

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro Sócio Econômico - CSE
Departamento de Economia e Relações Internacionais

LUIZ AUGUSTO NUNES DA COSTA

ECONOFÍSICA E A ECONOMIA

Florianópolis, 2016

Luiz Augusto Nunes da Costa

ECONOFÍSICA E A ECONOMIA

Monografia submetida ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Sérgio Barbosa da Silva

FLORIANÓPOLIS

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A banca examinadora resolveu atribuir a nota 6,5 ao aluno Luiz Augusto Nunes da Costa na Disciplina CNM 7101 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eraldo Sergio Barbosa da Silva
Orientador

Prof. Dr. Mauricio Simiano Nunes

Prof. Elder Mauricio Silva

Dedico este trabalho a todos que participaram e continuam participando desta caminhada e a todos que contribuíram para conclusão de minha formação acadêmica, em especial, ao professor Eraldo Sérgio Barbosa da Silva.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é demonstrar a importância da econofísica para a economia hoje em dia, desenvolver sobre o que é a econofísica, quais os campos abordados por ela e como é sua abordagem na economia. Principalmente, destacar o assunto no campo de estudo econômico, pois é onde sua abordagem ainda não foi colocada em prática como no campo da física por exemplo. Demonstrar a diferença na área matemática entre a economia matemática e a econofísica, a qual foi além dos cálculos que ainda são utilizados. Discutir sobre a abordagem macroeconômica atual, a qual foi demonstrada pela econofísica ser insuficiente. E por fim, colocar esse assunto para debate acadêmico, para posteriormente, ele ser inserido como matéria na economia.

Palavras-chave: Econofísica. Macroeconomia. Microeconomia. Interdisciplinar. Economia Matemática.

ABSTRACT

The objective of this work is to demonstrate the importance of econophysics to economics today, to develop about what is econophysics, what fields it covers and how it is approaching economics. Mainly, highlight the subject in the field of economic study, because that is where his approach has not yet been put into practice as in the field of physics for example. Demonstrate the difference in the mathematical area between mathematical economics and econophysics, which went beyond the calculations that are still used. Discuss the current macroeconomic approach, which has been demonstrated by insufficient econophysics. And finally, to put this subject for academic debate, and later, to be inserted as matter in the economy

Keywords: Econophysics. Macroeconomics. Microeconomics. Interdisciplinary. Mathematical Economics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Tema e problema da pesquisa	6
1.2	OBJETIVOS	6
1.2.1	Objetivo Geral	7
1.2.2	Objetivos Específicos	7
1.1.3	Justificativa	7
2	METODOLOGIA	9
2.1	Introdução	9
2.2	Metodologia Adotada	9
2.3	Estrutura do Trabalho	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Introdução	10
3.2	As razões para o surgimento da Econofísica.....	10
3.2.1	Como surgiu a Econofísica	10
3.2.2	A contribuição matemática.....	10
3.2.3	Econofísica e a tecnologia.....	11
3.2.4	Uma resposta às limitações da Economia Financeira	12
3.2.5	Os fundamentos da macroeconomia	13
4	A RELEVÂNCIA DA ECONOFÍSICA PARA A MACROECONOMIA E A ECONOMIA MATEMÁTICA	16
4.1	O crescimento e a consolidação da Econofísica	16
4.2	As limitações da Economia financeira - Gaussianas e Lévy	18
4.3	Os fundamentos da macroeconomia	21
5	OS FEITOS DA ECONOFÍSICA NA ATUALIDADE E SEUS ESTUDOS ATUAIS	27
5.1	Os feitos da econofísica na atualidade	27
5.2	O estudo da Econofísica hoje.....	28
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
7	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema e problema da pesquisa

Nesse trabalho será analisado o estudo de econofísica, primeiramente será introduzido o assunto, destacando sua aplicabilidade e seu surgimento, e qual campo é englobado no estudo de econofísica, principalmente dentro da economia.

A econofísica surge como uma resposta a aplicação prática da economia, ligada ao campo da macroeconomia. Os críticos a forma de como estudamos a macroeconomia (JOVANOVIĆ; SCHINCKUS, 2013) e (MANTEGNA; STANLEY, 2000) enfatizam que a econofísica pode complementar esse campo, principalmente a parte da matemática financeira. A principal diferença é que ela não parte de pressuposto, de paradigmas, ou de teorias, cada qual com suas limitações (SILVA, 2009), se propõe a utilizar os dados reais da economia e com eles fazer cálculos e previsões, utilizando os métodos da física, os quais como serão demonstrados já são utilizados a tempo na economia.

Assim, a econofísica, pretende contribuir a economia, como ela já contribuiu com seu arcabouço de anos, para a biologia, química. Fazendo talvez uma separação da macroeconomia e da microeconomia (SILVA, 2009), colocando que a individualidade dos seres, suas micro decisões, não são o que define a macro decisão, mas sim suas relações, suas relações em conjunto definem o macro, podemos comparar isso com uma molécula da biologia, pequenas interações geram uma mudança na macro. Mas o caminho utilizado hoje pela macroeconomia de partir da microeconomia, das relações individualizadas, para estudar o todo, pode não ser o caminho correto, pois assim não leva em consideração as relações entre eles, sua interação com o sistema econômico depende de características de macro relações e são independentes as micro relações (SCHINCKUS, 2011).

Portanto, um estudo a partir da econofísica, pode desprender a microeconomia da macroeconomia, e assim retirar as limitações que a micro impõe a macro, tais como serão relatadas a frente. A econofísica pode ser uma resposta a macroeconomia, como a economia comportamental foi a microeconomia, a econofísica não dá um caráter especial ao equilíbrio como é feito na macroeconomia hoje, ela coloca todos estágios como temporais, tanto de equilíbrio como de desequilíbrio. Assim como a economia comportamental questionou a

racionalidade da microeconomia, a econofísica pode ser a resposta onde a macroeconomia ainda não consegue explicar.

Assim serão analisadas quais contribuições à física já realizou a economia, o que está ocorrendo no momento atual e o que podemos esperar desse campo no futuro.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desse trabalho é mostrar a relevância do estudo de econofísica, a qual hoje é principalmente estudada por físicos e não por economistas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são essencialmente cinco:

- Introduzir sobre a econofísica.
- A relação e contribuição do passado entre física e economia.
- O que a econofísica pode mudar na forma como estudamos a macroeconomia hoje.
- A contribuição da econofísica no mercado de ativos.
- Demonstrar a importância dessa matéria, relativamente nova, ser incluída nos cursos de economia.

