

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**MONOGRAFIA DE FINAL DE
CURSO**

O Estudo das Correlações Entre os Ativos
Negociados na Bovespa: Além do CAPM

Caio Cabral Palhares

Matrícula: 0911787

Orientador: Marcelo Nuno Carneiro de Souza

05 de Dezembro de 2014

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE FINAL DE
CURSO**

O Estudo das Correlações Entre os Ativos
Negociados na Bovespa: Além do CAPM

Caio Cabral Palhares

Matrícula: 0911787

Orientador: Marcelo Nuno Carneiro de Souza

05 de Dezembro de 2014

“Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.”

“As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.”

Sumário

1. Introdução	5
2. Revisão de Literatura	10
3. Modelos.....	13
3.1. CAPM	13
3.2. SRISK	15
3.3. Comparações Múltiplas	19
4. Aplicação do Modelo	23
5. Conclusão	39
6. Referências Bibliográficas	41
7. Apêndice	43

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, em especial meus pais Claudia e Fernando, por todo o apoio e companheirismo nestes anos de faculdade.

Agradeço também ao meu orientador, Marcelo Nuno, pelos ensinamentos, pelo valioso material para realizar esta monografia e pela paciência em responder aos inúmeros e-mails e dúvidas que tive nesta jornada.

1. Introdução

A crise financeira de 2007-09 foi a mais grave desde a crise de 1929. Os efeitos da crise foram sentidos em todo o planeta devido à interdependência das economias nacionais. Nesta crise, observamos a redução da oferta de capital na economia e a falência de grandes instituições, incluindo bancos e seguradoras. Houve aumento de desemprego, além da diminuição do nível de atividade e do comércio internacional. Junto à crise veio um questionamento sobre a avaliação e a atuação do Banco Central na economia, questões como: Como o Fed não antecipou a crise? Por que o Fed e o tesouro não permitiram a falência de determinadas instituições? Como o Fed determina quais são as empresas "grandes demais para quebrar"? Como este risco é medido?

Durante a crise o FED nacionalizou instituições como a Fannie Mae e Freddie Mac, sob a justificativa de que a quebra destas intensificaria o cenário negativo no mercado imobiliário. Adicionalmente, auxiliou na compra do banco de investimentos Bear Stearns pelo JP Morgan em março de 2008, garantindo pagar até 29 bilhões dos respectivos ativos contaminados se o JP Morgan se compromettesse a pagar o primeiro bilhão. A justificativa mais uma vez foram os possíveis efeitos da quebra do Bear Stearns, um dos principais bancos de investimento de Wall Street na época. A escassez de capital na economia e o descasamento entre os prazos de suas aplicações ameaçavam a existência do banco, rumores do mercado quanto à insolvência da firma abalavam sua credibilidade e a confiança de seus investidores. O banco, por sua vez, alegava que seu problema era de liquidez, porém a dificuldade em levantar capital no curto prazo forçou sua venda para um concorrente.

Em setembro foi a vez de o Lehman Brothers entrar em foco, outro dos principais bancos de investimentos de Wall Street. Mais uma vez tudo começou com rumores no mercado sobre a insolvência da instituição, os bancos tinham dificuldades de obter recursos, mesmo em operações interbancárias, devido à escassez de capital na economia. Normalmente, uma instituição com dificuldades financeiras é absorvida pelas

demais, como no caso do Merrill Lynch (adquirido pelo Bank of America), porém a escassez de crédito e de liquidez dos demais bancos inspirava cautela e, mesmo havendo interesse, a compra do Lehman não foi finalizada. Esperava-se então a atuação do Fed mais uma vez, resgatando o banco e realizando uma política de controle de danos. Contudo, não foi o que aconteceu. O Fed apenas assistiu a quebra do banco, alegando três principais motivos para sua omissão: risco moral; tempo hábil de recuperação entre março e setembro; problema de insolvência.

O risco moral é um problema de informação assimétrica e ocorre em ex-post. Um agente econômico possui incentivo a mudar seu comportamento, de forma contrária a que seria esperada pelo acordo prévio, com o intuito de obter benefícios próprios. Isto se aplica ao mercado de seguros, por exemplo, uma vez contratado o seguro, o segurado possui incentivo a ser menos cuidadoso do era antes de o contrato ser finalizado. O Fed queria evitar que as demais instituições trabalhassem com a ideia de que seriam resgatadas em caso de quebra e utilizou o Lehman como exemplo. Ainda, o Fed alegava que de março a setembro, houve tempo o suficiente para que o Lehman adequasse seus balanços visto o cenário de crise financeira. Por fim, o problema do banco seria de insolvência, de forma que seria ilegal intervir, diferentemente do Bear Stearns, que segundo o Fed apresentava um problema de liquidez.

A quebra do Lehman Brothers iniciou o pânico nos mercados, acentuando a crise econômica. As bolsas de valores ao redor do mundo apresentaram forte queda e outras instituições financeiras quebraram no rastro da crise. A seguradora AIG, que sofria uma crise de liquidez, em setembro teve o seu rating rebaixado pelas três principais agências de rating (Moody's, Fitch e Standard & Poor's). Especialistas indicavam que ela seria a próxima a declarar falência. Todavia, o governo resolveu socorrer a instituição para evitar um aprofundamento da crise. Foi a maior operação de resgate a uma instituição privada nos Estados Unidos de todos os tempos, 85 bilhões de dólares, mesmo sendo inferior ao valor da operação de estatização da Fannie Mae e Freddie Mac, de aproximadamente 200 bilhões de dólares, estas foram transformadas em empresas públicas e, portanto, não são contabilizadas na mesma estatística.

A atuação dos reguladores de política econômica em resposta a crise financeira nos leva a algumas questões: Por que o Fed socorreu o Bear Stearns, AIG e estatizou Fannie Mae e Freddie Mac? Por que não fez o mesmo perante a falência do Lehman Brothers? Por que "deixou" o Lehman quebrar? Quais os critérios utilizados para chegar a estas decisões? Além das justificativas formais dadas ao mercado, como a insolvência das instituições ou a crise de liquidez, o conceito de risco sistêmico estava por trás das decisões do Fed. Há algo em comum às instituições socorridas, todas estavam fortemente ligadas às securitizações de hipotecas subprime.

Fannie Mae e Freddie Mac eram altamente correlacionadas, ambas atuavam justamente no setor de hipotecas financeiras, responsáveis por gerar liquidez e permitir o financiamento de imóveis para casa própria. Já o Bear Stearns era considerado o menor dos cinco maiores bancos de investimentos de Wall Street, em novembro de 2007 a instituição possuía 395 bilhões de dólares em ativos. No mesmo período o Lehman Brothers possuía 691 bilhões de dólares e o Goldman Sachs 1,12 trilhões de dólares em ativos. Porém, o Fed não considerou o tamanho das instituições, e sim a composição de sua carteira e suas relações com o resto do mercado. A carteira do Bear Stearns estava altamente concentrada em securitizações do subprime, a instituição era contraparte em uma série de transações envolvendo derivativos e estava ligada a diversos fundos mútuos. Havia um temor de que a instituição fosse sistematicamente importante demais para quebrar. Ainda, o cenário econômico continuava se deteriorando e era difícil prever onde ou quando iria parar. Por último, a AIG era a maior seguradora do país, responsável pela contraparte da maioria das securitizações negociadas pelos bancos de investimentos.

No caso do Lehman Brothers, a atuação foi diferente. Desde março de 2008, o Fed era criticado por usar o dinheiro dos contribuintes para resgatar um banco de investimentos. Além disso, havia o problema do risco moral, o temor de que as demais instituições aumentassem a tomada de riscos ao observar o resgate do Bear Stearns. O Lehman Brothers, como outros bancos, estava com um nível de alavancagem alto, contudo seus investimentos não estavam concentrados no setor hipotecário como as demais instituições socorridas. A avaliação do Fed era que o Lehman Brothers era uma grande instituição no mercado, mas não era sistematicamente importante a ponto de

justificar um resgate financeiro. Com este cenário, o Fed resolveu não intervir e aguardar que alguma instituição privada negocie a compra do Lehman. Sob condições normais da economia, não faltariam interessados, porém com a escassez de capital, a negociação falhou e em setembro de 2008, a firma declarou falência. O efeito foi terrível, o pânico se espalhou pelas bolsas de valores mundo a fora e houve uma intensificação da recessão econômica. O Fed estava errado, o Lehman Brother provou ser uma instituição sistemicamente importante.

