento 4 vezes maior do que o restante da indústria.

Ainda assim, no Brasil, esse valor não representa nem 2% do total de ativos sob gestão de fundos de investimento, enquanto nos Estados Unidos da América (EUA) os fundos quantitativos já representam quase um terço do mercado total.

Figura 1 – Patrimônio sob gestão dos fundos quantitativos no Brasil



Fonte: Giant Steps Capital (2018)

O estudo do tema também é valioso por trazer mais informações e dados para a discussão tão presente no setor financeiro e de mercado de capitais, que é a eficiência dos mercados, já que sua estratégia de operação se opõe as hipóteses de eficiência forte e semi-forte do mercado.

A literatura sobre PTS é abundante no mercado acionário americano e já foi testada em diferentes países, como Brasil, Japão, Austrália e etc. Gatev *et al.* (2006) e Rad *et al.* (2016) encontram retornos robustos e estáveis de 10 a 15% anualmente, entre a década de 1960 e a primeira década do século XXI, no mercado acionário americano. Caldeira e Moura (2013), entre 2005 e 2012, encontram um retorno de 16,38% ao ano na bolsa brasileira, com um Sharpe Ratio de 1,34 no período. Apesar de resultados interessantes, autores como Do e Faff (2010) e Huck e Afawubo (2015), encontram retornos baixos e insignificantes no período mais recente (a partir de 2002), em linha com os estudos mais recentes de Gatev *et al.* (2006). Os autores acreditam que a estratégia vem apresentando menores lucros como consequência de menores oportunidades de arbitragem, seja pela popularização da própria estratégia ou como consequência de uma modernização e eficiência do mercado.

A maioria dos trabalhos existentes, entretanto, assumem arbitrariamente alguns parâmetros utilizados na PTS para calcular seus resultados. Por esse motivo, o presente artigo visa, além de atualizar o estudo da estratégia de *Pairs Trading* por cointegração na bolsa brasileira, verificar como a variação dos parâmetros utilizados afetam o seu resultado.

Tabela 1: Resumo dos Parâmetros Utilizados na Literatura Existente

Literatura	Método	Período de Formação	Período de Operação	Número de Desvios Padrão	Número de Pares	Período	Localização
GATEV <i>et al.</i> (2006)	Método da Distância	12 meses	6 meses	2	5 e 20	1962-2002	EUA
HUCK & AFAWUBO (2014)	Vários	12 e 24 meses	6 meses	2 ou 3	-	2001-2011	EUA
DO & FAFF (2010)	Método da Distância	12 meses	6 meses	2	20	1962-2009	EUA
RAD <i>et al.</i> (2016)	Cointegração e Cópula	12 meses	6 meses	2	-	1962-2014	EUA
CALDEIRA e MOURA (2013)	Cointegração	12 meses	4 meses	2	20	2005-2012	BR

BOGOMOLOV (2011)	Vários	12 meses	6 meses	2	-	1996- 2010	AUS
---------------------	--------	----------	---------	---	---	---------------	-----

Fonte: O Autor.

Sendo assim, para cada uma das 9408 estratégias diferentes testadas no artigo (encontradas a partir da combinação dos parâmetros estressados), a metodologia baseada em Vidyamurthy (2004) e bem delineada por Rad, Low e Faff (2016) é seguida: (i) todos os possíveis pares de ativos são testados para cointegração, usando o teste de cointegração de Engle e Granger (1987), (ii) o coeficiente de cointegração é calculado para os pares considerados cointegrados, através da regressão linear pelo método de mínimos quadrados ordinários (MQO), (iii) os *spreads* dos pares são acompanhados no período de operação e usados como indicador de abertura e fechamento de operações Long & Short (L&S). Por fim, os retornos das estratégias são calculados e comparados.

Seguindo essa metodologia, o estudo encontrou um retorno médio de apenas 20,51% para o período completo de 15 anos, porém, à medida que os parâmetros de melhor rentabilidade são escolhidos, a estratégia chega a ter uma performance de 542,64% no período. Individualmente, os parâmetros com melhor retorno são: (i) período de formação dos pares de 12 meses, (ii) período de operação dos pares de 6 meses, (iii) 2 desvios padrão da média do *spread*, como indicativo de abertura da operação, (iv) retorno a média (0 desvios padrão), como indicativo de fechamento da operação, (v) 7,5 desvios padrão como indicativo de realização de prejuízo (*stop loss*) e (vi) apenas 5 pares cointegrados sendo operados simultaneamente. Porém, a estratégia que combina esses parâmetros tem uma performance de 373,4% no período, enquanto a estratégia com o melhor retorno (542,64%) usa alguns parâmetros diferentes, como 4 meses de período de operação e não possui *stop loss*.

Esses resultados mostram que os parâmetros, escolhidos arbitrariamente na literatura existente, de fato são, parâmetros que resultam retornos robustos e uma volatilidade controlada, ainda que possam ser aprimorados, com o uso de *stop loss*, por exemplo.

Este artigo será dividido em 5 seções: após a primeira seção de contextualização do estudo, como ele ocorreu e os resultados encontrados, segue uma abrangente revisão da literatura existente no tema. Na terceira seção, a metodologia do artigo será abordada em detalhes e na quarta seção, os dados utilizados e resultados encontrados serão comentados. Por fim, a quinta seção compreende a conclusão obtida a partir dos resultados encontrados, assim como análises de comparação com as literaturas de referências do tema e ideias de aperfeiçoamento do estudo empírico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Vidyamurthy (2004) remonta ao início da estratégia de Pairs Trading (PTS) como uma alternativa para a forma “tradicional” de se investir no mercado acionário, que é a avaliação de empresas através do método de Discounted Cash Flow (DCF). Segundo ele, PTS resolve a necessidade de saber o verdadeiro valor de uma empresa, já que usa a ideia de preço relativo, onde: caso duas empresas tenham características semelhantes, então elas também devem ter um valor próximo e movimentos análogos.

Uma outra estratégia de investimento criada em Wall Street e bastante disseminada é a estratégia denominada Contrarian Investment. Ela se baseia na premissa de que o mercado acionário reage exageradamente a novas informações disponíveis (market overreaction hypothesis), assim admite que empresas que tiveram um desempenho melhor em um período estabelecido estão sobrevalorizadas e empresas que tiveram um desempenho fraco estão subvalorizadas (CHAN, 1988). Sendo assim, a estratégia explora essa ineficiência de mercado e é bem-sucedida quando os investimentos tendem a voltar para seus preços baseados em fundamentos.

Desta forma, pode-se entender a estratégia de Pairs Trading como uma junção dessas teorias. Ao encontrarmos um par de ativos no mercado acionário que possuem características semelhantes (preço relativo relativamente estável), mas em que certo período a razão (spread) dos valores diverge significativamente, se inicia uma operação baseada na estratégia contrarian, comprando o ativo subvalorizado e vendendo o ativo sobrevalorizado, esperando que a diferença volte ao seu valor médio histórico.

Segundo Vidyamurthy (2004), a origem da estratégia de *Pairs Trading* usando métodos estatísticos se deu na década de 1980, em Wall Street, pelo quant Nunzio Tartaglia que trabalhava no banco Morgan Stanley. Tartaglia recrutou um grupo de matemáticos, estatísticos e cientistas de dados que desenvolveram estratégias quantitativas com o objetivo de aproveitar arbitragens de mercado e, dentre elas, surgiu o *Pairs Trading*.

A PTS, quando feita quantitativamente, recai sobre o tema de arbitragem estatística. Atualmente, as principais formas de implementação dela no mercado acionário são: (i) a abordagem de distância mínima, (ii) estacionaridade da razão dos preços dos ativos e, (iii) as diferentes modelagens de reversão a média (que inclui o método de cointegração e o método de cópula) (HUCK e AFAWUBO, 2015).

A literatura existente sobre o tema é composta, principalmente, por estudos empíricos e

foca na capacidade de geração de retornos robustos e consistentes ao longo do tempo. Mas, antes de passar aos resultados encontrados, se faz necessário entender como a PTS pelo método de distância se diferencia do método de cointegração.

Usando a literatura de Gatev *et al.* (2006) como base da metodologia da estratégia de *Pairs Trading* pelo método de distância, o estudo empírico se dá pela formação de pares em um período de 12 meses e operação dos pares formados no período de 6 meses subsequentes (ambos parâmetros escolhidos arbitrariamente). Na etapa de formação dos pares, um índice de retorno acumulado (preço normalizado) é calculado para cada um dos ativos testados, utilizando a fórmula (1) no período de formação dos pares (de 12 meses):

$$CRI_t = P_t/P_0 \quad (1)$$

Em seguida, todos os possíveis pares são formados, pela combinação exaustiva entre os ativos e, a soma do quadrado das diferenças (SQD) é calculada para cada um dos pares. Essa etapa se dá pelo uso da seguinte fórmula em cima dos índices de retorno acumulado (CRI):

$$SQD_{x,y} = \sum_{t=0}^T (P_{x,t} - P_{y,t})^2 \quad (2)^1$$

Os pares com o menor resultado da SDD são levados para a segunda etapa e serão analisados durante o período de operação de 6 meses. Isso acontece, pois pares que minimizaram o resultado da soma do quadrado das diferenças tiveram movimentos mais próximos no período de formação, um bom indicativo de que tendem a se “movimentar juntos”, segundo *traders* entrevistados por Gatev *et al.* (2006).

O período de operação se inicia no dia seguinte ao último dia do período de formação e os critérios de abertura e fechamento das operações são utilizados seguindo os métodos utilizados pelos *traders* que atuam no mercado. Isto é, Gatev *et al.* (2006) utilizam o *spread* entre os preços diários dos ativos como parâmetro de decisão. O cálculo do *spread* pode ser feito pela diferença entre o preço diário dos ativos do par, ou pela razão entre eles.

$$spread_{x,y}^t = P_x^t - P_y^t \quad (3.1)$$

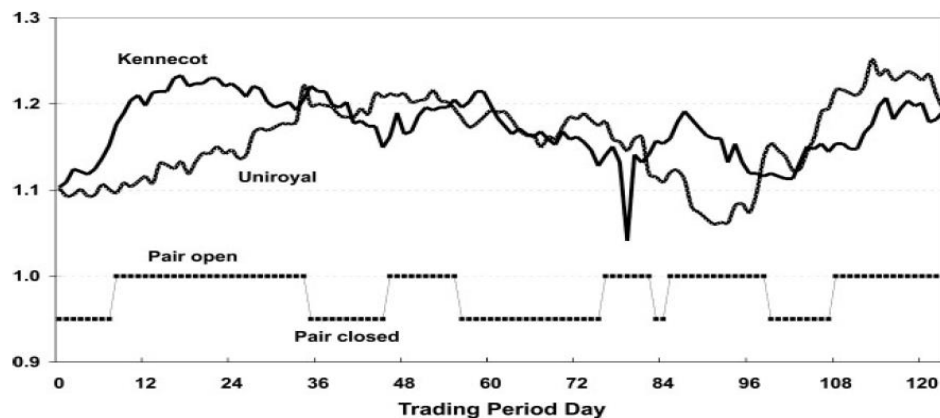
¹ Os preços utilizados no cálculo das fórmulas são os preços normalizados dos ativos, ou seja, os preços obtidos a partir do índice de retorno acumulado (CRI)

$$spread_{x,y}^t = \frac{P_x^t}{P_y^t} \quad (3.2)$$

O *spread* é atualizado diariamente no período de operação e, uma operação no par é aberta quando ele divergir mais de 2 desvios padrões da média histórica. A operação é finalizada se: (i) o período de operação de 6 meses acabar ou, (ii) quando os preços se cruzarem novamente. Gatev *et al.* (2006) usam como exemplo o par entre as ações das empresas Kennecott e Uniroyal (Figura 2). Percebe-se que no período de 6 meses, a operação no par é aberta e fechada mais de uma vez, indicando que nesse período, o *spread* entre as duas empresas divergiu e retornou “à média”, diversas vezes.