1.1.3 Justificativa

O que torna esse trabalho relevante para seu meio acadêmico é, principalmente, a importância de aumentarmos a exploração desse tema. Econofísica é considerada uma das matérias do futuro da economia. Em toda minha graduação, não foi citado o assunto em nenhuma disciplina, sendo que essa é a forma de estudo indicada para a análise do mercado de ativos hoje.

Apresentar as diferenças da economia financeira e da econofísica, debater sobre suas diferenças. Debater as implicações de com a análise microeconômica, chegarmos a análise

macroeconômica, refletir se estamos no caminho correto, se não, discutir qual é seu caminho alternativo.

Sua forma de aplicação no mercado financeiro é tida como muito diferente, e mais precisa que a atual (SCHINCKUS, 2011), as ferramentas utilizadas pelos econofísicos são mais complexas que as utilizadas hoje na economia financeira, mas para os econofísicos, falta a explicação, falta a teoria econômica, falta a explicação de seus resultados. Assim a intenção não é um sobrepor o outro, mas sim, serem complementares.

Saindo do campo de finanças e entrando no campo da macroeconomia, a importância da econofísica, seria o desligamento entre a microeconomia e a macroeconomia, assim retirando os pressupostos da microeconomia, e retirando as limitações que eles impõe a macroeconomia, como será melhor debatido a frente.

A econofísica não se propõe a apenas modificar a forma como os economistas fazem seus cálculos, mas também em revisar suas teorias, pois as novas conclusões que podemos chegar com sua aplicabilidade (utilizam os dados, fazendo cálculos, sem a preocupação de corresponder à teoria, mas sim em chegar o mais próximo possível da realidade), terá que ter um embasamento teórico, o qual só economistas podem contribuir.

2 METODOLOGIA

2.1 Introdução

Foi utilizado o método de pesquisa teórico, pois o objetivo é estruturar e debater modelos teóricos, com o tipo de pesquisa exploratória, pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

O trabalho consiste basicamente em pesquisa bibliográfica acerca do tema, assim como construir a história da econofísica, colocar as hipóteses utilizadas hoje e o que está sendo colocado como relevante e possíveis mudanças debatidas por estudiosos do tema.

2.2 Metodologia Adotada

As informações acerca desse trabalho foram coletadas de livros sobre o tema, os quais hoje ainda têm um conteúdo limitado e na sua maioria serão utilizados artigos, onde neles são colocadas as diferenças dos estudos atuais e o que está sendo proposto.

Será analisada a teoria, como é estudada hoje e qual é a colocação atual, ou seja, qual a interpretação da aplicabilidade dessa teoria no campo da econofísica. Assim como, também serão colocadas as teorias atuais e quais as sugestões de mudança, lembrando que a matéria em questão parte diretamente da prática, e não como é feito hoje, no qual temos um arcabouço teórico e com ele tentamos estudar o futuro relacionando com o passado e presente. Na econofísica é feita a coleta de dados, a aplicação desses dados e com isso suas previsões, sem consideração do arcabouço teórico, assim, com essas conclusões, é necessário analisar quais seriam as possíveis, e necessárias mudanças em nossas teorias.

2.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em quatro partes. A primeira parte, como sendo introdutória, na qual temos a introdução, justificativa e metodologia. A segunda parte consiste no referencial teórico e estudo dos trabalhos utilizados como base para esse projeto, bem como a aplicabilidade e teorias que cercam a econofísica. Na terceira parte temos a aplicação do projeto em si, ou seja, a aplicação e debate do tema, suas divergências com o que é utilizado hoje, e o que podemos esperar no futuro. E por fim, na quarta parte teremos as considerações finais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Introdução

Serão apresentados neste capítulo os conceitos que constituem o corpo desse trabalho e os estudos que dão base para sua elaboração. Assim, serão abordados os conceitos que dão base a econofísica. Bem como, faremos uma análise dos artigos de referência que dão origem a esse trabalho, para com eles ficar mais clara algumas colocações que utilizaremos posteriormente.

3.2 As razões para o surgimento da Econofísica

3.2.1 Como surgiu a Econofísica

Segundo Jovanovic e Schinckus (2013) há três razões para o surgimento da econofísica. Em primeiro lugar, a economia financeira está ligada a teoria da probabilidade moderna, a qual no campo da economia financeira encontrou limitações e foi reformulada pelos físicos. O segundo ponto é que os econofísicos fazem seus cálculos e procuram os resultados por fenômenos reais, sem preocupação com a teoria econômica. O terceiro ponto é a contribuição da física com relação à teoria financeira moderna, simplesmente por estes terem ignorado restrições impostas pelos economistas nesta área.

Temos também o ponto a ressaltar levantado por Silva (2009), no qual a econofísica pode nos apresentar respostas para um fundamento da macroeconomia sem relação com a microeconomia, onde ela estuda os mercados inter-relacionados, mudando o estudo de hoje, no qual a macroeconomia é a microeconomia ampliada, e levando assim suas limitações, pois como ele mesmo ressalta, na biologia, química e na própria física, no estudo do macro as microrrelações são inerentes ao resultado.

3.2.2 A contribuição matemática

A econofísica usa uma matemática diferente da economia financeira, a econofísica usa o processo de Lévy estáveis, o qual contrapõe a economia financeira, pois esta utiliza basicamente a distribuição Gaussiana. A distribuição gaussiana é conhecida como distribuição normal, a econofísica a rejeita, rejeita a ideia da utilização de só uma distribuição, como coloca Jovanovic e Schinckus (2013), essa rejeição de uma só distribuição é o que caracteriza o surgimento da econofísica.

Os físicos conseguiram resolver o problema do infinito na variância de processos de Lévy, fazendo a truncagem dos processos de Lévy, assim dando uma resposta estatística ao problema da variância indeterminada. Graças a isso, agora é possível aplicar essa operação para calcular o futuro de mercados financeiros, utilizando o processo de Lévy estáveis.

Segundo Jovanovic e Schinckus (2013) esse processo da econofísica é uma continuação do estudo físico sobre termodinâmica e a utilização dos processos de Levy, com esse resultado encontrado eles conseguiram no campo da física, modelar o fenômeno da turbulência e depois os físicos utilizaram sua aplicabilidade na economia.