AIG, Lehman Brothers e Bear Stearns eram fortemente correlacionadas com os grandes bancos de Wall Street, além de outros setores da economia. O alto grau de interdependência entre as instituições financeiras promove uma propagação das perdas e aumenta o risco de quebra das firmas correlacionadas. A intensidade da crise está relacionada à importância de determinadas instituições para o pleno funcionamento da economia, suas relações com as demais instituições do mercado e o conceito de risco sistêmico. Diferente de outros riscos, como o de crédito ou o de mercado, o risco sistêmico ocasiona estresse em todo o sistema, com externalidades negativas em toda a economia, ele representa o risco de colapso do sistema financeiro. A crise financeira motivou uma busca pelo desenvolvimento de ferramentas para medir o risco sistêmico. Uma medição eficiente é importante para monitorar e antecipar possíveis quebras sistêmicas. Apesar da pluralidade de contribuições sobre o tema, ainda não há um consenso de qual a melhor ferramenta para medição, atualmente a mais utilizada é o CAPM. Desta forma, trata-se de um tema relevante e atual, visto que a mensuração do risco sistêmico é objeto de estudo em diversas universidades ao redor do mundo e a eficiência desta medida é de extrema importância para as análises econômicas de Bancos Centrais e de agências reguladoras, especialmente na área de fusões e aquisições.

Há duas formas de medida: medir o risco sistêmico do sistema como um todo e medir o risco de instituições individuais. Esta segunda forma busca detectar as Instituições Financeiras Sistemicamente Importantes ou Systemically Important Financial Institutions (SIFI). Em tempo, essas medidas podem ser fundamentalistas, baseando-se nos fundamentos, balanços e demonstrativos financeiros das instituições, ou podem ser baseadas no mercado, utilizando as cotações dos ativos negociados em

bolsa para análise. Apesar de os balanços gerarem dados mais confiáveis, eles não são atualizados em tempo real, o que dificulta previsões e é por isso que utilizarei as medidas baseadas no mercado, pois as cotações refletem os fundamentos da empresa e são atualizadas em tempo real. Quando há perdas excessivas de capital no sistema financeiro, o sistema como um todo é afetado. Sendo assim, medir o risco baseado nas cotações de mercado garante o foco na escassez de capital associada a determinadas instituições financeiras.

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo das correlações dos ativos do Ibovespa, assim como discorrer sobre o histórico e a conceituação de risco sistêmico. Pretende-se utilizar as correlações entre os ativos para identificar setores da economia e, mais importante, quais instituições apresentam forte correlação dentro de um determinado setor. Com isso, podemos avaliar o risco de contágio, diante da quebra de determinada instituição, para outras instituições correlacionadas com esta. Para isso, primeiro realizaremos uma revisão da literatura existente sobre o tema. Em segundo lugar, apresentaremos os modelos CAPM, SRisk, Bonferroni e Sidak. Por fim, provido das ferramentas necessárias, realizarei a aplicação do modelo com dados obtidos do histórico de cotações do Ibovespa no período de 1999 até a atualidade. Para simplificar o modelo, utilizaremos somente os cinquenta ativos mais líquidos do índice Bovespa, de acordo com o Índice Brasil 50 (IBRX-50), a composição da carteira está no apêndice.

2. Revisão de literatura

Em “Too Systemic to Fail: Consequences, Causes and Potential Remedies.”, Raghuram Rajan levanta a questão da existência de um problema de risco moral, isto é, empresas que sabem que são SIFI tem incentivo a não serem precavidas e tomarem mais riscos do que deveriam, já que entendem que as autoridades as resgatarão antes de declararem falência. As autoridades evitam ao máximo a quebra de empresas SIFI, os riscos de curto prazo para a economia e possíveis consequências negativas para a própria carreira dos reguladores pesam mais na tomada de decisão do que qualquer benefício de longo prazo de disciplinar o mercado e prevenir o problema de risco moral no futuro. A percepção do público quanto a uma falha reconhecida é muito maior do que um resgate às instituições, ademais as consequências financeiras da quebra de uma instituição podem ser terríveis, enquanto as consequências de um resgate só ocorrerão no futuro, adiando assim a repercussão na economia. Ele faz também uma análise pela ótica dos reguladores de política econômica, o que não cabe adentrar aqui. O que interessa ao tema é a definição que ele dá a instituições SIFIs.

Rajan faz uma diferenciação entre Too Big To Fail e Systematically Important Financial Institutions. Ele explica que há empresas que são muito grandes, porém transparentes, com uma estrutura simplificada e que não apresentam forte correlação com outras empresas sistêmicas, o que as permite quebrar sem afetar todo o sistema. Para ilustrar é dada como exemplo uma empresa de fundos mútuos regulada pelo governo, mesmo com um portfólio extenso e um grande número de funcionários, a sua quebra não gera externalidades a todo o sistema. Por outro lado, há empresas relativamente pequenas, com um número bem menor de empregados, que em caso de quebra causam grande estresse em todo o sistema, o exemplo é o banco de investimento Bear Stearns, que quebrou em 2008. Com isso, ele conclui que há fatores além do tamanho que configuram uma empresa SIFI, tais como: a centralidade da instituição para o mercado; a exposição de outras empresas SIFI à instituição (o exemplo da AIG é citado); o quanto os negócios e ativos da instituição estão sobre regulação de outros

países, os quais possuem jurisdições menos rígidas; a complexidade das interações dos negócios da instituição com o sistema financeiro, de modo que as autoridades fiquem incertas quanto às consequências de uma possível quebra e prefiram não correr este risco.

Em "Measuring Systemic Risk", Acharya, Pedersen, Philippon e Richardson apresentam um modelo de risco sistêmico baseado numa medida de escassez de capital, nomeada Systemic Expected Shortfall (SES). O modelo mostra que a contribuição de cada instituição financeira para o risco sistêmico pode ser medida pela SES, isto é, a sua propensão a ser descapitalizada num futuro evento sistêmico, quando o sistema financeiro como um todo está descapitalizado. A SES é uma função da alavancagem da instituição e de suas perdas esperadas no rastro da distribuição de perdas do sistema, as quais são medidas pelo déficit marginal esperado ou Marginal Expected Shortfall (MES).

A escassez de capital de firmas individuais impõe externalidades negativas a todo o sistema quando ocorrem em períodos de estresse. Normalmente, a instituição com dificuldades financeiras é absorvida por um competidor mais forte. Porém, isto não ocorre durante um período de estresse, onde as firmas ficam limitadas. Quando o sistema está descapitalizado, a oferta de crédito diminui o que afeta o setor de fusões e aquisições. As perdas, então, se espalham pelo sistema, já que as instituições financeiras são uma espécie de sistema circulatório da economia. Sendo assim, a escassez de capital é prejudicial à firma e a seus acionistas em condições normais, contudo em períodos turbulentos se torna prejudicial ao sistema como um todo.

Os autores propõem a utilização da SES pelos reguladores de política econômica. A medida fornece um parâmetro para balizar as possíveis penalidades de se assumir riscos excessivos por parte das instituições SIFI. O modelo mostra que a eficiência alocativa pode ser descentralizada quando o regulador impõe a cada banco um imposto atrelado ao somatório das perdas esperadas e de sua contribuição para o risco sistêmico, de forma a repassar o custo das externalidades negativas para as próprias instituições que as originaram. As firmas possuem incentivos a tomar riscos desmoderados se

acreditam que possam ser resgatadas pelo governo, a não ser que os custos externos do risco sistêmico sejam internalizados.

De acordo com a literatura em "Volatility, Correlation and Tails for Systemic Risk Measurement.", de Christian Brownlees e Robert Engle, uma firma apresenta risco sistêmico se provavelmente enfrentará uma grande escassez de capital exatamente quando o setor financeiro estiver sob estresse. O trabalho desses autores é semelhante ao Acharya, Pedersen, Philippon e Richardson neste sentido, ambos associam o risco sistêmico de uma instituição financeira à sua contribuição para deterioração da capitalização do sistema financeiro durante um período de estresse, aqui definido como uma queda substancial do mercado dado certo período de tempo. Com o intuito de possuir uma medida para análise de risco sistêmico, os autores desenvolveram o índice SRISK, o qual mede justamente as perdas de capital esperadas de uma firma num cenário de forte declínio do mercado. O índice é uma função da alavancagem da empresa, do seu tamanho e das perdas marginais de capital esperadas ou Marginal Expected Shortfall (MES).

O SRISK serve para medir tanto o risco sistêmico de uma instituição individual quanto o risco sistêmico agregado do sistema financeiro como um todo. Este último gera, com certa antecedência, sinais de alerta para um possível cenário de estresse da economia. As firmas com maior SRISK são as que mais contribuem para a descapitalização do setor financeiro num evento sistêmico. A soma do SRISK do sistema financeiro como um todo representa a potencial escassez de capital na economia, a qual o governo pode ser pressionado a cobrir, ou recapitalizar, em um cenário de crise. Os resultados obtidos através de dados de instituições americanas corroboraram o estudo dos autores. Um ano e meio antes da quebra do banco de investimentos Lehman Brothers, oito das dez instituições com maiores índices SRISK mostraram-se problemáticas. O SRISK é altamente correlacionado às injeções de liquidez feitas pelo banco central no sistema financeiro. Além disso, o índice apresenta uma relação significativa com a produção industrial, a variação de uma unidade do SRISK agregado representa uma queda de 25 pontos percentuais sobre a produção industrial no mês seguinte.