A PTS usando o método de distância mínima é uma estratégia que tem a característica de ser *market neutral*, já que a exposição ao risco sistemático é nula. Isso se dá, pois quando uma operação L&S é aberta em um par, os recursos utilizados para comprar o ativo *long* são provenientes da venda do ativo *short*, assim a operação se mantém neutra aos riscos do mercado, mas continua podendo ser afetada por riscos específicos de cada um dos ativos.

Figura 2 – Preços diário normalizados Kennecott e Uniroyal e abetura e fechamento de operações



Fonte: O Autor, a partir de dados de Gatev *et al* (2006).

Por sua vez, a estratégia de *Pairs Trading* seguindo o método de cointegração, possui algumas diferenças na formação e operação dos pares. Rad *et al.* (2016) usam a metodologia teórica elaborada por Vidyamurthy (2004), que é baseada no Modelo de Correção de Erros (*Error Correction Model – ECM*), e testado empiricamente através do teste de cointegração de Engle & Granger (1987).

A definição de cointegração pode ser feita da seguinte maneira: duas séries de tempo X_1 e X_2 são consideradas cointegradas se existe uma constante β não-nula que transforma a

diferença entre elas em uma série de tempo estacionária (ε_t) (VIDYAMURTHY, 2004).

$$X_{1,t} - \beta X_{2,t} = \varepsilon_t, X_1 \text{ e } X_2 \sim I(1) \quad (4)$$

Nesse caso, a constante não-nula β é o coeficiente de cointegração dessas duas séries de tempo e a série de tempo estacionária ε_t (ruído branco) resultante da combinação entre as séries X_1 e X_2 é o *spread* entre os ativos do par.

Com o conceito de cointegração esclarecido, passa-se a metodologia elaborada por Vidyamurthy (2004) e seguida por Rad *et al.* (2016) no seu estudo empírico. Os autores também usam os parâmetros de formação e operação de pares de 12 e 6 meses, respectivamente, para que os resultados sejam comparáveis com a estratégia pelo método de distância. A primeira etapa da formação de pares é feita de maneira idêntica, ou seja, usa-se a soma do quadrado da diferença (SQD) em cima dos preços normalizados dos ativos no período (CRI), para cada um dos pares. Os pares que minimizam a SQD são testados para cointegração, utilizando o teste de Engle & Granger (1987). Esse processo é repetido, par a par, até que se obtenham 20 pares cointegrados para seguirem para o período de operação.

Na segunda etapa, como todos os 20 pares escolhidos já foram testados para cointegração, resta encontrar o coeficiente de cointegração de cada um, para calcular o *spread* e usá-lo como parâmetro para operação. O coeficiente de cointegração β é calculado através da regressão linear entre os ativos do par, pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

$$X_1^t = \beta X_2^t + \varepsilon^t \quad (5)$$

Rearranjando a fórmula (5), encontramos tanto o coeficiente de cointegração (β), quanto o *spread* do par (resíduo ε_t):

$$spread^t = X_1^t - \beta X_2^t \quad (6)$$

Rad *et al.* (2016) ainda calculam a média (μ_ε) e o desvio padrão (σ_ε) do resíduo e usam esses valores para calcular o *spread* normalizado, dado que $\varepsilon_t \sim I(0)$:

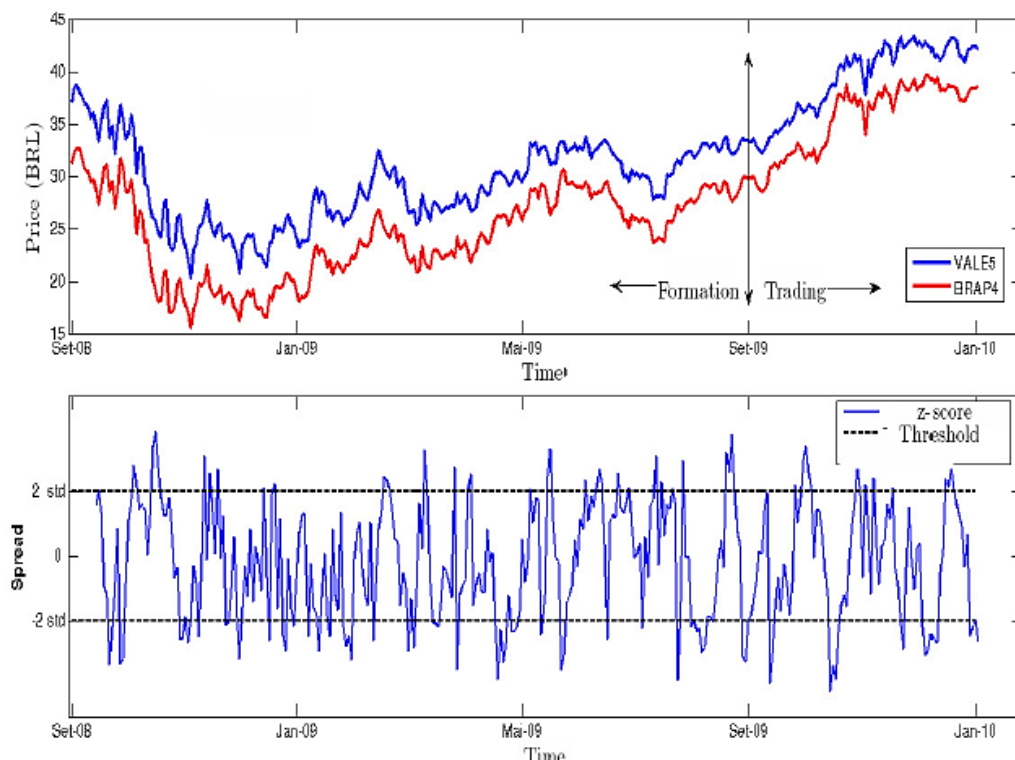
$$spread_{normalized}^t = \frac{spread - \mu_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon} \quad (7)$$

Com o *spread* de cada um dos pares calculado, a metodologia para o período de operação é igual no método de distância e no método de cointegração. Isto é, 2 desvios padrões da média são utilizando como *trigger* de abertura da operação de *Long & Short* e ela é fechada quando esse *spread* cruza a média novamente (ou se o período de operação acaba).

Uma diferença importante que o método de cointegração apresenta é que, pelo fato de o *spread* ser calculado usando o coeficiente de cointegração encontrado no período de formação, e não apenas a razão entre o preço dos ativos, caso o *spread normalizado* caia para o valor de -2, os recursos da compra e venda de ativos não são equivalentes: compra-se n unidades monetárias do ativo X_1 e vende-se βn unidades monetárias do ativo X_2 . Caso o *spread* suba para +2, então n unidades monetárias de X_1 são vendidas e βn unidades monetárias de X_2 são compradas.

Caldeira e Moura (2013) exemplificam o método de operação de pares por cointegração através do par formado por ações da empresa Vale do Rio Doce S.A. e a *holding* Bradespar S.A., ambas listadas na bolsa de valores brasileira (B3), entre o período de setembro de 2008 e janeiro de 2010 (Figura 3). Os autores dividem o gráfico entre o período de formação, onde verificaram a cointegração entre os dois ativos, e o período de *trading*, onde usam o desvio do *spread* normalizado para abrirem e fecharem operações L&S.

Figura 3 – Evolução dos preços diários e *spread* das ações VALE5 e BRAP4



Fonte: Adaptado de Caldeira e Moura (2014)

Apesar desse método não ter a mesma neutralidade de mercado que o método de distância e, conseqüentemente, existir um risco sistemático ao usar a estratégia de *Pairs Trading* pelo método de cointegração, é necessário operá-lo dessa maneira, já que o *spread* entre as séries tempo não é resultado de uma simples diferença entre os ativos, então comprar e vender na mesma proporção dois ativos de um mesmo par acaba removendo o fundamento básico da PTS pelo método de cointegração.

O estudo de Gatev *et al.* (2006), um dos primeiros estudos da PTS usando o método de distância, sugere retornos robustos e uma rentabilidade excedente de até 11% ao ano, entre 1962-2002 no mercado acionário americano. Não obstante, os autores ainda estressaram os resultados para problemas de liquidez dos ativos (*bid-ask spread*), incluem custos de transação e ainda avaliam o estudo para diversas métricas de risco.

Do e Faff (2010), seguem os passos dos primeiros autores e buscam testar a rentabilidade da estratégia para o período de 1962-2009, com foco em uma possível deterioração de rentabilidade apontada por Gatev *et al.* (2006). Os autores encontram uma rentabilidade média excedente de 7,57% a.a.. Mas, quando dividem o período de análise em janelas, encontram uma redução da rentabilidade nas janelas mais recentes. Por exemplo: enquanto o retorno excedente médio para o período de 1962-1988 é de 10,69% a.a., o retorno para o período de 2003-2009 é de apenas 2.92% a.a., corroborando com os resultados apontados por Gatev *et al.* (1999, 2006).

Caldeira e Moura (2013) usam um *framework* próprio, mas baseado nas literaturas de Chiu e Wong (2011) e Vidyamurthy (2004) para implementarem um estudo empírico da PTS por cointegração na bolsa de valores de São Paulo (B3 – Brasil, Bolsa e Balcão), entre os anos de 2005 e 2012. Os resultados encontrados são retornos excedentes de 16,38% ao ano, com um *Sharpe Ratio* de 1,34 no período. João Caldeira e Guilherme Moura, ao contrário de algumas das literaturas internacionais, não apresentam uma deterioração de resultado da estratégia. O artigo é focado nos resultados apresentados e não na comparação com a bibliografia existente.

Huck e Afawubo (2015) apresentam um estudo empírico completo das diferentes estratégias de *Pairs Trading*, assim como seus resultados e o que diferencia eles. Os dados utilizados são da bolsa de valores americana, no período de 2000 a 2011 e, além disso, são os primeiros autores a variarem os parâmetros das estratégias, usando 12 e 24 meses para o período de formação e 2 e 3 desvios padrão como indicativo de abertura de uma operação. Com isso, apresentam resultados completos, diferenciando entre os parâmetros e entre os tipos de estratégias utilizadas, sejam elas método de distância, estacionaridade da razão do preço dos ativos e o método de cointegração.