A princípio, os físicos não queriam utilizar os processos de Lévy na termodinâmica, pois com a questão da variância infinita, do ponto de vista teórico, não seria possível essa utilização.

Ainda segundo Jovanovic e Schinckus (2013), esta dificuldade matemática foi resolvida com a introdução da truncagem da distribuição de Lévy, assim rejeitando a ideia de variância infinita. A partir disso, diversas pesquisas estudam as funções do trancamento dos processos de Lévy, assim, hoje é possível utilizar diversas formas dessa truncagem, dependendo da área a ser estudada.

3.2.3 Econofísica e a tecnologia

Como já ressaltado, a econofísica enfatiza os dados reais e não a teoria, portanto, com o avanço da tecnologia e a quantidade de dados disponíveis hoje, esse contexto contribui muito com os cálculos estatísticos. Podemos consultar os dados em tempo real e ter todas suas variações, podendo assim fazer um estudo sobre como evoluem.

Segundo Jovanovic e Schinckus (2013), sem a evolução da tecnologia e em especial as ciências da computação, não surgiria a econofísica. Colocam que a tecnologia tem uma dupla contribuição para o surgimento da econofísica, a informatização do mercado financeiro, com sua ampla base de dados e armazenamento dessas informações e a liquidez que a tecnologia dá a esse mercado, ou seja, a quantidade de transações que a tecnologia possibilita pela sua agilidade, assim como, aumenta os movimentos extremos, os quais a econofísica com os processos de Lévy, se arrisca a responder.

A econofísica e a matemática financeira se utilizam de dados do passado para refletir o futuro, com essa grande quantidade de dados, de todas as naturezas, de horas, dias, meses,

anos, e com a evolução dos processos de Lévy, como já demonstrado anteriormente, e com essa grande quantidade de amostras, tornou possível o surgimento e crescimento da econofísica nessa área, na qual seja, talvez, seu futuro mais promissor na área de economia.

Mantagne e Stanley (2000), também ressaltam a importância da computação no armazenamento dos dados financeiros, colocam que todas as transações financeiras do mundo são registradas, com base diária, com amostragem de um minuto ou menos e de transação a transação.

Com a liquidez do mercado financeiro, com sua volatilidade, assim aumentam as especulações e variações, com isso, o estudo do mercado financeiro pede novas ferramentas, as quais a econofísica se coloca a resolver. Utilizando a estatística física, os processos de Lévy, a econofísica com suas ferramentas, tem um campo favorável para seu crescimento e para responder a esses fenômenos extremos.

3.2.4 Uma resposta às limitações da Economia Financeira

Um terceiro ponto, colocado por Jovanovic e Schinckus (2013), é a desconsideração da econofísica com as limitações da economia financeira, mais precisamente das teorias econômicas. Principalmente pelo ponto que já ressaltamos, dos processos estáveis de Lévy. Essa relação da econofísica com a teoria financeira moderna é relevante, pois para os economistas financeiros, sua utilização entra em conflito com a estrutura da disciplina, conforme os trabalhos de Harrison, Kreps e Pliska (JOVANOVIC; SCHINKUS, 2013).

Os econofísicos não consideram essas restrições, como já colocado, eles estão atrás da realidade, do cálculo puro e não de teorias. Jovanovic e Schinckus (2013, p. 34) cedem um exemplo:

Por exemplo, estudos de Econofísica de precificação de opções ignoram o fato de que um dos pontos fortes do modelo de Black e Scholes é que este preço é efetuado com base em uma carteira replicante. A utilização de procesos de Lévy puros coloca sérios problemas para a obtenção de uma carteira replicante. Em nossa opinião, esta dificuldade explica por que econofísicos se posicionaram em nichos teóricos que matemáticos e economistas raramente tem investigado, ou não tem investigado principalmente, pelas restrições do quadro teórico.

Esses autores, também ressaltam questões importantes, como a não arbitragem e o padrão de equilíbrio, como segue:

Por exemplo, há uma diferença fundamental em ponto de vista sobre o equilíbrio do mercado financeiro. Enquanto a teoria financeira moderna fornece uma condição menos restritiva (condição de não arbitragem) do que o equilíbrio econômico tradicional, a econofísica desenvolve um quadro técnico sem levar em conta os pressupostos teóricos relacionados com o equilíbrio econômico ou a condição de não arbitragem. Na verdade essas posições não desempenham um papel fundamental na econofísica, eles aparecem com a crença que a *priori* fornece uma abordagem padronizada e uma linguagem padronizada em que explica cada conclusão (Farmer e Geanakoplos 2009, 17). Mais especificamente, econofísicos não rejeitam o conceito de equilíbrio, mas consideram que não há uma convergência para tal estado. Do mesmo modo, não rejeitam a condição de não arbitragem, eles são indiferentes a esta restrição. (JOVANOVIC; SCHINCKUS, 2013, p. 35).

Sobre o equilíbrio ainda temos, Shinckus (2011, p. 8):

Embora este conceito de equilíbrio tenha sido trazido à economia e finanças da própria física, econofísica é derivada principalmente de mecanismos estatísticos nos quais a noção de equilíbrio não desempenha um papel fundamental. É claro que a noção de equilíbrio existe e é frequentemente utilizada por econofísicos, mas não necessariamente para uma finalidade apriorística, como é para os economistas financeiros. Em econofísica, este conceito é considerado mais como um estado potencial do sistema. Além disso, muitas vezes econofísica lida com a modelagem da dinâmica estocástica de não equilíbrio. Para econofísicos, “não há nenhuma evidência empírica para um equilíbrio” ser um estado final do sistema (McCauley 2004, p. 6). Equilíbrio parece uma crença que a *priori* fornece uma “abordagem padronizada e uma linguagem padronizada em para explicar cada conclusão” (Farmer e Geanakoplos 2009, p.17).

Portanto, podemos concluir que a teoria da economia financeira coloca obstáculos aos novos cenários de avaliação, assim, a econofísica se coloca como uma matéria para resolver isso. Retirando o equilíbrio como um padrão, sendo ele, apenas mais um estágio do sistema, a econofísica aproxima a economia das matérias de química, biologia e da própria física, assim estudando as interações sem limitações, para assim progredir. Assim, chegamos ao ponto da crítica a racionalidade dos agentes, também ao ponto que precisamos de teorias que venham das observações macroeconômicas e não derivadas da microeconomia, ou seja, das micro relações entre os agentes, assim chegamos ao quarto ponto da importância da econofísica, destacado por Silva (2009).