3. Modelos

3.1CAPM

O Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (MPAF, ou CAPM, sigla em inglês) foi apresentado pelo economista William Sharpe e lhe rendeu o Prêmio de Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel em 1990. Ele mostra a relação entre risco e retorno esperado. Este modelo é usado no apereamento de securitizações através de um coeficiente que captura a volatilidade do ativo. A ideia é que ao quantificar o risco, o investidor obtém um parâmetro do quanto deve exigir de rentabilidade para aplicar no ativo. Investidores de ativos de risco possuem retornos superiores com a alta do mercado, como compensação por terem assumido um risco maior.

O modelo supõe que os investidores são racionais e utilizam toda a informação disponível para a tomada de decisão. O retorno esperado do mercado, a variância e a covariância dos retornos dos ativos são do conhecimento de todos. O risco da aplicação é dividido em dois, o primeiro atrelado aos riscos idiossincráticos dos ativos e o segundo representando o risco de mercado, comum a todos os ativos. O primeiro tipo pode ser combatido com a diversificação da carteira de investimentos, porém a diversificação não resolve o problema do risco sistêmico. O CAPM propõe uma medida para o risco sistêmico, o coeficiente beta.

O coeficiente beta representa o risco do sistema como um todo, ou risco não diversificável. Ele é calculado através da variação de um ativo em comparação com a variação do mercado, representado por uma carteira teórica, como o Índice Brasil 50 (IBRX-50), por exemplo. Quanto mais próximo de um é o beta, mais o ativo acompanha a variação do mercado estritamente. O valor do beta é diretamente proporcional à correlação do ativo com o mercado.

Fórmula:

$$r_a = r_f + \beta_a (r_m - r_f)$$

Onde:

r_f = prêmio livre de risco

β_a = coeficiente beta da securitização

r_m = retorno esperado do mercado

O prêmio livre de risco é a rentabilidade esperada de um investimento considerado sem risco, normalmente é utilizada a taxa de rentabilidade dos títulos públicos, no Brasil utiliza-se a taxa dos Certificados de Depósitos Interbancários (CDI). A diferença entre o prêmio livre de risco e o retorno esperado do mercado representa o prêmio de equidade do mercado dado em compensação ao risco do ativo. Este prêmio é multiplicado pelo coeficiente beta, visto que quanto maior o beta, maior a sensibilidade do ativo às variações do mercado.

William Sharpe conclui que o retorno esperado de um ativo deve ser igual à taxa livre de risco acrescido do prêmio de risco. Se o retorno esperado for menor do que esta soma, a aplicação não deve ser efetuada. A crítica ao modelo é que sua aplicação está limitada a empresas cotadas em bolsa de valores.

3.2. SRISK

O modelo proposto por Christian Brownlees e Robert Engle apresenta uma nova medida para o risco sistêmico. O SRISK é uma estimativa da quantidade de capital que uma instituição precisaria para funcionar normalmente em um período de crise, onde há escassez de capital. Assim como o coeficiente beta do CAPM, o índice SRISK busca quantificar o risco não diversificável dos ativos financeiros. Os autores apresentam também um índice para quantificar o risco sistêmico do sistema como um todo, o SRISK agregado.

A análise do SRISK fornece uma visão útil para o monitoramento do sistema financeiro, além de antecipar sinais de uma possível crise. Através do índice é possível montar rankings das instituições de maior risco em vários estágios da crise. O SRISK agregado também é útil para sinalizar cenários de estresse na economia. O cálculo do índice individual das firmas requer informações sobre equidade, débito e o MES de cada firma. O modelo também utiliza uma espécie de teste de estresse, contudo aqui ele é feito de forma rápida, com custo baixo e somente com informações disponíveis para o público, uma vantagem sobre o modelo CAPM. Para medir a escassez de capital, utilizam-se os balanços patrimoniais da empresa, assim como o preço de seus ativos no mercado financeiro, de modo a refletir a expectativa dos agentes econômicos. O MES, por outro lado, precisa ser estimado por meio de uma metodologia apropriada de séries temporais.

Modelo:

Considere um painel com instituições financeiras representadas por $i = (1; \dots; I)$ e observadas nos períodos $t = (1; \dots; T)$. Para cada firma, D_{it} e W_{it} representam, respectivamente, o valor do débito da firma e o valor de mercado de sua equidade. Assume-se que, sob uma gestão sensata, as firmas manterão uma fração k de seus ativos

em equidade. Podemos então definir o requerimentos de capital de uma instituição financeira i no período t como:

$$CB_{it} - W_{it} - k.(D_{it} + W_{it})$$

O requerimento de capital (CB) representa o capital empregado da firma: quando ele é positivo, a firma deve desempenhar normalmente; quando ele é negativo, a firma experimentará uma escassez de capital prejudicial às suas finanças e, se isto ocorrer em um cenário de estresse da economia, gerará externalidades negativas para todo o sistema. Sendo assim, estamos interessados em calcular a escassez de capital esperada em um cenário de estresse do mercado.

Esse cenário é definido como um evento sistêmico, uma queda acentuada do mercado para abaixo de um parâmetro C dado um horizonte de tempo h . Seja $R_{mt:t+h}$ o retorno esperado entre o período t e o período $t+h$. O evento sistêmico é definido por $\{R_{mt:t+h} < C\}$. A escassez de capital esperada é definida por:

$$\begin{aligned} CS_{it+h|t} &= - E_t.(CB_{it+h} | R_{mt+h:t} < C) \\ &= - k.E_t.(D_{it+h} | R_{mt+h:t} < C) + (1-k) E_t.(W_{it+k} | R_{mt+h:t} < C) \end{aligned}$$

Para computar essa expectativa, assume-se que em caso de um evento sistêmico, o débito não poderá ser renegociado, o que implica que:

$$E_t.(D_{it+h} | R_{mt+h:t} < C) = D_{it}$$

Com isso,

$$\begin{aligned} CS_{it+h|t} &= - k.D_{it} + (1-k) W_{it} . E_t.(R_{it+h:t} | R_{mt+h:t} < C) \\ &= - k.D_{it} + (1-k) W_{it} . MES_{it+h|t}(C) \end{aligned}$$

Onde $MES_{it+h|t}(C) = E_t.(R_{it+h:t} < C)$ é a expectativa caudal dos retornos sobre o patrimônio da firma durante um evento sistêmico.

Como medir o SRISK e MES:

Seja E_i o valor de mercado da equidade no período t e, D_t , o débito da firma i . Para ter condições de operar no período t , a instituição precisa fazer a manutenção de, pelo menos, uma porcentagem k de seus ativos.

$$E_{it} - k \cdot (D_i + E_{it}) > 0$$

As perdas de capital esperadas da instituição i no período t , em caso de queda do mercado abaixo do parâmetro C , dadas as informações disponíveis em $t-1$, são:

$$\begin{aligned} CS_{it-1} &= - (E_{t-1}) \cdot (E_{it} - k \cdot (D_i + E_{it}) \mid R_{mt} < C) \\ &= k \cdot D_i - (1-k) \cdot (E_{t-1}) \cdot (E_{it} \mid R_{mt} < C) \\ &= k \cdot D_i - (1-k) \cdot (E_{t-1}) \cdot [1 + E_{t-1} (R_{it} \mid R_{mt} < C)] \\ &= k \cdot D_i - (1-k) \cdot (E_{t-1}) \cdot [1 - MES_{it}] \end{aligned}$$

onde R_{it} e R_{mt} são respectivamente os retornos de equidade da firma e do mercado no período t .

MES representa a perda esperada de um investidor de equidade de uma instituição financeira em caso de declínio do mercado:

$$MES_{it} = - (E_{t-1}) \cdot (R_{it} \mid R_{mt} < C)$$

O índice SRISK de uma instituição i é:

$$SRISK_{it} = \max (0, CS_{it})$$

e de forma percentual:

$$SRISK\%_{it} = \frac{SRISK_{it}}{\sum_{i=1}^I SRISK_{it}}$$

O risco sistêmico da economia como um todo é então:

$$SRISK_t = \sum_{i=1}^I SRISK_{it}$$

O $SRISK_t$ agregado pode ser entendido como o montante total de capital que o governo teria de aportar para resgatar o sistema financeiro em caso de crise, já o $SRISK_{it}$ representa a porcentagem deste montante que seria necessária para resgatar a instituição i .

3.3. Testes de Comparações Múltiplas

Os testes de comparações múltiplas são necessários devido ao problema gerado na comparação simultânea de várias inferências estatísticas para determinar se há uma que produz resultados superiores ou, ainda, na inferência de um subconjunto de parâmetros comparáveis selecionados com base nos valores observados. Erros na inferência possuem uma chance maior de ocorrer quando se considera o conjunto como um todo, exemplos destes erros são intervalos de confiança que deixam de incluir seus parâmetros populacionais correspondentes ou testes de hipóteses que rejeitam a hipótese nula incorretamente.