Tabela 2: Resultados obtidos por Huck e Afawubo (2015)

Método	Período de Formação (Meses)	Indicador de Abertura (Desvios-padrão)	Resultado (% a.a.)
Distância	12	2	4,03%
Estacionaridade	12	2	5,91%
Cointegração	12	2	28,02%
Distância	12	3	3,29%
Estacionaridade	12	3	4,41%
Cointegração	12	3	98,05%
Distância	24	2	5,41%
Estacionaridade	24	2	7,19%
Cointegração	24	2	22,13%
Distância	24	3	5,79%
Estacionaridade	24	3	7,96%
Cointegração	24	3	55,91%

Fonte: Adaptado de Huck e Afawubo (2015).

Tais resultados não contêm custos de transação, sendo assim, os autores concluem que as estratégias usando o método de distância e de estacionaridade praticamente não são rentáveis no período estudado. Enquanto isso, a estratégia usando o método de cointegração possui um retorno excedente robusto e significativo.

Rad *et al.* (2016), por fim, atualizam o estudo inicialmente elaborado por Binh Do e Robert Faff, em 2010. O período de estudo agora vai de 1962 até 2014 e, além do método de distância como estratégia de operação, os autores acrescentam os métodos de cointegração e de Copula. Encontram os seguintes resultados para cada uma das estratégias, assumindo 12 meses de período de formação dos pares e 6 meses de operação, com 20 pares sendo escolhidos simultaneamente para o período de operação:

1. Método da Distância → 11,48% a.a.
2. Método de Cointegração → 10,69% a.a.
3. Método de Copula → 5,28% a.a.

Apesar de uma rentabilidade maior advinda da estratégia usando o método de distância, o método de cointegração apresenta um *sharpe ratio* levemente mais alto. A comparação entre

as literaturas tem grande importância para verificar quais foram os diferentes resultados encontrados e, se são comparáveis entre si, dado que podem ter sido utilizadas diferentes metodologias no estudo empírico. Dito isso, pode-se perceber que: Gatev *et al.* (2006), Huck e Afawubo (2015) e Do e Faff (2010) apresentam uma deterioração dos resultados da estratégia que utiliza a abordagem da distância mínima (*Minimum Distance Method*) nos períodos mais recentes no mercado acionário americano. Mais especificamente, Do e Faff (2010) apontam a PTS usando o método de distância como não rentável no mercado acionário americano após 2002, após a inclusão dos custos das operações (exemplo: corretagem e emolumentos) no resultado. Ainda sugerem que parte dessa deterioração nos retornos pode ser explicada tanto por uma maior popularidade da estratégia, diminuindo as oportunidades de arbitragens que podem ser aproveitadas, quanto por uma maior eficiência de mercado, seguindo a linha da Lei do Preço Único (*Law of One Price*).

Em relação a estratégia de Pairs Trading através do método de cointegração, Caldeira e Moura (2013); Huck e Afawubo (2015) e Rad *et al.* (2016) apresentam resultados um tanto divergentes. Enquanto os primeiros encontram retornos constantes, robustos e estatisticamente significantes para a estratégia, Rad, Low e Faff (2016) encontram resultados positivos, mas deteriorados no período mais recente (no mercado acionário americano). Entretanto, se faz importante frisar que Caldeira e Moura (2013), ao contrário dos outros autores, implementam a estratégia no mercado acionário brasileiro, em um período de aproximadamente 7 anos de dados, o que torna a comparação entre as estratégias exagerada, dado o diferente estágio de desenvolvimento entre os EUA e o Brasil na época dos estudos.

Apesar da implementação da estratégia de Pairs Trading por cointegração já ser relativamente difundida, a literatura existente do tema, como apontada por alguns autores, pode ser aprimorada através de uma maior diversificação geográfica e, uma análise de sensibilidade da estratégia. Isto é, tanto no método da distância mínima quanto no método de cointegração, alguns parâmetros são adotados arbitrariamente e utilizados durante toda a pesquisa. Do e Faff (2010); Gatev *et al.* (2006) e Rad *et al.* (2016) são alguns dos autores que adotam parâmetros no início do estudo e não os flexibilizam posteriormente para entender como cada um afeta o resultado da estratégia e as métricas de risco.

3 METODOLOGIA

3.1 BASE DE DADOS E PERÍODO DE ESTUDO

A base de dados preliminar para o estudo é formada por preços diários de todas as ações de empresas listadas na bolsa de valores brasileira (B3). A janela de tempo consiste em 16 anos completos, de janeiro de 2005 a dezembro de 2020. Essa janela foi escolhida, pois antes de 2005 a disponibilidade de dados da bolsa brasileira torna-se mais escassa e menos confiável, seja pela menor quantidade de empresas listadas na época, pelo tamanho e liquidez delas ou pela importância do mercado de capitais na sociedade brasileira. Os dados são coletados através da plataforma da Bloomberg e ajustados para dividendos e outros eventos que podem ter ocorrido nas empresas. Eles também são comparados com dados da Economatica, Yahoo Finance e Google Finance, para minimização de possíveis erros de precificação das plataformas.

Os dados utilizados na pesquisa resultam de alguns filtros feitos na base de dados preliminar, como: tamanho mínimo das empresas, volume mínimo de negociação diário e percentual mínimo de dias com pelo menos uma operação. Esses filtros limitam a base a 150 ativos (Tabela 3).

Vale ressaltar que nem todas essas empresas estiveram listadas pelos 16 anos utilizados na pesquisa: apenas 50 das 150 empresas eram listadas em 2005, mas, com intuito de ser fiel a realidade de como a estratégia seria operada, as demais empresas entram na base de dados à medida que começam a operar na bolsa de valores, aumentando o número de pares testados conforme a estratégia vai se aproximando do presente. Sendo assim, no final da janela, mais de 11 mil pares são testados para cointegração, enquanto no começo dela, apenas 1,25 mil pares podem ser formados.

Tabela 3 – Nome e Código das 150 empresas utilizadas no artigo

Centro de Imagem Diagnosticos (AALR3)	CVC Brasil Operadora e Agencia de Viagens (CVCB3)	Mills Estruturas e Servicos de Engenharia (MILS3)
Banco ABC Brasil (ABCB4)	Cyrela Brazil Realty Empreendimentos e Participacoes (CYRE3)	Movida Participacoes (MOVI3)
Ambev (ABEV3)	Direcional Engenharia (DIRR3)	Marfrig Global Foods (MRFG3)
Aes Brasil Energia (AESB3)	Dexco (DXCO3)	MRV Engenharia e Participacoes (MRVE3)
Alpargatas (ALPA4)	Ecorodovias Infraestrutura e Logistica (ECOR3)	Multiplan Empreendimentos Imobiliarios (MULT3)
Alianse Sonae Shopping Centers (ALSO3)	Engie Brasil Energia (EGIE3)	Natura & Co Holding (NTCO3)
Alupar Investimento (ALUP11)	Centrais Eletricas Brasileiras ON (ELET3)	Odontoprev (ODPV3)
Marisa Lojas (AMAR3)	Centrais Eletricas Brasileiras PN (ELET6)	Oi (OIBR4)
Americanas (AMER3)	Embraer (EMBR3)	Omega Geracao (OMGE3)
Anima Holding (ANIM3)	Enauta Participacoes (ENAT3)	Instituto Hermes Pardini (PARD3)
Arezzo Industria E Comercio (ARZZ3)	EDP Energias do Brasil (ENBR3)	Petroleo Brasileiro Petrobras ON (PETR3)
Azul (AZUL4)	Eneva (ENEV3)	Petroleo Brasileiro Petrobras PN (PETR4)
B3 Brasil Bolsa Balcao (B3SA3)	Equatorial Energia (EQLT3)	Profarma Distribuidora de Produtos Farmaceuticos (PFRM3)
Banco do Brasil (BBAS3)	Eternit (ETER3)	Marcopolo (POMO4)
Banco Bradesco ON (BBDC3)	Even Construtora e Incorporadora (EVEN3)	Positivo Tecnologia (POSI3)
Banco Bradesco PN (BBDC4)	EZTEC Empreendimentos e Participacoes (EZTC3)	Petro Rio (PRIO3)
Brasil Brokers Participacoes (BBRK3)	Companhia de Ferro Ligas da Bahia (FESA4)	Porto Seguro (PSSA3)
BB Seguridade Participacoes (BBSE3)	Fertilizantes Heringer (FHER3)	Qualicorp Consultoria e Corretora de Seguros (QUAL3)
Minerva (BEEF3)	Fleury (FLRY3)	Randon Implementos e Participacoes (RAPT4)
Banco Inter UN (BIDI11)	Gafisa (GISA3)	Localiza Rent a Car (RENT3)
Banco Inter ON (BIDI3)	Gerdau ON (GGBR3)	Banco Santander Brasil (SANB11)
Banco Inter PN (BIDI4)	Gerdau PN (GGBR4)	Companhia de Saneamento Parana UN (SAPR11)
BK Brasil Operacao e Assessoria a Restaurantes (BKBR3)	Notre Dame Intermedica Participacoes (GNDI3)	Companhia de Saneamento Parana PN (SAPR4)
Banco BTG Pactual (BPAC11)	Metalurgica Gerdau (GOAU4)	Companhia de Saneamento Basico do Estado de Sao Paulo (SBSP3)
Banco Pan (BPAN4)	Gol Linhas Aereas Inteligentes (GOLL4)	Ser Educacional (SEER3)
Bradespar ON (BRAP3)	GP Investments Limited (GPIV33)	T4F Entretenimento (SHOW3)
Bradespar PN (BRAP4)	Grendene (GRND3)	Simpar (SIMH3)
Vibra Energia (BRDT3)	Hapvida Participacoes e Investimentos (HAPV3)	SLC Agricola (SLCE3)
BRF (BRFS3)	Helbor Empreendimentos (HBOR3)	Sao Martinho (SMTO3)
Braskem (BRKM5)	Hypera (HYPE3)	Sinqia (SQIA3)
BR Malls Participacoes (BRML3)	Iguatemi Empresas de Shoppings Centers (IGTA3)	Santos Brasil Participacoes (STBP3)
Banco Banrisul (BRSR6)	Inepar Industria e Construoecoes (INEP4)	Sul America (SULA11)
Camil Alimentos (CAML3)	IRB Brasil Resseguros (IRBR3)	Suzano (SUZB3)
CSU Cardsystem (CARD3)	Itausa (ITSA4)	Taurus Armas (TASA4)
CCR (CCRO3)	Itau Unibanco Holding ON (ITUB3)	Tecnisa (TCSA3)
Auren Energia (CESP6)	Itau Unibanco Holding PN (ITUB4)	Technos (TECN3)
Companhia de Gas de Sao Paulo (CGAS5)	JBS (JBSS3)	Tegma Gestao Logistica (TGMA3)
Cielo (CIEL3)	JHSF Participacoes (JHSF3)	Tim (TIMS3)
Centrais Eletricas de Santa Catarina (CLSC4)	Klabin UN (KLBN11)	Totvs (TOTS3)
Companhia Energetica de Minas Gerais ON (CMIG3)	Klabin PN (KLBN4)	Companhia de Transmissao de Energia Eletrica Paulista (TRPL4)
Companhia Energetica de Minas Gerais PN (CMIG4)	Lojas Americanas (LAME4)	Unipar Participacoes (UNIP6)
Companhia Energetica do Ceara (COCE5)	Companhia de Locacao das Americas (LCAM3)	Usinas Siderurgicas de Minas Gerais ON (USIM3)
Cogna Educacao (COGN3)	Light (LIGT3)	Usinas Siderurgicas de Minas Gerais PN (USIM5)
CPFL Energia (CPFE3)	Restoque Comercio e Confeccoes de Roupas (LLIS3)	Vale (VALE3)
Companhia Paranaense de Energia ON (CPLE3)	Log-in Logistica Intermodal (LOGN3)	Viver Incorporadora e Construtora (VIVR3)
Companhia Paranaense de Energia PN (CPLE6)	LPS Brasil - Consultoria de Imoveis (LPSB3)	Telefonica Brasil (VIVT3)
Atacadao (CRFB3)	Lojas Renner (LREN3)	Valid Solucoes (VLID3)
Cosan (CSAN3)	M. Dias Branco Industria e Comercio de Alimentos (MDIA3)	Weg (WEGE3)
Companhia de Saneamento de Minas Gerais (CSMG3)	International Meal Company Alimentacao (MEAL3)	Wiz Solucoes e Corretagem de Seguros (WIZS3)
Companhia Siderurgica Nacional (CSNA3)	Magazine Luiza (MGLU3)	YDUQS Participacoes (YDUQ3)