3.2.5 Os fundamentos da macroeconomia

Nesse ponto temos as críticas de Silva (2009), da utilização por parte da macroeconomia, as fundações da microeconomia. Ele coloca que os microcomportamentos são irrelevantes quando levamos isso a um campo macro. Como já dito acima, na biologia, física, química, o estudo do macro é feito de forma diferente do micro, o importante nesse caso não são as respostas micro, mas suas relações, suas inter-relações. Como Silva (2009, p. 7) coloca:

Na economia, há conceitos que não podem fazer sentido, ao mesmo tempo em ambas micro e macroeconomia. Assim, a miragem de uma economia unificada, sem a divisão entre micro e macro é ilusória. Um exemplo notável é o dinheiro. O dinheiro não tem importância a todos em uma escolha individual, mas é quase tudo na macroeconomia. Um resultado da teoria da escolha axiomática é que as funções de demanda são homogêneas e de grau nulo nos preços e rendimentos. Apenas preços relativos e de renda real afetam o comportamento da maximização de utilidade.

Em contraste, a macroeconomia é sobre o papel em causar ciclos temporários de negócio. Isto ocorre porque as compras e vendas podem ser separadas no tempo quando dinheiro serve como reserva de valor. O dinheiro causa saídas temporárias da clássica lei de Say através de crédito (dinheiro adiantado para produção futura) ou dinheiro acumulado; estas são as causas dos finais de booms e recessões. Macroeconomia é tudo que vai acontecer quando a lei de Say não se sustenta “na marcha insuficiente”. Uma das razões pelo que o dinheiro nunca será bem justificado pela microeconomia é que o próprio conceito só faz sentido em relação à economia como um todo. O dinheiro é uma construção social; é a construção conjunta de toda a sociedade. Assim, é externa para qualquer indivíduo em particular, e a vontade de um indivíduo não importa. Nesse sentido, o dinheiro afeta os indivíduos da mesma forma que qualquer fenômeno natural faz.

Portanto, temos que os fundamentos microeconômicos são insuficientes para a macroeconomia, não podemos tornar a macroeconomia uma microeconomia ampliada. Devemos gerar os fundamentos da macroeconomia, assim conseguindo realizar produções eficazes nesse campo. A econofísica entra nessa área pelo relacionamento da macroeconomia com a física estatística, conforme Silva (2009, p. 8):

Assim o comportamento macro foi nos tempos clássicos, e deve continuar a ser, com base em “Átomos sociais” (Buchanan, 2007) com nenhuma escolha livre. O progresso teórico da macroeconomia pode ser impulsionado por aprender a antecipar padrões que emergem naturalmente quando muitos átomos sociais interagem.

Macroeconomia é sobre o comportamento de um grande número de micro-unidades, e como tal, uma abordagem de estatística física para a macro no sistema como um todo, é o mais adequado. Na macroeconomia, é necessário pensar na forma de padrões complexos, não as pessoas. Ao aprender a gerir padrões, pode ser mais eficaz ao gerir as políticas macro. A ciência já existente que melhor aborda as complexidades do sistema da macroeconomia é a estatística física.

(...)

Em ciências naturais, como a física, biologia, química, e da ecologia, uma abordagem de forma diferente é muitas vezes considerada necessária quando se concentra em sistemas macro, feitos de um grande número de micro unidades. Em tal caso, o comportamento individual de uma microunidade é considerado irrelevante. Para analisar o sistema macro como um todo, a abordagem estatística é a mais empregada. Esta atitude pode também ser adotada pelos economistas. Um argumento comum para se opor a essa ideia é que a realização de análises empíricas de dados econômicos não é equivalente a investigação experimental em física, porque na economia não é possível realizar experimentos em grande escalas, que poderiam falsificar uma teoria. No entanto, este argumento também está presente em áreas bem desenvolvidas da física, como a astrofísica, Física Atmosférica e Geofísica (Mantegna e Stanley, 2000). Economistas poderiam fazer progressos, criando suas próprias experiências utilizando metodologias destas áreas. Na verdade, isso já está sendo feito pelos físicos econômicos (Mantegna e Stanley, 2000), mas a agenda de “econofísica” manteve-se quase despercebida pelos economistas.

A econofísica cumpre o papel de estudar os mercados inter-relacionados, fazendo assim as afirmações com base na relação entre as microunidades, e não nas escolhas individuais. A econofísica pode ser o caminho para a macroeconomia definir suas próprias teorias e fundamentos, como já era feito nos tempos clássicos, como ressaltou Silva (2009).

Ela surge da necessidade de respostas, respostas estas que não estavam conseguindo ser respondidas pelos seus campos atuais. Suas pretensões são uma melhor análise dos mercados financeiros e quem sabe em um futuro, novas teorias para a macroeconomia.

4 A RELEVÂNCIA DA ECONOFÍSICA PARA A MACROECONOMIA E A ECONOMIA MATEMÁTICA

4.1 O crescimento e a consolidação da Econofísica

Schinckus e Jovanovic (2013) colocam a econofísica como o novo jogador da economia matemática, esta que é dividida segundo eles em duas partes, a economia financeira e a matemática financeira. As duas disciplinas desenvolveram suas teorias e modelos, com suas análises e ferramentas para o mercado financeiro, mas a principal questão, é que as duas ficam limitadas por suas próprias teorias para introduzir novos modelos e novas hipóteses, muito trabalhos acabam aparecendo fora dessas disciplinas e assim entra a econofísica na economia matemática.

Mas a econofísica não foi aceita muito bem pelos economistas, e até hoje ela é mais estudada pelos físicos, normalmente vinculada à matéria de física estatística, conforme segue Shinckus e Jovanovic (2013, p. 7):

Para ganhar reconhecimento para seu campo de pesquisa, econofísicos adotaram várias estratégias para difundir seu conhecimento. Simpósios foram organizados, várias revistas especializadas criadas e cursos específicos, instituídos pelos departamentos de física, a fim de promover o reconhecimento científico e institucionalização desta nova abordagem. Todas essas estratégias têm desempenhado um papel não só na divulgação econofísica, mas também na criação de uma cultura científica compartilhada (Nadeu 1995).

(...)