O problema ocorre porque ao aumentar o número de hipóteses em um teste aumenta-se também a probabilidade de ocorrência de um evento raro, ou ainda, a chance de ocorrer um erro do Tipo 1 (rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira). Este erro pode ocorrer tanto em uma comparação particular quanto para uma família de comparações, o que chamamos de taxa de erro das famílias (FWER – Familywise error rate). A taxa de erro das famílias dos testes representa a probabilidade de, ao realizar um teste de hipóteses múltiplo, rejeitarmos incorretamente ao menos uma das hipóteses nulas que compõem uma família, isto é um conjunto de inferências para o qual é importante considerar alguma medida específica de erro global. Diversas técnicas foram desenvolvidas para prevenir este problema de comparações múltiplas, permitindo relacionar diretamente os níveis de significância de comparações múltiplas e individuais. Dentre as técnicas mais utilizadas estão às correções de Bonferroni e de Sidak, ambas possuem como finalidade a determinação de significância estatística, além de estimar p-valores ajustados e intervalos de confiança. Os dois métodos foram derivados sobre a hipótese de que cada comparação é independente das demais.

3.3.1. Correção de Bonferroni

O nome é uma homenagem ao matemático italiano Carlo Emilio Bonferroni. A correção de Bonferroni permite a comparação entre várias observações fixando um intervalo de confiança global. O método basicamente aplica uma correção ao nível de significância α , normalmente utiliza-se 5%, de forma a controlar a taxa de erro do Tipo I global quando realizamos vários testes de significância simultaneamente. A ideia é que se um experimento testa N hipóteses em uma base de dados, então para sustentar uma taxa de erro das famílias dos testes deve-se testar cada hipótese individualmente ao nível de significância de $1/N$ vezes o valor de testarmos apenas uma hipótese. Sendo assim, se o nível de significância desejado para a família for α , então a correção de Bonferroni testará cada hipótese com o nível de significância α/n . O controle sobre a taxa de erro das famílias reduz a probabilidade de obtermos sequer uma descoberta falsa, hipótese nula rejeitada incorretamente. É importante ressaltar que quanto maior o número de testes realizados, mais rígida é a correção de Bonferroni.

Modelo:

Considere uma família de testes de hipóteses (H_1, \dots, H_m) com m hipóteses e o conjunto de p-valores correspondentes (P_1, \dots, P_m). Seja I_0 o subconjunto de hipóteses nulas verdadeiras, a taxa de erro das famílias representa a chance de rejeitarmos, pelo menos, uma das hipóteses de I_0 . O método de Bonferroni propõe rejeitar $H_0 = (H_1, \dots, H_m)$ para todo p-valor menor do que α/m , de modo a controlar a taxa de erro das famílias menor do que α .

Fórmulas:

- Desigualdade de Bonferroni:

$$Pr \left\{ \bigcup_{I_0} \left(p_i \leq \frac{\alpha}{m} \right) \right\} \leq \alpha$$

- Taxa de erro das famílias:

$$FWER = Pr \left\{ \bigcup_{I_0} \left(p_i \leq \frac{\alpha}{m} \right) \right\} \leq \sum_{I_0} \left\{ Pr \left(p_i \leq \frac{\alpha}{m} \right) \right\} \leq m_0 \frac{\alpha}{m} \leq m \frac{\alpha}{m} = \alpha$$

Onde:

- P_i = p-valor de i .
- α = nível de significância.
- m = número de testes de hipóteses.
- I_0 = subconjunto de hipóteses nulas verdadeiras.

Há duas principais críticas ao modelo. A primeira é que em algumas situações, o teste de Bonferroni é bastante conservativo, na medida em que a taxa de erro da família de testes (FWER) é muito menor do que o nível de significância α estabelecido. Outra crítica é referente ao conceito de família de hipóteses. Não há um consenso de como definir estas famílias, o que impede uma padronização. Atualmente, esta definição é feita de modo subjetivo para cada teste, o que pode afetar os resultados de pesquisas distintas, as quais classificam as famílias de forma diferente.

3.3.2. Correção de Sidak

Desenvolvida pelo estatístico Zbyněk Šidák, a correção de Sidak é um método para controlar a taxa de erro das famílias. O método é efetivo quando os testes são independentes entre si, caso em que a correção é probabilisticamente exata, porém quando não há independência dos testes os resultados são comprometidos. A correção não é utilizada para ajustar os p-valores, ela é utilizada para ajustar o nível de significância do teste de hipóteses.

A aplicação é feita através de um teste de hipóteses para cada indivíduo n ao nível de significância α . Seja α_1 o nível de significância para cada teste, então a chance de pelo menos um dos testes ser significativo ao nível α é de um menos a probabilidade de que nenhum dos testes seja significativo. A probabilidade de todos os testes não serem significativos é o produto das probabilidades de que cada um não ser significativo ao nível α . A correção de Sidak é dada pela fórmula:

$$\alpha_1 = 1 - (1 - \alpha)^{1/n}$$

Onde:

n = número de testes de hipóteses.

α = nível de significância escolhido.

4. Aplicação do Modelo

A ideia é examinar as correlações entre os resíduos dos retornos dos ativos, os quais representam os erros de predição. Ao regredirmos os retornos dos ativos no retorno do Ibovespa, estamos eliminando o efeito de mercado sobre o retorno dos ativos, de forma que avaliaremos somente a relação entre eles, não correlacionada com o retorno do índice. Para isso, utilizamos os resíduos dessas regressões. A partir de então, buscaremos correlacionar os resíduos dos ativos para identificar possíveis setores do mercado. Ativos com forte correlação tendem a oscilar de forma semelhante.

Primeiramente, realizamos regressões e correlações para verificar a relação entre determinadas variáveis. Em seguida, utilizamos a correlação parcial para evitar o problema de correlações espúrias. Isto ocorre quando duas variáveis apresentam alta correlação entre si, porém esta relação se dá por outro motivo, por exemplo, uma terceira variável. Por exemplo, dois ativos apresentam forte correlação na matriz de correlações, porém ao controlarmos um terceiro ativo, através da correlação parcial, observamos uma alteração drástica no efeito do primeiro ativo sobre o segundo, indicando que o resultado era inverídico. Podemos ver isto nos exemplos abaixo, primeiro entre KROT3 e FIBR3 e depois entre HGTX3 e CSNA3. No primeiro caso, na matriz de correlações, observamos um coeficiente alto entre Kroton e Fibria, indicando uma forte correlação, porém ao utilizar a correlação parcial, controlando os demais ativos da matriz, a relação apresentada entre as variáveis é significativamente negativa. Analogamente, a relação entre CSN e Hering oscila para cada método testado. Primeiramente a correlação simples apresenta um resultado fraco e com sinal negativo, em seguida a correlação do par corrigida pelo método Bonferroni indica uma fortíssima correlação, com o coeficiente próximo a 1, porém ao testar para a correlação parcial a relação se mostra negativa mais uma vez, além de não apresentar significância ao nível de 5%.

```
. correlate ResCMIG4 ResFIBR3 ResKROT3 ResPETR3 ResUGPA3
(obs=31)
```

	ResCMIG4	ResFIBR3	ResKROT3	ResPETR3	ResUGPA3
ResCMIG4	1.0000				
ResFIBR3	-0.8458	1.0000			
ResKROT3	-0.8053	0.5855	1.0000		
ResPETR3	0.3081	-0.1559	-0.0418	1.0000	
ResUGPA3	0.5695	-0.5261	-0.7390	-0.3439	1.0000

```
. pwcorr ResCMIG4 ResFIBR3 ResKROT3 ResPETR3 ResUGPA3 , star (0.05) bonferroni
```

	ResCMIG4	ResFIBR3	ResKROT3	ResPETR3	ResUGPA3
ResCMIG4	1.0000				
ResFIBR3	0.0942	1.0000			
ResKROT3	-0.8053*	0.5855*	1.0000		
ResPETR3	-0.3498*	-0.0438	-0.0418	1.0000	
ResUGPA3	0.2090	-0.0412	-0.7390*	-0.2082	1.0000

```
. pcorr ResKROT3 ResCMIG4 ResFIBR3 ResPETR3 ResUGPA3
(obs=31)
```

Partial and semipartial correlations of ResKROT3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResCMIG4	-0.6714	-0.3931	0.4508	0.1545	0.0001
ResFIBR3	-0.4460	-0.2162	0.1989	0.0468	0.0174
ResPETR3	0.0637	0.0277	0.0041	0.0008	0.7474
ResUGPA3	-0.5032	-0.2527	0.2533	0.0639	0.0063

```
. correlate ResBRML3 ResCSNA3 ResHGTX3 ResMRVE3 ResQUAL3
(obs=40)
```

	ResBRML3	ResCSNA3	ResHGTX3	ResMRVE3	ResQUAL3
ResBRML3	1.0000				
ResCSNA3	-0.5234	1.0000			
ResHGTX3	0.4792	-0.2765	1.0000		
ResMRVE3	0.3303	0.4459	0.2827	1.0000	
ResQUAL3	-0.1013	0.4675	0.0396	0.4994	1.0000

```
. pwcorr ResBRML3 ResCSNA3 ResHGTX3 ResMRVE3 ResQUAL3 , star (0.05) bonferroni
```