Fonte: O Autor.

Sendo o objetivo do artigo sensibilizar a estratégia de *Pairs Trading* por cointegração, alguns parâmetros são escolhidos (Tabela 3) para que as suas diferentes combinações formem todas as estratégias desejadas.

Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas estratégias

Formation Period (Months)	Trading Period (Months)	Open Trigger (SD's)	Close (SD's)	Stop Loss Trigger (SD's)	# Pairs
2	2	2	0	4	5
3	3	3	0.25	5	10
4	4		0.5	6	20
6	6		0.75	7.5	
9	9			10	
12	12			12.5	
24	24			15	
				No Stop Loss	

Fonte: O Autor.

A combinação de (a) sete variáveis para formação dos pares, (b) sete para operação dos pares formados, (c) duas para indicação de abertura das operações, (d) quatro para indicação de fechamento das operações, (e) oito para indicação de fechamento das operações com realização de prejuízo e (f) três para o número de pares operados no mesmo período, resultam em 9408 estratégias diferentes. Algumas delas podem ser vistas na Tabela 4 abaixo, assim como elas foram denominadas.

Tabela 5 – Exemplos das 9408 diferentes estratégias testadas

Nome	Período de Formação	Período de Trading	Open Trigger	Close Trigger	Stop Loss Trigger	Number of Pairs
BOOK-2-4-2-0.75-6-5	2	4	2	0,75	6	5
BOOK-2-12-2-0.5-12.5-5	2	12	2	0,5	12.5	5
BOOK-3-9-2-0.25-6-20	3	9	2	0,25	6	20
BOOK-4-2-3-0.75-12.5-10	4	2	3	0,75	12.5	10
BOOK-4-4-3-0.5-15-20	4	4	3	0,5	15	20
BOOK-6-2-2-0.25-No SL-5	6	2	2	0,25	No SL	5
BOOK-6-24-2-0.25-15-5	6	24	2	0,25	15	5
BOOK-9-12-2-0.5-15-20	9	12	2	0,5	15	20
BOOK-12-4-3-0.5-No SL-10	12	4	3	0,5	No SL	10
BOOK-12-6-2-0-No SL-10	12	6	2	0	No SL	10
BOOK-12-12-3-0-5-10	12	12	3	0	5	10
BOOK-24-3-2-0-12.5-20	24	3	2	0	12.5	20
BOOK-24-6-2-0.5-No SL-5	24	6	2	0,5	No SL	5

Fonte: O Autor

As estratégias foram ajustadas para terem seu último dia de operação no dia 30 de dezembro de 2020. Algumas estratégias só começam a operar em janeiro de 2007, por terem 24 meses de dados para a formação dos pares; enquanto outras já começam a operar em março de 2005.

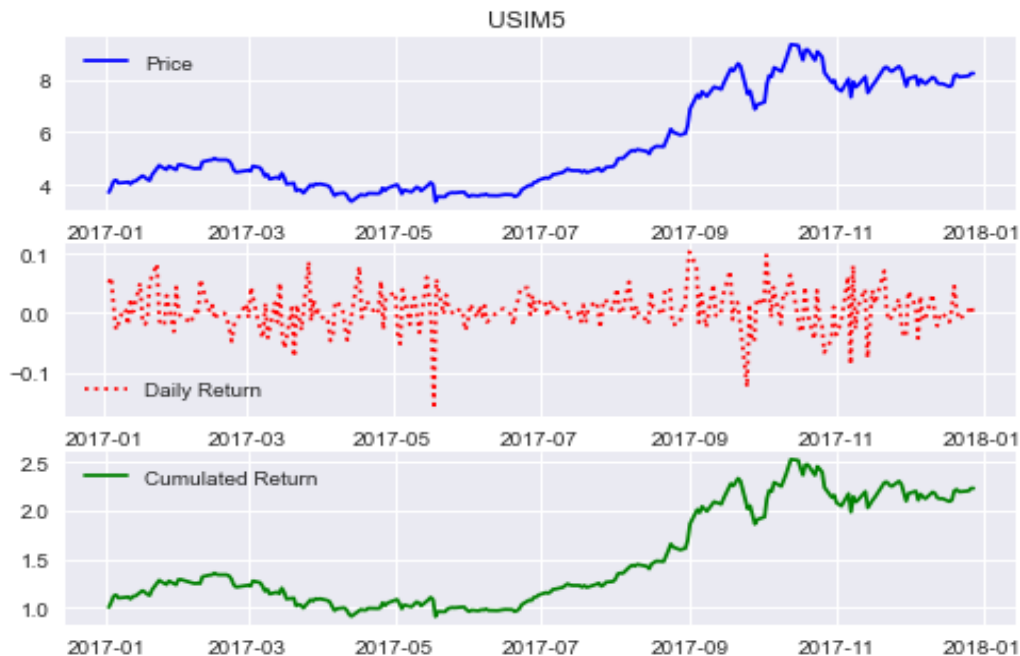
3.2 ESTRATÉGIA DE PAIRS TRADING POR COINTEGRAÇÃO

A metodologia usada nas 9408 estratégias de *Pairs Trading* por cointegração é, essencialmente, a mesma, onde apenas os parâmetros são alterados conforme a estratégia. Ela tem como base o método teórico de Vidyamurthy (2004), adaptado e implementado por Rad *et al.* (2016).

Para cada um dos 150 ativos da base de dados um filtro é utilizado, eliminando qualquer ação que não tenha pelo menos 90% dos seus dias do período de formação com algum volume negociado. Para cada um dos ativos que não foram eliminados com o filtro, o índice de retorno

acumulado (CRI), ou preço normalizado, é calculado através da fórmula 1, resultando em uma nova base de dados com preços normalizados (gráfico verde da Figura 4).

Figura 4 – Preço, retorno diário e CRI da empresa USIMINAS



Fonte: O Autor, a partir de dados da plataforma Bloomberg.

Com todos os preços normalizados no período de formação, os pares são formados pela combinação 2 a 2 entre os ativos (sem se repetirem). O número de pares formados em cada período é dado pela seguinte fórmula, onde n é o número de ativos disponíveis para formação de pares naquele período:

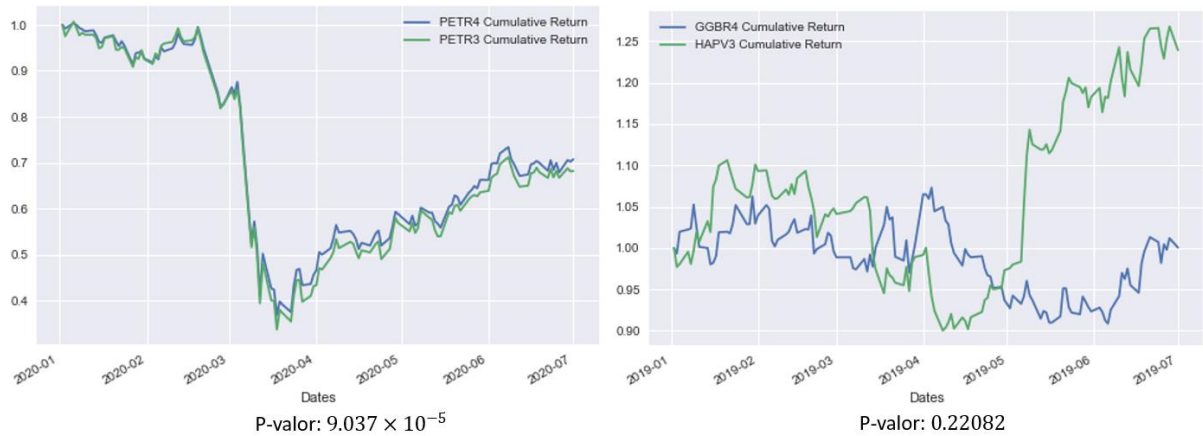
$$\text{Número de Pares} = \frac{n \times (n - 1)}{2} \quad (8)$$

Após a formação, cada um dos pares é testado para cointegração, através do teste de cointegração de Engle e Granger (1987). O teste tem como hipótese nula a não cointegração entre as séries de tempo, enquanto a hipótese alternativa indica que as duas séries de tempo são cointegradas de primeira ordem $I(1)$.

$$\text{Teste de Cointegração} = \begin{cases} H0: X_1, X_2 \text{ não cointegrados} \\ H1: X_1, X_2 \sim I(1) \end{cases} \quad (9)$$

Todos os pares em que a hipótese nula for rejeitada, utilizando 5% como nível de significância ($p\text{-valor} < 0.05$), são considerados cointegrados e levados para a próxima etapa. Aqui, é importante destacar que a metodologia difere da aplicada por Rad *et al.* (2016), pois enquanto o autor usa a minimização do SQD como característica principal para escolha dos pares e, posteriormente fazer o teste de cointegração, o estudo testa cointegração para todos os pares formados e a minimização do p-valor é a principal referência para seleção dos pares.

Figura 5 – Exemplos de pares cointegrados e não cointegrados



Fonte: O Autor, a partir de dados da plataforma Bloomberg.