A atividade editorial emergente na econofísica tem seguido uma linha relativamente clara: econofísicos preferiram publicar e ganhar aceitação em periódicos dedicados a um campo teórico pré-existente na física (física estatística) em vez do que criar novas revistas fora de um espaço científico pré-existente e estruturado. Além disso, estas revistas estão entre as de maior prestígio na física, estes editoriais mostram a orientação dos resultados da metodologia utilizada pelos econofísicos (decorrente da física estatística), mas também de esperança a essa nova comunidade, e por um lado, para ganhar rapidamente o reconhecimento da comunidade científica existente, e assim, atingir um público maior.

Eles colocam ainda que a econofísica cresceu muito rápido se comparada com outras matérias, uma década e já apareceram livros a mostrando como uma matéria unificada e

coerente, Schinckus (2009) ressalta que as finanças comportamentais, por exemplo, demoraram mais de duas décadas entre a publicação dos artigos e seus livros, sendo que em econofísica as publicações iniciaram em 1990 e seu primeiro livro foi de Mantegna e Stanley, publicado em 1999.

Mas apesar do crescimento da econofísica, ainda é um campo com uma maior consideração na física, do que na economia, como Schinckus e Jovanovic (2013, p. 11) ressaltam:

O último elemento importante na institucionalização da econofísica é sua educação nas universidades. Hoje, os departamentos de física da universidade de Fribourg (Suíça), Ulm (Suécia), Munster (Alemanha) e Dublin (Irlanda) ofertam cursos em econofísica. Desde 2002, as universidades de Varsóvia e Wroclan (tanto na Polônia) têm vindo a oferecer um grau de bacharel e de mestre em econofísica respectivamente (Kutner et al.2008). Finalmente a universidade de Houston (Texas, EUA) criou o primeiro programa de doutorado em econofísica em 2006, seguido em 2009 pela universidade de Melbourne (Austrália). Todos esses programas são oferecidos por departamentos de física e os cursos são essencialmente orientados para física estatística e física da matéria-condensada. A fim de familiarizar os alunos com a realidade econômica suposta a descrever, esses programas fornecem alguns cursos sobre a realidade financeira e macroeconômica, mas não são com base nos fundamentos teóricos de finanças e macroeconomia.

Podemos ver então que a econofísica já é um campo consolidado e com suas bases, como havia sido ressaltado antes, esse campo não está preocupado com as teorias econômicas, apenas faz a análise dos dados com a física estatística, talvez esse seja o motivo do resguardo por parte dos economistas a se engajarem de vez nesse campo. Como colocado por Silva (2009, p. 10):

Economia recebeu historicamente entradas conceituas da física. Conceitos centrais da economia, como o de equilíbrio se originam da física. A mais recente onda de influência da estatística física, no entanto, vem do desequilíbrio, do não equilíbrio. É a física de “emergência” e a “criticalidade auto-organizada”. Não é inesperado que a maioria, mas não todos (Krugman 1996), dos economistas reagem com ceticismo. Os céticos podem esperar os frutos práticos de um campo econofísico, somente com os físicos, mas alguns podem ter a iniciativa de se juntar agora.

A economia comportamental entrou na economia pelo mercado financeiro, a econofísica vem pelo mesmo caminho, entra na economia pelo mercado financeiro. A

economia comportamental mostrou os problemas da microeconomia com a racionalidade plena (Kahneman, 2012), a econofísica entra na macroeconomia demonstrando suas limitações teóricas, como na não utilização dos processos de Lévy com salto puro e colocando a Gaussianidade como a racionalidade plena para a microeconomia, como veremos a frente.

4.2 As limitações da Economia matemática - Gaussianas e Lévy

Uma das explicações para o surgimento da econofísica é a negação da obrigação de uma distribuição de Gauss. Mas a economia matemática está diretamente ligada à distribuição de Gauss, esta distribuição está ligada as principais teorias da economia matemática. Para isso, os econofísicos utilizam os processos de Lévy com salto puro estáveis, como já explicado na fundamentação teórica anteriormente. Esse pequeno resumo demonstra a principal diferença nos trabalhos de economistas financeiros e econofísicos, e novamente, demonstra que a economia, presa em suas teorias, se limita a ir além, o que já não é um problema para os econofísicos. Sobre esse tema, temos um trecho importante de Schinckus e Jovanovic (2013, p. 15):

A história da economia financeira está intimamente ligada com a história da teoria moderna da probabilidade, a qual ela deve seus principais resultados, hipóteses e modelos (Davis e Etheridge 2006 Jovanovic 2008). Além disso, uma distribuição de probabilidade específica desempenha um papel fundamental na disciplina: distribuição de Gauss (também conhecida como distribuição normal). Esta distribuição está subjacente à criação da maioria das teorias e modelos do *mainstream*: Hipótese de Mercado Eficiente, a Teoria Moderna de Portfólio, CAPM e do modelo de Black e Scholes. Podemos, portanto, considerar essa distribuição como componente da economia financeira. Mas a econofísica rejeita a ideia de que as distribuições financeiras só podem ser descritas com uma distribuição de Gauss. Como se explica na terceira parte, esta rejeição explica o surgimento da econofísica. (...)

A economia financeira está focada a calcular o preço da variação de ações e seu retorno no mercado, são usados os modelos matemáticos com utilização de estatística para esses cálculos. Todos esses cálculos, são feitos utilizando a distribuição Gaussiana, ou até modificando a estrutura para modelar em uma distribuição Gaussiana. Mas com o avanço dos estudos, chegamos a um ponto em que a análise Gaussiana não era possível, os cálculos

demonstravam uma distribuição não Gaussiana, então chegamos ao ponto da limitação da economia financeira, conforme Schinckus e Jovanovic (2013, p. 17):

As primeiras representações estatísticas de variações no preço dos ativos financeiros foram feitas na base de um enquadramento de Gauss. Jules Regnault em 1863 foi diretamente influenciado pelo trabalho de Adolphe Quételet sobre a aplicação da distribuição normal aos fenômenos sociais (Jovanovic 2001, 2006b). Bachelier (1900), cujo trabalho foi claramente influenciado por Regnault (Jovanovic, 2000, 2009, 2012), manteve uma descrição Gaussiana da evolução da variação no preço dos ativos. Da mesma forma, todos os trabalhos empíricos que emergiram a partir de 1930 em diante (Cowles 1933, Working 1934, Cowles e Jones 1937, Kendall 1953) usaram o quadro Gaussiano, porque no momento era difícil usar outro tipo de distribuição estatística. Na verdade, todas as observações não Gaussianas e “ruído branco” foram modelados para uma normalização de Gauss.