	ResBRML3	ResCSNA3	ResHGTX3	ResMRVE3	ResQUAL3
ResBRML3	1.0000				
ResCSNA3	-0.3551*	1.0000			
ResHGTX3	0.3024*	0.9457*	1.0000		
ResMRVE3	0.6053*	0.2756	0.6396*	1.0000	
ResQUAL3	-0.1013	0.4675*	0.0396	0.4994*	1.0000

```
. pcorr ResHGTX3 ResBRML3 ResCSNA3 ResMRVE3 ResQUAL3
(obs=40)
```

Partial and semipartial correlations of ResHGTX3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResBRML3	0.1054	0.0893	0.0111	0.0080	0.5346
ResCSNA3	-0.2405	-0.2087	0.0578	0.0435	0.1516
ResMRVE3	0.2474	0.2151	0.0612	0.0463	0.1398
ResQUAL3	0.0444	0.0375	0.0020	0.0014	0.7939

O objetivo da aplicação do modelo é avaliar a relação entre os ativos mais líquidos da bolsa de valores brasileira. As regressões e correlações utilizadas permitem observar se as variáveis de estudo estão associadas, contudo isto não necessariamente corresponde a uma relação de causa e efeito. A correlação simplesmente mede a força da relação linear entre duas variáveis, sem considerar a influência de outras variáveis sobre esta relação, ou seja, nenhum fator é mantido constante.

O coeficiente de correlação varia entre -1 e 1, de modo a indicar a força e a direção do relacionamento entre as variáveis. Quanto mais distante de zero for o coeficiente, mais forte é a relação. Quando o coeficiente é igual a zero não há relação entre as variáveis e quando é maior do que 0.5 é considerado forte, seja a relação negativa ou positiva.

Para se obter uma noção mais exata da verdadeira relação entre duas variáveis é preciso eliminar a influência de outras variáveis sobre esta relação. A análise da correlação parcial busca descrever o relacionamento entre duas variáveis após excluir o efeito das demais variáveis, ou dos demais fatores independentes.

Fórmula:

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{1 - r_{13}^2} \sqrt{1 - r_{23}^2}}$$

Na fórmula acima, $r_{12.3}$ representa o coeficiente de correlação entre duas variáveis (X1 e X2), após controlar o efeito de uma terceira variável (X3).

Os ativos foram divididos em setores a partir dos resultados das aplicações. A análise setorial serve para contextualizar o ambiente econômico em que uma empresa atua, permitindo uma fácil comparação de qualquer empresa com o seu setor de atividade. Os setores servem para conduzir nossa análise das correlações de acordo com os riscos de investimentos de empresas fortemente correlacionadas, onde podemos observar um risco de contágio.

A base de dados é formada pelo índice IBOV e os cinquenta ativos mais líquidos do Ibovespa, divididos por preço ajustado para dividendos, volume e data. O retorno dos ativos é obtido através do cálculo:

$$\text{Retorno} = \text{Log} (Pt/Pt-1) = \text{Log} (Pt) - \text{Log} (Pt-1)$$

A base de dados foi então inserida no Stata e após a devida formatação iniciamos a aplicação do modelo. Utilizamos a correlação parcial e a correlação simples atreladas a um nível de significância de 5% e com um método de correção para resolvermos o problema das comparações múltiplas. Os métodos de correção escolhidos foram Bonferroni e Sidak.

- Telefonia:

```
. correlate ResTIMP3 ResVIVT4 ResOIBR4
(obs=109)
```

	ResTIMP3	ResVIVT4	ResOIBR4
ResTIMP3	1.0000		
ResVIVT4	-0.5959	1.0000	
ResOIBR4	0.6524	-0.1389	1.0000

```
. pcorr ResTIMP3 ResVIVT4 ResOIBR4
(obs=109)
```

Partial and semipartial correlations of ResTIMP3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResVIVT4	-0.6733	-0.5102	0.4533	0.2603	0.0000
ResOIBR4	0.7163	0.5752	0.5131	0.3309	0.0000

```
. pwcorr ResTIMP3 ResVIVT4 ResOIBR4, star(0.05) bonferroni
```

	ResTIMP3	ResVIVT4	ResOIBR4
ResTIMP3	1.0000		
ResVIVT4	-0.5959*	1.0000	
ResOIBR4	0.6524*	0.0136	1.0000

```
. pwcorr ResTIMP3 ResVIVT4 ResOIBR4, star(0.05) sidak
```

	ResTIMP3	ResVIVT4	ResOIBR4
ResTIMP3	1.0000		
ResVIVT4	-0.5959*	1.0000	
ResOIBR4	0.6524*	0.0136	1.0000

Primeiramente, podemos observar que os ativos, ao nível de significância de 5%, são extremamente significativos ao explicar a variável TIMP3 e apresentam índices de correlação elevados. A Tim e a Oi são positivamente correlacionadas, enquanto a Vivo é negativamente correlacionada a Tim. Possíveis explicações para este resultado são a estrutura do mercado, onde a Vivo preza mais pela qualidade do serviço enquanto Tim e Oi competem via preços. Além disto, a Vivo é considerada uma ação menos especulativa e boa pagadora de dividendos.

- Bancos:

```
. correlate ResBBAS3 ResBBDC3 ResBBDC4 ResITSA4 ResITUB4
(obs=81)
```

	ResBBAS3	ResBBDC3	ResBBDC4	ResITSA4	ResITUB4
ResBBAS3	1.0000				
ResBBDC3	0.5851	1.0000			
ResBBDC4	0.6010	0.4381	1.0000		
ResITSA4	0.7529	0.6028	0.5955	1.0000	
ResITUB4	0.4801	0.3446	0.3576	0.3675	1.0000

```
. pcorr ResBBAS3 ResBBDC3 ResBBDC4 ResITSA4 ResITUB4
(obs=81)
```

Partial and semipartial correlations of ResBBAS3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResBBDC3	0.1927	0.1160	0.0371	0.0135	0.0909
ResBBDC4	0.2311	0.1403	0.0534	0.0197	0.0418
ResITSA4	0.5031	0.3438	0.2531	0.1182	0.0000
ResITUB4	0.2731	0.1676	0.0746	0.0281	0.0156

```
. pwcorr ResBBAS3 ResBBDC3 ResBBDC4 ResITSA4 ResITUB4, star(0.05) bonferroni
```

	ResBBAS3	ResBBDC3	ResBBDC4	ResITSA4	ResITUB4
ResBBAS3	1.0000				
ResBBDC3	0.6465*	1.0000			
ResBBDC4	0.6010*	0.4381*	1.0000		
ResITSA4	0.7327*	0.9049*	0.5955*	1.0000	
ResITUB4	-0.0542	-0.1743	0.3576*	-0.1051	1.0000

```
. pwcorr ResBBAS3 ResBBDC3 ResBBDC4 ResITSA4 ResITUB4, star(0.05) sidak
```

	ResBBAS3	ResBBDC3	ResBBDC4	ResITSA4	ResITUB4
ResBBAS3	1.0000				
ResBBDC3	0.6465*	1.0000			
ResBBDC4	0.6010*	0.4381*	1.0000		
ResITSA4	0.7327*	0.9049*	0.5955*	1.0000	
ResITUB4	-0.0542	-0.1743	0.3576*	-0.1051	1.0000

Mais uma vez, os resultados são significativos. Mesmo a ação ON do Bradesco (BBDC3) é relativamente significativa, ao nível de significância de 10%. Com exceção da ITUB4, ação do Itaú-Unibanco, as demais são todas altamente correlacionadas de forma positiva com o Banco do Brasil. Em tempo, a holding controladora do Itaú apresenta forte correlação com as demais. O setor bancário é fortemente correlacionado e os ativos se comportam em bloco.

- Papel e celulose:

```
. correlate ResSUZB5 ResCSAN3 ResFIBR3
(obs=79)
```

	ResSUZB5	ResCSAN3	ResFIBR3
ResSUZB5	1.0000		
ResCSAN3	0.3241	1.0000	
ResFIBR3	0.6166	0.1792	1.0000

```
. pcorr ResSUZB5 ResCSAN3 ResFIBR3
(obs=79)
```

Partial and semipartial correlations of ResSUZB5 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResCSAN3	0.2758	0.2172	0.0761	0.0472	0.0145
ResFIBR3	0.6001	0.5677	0.3601	0.3222	0.0000

```
. pwcorr ResSUZB5 ResCSAN3 ResFIBR3, star(0.05) bonferroni
```

	ResSUZB5	ResCSAN3	ResFIBR3
ResSUZB5	1.0000		
ResCSAN3	0.2434*	1.0000	
ResFIBR3	0.3724*	0.1792	1.0000

```
. pwcorr ResSUZB5 ResCSAN3 ResFIBR3, star(0.05) sidak
```

	ResSUZB5	ResCSAN3	ResFIBR3
ResSUZB5	1.0000		
ResCSAN3	0.2434*	1.0000	
ResFIBR3	0.3724*	0.1792	1.0000

Suzano e Fibria são produtoras de celulose positivamente correlacionadas de forma significativa, ao nível de significância de 5%. A Cosan é produtora de açúcar e álcool, apresenta uma correlação mais fraca com as demais. Podemos observar que os resultados são significantes ao nível de 5%. Outro fator que pode explicar a correlação entre Suzano e Fibria é que ambas são exportadoras e possuem suas receitas atreladas ao dólar.