Para cada par cointegrado, o coeficiente de cointegração é estimado pela regressão linear simples usando o método de MQO, onde o primeiro ativo do par é a variável independente (Y) e o segundo ativo é a variável dependente (X). Com o coeficiente de cointegração obtido (β), usando todo o período de formação como amostra, calcula-se o *spread* do par.

$$\text{spread}_t = Y_t - \beta X_t \quad (10)$$

O teste aumentado de Dickey e Fuller (1979) (ADF), então, é mensurado para o *spread* (resíduo) de cada par, testando a estacionaridade da série. Isso é feito apenas como uma segunda verificação da característica de cointegração dos pares. O teste de ADF também tem como hipótese nula a não estacionaridade da série de tempo, ou seja, a existência de uma raiz unitária, enquanto a hipótese alternativa é a de que não há raiz unitária.

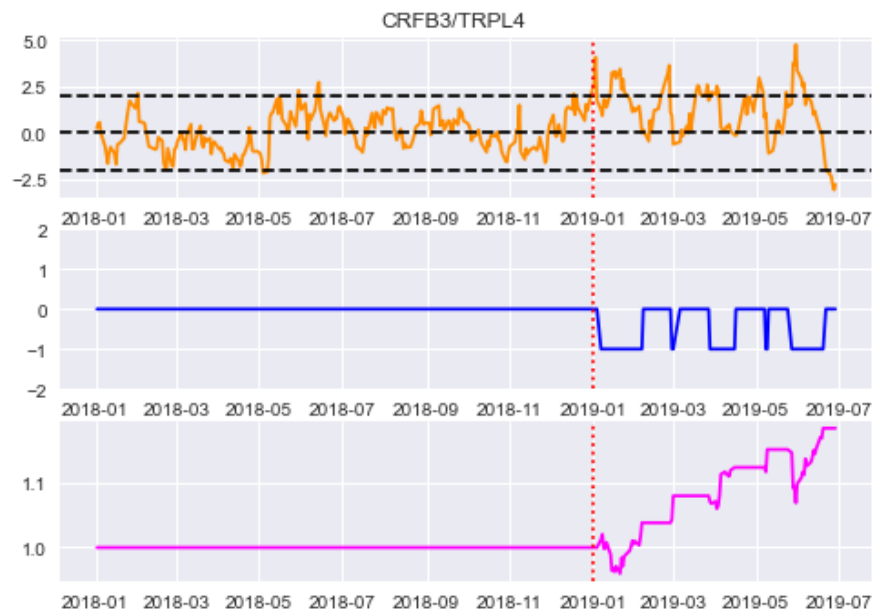
$$\text{Teste de ADF} = \begin{cases} H0: \delta = 0 \\ H1: \delta < 0 \end{cases} \quad (11)$$

Os *spreads* dos pares que rejeitarem a hipótese nula, também com 5% de significância, são considerados estacionários. Assim, com os p-valores do Teste de Cointegração e Teste ADF dos pares, os que seguem para a etapa de operação são os 5, 10 ou 20 (dependendo da estratégia) que minimizarem a combinação desses valores. É interessante salientar que o artigo divide o resultado em duas etapas: na primeira, o mesmo ativo pode aparecer em qualquer número de pares no mesmo período de operação, desde que ele minimize os resultados do Teste de Cointegração e Teste ADF com outros ativos. Já, na segunda etapa, o mesmo ativo é impedido de aparecer em mais de 2 pares no mesmo período de operação, ou seja, se o mesmo ativo minimizar o p-valor do teste de cointegração e ADF com 3 outros ativos, apenas os 2 melhores pares (dos 3) serão escolhidos, buscando minimizar a exposição direcional da estratégia em um mesmo ativo, sem divergir do fundamento do estudo.

Com o coeficiente de cointegração do par, a média e o desvio padrão do *spread*, todos calculados utilizando os dados do período de formação, o *spread* normalizado (fórmula 7) é acompanhado ao longo do período de operação e os parâmetros de abertura e fechamento de *trades* são utilizados para operações no par (Figura 7).

Se o *spread* normalizado do par de ativos Y/X atingir o indicador de abertura de operação, um L&S é iniciado no dia seguinte (pois estão sendo usados preços de fechamento diário para os ativos), onde compra-se (vende-se) n unidades monetárias do ativo Y e vende-se (compra-se) βn unidades monetárias do ativo X. Esse L&S é mantido até que: (i) o *spread* normalizado do par volte para sua média, ou próximo dela, e atinja o indicador de fechamento de operação, (ii) o *spread* normalizado continue divergindo da sua média de longo prazo e atinja o indicador de fechamento da operação com prejuízo, para prevenção de perdas maiores, ou (iii) o período de operação, que pode durar de 2 a 24 meses, acabe, nesse caso todas as operações que estiverem abertas, são imediatamente fechadas.

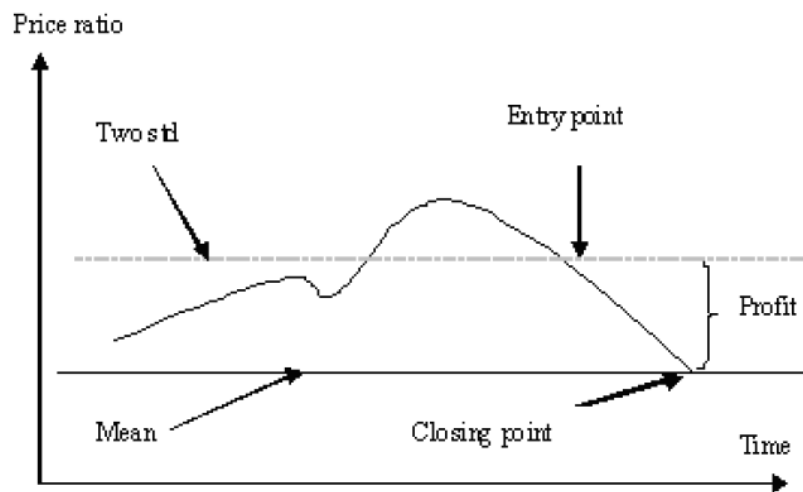
Figura 6 – Spread, indicador da operação e resultado do par CRFB3/TRPL4



Fonte: O Autor, a partir de dados da plataforma Bloomberg.

Na Figura 6, antes da linha vertical pontilhada vermelha, trata-se do período de formação do par, por esse motivo não há nenhuma operação. A partir de janeiro de 2019, quando se inicia o período de operação, toda vez que o *spread* cruza a linha de 2 (-2) desvios padrão, em direção a média (Figura 7), uma operação L&S é iniciada vendendo (comprando) CRFB3 e comprando (vendendo) TRPL4. A linha laranja refere-se ao *spread* normalizado do par, a linha azul indica a abertura e fechamento de operações, onde o valor de -1 significa compra de TRPL4 e venda de CRFB3, 0 significa operação fechada e 1 corresponde a operação contrária, ou seja, compra de CRFB3 e venda de TRPL4. Por fim, a linha rosa representa o resultado acumulado das operações L&S no par, durante o período indicado (com base 1).

Figura 7 – Visualização teórica de uma operação L&S



Fonte: Adaptado de Daniel Herlemont (2004).

Conforme um período de operação (*Trading Period*) estiver acabando, um novo período de formação é testado e novos pares são escolhidos, para que, no último dia de uma janela de *trading*, as operações de todos os pares sejam finalizadas e, no dia seguinte, os *spreads* dos novos pares já estejam sendo acompanhados para possíveis novas operações.

O retorno do par é calculado pelo retorno acumulado de todas as operações feitas nele. Já o retorno da estratégia, em um período de operação, é calculado a partir da média simples do retorno de cada par. Estratégias com 5 pares operando simultaneamente, cada par corresponderá a 20% do *portfolio* total daquele período. E, por fim, o retorno da estratégia na janela completa de estudo, se dá pelo retorno acumulado de cada período de operação.

4 RESULTADOS

Os resultados do estudo empírico vão ser divididos em duas partes: na primeira, 128 estratégias são testadas e comparadas, variando apenas os parâmetros do período de formação e *trading period*, mas mantendo constantes os *triggers* relacionados as operações dos pares, ou seja, 2 desvios padrão para abertura de um *trade*, fechamento do *trade* quando o *spread* voltar para sua média de longo prazo e sem um *trigger* de *stop loss* da operação. Além disso, são usados sempre 20 pares no período de operação. O objetivo desses primeiros resultados é, verificar detalhadamente quais os parâmetros de tempo que fazem a estratégia ter um maior retorno, mas também, comparar como a repetição de ativos nos pares afeta o retorno do método.

Na segunda parte do resultado, o artigo analisa individualmente cada parâmetro presente nas 9408 estratégias testadas, buscando entender qualitativa e quantitativamente suas propriedades, além de verificar, em conjunto, quais os parâmetros que tornam uma PTS pelo método de cointegração, rentável, robusta e pouco volátil. Também busca-se comparar os resultados gerais obtidos com os da bibliografia já existente no tema.

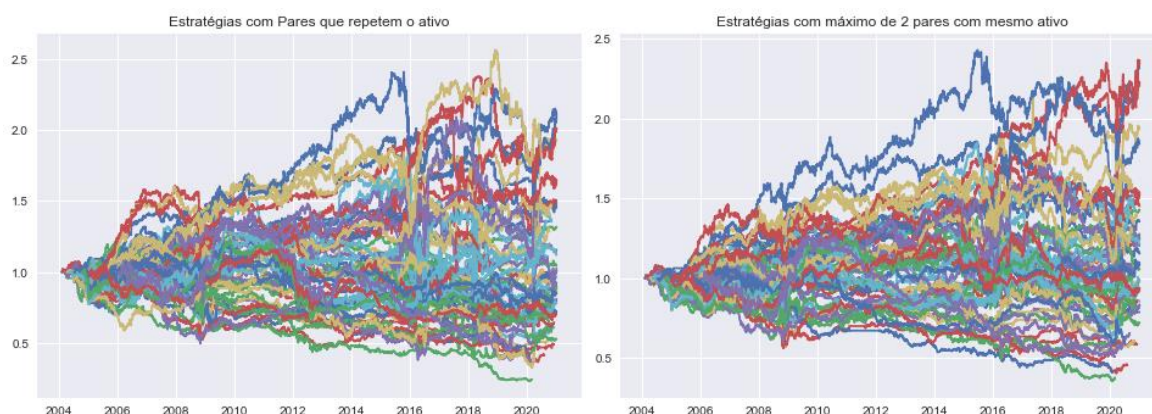
4.1 REPETIÇÃO DE ATIVOS EM DIFERENTES PARES OPERADOS

Nessa etapa, os parâmetros escolhidos para *Formation* e *Trading Period* foram:

1. *Formation Period* (meses): 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12 e 24
2. *Trading Period* (meses): 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12 e 24

A combinação desses parâmetros resulta em 64 estratégias diferentes, mas cada uma delas é duplicada, alterando a política de repetição de ativos em mais de 2 pares no mesmo período, chegando então a 128 estratégias diferentes.