Esta descrição Gaussiana da realidade financeira progressivamente se cristalizou e foi reforçada quando Samuelson (1965) introduziu o movimento browniano geométrico de descrever a continuidade das trajetórias. Desde então a distribuição de retorno de Gauss sobre ativos contribuiu fortemente para o desenvolvimento da teoria financeira moderna. Da teoria moderna de carteira de Markowitz (MTP) para a Capital Asset Pricing Model (CAPM) e modelo Black e Scholes, até o recente desenvolvimento de Valor em Risco (VaR), distribuição de Gauss de retorno sobre ativos tem desempenhado um papel central na construção da economia financeira (German,2002). No entanto, a partir do momento em que as primeiras bases de dados estatísticos de preços foram constituídas no início do século 20, alguns autores observaram que as distribuições foram leptocúrticas. Esta característica de distribuição estatística é incompatível com a distribuição de Gauss, e trabalhos matemáticos e estatísticos para modelos da distribuição de Gauss apareceram mais tarde. Naquele tempo, enquanto estatísticos foram capazes de identificar um fenômeno não Gaussiano, eles não tinham ferramentas estatísticas para análises dinâmicas de observações desse tipo. A distribuição não Gaussiana foi utilizada então como matéria de observação, e não foi modelada para uma estrutura estatística específica.

Temos que levar em consideração que por não considerar análises não Gaussianas, é nesse momento que economistas acabam subestimando as crises financeiras. “De acordo com econofísicos, a justificação assintótica do quadro Gaussiano é um pensamento *a priori* que leva economistas financeiros a subestimar a ocorrência de crises financeiras.” (SCHINCKUS, 2011).

Os economistas financeiros até tentaram resolver essa questão, mas não obtiveram sucesso. Merton lançou um artigo em 1976 na tentativa de integrar Lévy a economia financeira, mas, há uma evolução nesse ponto em finanças, mas a estrutura moderna teórica da teoria financeira criava alguns limites, e deles os economistas não conseguiam progredir, conforme como colocam Schinckus e Jovanovic (2013, p. 24):

Em seu artigo em 1976, Merton ofereceu uma extensão de Black e Scholes no modelo de precificação de opções. Esta abordagem abriu um novo campo de pesquisa chamado na literatura de “processos de pulo”. No entanto, os fundamentos matemáticos de Black e Scholes, e Merton do modelo de 1973 não são suficientemente desenvolvidos para permitir que Merton veja que seu modelo perde muitas de suas propriedades. Uma das propriedades mais interessantes de Black, Scholes e Merton do modelo de 1973 é a integridade de mercados. Esta integridade é a condição para ter um equilíbrio geral, como Arrow e Debreu definiram. E foi só com Harrison e Kreps (1979), Harrison e Pliska (1981), e Kreps (1981) que provaram dos fundamentos teóricos do modelo de Black, Scholes e Merton. E só com Harrison e Pliska (1981) que podemos mostrar que o modelo de Merton, como qualquer modelo de processo de salto, não permite uma única solução, com o resultado de que há oportunidades de arbitragem (em outras palavras o mercado não é eficiente). De fato, uma vez que o desenvolvimento da estrutura matemática por Harrison e Kreps (1979) e Harrison e Pliska (1981), sabemos que processos de pulo criam um mercado incompleto (o que significa que existe arbitragem). Como Naik e Lee (1990) explicam, com o modelo de salto por difusão proposto por Merton o mercado não é completo, em Harrison e Pliska (1981) nesse sentido, com o resultado de alegações contingentes não pode ser fixado o preço simplesmente pelo argumento de não arbitragem. Um destes limites é a utilização de alguns processos estocásticos, em particular os processos de Lévy puros.

Em outras palavras, nos anos de 1970 e os anos de 1980, a matemática financeira surgiu, fornecendo uma interpretação muito técnica da condição de arbitragem. Contudo, apesar desta evolução das finanças em um campo mais matemático, não existiam ferramentas e técnicas para explorar a tentativa de Merton (1976) para integrar transformações de Lévy na economia financeira. As coisas começam a mudar na década de 1990.

Eis que surge a econofísica como resposta as limitações da economia matemática, imposta pela limitação matemática e pelas limitações teóricas, como já exposto. Portanto, os econofísicos introduzem como solução os processos da distribuição truncada de Lévy, assim

rejeitando a variância infinita. E é essa resposta dada pelos físicos que ajudou no surgimento da econofísica, conforme Schinckus e Jovanovic (2013, p. 29):

Esta função truncagem pode tomar uma série de formas, a mais simples é integrar uma constante de normalização na distribuição de Lévy. Isto é o que Mantegna fez em 1991, quando ele deu a primeira resposta estatística para o problema da infinita variância dos processos de Lévy estáveis. Este artigo deu origem (e ainda dá origem) a uma grande quantidade de pesquisas sobre as funções de truncamento. Hoje em dia é possível encontrar vários tipos de funções de truncagem que podem ser usados, dependendo da característica do sistema de estudo.

A operação de truncar processos de Lévy permitindo físicos a usarem estes processos para caracterizar fenômenos de turbulência, sem ter um problema estatístico de variância indeterminada. A resposta estatística dada pelos físicos para essa natureza indeterminada da variância também contribuiu para o surgimento da econofísica, uma vez que agora é possível aplicar essa operação de normalização de tal maneira que a evolução de mercados financeiros podem ser descritos utilizando processos de Lévy estáveis.

Com o fim desse tópico, podemos voltar a questão da econofísica ser para macroeconomia, como a economia comportamental é para a microeconomia. O que a economia comportamental complementou a microeconomia, também na economia financeira, foi a questão da racionalidade plena (Kahneman, 2012), ela mostrou os problemas da microeconomia com a racionalidade. A econofísica está fazendo o mesmo com a macroeconomia, está respondendo suas limitações no campo da economia financeira, seria como, se fizemos a relação com a microeconomia, ao invés da racionalidade plena seria a Gaussianidade que está sendo posta em questão.

E a econofísica vai além, ela ainda questiona os fundamentos da macroeconomia, tanto que não os considera em seus cálculos, como já vimos anteriormente. Agora vamos nos aprofundar na questão dos fundamentos da macroeconomia, na resposta que a econofísica dá a utilização da microeconomia ampliada na macroeconomia.