- Energia e saneamento:

(obs=107)

Partial and semipartial correlations of ResSBSP3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResCMIG4	0.8999	0.8176	0.8098	0.6685	0.0000
ResCSAN3	0.1842	0.0743	0.0339	0.0055	0.0587

. correlate ResSBSP3 ResCMIG4 ResCSAN3
(obs=107)

	ResSBSP3	ResCMIG4	ResCSAN3
ResSBSP3	1.0000		
ResCMIG4	0.9152	1.0000	
ResCSAN3	0.4178	0.3815	1.0000

. pwcorr ResSBSP3 ResCMIG4 ResCSAN3

	ResSBSP3	ResCMIG4	ResCSAN3
ResSBSP3	1.0000		
ResCMIG4	0.8838	1.0000	
ResCSAN3	0.4178	0.3815	1.0000

. pwcorr ResSBSP3 ResCMIG4 ResCSAN3, star(0.05) bonferroni

	ResSBSP3	ResCMIG4	ResCSAN3
ResSBSP3	1.0000		
ResCMIG4	0.8838*	1.0000	
ResCSAN3	0.4178*	0.3815*	1.0000

. pwcorr ResSBSP3 ResCMIG4 ResCSAN3, star(0.05) sidak

	ResSBSP3	ResCMIG4	ResCSAN3
ResSBSP3	1.0000		
ResCMIG4	0.8838*	1.0000	
ResCSAN3	0.4178*	0.3815*	1.0000

.

Agora com empresas com atividades mais próximas, a Cosan apresenta maior correlação. A Cemig representa o setor elétrico e a Sabesp o setor de saneamento. Chama a atenção a forte correlação entre Cemig e a Sabesp, cerca de 0.9.

- Construção civil:

```
. correlate ResMRVE3 ResGFSA3 ResPDGR3 ResCYRE3
(obs=87)
```

	ResMRVE3	ResGFSA3	ResPDGR3	ResCYRE3
ResMRVE3	1.0000			
ResGFSA3	0.2030	1.0000		
ResPDGR3	0.5679	0.0171	1.0000	
ResCYRE3	0.8327	0.0708	0.5923	1.0000

```
. pcorr ResMRVE3 ResGFSA3 ResPDGR3 ResCYRE3
(obs=87)
```

Partial and semipartial correlations of ResMRVE3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResGFSA3	0.2700	0.1474	0.0729	0.0217	0.0125
ResPDGR3	0.1817	0.0971	0.0330	0.0094	0.0960
ResCYRE3	0.7540	0.6032	0.5685	0.3639	0.0000

```
. pwcorr ResMRVE3 ResGFSA3 ResPDGR3 ResCYRE3, star(0.05) bonferroni
```

	ResMRVE3	ResGFSA3	ResPDGR3	ResCYRE3
ResMRVE3	1.0000			
ResGFSA3	0.2030	1.0000		
ResPDGR3	0.5679*	-0.0207	1.0000	
ResCYRE3	0.8327*	-0.3377*	0.5891*	1.0000

```
. pwcorr ResMRVE3 ResGFSA3 ResPDGR3 ResCYRE3, star(0.05) sidak
```

	ResMRVE3	ResGFSA3	ResPDGR3	ResCYRE3
ResMRVE3	1.0000			
ResGFSA3	0.2030	1.0000		
ResPDGR3	0.5679*	-0.0207	1.0000	
ResCYRE3	0.8327*	-0.3377*	0.5891*	1.0000

Ao nível de significância de 10%, a MRV é explicada pelos demais ativos de construção civil. MRV, Cyrela e PDG são positivamente correlacionadas e formam um setor da economia. A Gafisa, talvez por ser uma ação ligada à especulação financeira e com um alto grau de endividamento, se distancia das demais e não acompanha a tendência do setor. Pela estrutura do mercado, podemos relacionar MRV e Cyrela, as duas com correlação mais forte, ambas atuam principalmente no setor residencial.

- Mercado de títulos / Bolsa de valores:

```
. correlate ResCTIP3 ResBVMF3 ResBOVA11
(obs=41)
```

	ResCTIP3	ResBVMF3	ResBO~11
ResCTIP3	1.0000		
ResBVMF3	-0.4985	1.0000	
ResBOVA11	0.2995	0.3876	1.0000

```
. pcorr ResCTIP3 ResBVMF3 ResBOVA11
(obs=41)
```

Partial and semipartial correlations of ResCTIP3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResBVMF3	-0.6988	-0.6667	0.4883	0.4445	0.0000
ResBOVA11	0.6166	0.5345	0.3801	0.2857	0.0000

```
. pwcorr ResCTIP3 ResBVMF3 ResBOVA11, star(0.05) bonferroni
```

	ResCTIP3	ResBVMF3	ResBO~11
ResCTIP3	1.0000		
ResBVMF3	-0.4985*	1.0000	
ResBOVA11	-0.4546*	0.3876*	1.0000

```
. pwcorr ResCTIP3 ResBVMF3 ResBOVA11, star(0.05) sidak
```

	ResCTIP3	ResBVMF3	ResBO~11
ResCTIP3	1.0000		
ResBVMF3	-0.4985*	1.0000	
ResBOVA11	-0.4546*	0.3876*	1.0000

Aqui testamos a Cetip, empresa que faz a custódia e liquidação de títulos privados, com a própria BM&FBovespa e o BOVA11, principal ETF (Exchange Traded Funds, fundo do índice Ibovespa) da bolsa. Os resultados obtidos são extremamente significativos e observamos uma relação negativa entre os ativos. Talvez essa relação possa ser explicada em parte pela movimentação da taxa de juros, quanto maior a SELIC, maior a procura por títulos privados de renda fixa, o que impacta a demanda por renda variável, aqui representada pela Bolsa de valores. Contudo, não é possível afirmar, visto que o serviço de custódia e liquidação da Cetip também está ligado a BMF&Bovespa.

- Financeiros outros:

```
. correlate ResBBSE3 ResQUAL3 ResUGPA3 ResCTIP3
(obs=18)
```

	ResBBSE3	ResQUAL3	ResUGPA3	ResCTIP3
ResBBSE3	1.0000			
ResQUAL3	0.8855	1.0000		
ResUGPA3	-0.4936	-0.5069	1.0000	
ResCTIP3	0.8003	0.8204	-0.6873	1.0000

```
. pcorr ResBBSE3 ResQUAL3 ResUGPA3 ResCTIP3
(obs=18)
```

Partial and semipartial correlations of ResBBSE3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResQUAL3	0.6617	0.3934	0.4379	0.1548	0.0052
ResUGPA3	0.0515	0.0230	0.0026	0.0005	0.8498
ResCTIP3	0.2608	0.1204	0.0680	0.0145	0.3292

```
. pwcorr ResBBSE3 ResQUAL3 ResUGPA3 ResCTIP3, star(0.05) bonferroni
```

	ResBBSE3	ResQUAL3	ResUGPA3	ResCTIP3
ResBBSE3	1.0000			
ResQUAL3	0.8855*	1.0000		
ResUGPA3	-0.4936	-0.6241*	1.0000	
ResCTIP3	0.8003*	-0.2296	0.2501	1.0000

```
. pwcorr ResBBSE3 ResQUAL3 ResUGPA3 ResCTIP3, star(0.05) sidak
```

	ResBBSE3	ResQUAL3	ResUGPA3	ResCTIP3
ResBBSE3	1.0000			
ResQUAL3	0.8855*	1.0000		
ResUGPA3	-0.4936	-0.6241*	1.0000	
ResCTIP3	0.8003*	-0.2296	0.2501	1.0000

Entre os demais ativos do setor financeiro, observa-se uma relação negativa entre a holding UGPA3 e as seguradoras BBSE3 e QUAL3. Porém, ao testarmos para a correlação parcial observa-se que esta relação provavelmente era gerada por um terceiro ativo, visto o nível de significância apresentado pela UGPA3. As duas seguradoras, por sua vez, apresentam forte correlação, o que indica a formação de um setor, o setor de seguros.