Figura 8 – Retorno das 128 estratégias, separados pela característica de limitação de pares



Fonte: O Autor, a partir de dados da plataforma Bloomberg.

Não são muitos os períodos da janela de 2004 a 2020 que um mesmo ativo é encontrado em mais de 3 pares do mesmo período de operação. Isso faz com que, visualmente, não seja tão perceptível a diferença entre as estratégias. Mas conforme a Tabelas 6, que exhibe algumas características das estratégias testadas, podemos perceber que: o retorno médio (para todo o período) obtido nas estratégias que, no mesmo período de operação, não repetem o mesmo ativo em mais de 2 pares é de 9,23%, enquanto no outro caso o retorno médio é de apenas 0,44%. A volatilidade das estratégias é um bom indicador do risco de exposição adicional que repetir o mesmo ativo causa na estratégia, ou seja, enquanto a volatilidade média anual das estratégias que não repetem a mesma ação em mais de 2 pares (*non repeating*) é de 9,13%, a exata mesma estratégia, sem essa restrição, aumenta a volatilidade em mais de 3 pontos percentuais.

Tabela 6 – Características das 128 estratégias testadas

Comparação	<i>Repeating</i> ²	<i>Non Repeating</i> ³
Número de Estratégias	64	64
Retorno Médio das Estratégias	0,44%	9,23%
Retorno Anualizado Médio das Estratégias	0,03%	0,56%
Melhor Estratégia	BOOK-6-6-2-20	BOOK-12-6-2-20
Pior Estratégia	BOOK-2-12-2-20	BOOK-2-12-2-20
Maior Retorno	110,46%	136,52%
Menor Retorno	-75,58%	-62,10%
Volatilidade Média (Anualizada)	12,36%	9,13%
Sharpe Ratio	-0,88	-1,14
Sharpe Ratio Maior Retorno	-0,56	-0,55
Sharpe Ratio Menor Retorno	-1,45	-1,73

² *Repeating* refere-se as 64 estratégias que não tem restrições relacionadas ao número de pares no mesmo período de operação, que podem conter o mesmo ativo (exemplo: três pares sendo operados que tem ITUB4 como um dos ativos em cada par)

³ *Non Repeating* refere-se as 64 estratégias que limita o número de pares com o mesmo ativo a dois, no mesmo período

Fonte: O Autor

O *Sharpe Ratio* das estratégias *non repeating*, entretanto, apresentam valores um pouco piores do que os da estratégia sem restrições. Isso pode ser explicado, pois na média das 64 estratégias *non repeating*, o retorno excedente não compensa a menor volatilidade, resultando em um indicador igual ou marginalmente pior.

$$\text{Sharpe Ratio} = \frac{E(R_a - R_f)}{\sigma_a} \quad (12)$$

Quando comparamos as 64 estratégias sem restrições com as suas equivalentes *non repeating*, temos que 75% das estratégias são melhores na sua versão *non repeating*, enquanto apenas 25% das estratégias *repeating* acabam resultando em uma maior rentabilidade. Isso indica que, na média, as estratégias com restrição de número de pares com o mesmo ativo, tende a apresentar resultados mais consistentes e menos voláteis.

Tabela 7 – Resultados 128 estratégias, por parâmetro

Tipo de Parâmetro	Parâmetro	Resultado Médio	Resultado Médio Repeating	Resultado Médio Non Repeating	Volatilidade e Média	Volatilidade e Média Repeating	Volatilidade e Média Non Repeating
<i>Formation Period</i>	1 Month	-31,73%	-34,26%	-29,20%	8,16%	8,62%	7,71%
<i>Formation Period</i>	2 Months	-22,73%	-27,59%	-17,87%	11,75%	13,89%	9,62%
<i>Formation Period</i>	3 Months	-0,37%	-16,40%	15,66%	12,84%	16,65%	9,03%
<i>Formation Period</i>	4 Months	-2,26%	-5,96%	1,43%	12,67%	15,71%	9,62%
<i>Formation Period</i>	6 Months	32,83%	44,96%	20,70%	10,44%	11,46%	9,42%
<i>Formation Period</i>	9 Months	1,17%	-5,82%	8,15%	10,13%	11,02%	9,24%
<i>Formation Period</i>	12 Months	64,67%	56,36%	72,99%	9,75%	10,22%	9,27%
<i>Formation Period</i>	24 Months	-2,92%	-7,79%	1,94%	10,25%	11,35%	9,16%
<i>Trading Period</i>	1 Month	6,80%	3,83%	9,76%	7,67%	8,61%	6,72%
<i>Trading Period</i>	2 Months	15,34%	8,62%	22,06%	9,46%	10,75%	8,18%
<i>Trading Period</i>	3 Months	9,25%	-1,19%	19,68%	10,37%	11,90%	8,84%
<i>Trading Period</i>	4 Months	19,78%	17,54%	22,02%	11,02%	12,61%	9,43%
<i>Trading Period</i>	6 Months	21,41%	18,99%	23,83%	11,58%	13,49%	9,68%
<i>Trading Period</i>	9 Months	15,83%	11,38%	20,28%	12,07%	14,46%	9,69%

<i>Trading Period</i>	12 Months	-14,09%	-13,51%	-14,67%	11,62%	13,21%	10,03%
<i>Trading Period</i>	24 Months	-35,65%	-42,16%	-29,15%	12,20%	13,89%	10,50%

Fonte: O Autor

As Tabelas 7 e 8 apontam algumas características específicas de cada um dos parâmetros, assim como quais maximizam e minimizam a estratégia em questão. Inicialmente, relativo ao parâmetro de período de formação dos pares, que vai de 1 a 24 meses, é possível observar uma clara tendência de melhora dos resultados à medida que mais meses são utilizados no teste de cointegração para formação do portfólio. Essa evidência pode ser parcialmente explicada, pois, quanto maior o período de formação utilizado na testagem, estatisticamente são menores as chances do teste de cointegração dos pares resultarem em um Erro Tipo 1, já que a amostra de dados aumenta. Ainda assim, percebe-se uma tendência de piora quando são utilizados mais de 12 meses como período de formação, pois o coeficiente de cointegração, β , calculado a partir do método de MQO, se desajusta, ao utilizar uma amostra que está parcialmente desatualizada e as características dos ativos podem ter se alterado ao longo do tempo.

Esses resultados também podem ser parcialmente explicados, pois os *traders* costumam usar parâmetros que envolvem 6 e 12 meses na formação dos pares, dessa maneira, os retornos médios obtidos quando esses parâmetros são selecionados podem ser mais relevantes pela popularidade da estratégia (GATEV *et al.*, 2006).

Tabela 8 – Dez melhores e piores estratégias testadas

Estratégia	Repeating	Estratégia	Non Repeating
BOOK-6-6-2-20	110,46%	BOOK-12-6-2-20	136,52%
BOOK-12-4-2-20	109,82%	BOOK-12-4-2-20	135,96%
BOOK-12-2-2-20	101,16%	BOOK-12-2-2-20	122,81%
BOOK-12-6-2-20	101,09%	BOOK-12-3-2-20	94,71%
BOOK-12-3-2-20	93,24%	BOOK-6-6-2-20	84,12%
BOOK-6-12-2-20	81,02%	BOOK-12-9-2-20	56,24%
BOOK-6-9-2-20	65,09%	BOOK-3-9-2-20	54,51%
BOOK-12-1-2-20	49,90%	BOOK-6-9-2-20	53,97%
BOOK-6-3-2-20	48,00%	BOOK-1-4-2-20	51,64%
BOOK-6-4-2-20	45,71%	BOOK-9-4-2-20	45,47%
BOOK-4-9-2-20	-42,17%	BOOK-2-6-2-20	-34,31%
BOOK-1-3-2-20	-46,31%	BOOK-1-3-2-20	-39,46%
BOOK-24-12-2-20	-46,93%	BOOK-6-24-2-20	-41,13%
BOOK-1-2-2-20	-50,88%	BOOK-1-2-2-20	-41,13%
BOOK-1-12-2-20	-57,61%	BOOK-24-24-2-20	-41,38%

BOOK-1-24-2-20	-57,72%	BOOK-1-24-2-20	-46,66%
BOOK-1-6-2-20	-58,55%	BOOK-2-24-2-20	-48,94%
BOOK-3-24-2-20	-62,31%	BOOK-1-6-2-20	-54,57%
BOOK-2-24-2-20	-63,13%	BOOK-1-12-2-20	-57,72%
BOOK-2-12-2-20	-75,58%	BOOK-2-12-2-20	-62,10%

Fonte: O Autor.

Partindo aos parâmetros do período de operação dos pares, que também são sensibilizados de 1 a 24 meses, a rentabilidade média é positiva, mas tímida, com parâmetros de operação de 1 e 2 meses; aumenta significativamente com 4 ou 6 meses de operação, e torna-se negativa a partir de 12 meses. A justificativa por trás de retornos modestos com pequenos *Trading Periods* é que: na média, os pares operados não tem dias de *trading* suficientes para abrirem e fecharem operações, a ponto de tornar o resultado robusto e significativo. Já, no caso de parâmetros maiores, acima de 12 meses, a estratégia apresenta uma rentabilidade média negativa, pois o coeficiente de cointegração (β), calculado no período de formação dos pares, vai se desatualizando à medida que o par avança no período de operação.

A Tabela 8, com os 10 maiores e menores retornos da primeira etapa de resultados, corrobora com os valores da Tabela 6 e as explicações apresentadas. Isto significa que, tanto para as estratégias *repeating*, quanto para as *non repeating*, os melhores retornos têm parâmetros maiores utilizados no período de formação dos pares (como 9 a 12 meses) e médios utilizados no período de operação dos pares (principalmente de 4 a 6 meses). O melhor retorno obtido nesta etapa foi o da estratégia “BOOK-12-6-2-20”, que utiliza 12 meses como período de formação e 6 meses como período de operação e, essa também é a melhor combinação de parâmetros segundo a Tabela 7. Esses resultados corroboram com a literatura do tema, que usa 12 e 6 meses como os parâmetros básicos para o período de formação e período de operação, respectivamente e apresenta resultados robustos em diversas geografias.