4.3 Os fundamentos da macroeconomia

Nesse tópico temos as contribuições de Silva (2009), Schinckus e Jovanovic (2013) e Schinckus (2011), onde a crítica principal é como estudamos a macroeconomia hoje. Apesar de cada um ter suas particularidades, eles concordam que o tratamento feito hoje de cada indivíduo independente um do outro não é a forma correta. Que devemos estudar suas relações, as relações entre os indivíduos é o que irá gerar os fenômenos macroscópicos.

Temos nesse ponto, Schinckus (2011) que o foco de economistas financeiros e econofísicos é a modelagem de mercados financeiros, mas diferem na modelagem da realidade. A economia financeira é baseada no individualismo, na análise de comportamento, considerando o raciocínio dos indivíduos e não suas interações, suas propriedades, assim a atuação do indivíduo fica independente, sem conexão com os outros indivíduos, pois acabam trazendo o conceito da microeconomia de agente racional, da racionalidade plena. Já a econofísica se baseia nas interações, como se fossem relações de partículas gerando propriedades macroscópicas, assim observando o nível macro, sem importância para a reação individualizada, mas a sim a relação das interações, considerando assim as interações, gerando mais relações e criando um sistema autoevolutivo e complexo. Como os econofísicos consideram como átomos, eles não pensam, apenas reagem, utilizando assim os resultados macroscópicos de suas propriedades interativas.

Temos então que a econofísica está ligada ao relacionamento do macro, sem qualquer intenção de ao mesmo tempo estar relacionara ao relacionamento micro. Essa forma de estudar a economia é diferente das atuais, nas quais aprendemos que os princípios da microeconomia, como monopólio, racionalidade, etc., valem para a macroeconomia. Esse ponto foi melhor elaborado por Silva (2009) o qual apresentou seus argumentos para justificar a não utilização dos fundamentos da microeconomia em macroeconomia, serão destacados pontos importantes de seu artigo, conforme segue:

Para começar invoco o teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu do equilíbrio geral da economia (Sonnenschein 1973). O equilíbrio geral é um exemplo da microeconomia para a economia como um todo. O teorema afirma que um sistema econômico com funções de demanda muito excessivas com muitos agentes não possui suposições de racionalidade sobre as demandas dos indivíduos da economia. Assim os pressupostos da racionalidade microeconômica não tem implicações macroeconômicas, eu acho que esse teorema pode ser estendido à proposição de que todo tipo de comportamento por parte das unidades microeconômicas é irrelevante para a macroeconomia. (SILVA, 2009, p. 6).

Nesse trecho destaco duas coisas que já haviam sido comentadas antes. Primeiramente a racionalidade, este é um conceito da microeconomia e não da macroeconomia, portanto, não deve ser considerado relevante na consideração do todo, ao olharmos o total das interações uma individualidade casual não mudará todo o sistema. O segundo ponto é a irrelevância das unidades microeconômicas para o estudo da macroeconomia, são as interações que nos importam e não pequenas especificidades, estas não terão significância em um olhar macroeconômico. Silva (2009, p. 7) continua:

Na economia há conceitos que não podem fazer sentido ao mesmo tempo em ambas micro e macro. Assim, a miragem de uma economia unificada sem a divisão entre micro e macro é ilusória. Um exemplo notável é o dinheiro. O dinheiro não modifica uma escolha individual, mas é quase tudo em macroeconomia. Um resultado da teoria da escolha axiomática é que as funções de demanda são homogêneas de grau zero em preço e renda. Apenas os preços relativos afetam o comportamento da maximização da utilidade. O único papel que o dinheiro desempenha é como unidade de contabilidade: o consumidor não tem a ilusão de dinheiro.

Em contrapartida, a macroeconomia trata do papel do dinheiro na criação do ciclo dos negócios. Isso ocorre porque as compras e vendas podem ser separadas no tempo, pois o dinheiro serve como uma reserva de valor. O dinheiro causa desvios temporários da lei clássica de Say através do crédito (dinheiro emprestado para produção futura) ou acúmulo de dinheiro; Essas são as causas finais dos booms e recessões. Macroeconomia é tudo o que vai acontecer quando a lei de Say não se sustenta “no curto prazo”. Uma das razões pela qual o dinheiro nunca será satisfatoriamente justificado na microeconomia é que o próprio conceito só faz sentido em relação à economia como um todo. O dinheiro é uma construção social; é a criação conjunta de toda a sociedade. Assim, é externa a qualquer indivíduo em particular, e a vontade de um indivíduo não importa. Nesse sentido, o dinheiro afeta os indivíduos da mesma forma que qualquer fenômeno natural faz.

Aqui, Silva (2009) está focando na divisão entre microeconomia e macroeconomia, justificando que as duas devem ser estudadas separadamente. E vai além, discutindo sobre a forma que a macro deve ser estudada, considerando as interações sociais. Compara economia com a forma de estudo das ciências sociais, como biologia, química, a própria física e ecologia, onde a abordagem de macro e micro são feitas separadamente, quando se estuda o macro, o micro é desconsiderado.

Silva (2009) destaca ainda que o comportamento macro deve ser como nos tempos clássicos, sem escolhas livres, baseado em “Átomos Sociais”, assim utilizando as interações

dos átomos para estudo, a macroeconomia é o estudo de micro relações assim não deve ser estudada individualmente, e sim com uma abordagem macro, utilizando sistemas complexos, sem personalidades, por isso devemos utilizar a econofísica. Destaca ainda que as ciências naturais utilizam abordagens diferentes no estudo do macro em relação ao estudo micro e que isso deve ocorrer na economia também, não pode a macroeconomia utilizar as fundações da microeconomia, pois nesse caso a individualidade é irrelevante, a abordagem estatística deve considerar apenas o sistema macro.