Industrial:

```
. pcorr ResPOMO4 ResEMBR3 ResCSNA3
(obs=177)
```

Partial and semipartial correlations of ResPOMO4 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResEMBR3	0.6091	0.5390	0.3710	0.2905	0.0000
ResCSNA3	-0.3467	-0.2594	0.1202	0.0673	0.0000

```
. pwcorr ResPOMO4 ResEMBR3 ResCSNA3 , star (0.05) bonferroni
```

	ResPOMO4	ResEMBR3	ResCSNA3
ResPOMO4	1.0000		
ResEMBR3	0.6634*	1.0000	
ResCSNA3	-0.4657*	-0.3333*	1.0000

```
. pwcorr ResPOMO4 ResEMBR3 ResCSNA3 , star (0.05) sidak
```

	ResPOMO4	ResEMBR3	ResCSNA3
ResPOMO4	1.0000		
ResEMBR3	0.6634*	1.0000	
ResCSNA3	-0.4657*	-0.3333*	1.0000

```
. correlate ResPOMO4 ResEMBR3 ResCSNA3
(obs=177)
```

	ResPOMO4	ResEMBR3	ResCSNA3
ResPOMO4	1.0000		
ResEMBR3	0.6634	1.0000	
ResCSNA3	-0.4657	-0.3333	1.0000

.

Aqui testamos o setor industrial com Marcopolo e Embraer, fabricantes de ônibus e aviões respectivamente. É interessante notar que as duas são positivamente correlacionadas e negativamente correlacionadas a CSN do setor de siderurgia. De fato, há uma relação inversamente proporcional entre o preço do aço, ferro e minério com o custo de produção do setor industrial, o que pode explicar em parte este resultado.

- Siderurgia e metalurgia:

```
. correlate ResUSIM5 ResVALE3 ResVALE5 ResGGBR4 ResCSNA3
(obs=141)
```

	ResUSIM5	ResVALE3	ResVALE5	ResGGBR4	ResCSNA3
ResUSIM5	1.0000				
ResVALE3	0.7422	1.0000			
ResVALE5	0.3008	0.5955	1.0000		
ResGGBR4	-0.4785	-0.0496	0.1273	1.0000	
ResCSNA3	-0.1467	-0.0975	0.4251	-0.1453	1.0000

```
. pwcorr ResUSIM5 ResVALE3 ResVALE5 ResGGBR4 ResCSNA3, star (0.05) bonferroni
```

	ResUSIM5	ResVALE3	ResVALE5	ResGGBR4	ResCSNA3
ResUSIM5	1.0000				
ResVALE3	0.7322*	1.0000			
ResVALE5	0.3008*	0.5955*	1.0000		
ResGGBR4	-0.5286*	-0.4327*	0.1273	1.0000	
ResCSNA3	-0.3562*	-0.4738*	0.4251*	0.1494	1.0000

```
. pwcorr ResUSIM5 ResVALE3 ResVALE5 ResGGBR4 ResCSNA3, star (0.05) sidak
```

	ResUSIM5	ResVALE3	ResVALE5	ResGGBR4	ResCSNA3
ResUSIM5	1.0000				
ResVALE3	0.7322*	1.0000			
ResVALE5	0.3008*	0.5955*	1.0000		
ResGGBR4	-0.5286*	-0.4327*	0.1273	1.0000	
ResCSNA3	-0.3562*	-0.4738*	0.4251*	0.1494	1.0000

```
. pcorr ResUSIM5 ResVALE3 ResVALE5 ResGGBR4 ResCSNA3
(obs=141)
```

Partial and semipartial correlations of ResUSIM5 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResVALE3	0.6970	0.4692	0.4858	0.2202	0.0000
ResVALE5	0.0070	0.0034	0.0000	0.0000	0.9350
ResGGBR4	-0.6639	-0.4286	0.4407	0.1837	0.0000
ResCSNA3	-0.2231	-0.1105	0.0498	0.0122	0.0085

Aqui utilizamos a USIM5 como referência, pois foi o ativo que apresentou maior nível de significância com os demais ativos do setor. Vale ressaltar a relação negativa com a Gerdau e a CSN. A Usiminas esteve envolvida, mais de uma vez, em rumores de mudança do controle acionário devido a sua aquisição pela Ternium e pela Nippon Steel. Isto afetou o preço da ação ON, na medida em que havia expectativa de um tag along e o spread para a ação PN aumentou expressivamente. Talvez este fenômeno explique a diferença para os demais ativos do setor, porém não é possível afirmar ao certo. Ainda, o ativo é significativamente correlacionado com a VALE3. Era uma esperada uma correlação entre o setor de commodities caracterizado pelas receitas atreladas ao dólar, visto que são exportadoras, e a dependência do mercado chinês.

- Consumo:

```
. correlate ResPCAR4 ResBRML3 ResLREN3 ResHYPE3
(obs=68)
```

	ResPCAR4	ResBRML3	ResLREN3	ResHYPE3
ResPCAR4	1.0000			
ResBRML3	0.6923	1.0000		
ResLREN3	0.5670	0.8106	1.0000	
ResHYPE3	0.5266	0.4500	0.6924	1.0000

```
. pcorr ResPCAR4 ResBRML3 ResLREN3 ResHYPE3
(obs=68)
```

Partial and semipartial correlations of ResPCAR4 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResBRML3	0.5764	0.4626	0.3323	0.2140	0.0000
ResLREN3	-0.2657	-0.1808	0.0706	0.0327	0.0310
ResHYPE3	0.4171	0.3010	0.1740	0.0906	0.0005

```
. pwcorr ResPCAR4 ResBRML3 ResLREN3 ResHYPE3, star (0.05) bonferroni
```

	ResPCAR4	ResBRML3	ResLREN3	ResHYPE3
ResPCAR4	1.0000			
ResBRML3	0.7155*	1.0000		
ResLREN3	0.5181*	0.6188*	1.0000	
ResHYPE3	0.5266*	0.5856*	0.7393*	1.0000

```
. pwcorr ResPCAR4 ResBRML3 ResLREN3 ResHYPE3, star (0.05) sidak
```

	ResPCAR4	ResBRML3	ResLREN3	ResHYPE3
ResPCAR4	1.0000			
ResBRML3	0.7155*	1.0000		
ResLREN3	0.5181*	0.6188*	1.0000	
ResHYPE3	0.5266*	0.5856*	0.7393*	1.0000

```
. pcorr ResLREN3 ResBRML3 ResHYPE3 ResPCAR4
(obs=68)
```

Partial and semipartial correlations of ResLREN3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResBRML3	0.7633	0.5199	0.5826	0.2703	0.0000
ResHYPE3	0.6597	0.3863	0.4352	0.1492	0.0000
ResPCAR4	-0.2657	-0.1213	0.0706	0.0147	0.0310

Mais uma vez, resultados extremamente significativos. Aqui observamos a formação de um setor de consumo com forte correlação especialmente entre BR Malls e Lojas Renner.

```
. correlate ResCRUZ3 ResNATU3 ResHGTX3 ResHYPE3
(obs=78)
```

	ResCRUZ3	ResNATU3	ResHGTX3	ResHYPE3
ResCRUZ3	1.0000			
ResNATU3	0.6629	1.0000		
ResHGTX3	0.6172	0.6675	1.0000	
ResHYPE3	0.1614	0.6118	0.6685	1.0000

```
. pcorr ResHGTX3 ResCRUZ3 ResNATU3 ResHYPE3
(obs=78)
```

Partial and semipartial correlations of ResHGTX3 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResCRUZ3	0.6061	0.4049	0.3673	0.1640	0.0000
ResNATU3	-0.1245	-0.0667	0.0155	0.0044	0.2838
ResHYPE3	0.6597	0.4665	0.4352	0.2176	0.0000

```
. pwcorr ResHGTX3 ResCRUZ3 ResNATU3 ResHYPE3, star (0.05) bonferroni
```

	ResHGTX3	ResCRUZ3	ResNATU3	ResHYPE3
ResHGTX3	1.0000			
ResCRUZ3	-0.6111*	1.0000		
ResNATU3	0.6316*	0.2847*	1.0000	
ResHYPE3	0.6685*	0.1614	0.6118*	1.0000

```
. pwcorr ResCRUZ3 ResNATU3 ResHGTX3 ResHYPE3, star (0.05) sidak
```

	ResCRUZ3	ResNATU3	ResHGTX3	ResHYPE3
ResCRUZ3	1.0000			
ResNATU3	0.2847*	1.0000		
ResHGTX3	-0.6111*	0.6316*	1.0000	
ResHYPE3	0.1614	0.6118*	0.6685*	1.0000

A Hering é fortemente correlacionada com Hypermarchas, já com a Souza Cruz é negativamente correlacionada pelos métodos de Bonferroni e Sidak, porém este

resultado é positivo pela correlação parcial, o que indica que é uma relação espúria na primeira análise. A CRUZ3 representa o consumo não cíclico, enquanto as outras duas são cíclicas, isto pode explicar a relação observada. Por fim, a Natura apresentou resultados não significantes, se afastando das demais empresas do setor de consumo.