4.2 RESULTADO DAS 9408 ESTRATÉGIAS TESTADAS

Na segunda parte dos resultados obtidos, todos os parâmetros foram estressados e o portfólio de cada período de operação foi limitado a apenas dois pares com o mesmo ativo, seguindo os resultados obtidos na primeira parte. Os parâmetros sensibilizados foram:

1. *Formation Period* (meses): 2, 3, 4, 6, 9, 12 e 24
2. *Trading Period* (meses): 2, 3, 4, 6, 9, 12 e 24

3. *Pairs Opening Trigger* (desvios-padrão): 2 e 3
4. *Pairs Closing Trigger* (desvios-padrão): 0, 0.25, 0.5 e 0.75
5. *Pairs Stop Loss Trigger* (desvios-padrão): 4, 5, 6, 7.5, 10, 12.5, 15 e *sem stop loss*
6. *Number of Pairs*: 5, 10 e 20 (no mesmo portfólio)

A primeira parte do resultado focou no estudo dos parâmetros relativos ao período de formação e operação dos pares. Com isso, o foco da segunda seção de resultados fica no estudo de como a sensibilização dos demais parâmetros afeta a rentabilidade e o risco da estratégia. Das 9408 estratégias possíveis, o estudo foca 2688 delas, a partir da limitação à estratégias que tem período de formação de 12 e 24 meses. As propriedades de cada um dos parâmetros das estratégias testadas podem ser vistas na Tabela 8:

Tabela 9 – Características das estratégias testadas, por parâmetro

Tipo de Parâmetro	Parâmetro	Quantidade de Estratégias	Resultado Médio	Volatilidade Média
<i>Formation Period</i>	12 Months	1344	47,3%	10,18%
<i>Formation Period</i>	24 Months	1344	-6,3%	10,16%
<i>Trading Period</i>	2 Months	384	25,3%	9,48%
<i>Trading Period</i>	3 Months	384	52,4%	9,45%
<i>Trading Period</i>	4 Months	384	41,5%	11,39%
<i>Trading Period</i>	6 Months	384	58,2%	10,29%
<i>Trading Period</i>	9 Months	384	-10,0%	10,20%
<i>Trading Period</i>	12 Months	384	-10,9%	11,57%
<i>Trading Period</i>	24 Months	384	-12,9%	8,82%
<i>Open Trigger</i>	2 Standard Deviations	1344	43,5%	9,48%
<i>Open Trigger</i>	3 Standard Deviations	1344	-2,4%	9,83%
<i>Close Trigger</i>	0 Standard Deviations	672	25,7%	10,67%
<i>Close Trigger</i>	0.25 Standard Deviations	672	21,6%	10,36%
<i>Close Trigger</i>	0.5 Standard Deviations	672	18,8%	9,97%
<i>Close Trigger</i>	0.75 Standard Deviations	672	15,9%	9,68%
<i>SL Trigger</i>	4 Standard Deviations	336	0,2%	7,97%
<i>SL Trigger</i>	5 Standard Deviations	336	23,1%	8,79%
<i>SL Trigger</i>	6 Standard Deviations	336	32,5%	9,31%

<i>SL Trigger</i>	7.5 Standard Deviations	336	37,3%	9,93%
<i>SL Trigger</i>	10 Standard Deviations	336	23,6%	10,51%
<i>SL Trigger</i>	12.5 Standard Deviations	336	17,6%	11,04%
<i>SL Trigger</i>	15 Standard Deviations	336	14,2%	11,30%
<i>SL Trigger</i>	No Stop Loss	336	15,6%	12,50%
<i>Number of Pairs</i>	5 Pairs	896	35,5%	13,93%
<i>Number of Pairs</i>	10 Pairs	896	14,8%	9,60%
<i>Number of Pairs</i>	20 Pairs	896	11,2%	6,98%

Fonte: O Autor.

O resultado médio obtido usando certo parâmetro, assim como a volatilidade média anualizada foram encontradas pela média aritmética de todas as estratégias em que aquele parâmetro foi utilizado, independente dos outros. Por exemplo, para calcular o retorno médio de uma estratégia que aplica 20 pares para cada período de operação, uma média aritmética sobre o retorno de cada uma das 896 estratégias que contém 20 pares como parâmetro foi calculada. No caso do cálculo da volatilidade, a lógica é a mesma, calcula-se a volatilidade anualizada de cada estratégia a partir dos retornos diários da mesma e, posteriormente usa-se uma média aritmética para se chegar à volatilidade média anualizada das estratégias que contêm tal parâmetro.

Os resultados das variáveis usadas no período de formação e operação dos pares corroboram com os retornos obtidos na primeira parte. Aumentando o tamanho da amostra de estratégias, o estudo continua apontando que o período de formação de 12 meses tem um resultado bem mais relevante do que o de 24 meses, mesmo com uma volatilidade bastante parecida.

Para o período de operação, o estudo aponta que entre 3 e 6 meses de operação resultam em uma boa performance da estratégia, mas também aponta que a estratégia tem uma queda de retorno expressiva a partir de 9 meses, estatística que não apareceu nos primeiros resultados.

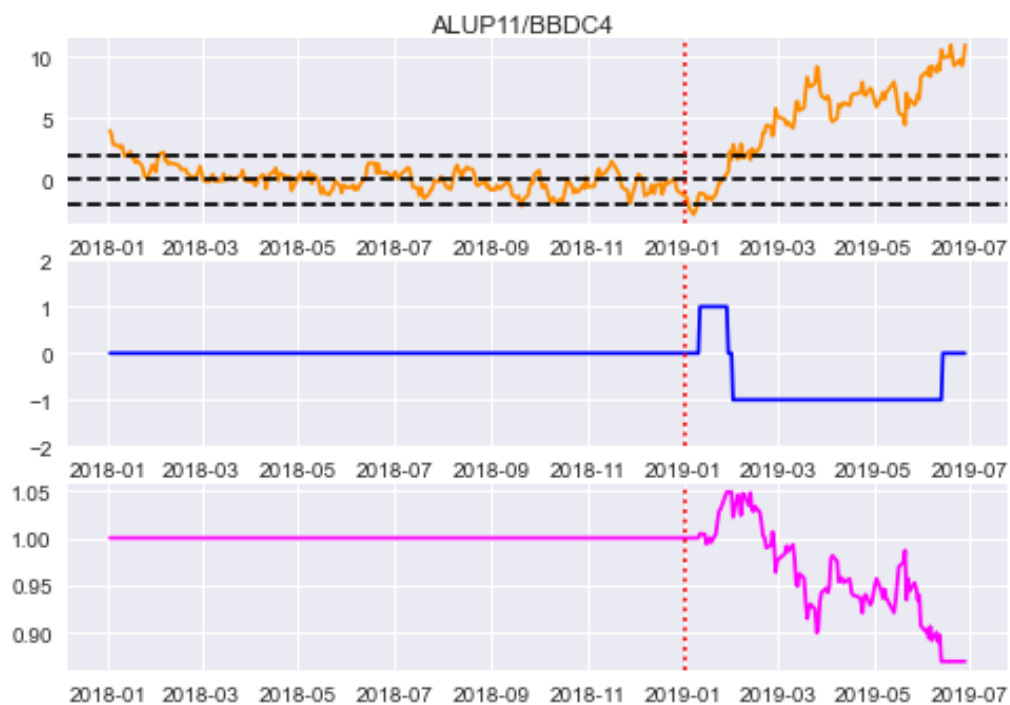
Partindo à variável de indicador de abertura de operação do par, ou *Opening Trigger*, o resultado aponta uma expressiva diferença entre as estratégias que usam 2 e 3 desvios padrão. As estratégias que usam um *opening trigger* de 2 desvios padrão tem um retorno médio de 43,5% para o período completo, com uma volatilidade ligeiramente menor do que as estratégias que usam 3 desvios padrão como parâmetro dessa variável. Essa discrepância pode ser explicada, pois, dado que o resultado médio desse parâmetro é de -2,4%, entende-se que os pares que tiveram o seu *spread normalizado* atingindo 3 desvios padrão de distância da média,

continuaram divergindo e, não voltaram à “média de longo prazo”, provavelmente tendo encontrado um par que o teste de cointegração de Engle e Granger (1987) levou a um Erro do Tipo 1. Pares que eram cointegrados não tiveram um *spread* que divergiu até 3 desvios padrão com uma frequência alta, a ponto de alterar o retorno da estratégia. O *spread* desses pares, em sua maioria, deve ter permanecido próximo da média de longo prazo, acionando poucas operações.

Os parâmetros utilizados na variável de fechamento de posição têm retornos semelhantes entre si, tornando-se mais difícil chegar a uma conclusão sobre qual dos parâmetros tem um retorno mais robusto. Por um lado, parâmetros que fecham a operação mais longe da média de longo prazo do *spread* indicam uma volatilidade média mais controlada das estratégias, isso se dá porque os pares ficam menos tempo abertos, diminuindo as chances de grandes variações no retorno diário da estratégia. Por outro, parâmetros como 0 e 0.25 desvios padrão para fechamento da operação L&S de um par, apresentam um retorno maior, já que a distância que o *spread* tem de recuperar é maior, para o fechamento da posição.

A variável de *stop loss* foi adicionada a estratégia para tentar minimizar prejuízos de pares que indiquem cointegração, mas que, na realidade, seja apenas uma correlação espúria entre as séries de preços dos ativos, de forma que se uma operação é aberta no par, ela diverge cada vez mais, com o passar do tempo (Figura 9).

Figura 9 – Exemplo par em que o *stop loss trigger* é ativado



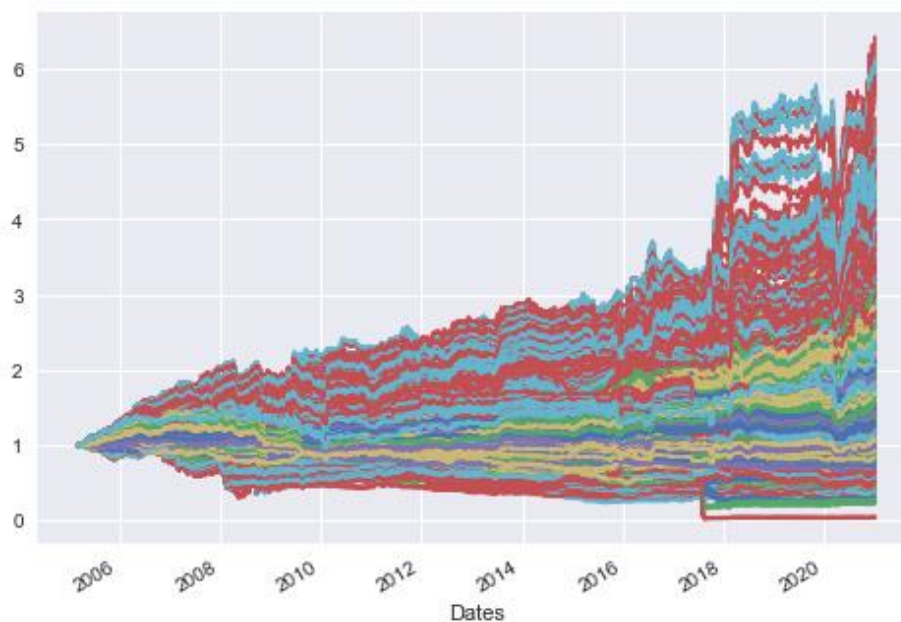
Fonte: O Autor.

A análise das estratégias indica que o número de desvios padrão que maximiza o retorno é de 7,5 desvios padrão utilizados como *trigger* para fechar a operação e embolsar o prejuízo. À medida que o número de desvios padrão aumenta, a volatilidade média das estratégias também aumenta, já que os pares que divergiram não são fechados e ficam incidindo no retorno e volatilidade diária do portfólio. Seguindo a mesma lógica, com um *stop loss trigger* muito próximo do *opening trigger*, a estratégia tem uma volatilidade menor, mas também apresenta um resultado médio inexpressivo, já que pares abertos provavelmente teriam seu *spread* se recuperando em direção a média de longo prazo e contribuindo para a rentabilidade da estratégia, mas são fechados precocemente.

Por fim, a variável de número de pares passíveis de serem operados no mesmo período apresenta um *trade-off* interessante. Como o portfólio de cada período de operação é formado a partir de pesos iguais dados a cada um dos pares, independente se eles serão operados ou não, quanto maior o número de pares, menor é a relevância deles dentro do portfólio e, conseqüentemente, menor é a volatilidade daquela estratégia. Seguindo essa lógica, estratégias que usam 10 ou 20 pares como parâmetro, tem uma volatilidade significativamente menor do que as estratégias que usam 5 pares como parâmetro. Por outro lado, os pares são escolhidos pela minimização dos testes de cointegração e ADF, sendo assim, estratégias com menos pares possuem um portfólio que é estatisticamente mais cointegrado do que estratégias com mais pares, pois à medida que se adiciona um par, ele tem propriedades de cointegração piores do que o par anterior. Isso se reflete na rentabilidade média da estratégia, que é melhor quando quando se usa apenas 5 pares como parâmetro dessa variável.

As diferentes estratégias apresentam uma distribuição de resultado bastante dispersa conforme os parâmetros são combinados:

Figura 10 – Distribuição de retorno das estratégias testadas

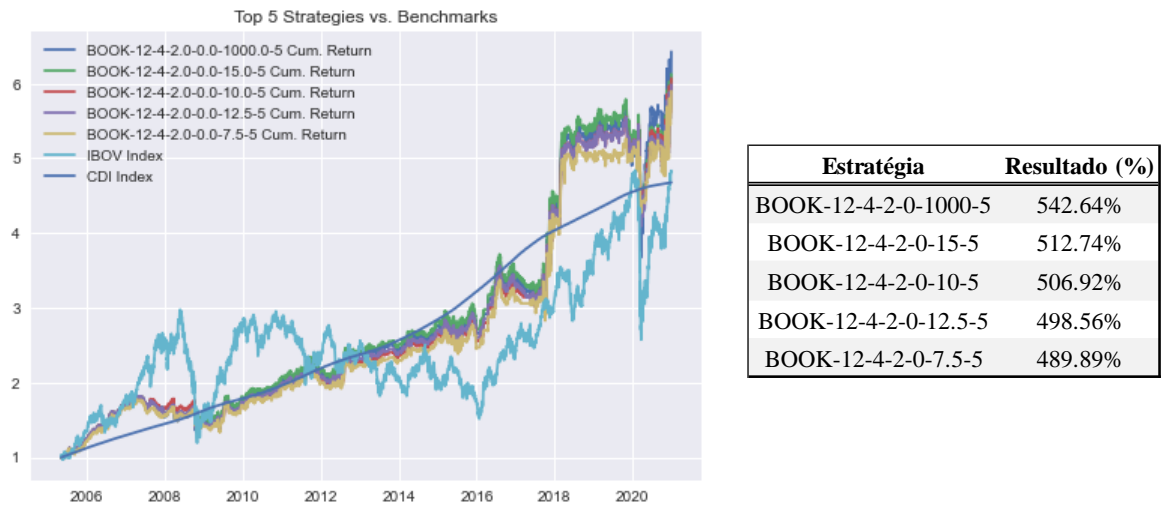


Fonte: O Autor.

A partir dos dados encontrados na Tabela 8, é possível concluir que a melhor estratégia, na média é composta por um *Formation Period* de 12 meses, um *Trading Period* de 6 meses, 2 desvios padrão da média para início de um L&S em um par, 0 desvios padrão, ou retorno à média para os pares abertos serem finalizados, 7,5 desvios padrão de indicador para se finalizar uma operação com prejuízo e 5 pares apenas sendo escolhidos do período de formação para o período de operação. A estratégia que une todos esses parâmetros é denominada como: BOOK-12-6-2-0-7.5-5 e teve uma rentabilidade de 373,41% no período, com uma volatilidade anualizada de 15,63%. O Índice de ações da bolsa brasileira (IBOVESPA) é muitas vezes utilizado como comparação para outros métodos de investimento e, no mesmo período o índice teve um retorno de 370,21%, com uma volatilidade anualizada de 28,22%.

Ainda assim, o estudo aponta algumas estratégias como *outliers*: a estratégia BOOK-12-4-2-0-No SL-5, foi a que teve o maior retorno na janela estudada, corroborando com a escolha de parâmetros apresentada por Caldeira e Moura (2013), em seu artigo. No presente estudo a estratégia teve uma rentabilidade de 542,64% no período, com uma volatilidade de 18,25% (anualizada). As 5 melhores estratégias e sua comparação com os *benchmarks* utilizados no Brasil estão na Figura 11:

Figura 11 – 5 melhores estratégias do estudo e comparação com *benchmarks*



Fonte: Elaboração própria. Dados coletados da plataforma Bloomberg.

A partir dos dados resultantes do estudo, percebe-se que a literatura do tema, apesar de não sensibilizar os parâmetros, em sua maioria, acabaram utilizando nas variáveis os parâmetros que, de fato, estão entre os melhores possíveis para serem usados na estratégia, ainda que isso possa variar em diferentes geografias e diferentes épocas.

5 CONCLUSÕES

O presente artigo buscou analisar como a variação dos parâmetros utilizados na estratégia de *Pairs Trading*, utilizando o método de cointegração, afeta a rentabilidade e medidas de risco dessa forma de investimento na bolsa de valores brasileira (B3) entre os anos de 2004 e 2020. O intuito do estudo é confirmar que os parâmetros utilizados na literatura já existente sobre o tema são, de fato, os que garantem o melhor retorno a estratégia.

Utilizando a metodologia de Rad *et al.* (2016) e o *framework* teórico de Vidyamurthy (2004), mais de 2000 estratégias foram testadas e analisadas em conjunto para entender como cada parâmetro, relacionado tanto a formação dos pares, quanto a operação dos mesmos, afeta o retorno de uma estratégia de *Pairs Trading* no longo prazo. Os melhores resultados obtidos, assim como os resultados médios de cada parâmetro, apontam que a estratégia será mais bem sucedida se os pares forem formados a partir de 12 meses de testagem da série de preços. Além disso, o período de operação ideal dos pares fica entre 4 e 6 meses. Para os parâmetros de operação, as variáveis básicas utilizadas pelos *traders*, segundo Gatev *et al.* (2006), são as estratégias que atingem as melhores rentabilidades no período estudado. Isso é: 2 desvios padrão para início de um *trade* do par e fechamento do *trade* quando o *spread* normalizado dos ativos voltar para a média de longo prazo.

O estudo ainda encontrou que, como a estratégia é exclusivamente quantitativa, se faz necessário o uso de um indicador de minimização de risco. Nesse caso, o artigo encontrou que a estratégias se saem melhor caso os pares sejam fechados se os seus *spreads* desviarem da média acima de 7,5 desvios padrão. O número de pares utilizados no *Trading Period* já havia sido testado e sensibilizado por literaturas passadas, mas o estudo presente encontrou que estratégias que usam menos pares por período e, conseqüentemente, pares com características de cointegração mais fortes, apresentam resultados mais robustos, ainda que mais volatilidade também.

Rentabilidades encontradas no estudo chegam a ser até 172 pontos percentuais mais rentáveis do que o Ibovespa no mesmo período, com uma volatilidade bem mais controlada. Ademais, a estratégia apresenta resultados que explicam a escolha das literaturas do tema relativas aos parâmetros escolhidos nos respectivos estudos, ou seja, o presente artigo corrobora com a combinação BOOK-12-6-2-0 utilizado na maioria da bibliografia do tema.

Por outro lado, uma porcentagem da literatura encontrou resultados classificados como não rentáveis no período recente, principalmente na bolsa de valores americana, a partir de

2002. Muitas podem ser as explicações para o fato de que as conclusões do presente artigo não corroboram com isso. A principal delas é o fato de que a bolsa de valores brasileira é muito menor e menos consolidada, quando comparada com a bolsa americana e, por consequência, permite muitas oportunidades de arbitragem que bolsas maiores.

O estudo permite concluir que a estratégia de *Pairs Trading* ainda é rentável na bolsa de valores brasileira e, com os parâmetros adequados, apresenta uma rentabilidade e volatilidade melhores do que o próprio índice de ações (Ibovespa). Próximas etapas, como a adição de custos de operação, uma maior atenção a problemas como *bid-ask spread* e uma separação dos ativos em *clusters* setoriais antes da formação de pares são apenas alguns dos possíveis pontos que apenas aprimoram o estudo acadêmico e empírico do tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALDEIRA, J.; MOURA, G. V. Selection of a Portfolio of Pairs Based on Cointegration: A Statistical Arbitrage Strategy. **SSRN Electronic Journal**, n. October 2012, p. 1–28, 2013.
- CHAN, K. C. On the Contrarian Investment Strategy. **The Journal of Business**, v. 61, n. 2, p. 147, 1988.
- CHIU, M. C.; WONG, H. Y. Mean-variance portfolio selection of cointegrated assets. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 35, n. 8, p. 1369–1385, 2011.
- DO, B.; FAFF, R. Does simple pairs trading still work? **Financial Analysts Journal**, v. 66, n. 4, p. 83–95, 2010.
- ENGLE, ROBERT F. & GRANGER, C. W. J. Co-Integration and Error Correction : Representation , Estimation ,. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251–276, 1987.
- GATEV, E.; GOETZMANN, W. N.; ROUWENHORST, K. G. Pairs Trading: Performance of a Relative Value Arbitrage Rule. **National Bureau of Economic Research**, v. 1, p. 33, 1999.
- GIANT STEPS CAPITAL. Evolução do Mercado de Gestão Quantitativa no Brasil. 2018. Disponível em: <https://gscap.com.br/evolucao-do-mercado-de-gestao-quantitativa-brasileiro/>
- Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule. **Review of Financial Studies**, v. 19, n. 3, p. 797–827, 2006.
- HERLEMONT, D. Pairs Trading, Convergence Trading, Cointegration. **YATS Finances and Technology**, v. 33, n. 0, p. 1–31, 2004.
- HUCK, N.; AFAWUBO, K. Pairs trading and selection methods: is cointegration superior? **Applied Economics**, v. 47, n. 6, p. 599–613, 2015.

RAD, H.; LOW, R. K. Y.; FAFF, R. The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods. **Quantitative Finance**, v. 16, n. 10, p. 1541–1558, 2016a.

The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods.

Quantitative Finance, v. 16, n. 10, p. 1541–1558, 2016b.

TAYLOR, P. *et al.* Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. **Journal of the American Statistical Association**, n. March 2013, p. 37–41, 1979.

VIDYAMURTHY, G. **Pairs Trading: Quantitative Methods and Analysis**. [s.l: s.n.]. v.

148