Vale e Bradespar:

```
. correlate ResBRAP4 ResVALE3 ResVALE5
(obs=141)
```

	ResBRAP4	ResVALE3	ResVALE5
ResBRAP4	1.0000		
ResVALE3	-0.0837	1.0000	
ResVALE5	0.5635	0.5955	1.0000

```
. pwcorr ResBRAP4 ResVALE3 ResVALE5, star (0.05) bonferroni
```

	ResBRAP4	ResVALE3	ResVALE5
ResBRAP4	1.0000		
ResVALE3	-0.3382*	1.0000	
ResVALE5	0.5635*	0.5955*	1.0000

```
. pcorr ResBRAP4 ResVALE3 ResVALE5
(obs=141)
```

Partial and semipartial correlations of ResBRAP4 with

Variable	Partial Corr.	Semipartial Corr.	Partial Corr.^2	Semipartial Corr.^2	Significance Value
ResVALE3	-0.6318	-0.5220	0.3992	0.2725	0.0000
ResVALE5	0.7662	0.7635	0.5871	0.5830	0.0000

Aqui testamos o quanto a Bradespar, que detém controle acionário da Vale, é explicada pela mesma. O resultado foi extremamente significativo, porém indica-se uma correlação negativa com a VALE3 e positiva com a VALE5, o que vai contra a expectativa inicial.

5. Conclusão

A aplicação do modelo ocorreu através das regressões e correlações entre os retornos dos ativos mais líquidos do Ibovespa combinada a um método de correção para o problema das comparações múltiplas. Os métodos de correção utilizados, Sidak e Bonferroni, apresentaram resultados idênticos corroborando os resultados do modelo. A partir da observação das matrizes de correlações foi possível segmentar os ativos em setores da economia.

A correlação entre os ativos apresentou resultados robustos quando estes ativos pertenciam a um mesmo setor, porém ao realizar a comparação entre setores distintos, o caso geral é de resultados não significantes e de relações espúrias, em alguns casos a análise apresentou ativos com correlação trocando de sinal entre a correlação parcial e a correlação simples combinada ao método de correção. Através das correlações entre ativos do mesmo setor podemos identificar o risco de contágio perante a falência de alguma empresa. Se esta instituição insolvente constituir uma instituição financeira sistemicamente importante (SIFI), então este risco de contágio passa a ser sistêmico, ameaçando a economia como um todo. Uma possível solução para reduzir esta exposição da economia a empresas SIFI é a identificação das empresas fortemente correlacionadas que apresentam SES elevada, medida pelo índice SRisk de Christian Brownlees e Robert Engle ou pelo coeficiente beta alavancado do modelo CAPM de William Sharpe. Após a identificação, o governo poderia multar as empresas com maior contribuição para o risco sistêmico, de forma a internalizar as consequências negativas para todo o sistema de sua falência. Outras possíveis soluções são segmentar as atividades dessas empresas, reduzir a exposição para empresas correlacionadas ou simplesmente mantê-las sob vigilância da CVM ou outro órgão de fiscalização.

Por fim, talvez no futuro através de uma matriz de correlações, possamos realizar uma estimação esparsa de forma a determinar quais ativos de setores distintos são

verdadeiramente correlacionados, porém com o modelo atual não é possível realizar esta inferência.

6. Referências Bibliográficas

- Rajan, R. G. 2009. “Too Systemic to Fail: Consequences, Causes and Potential Remedies.” Written statement to the Senate Banking Committee Hearings, May 6.

- Bernard Shull (2010). Too Big to Fail in Financial Crisis: Motives, Countermeasures, and Prospects.

- Acharya, V., , Pedersen, L., Philippe, T., and Richardson, M. (2010). Measuring systemic risk. Technical report, Department of Finance, NYU.

- Adrian, T. and Brunnermeier, M. K. (2009). CoVaR. Technical report, FRB of New York. Staff Report No. 348.

- Billio, M., Getmanksi, M., Lo, A., and Pellizzon, L. (2012). Econometric Measures of Connectedness and Systemic Risk in the Finance and Insurance Sectors. *Journal of financial economics*, 104, 535–559.

- Brownlees, C. T. (2011). On the relation between firm characteristics and volatility dynamics with an application to the 2007-2009 financial crisis. Technical report.

- Brunnermeier, M. K. and Oehmke, M. (2012). Bubbles, financial crises, and systemic risk. Technical report.

- Bernanke, B. (2009). “Financial Reform to Address Systemic Risk.” Speech at the Council on Foreign Relations, Washington, DC, March 10.

- Chen Zhou (2010). Are banks too big to fail? Measuring systemic importance of financial institutions.

- Brownlees, Christian T. and Engle, Robert F. (2012). Volatility, Correlation and Tails for Systemic Risk Measurement.

- Morettin, Pedro A. (2011). Econometria Financeira.

- Chen, John (2014). Multivariate Bonferroni-Type Inequalities: Theory and Applications.

- Sites:

- <http://www.portalaction.com.br/>
- <http://www.bmfbovespa.com.br/>
- <http://pt.khanacademy.org/>

7. Apêndice

Composição do Índice Brasil 50 (IBRX-50):

Código	Ação	Tipo	Qtde. Teórica	Part. (%)
ABEV3	AMBEV S/A	ON	4.414.004.336	7,996
BBAS3	BRASIL	ONNM	828.582.888	2,545
BBDC3	BRADESCO	ONEN1	553.301.929	2,272
BBDC4	BRADESCO	PNEN1	2.027.016.998	8,567
BBSE3	BBSEGURID ADE	ONNM	675.000.000	2,452
BRAP4	BRADESPAR	P	222.486.1	0,

		N N1	02	35
BRFS3	BRF SA	N NM	07 839.144.4	6, 135
BRML 3	BR MALLS PAR	N ED NM	034 459.540.4	0, 877
BRPR3	BR PROPERT	N NM	034 298.228.4	0, 344
BVMF 3	BMFBOVESP A	N NM	0702 1.836.666.	2, 04
CCRO3	CCR SA	N NM	056 861.282.7	1, 587
CIEL3	CIELO	N NM	006 665.068.4	3, 244
CMIG4	CEMIG	N N1	P52 758.933.4	1, 175

CRUZ3	SOUZA CRUZ	O N	378.068.6 10	0, 827
CSAN3	COSAN	O N NM	109.265.5 05	0, 391
CSNA3	SID NACIONAL	O N	702.056.6 15	0, 441
CTIP3	CETIP	O N NM	254.215.7 68	0, 953
CYRE3	CYRELA REALT	O N NM	255.451.1 27	0, 343
EMBR 3	EMBRAER	O N NM	732.914.8 25	1, 943
ESTC3	ESTACIO PART	O N NM	310.198.7 52	0, 918
FIBR3	FIBRIA	O N NM	222.308.0 01	0, 772
GFSA3	GAFISA	O N	397.929.7 11	0, 118

		NM		
GGBR4	GERDAU	P N N1	876.090.7 59	1, 017
HGTX3	CIA HERING	O N NM	127.537.4 47	0, 317
HYPE3	HYPERMAR CAS	O N NM	372.121.0 56	0, 723
ITSA4	ITAUSA	P N ED N1	3.115.466. 017	3, 521
ITUB4	ITAUUNIBA NCO	P N ED N1	2.680.430. 933	1 1,232
JBSS3	JBS	O N NM	1.653.729. 368	2, 197
KLBN1 1	KLABIN S/A	U NT N2	382.961.1 80	0, 611

	KROT3	KROTON	O N NM	1.615.551. 272	3, 121
4	LAME	LOJAS AMERIC	P N	428.103.7 59	0, 815
	LREN3	LOJAS RENNER	O N NM	125.475.7 97	1, 085
3	MRVE	MRV	O N NM	280.063.8 89	0, 265
	NATU3	NATURA	O N NM	168.827.3 52	0, 647
	OIBR4	OI	P N N1	3.222.096. 319	0, 453
	PCAR4	P.ACUCAR- CBD	P N N1	155.024.5 24	1, 864
	PDGR3	PDG REALT	O N NM	1.300.363. 699	0, 155
	PETR3	PETROBRAS	O	2.708.485.	3,

		N	740	57
PETR4	PETROBRAS	P N	4.037.414. 651	5, 694
QUAL3	QUALICORP	O N NM	215.986.7 95	0, 682
RENT3	LOCALIZA	O N NM	149.142.3 40	0, 585
RLOG3	COSAN LOG	O N NM	109.265.5 05	0, 037
SANB1 1	SANTANDE R BR	U NT	405.800.5 47	0, 661
SBSP3	SABESP	O N NM	339.985.6 11	0, 715
SUZB5	SUZANO PAPEL	P NA N1	459.260.9 52	0, 575
TIMP3	TIM PART S/A	O N NM	804.866.7 39	1, 053
UGPA3	ULTRAPAR	O	544.144.1	3,

		N NM	37	219
USIM5	USIMINAS	P NA N1	481.427.1 77	0, 275
VALE3	VALE	O N N1	1.262.807. 257	3, 156
VALE5	VALE	P NA N1	1.878.758. 554	4, 008
VIVT4	TELEF BRASIL	P NEJ	261.308.9 85	1, 457
Quantidade Teórica Total			47.964.16 4.119	1 00
Redutor			99.558.07 9,92	

Obs: Os ativos SANB11 e KLBN11 foram substituídos por BOVA11 e POMO4, devido à falta de informações dos dois primeiros.