Assim temos mais a fundo a discussão sobre a forma de se estudar a macroeconomia, pois se não se deve usar os fundamentos da microeconomia, devem ser feitos os cálculos com base no todo, como base nas interações e a partir disso utilizar seus fundamentos. Um problema levantado por Silva (2009) e também por Jovanovic e Schinckus (2013) é a falta de economistas na área da econofísica, o campo ainda é dominado por físicos, se os economistas estivessem complementando a área, junto dos físicos, quem sabe já não teríamos novas teorias para essa nova forma de estudo da macroeconomia. Silva (2009, p. 9) observa alguns modos de reconstruir a macroeconomia:

Em vez de confiar no agente representativo, a macroeconomia pode ser reconstruída baseada na interação explícita entre agentes heterogêneos. Uma dessas tentativas é a chamada “macroeconomia emergente” (Delli Gatti et al., 2008). Oferece métodos de avanço recentes na modelagem computacional baseada em agentes para a construção de modelos em que os ciclos econômicos e o crescimento econômico emergem das interações de um grande número de agentes heterogêneos. Aqui, surgem fenômenos agregados espontaneamente a partir das interações dos indivíduos que tentam coordenar suas ações de mercado; Isto é, as regularidades macroscópicas emergem dos comportamentos microscópicos sociais. O comportamento social agregado é devido ao envolvimento, ao invés de micro regras (Schellin 1978).

Outra tentativa pode ser apelidada de “macroeconomia estatística” (Aoki e Yoshikawa 2007b). Aqui, os modelos macro também são compostos de um grande número de agentes e abordam explicitamente os aspectos dinâmicos e combinatórios estocásticos da interação entre agentes. Os equilíbrios são considerados distribuições estatísticas, não pontos fixos. Um resultado é que o equilíbrio nem sempre é possível, mesmo que os preços sejam flexíveis.

Após concluir as formas de reconstrução da macroeconomia, Silva (2009) ressalta a importância da divisão entre micro e macroeconomia e a possível evolução da economia para uma ciência semelhante à biologia, conforme segue:

Uma distinção incipiente entre micro e macroeconomia já esteve presente nos tempos clássicos, e não nenhuma razão para prosseguirmos para uma economia unificada hoje. Em vez, pela primeira vez na história, agora temos os meios para a economia crescer e se tornar uma ciência semelhante ao que é a biologia hoje. Isso pode se tornar uma realidade se os economistas eventualmente, (1) abraçar a antiga distinção entre micro e macro, (2) contribuir para fornecer bases para as preferências em neurociência, e (3) abrir suas mentes para racionalizações de fenômenos econômicos agregados por não equilíbrio físico estatístico. (SILVA, 2009, p. 11).

Neste trecho, Silva (2009) ressaltou a expectativa da economia se tornar uma ciência como a biologia, ou seja, com estudos físicos, biológicos e sociais interagindo, de forma a termos uma matéria interdisciplinar e com um embasamento teórico mais próximo do prático.

Temos então uma questão metodológica, na qual os autores colocam que a forma como estudamos a macroeconomia hoje é insuficiente, tanto no campo teórico, como nos cálculos, os quais só conseguiram avançar na econofísica após abandonarem os micro fundamentos da microeconomia utilizados pela macroeconomia. Agora faremos uma abordagem dos avanços da macroeconomia e qual seus possíveis caminhos no futuro.

5 OS FEITOS DA ECONOFÍSICA NA ATUALIDADE E SEUS ESTUDOS ATUAIS

5.1 Os feitos da econofísica na atualidade

Nesse tópico, serão destacados os ganhos de campo da econofísica, demonstrando também o que já foi dito sobre a econofísica ainda não estar sendo estudada por economistas em geral, também para demonstração do crescimento e aceitação desse novo tema na comunidade acadêmica. Para isso, temos um trecho de Schinckus e Jovanovick (2013, p. 10):

Este processo de institucionalização foi reforçada pela capacidade da econofísica de se conectar com outros temas de pesquisa. Em 2006, a *Sociedade de Ciência Econômica com Agentes Heterogêneos Interativos* (ESHIA) foi criada para promover pesquisas interdisciplinares combinando economia, física e ciências da computação (inteligência essencialmente artificial). É claro que esse projeto não corresponde diretamente a econofísica, uma vez que a análise da heterogeneidade e interação entre agentes é uma abordagem que abrange um campo maior, incluindo psicologia experimental e inteligência artificial. No entanto o novo jornal da ESHIA (Jornal de interação e coordenação econômica) foram convidados a submeter artigos dedicados a econofísica.

Outro indicador do surgimento e da institucionalização da nova comunidade e a organização de simpósios e workshops. A primeira conferência foi criada em 1997 pelo departamento de física da Universidade de Budapeste. Dois anos mais tarde, a primeira conferência suportada pela Associação Europeia de Físicos foi realizada em Dublin. Resultando na criação de uma conferência anual conhecida como APFA (Aplicação de Física em Análise Financeira). Hoje, conferências e simpósios dedicados a econofísica são muito numerosos, sendo notáveis entre eles Oficina de Pesquisa de Econofísica Nikkei e o Colóquio de Econofísica. Além das muitas publicações sobre economia, todos esses eventos regulares constituem espaços institucionais que ajudam em uma verdadeira comunidade científica.

Shinckus e Jovanovic (2013, p. 37) destacam ainda, mais alguns acontecimentos recentes:

Dois acontecimentos recentes devem, no entanto, serem notados. Primeiro, a Enciclopédia de Finanças Quantitativas, publicada em 2010, que fornece uma exaustiva apresentação do estado do conhecimento em seu campo, contém várias

contribuições dedicadas a econofísica. Em segundo lugar, econofísicos estão gradualmente conseguindo tomar o controle da economia sendo reconhecidos em revistas de finanças. Desde a nomeação de JB Rosser como editor chefe em 2002, o *Jornal de Organização e Comportamento Econômico* começou publicando regularmente artigos sobre a questão da complexidade na economia, permitindo econofísicos a publicar seus trabalhos. Duas outras revistas de economia publicam regularmente artigos de econofísica: *Finanças Quantitativas*, lançado em 2011, e o *Jornal de Organização e Comportamento Econômico*, criado em 2006. Como foi explicado na seção anterior, o último jornal foi criado para promover a investigação combinando economia, física e ciências da computação. É dirigido principalmente por físicos e sua equipe editorial dispõe de um número substancial de físicos e especialistas de inteligência artificial. *Finanças Quantitativas* é uma revista de finanças dirigida por um econofísico e um matemático, com uma maioria de econofísicos na equipe editorial. Mais um sinal da crescente influência de econofísica é a Conferência Internacional de Econofísica, uma plataforma para a apresentação de ideias interdisciplinares provenientes de diferentes comunidades, especialmente economia, finanças e física.

Essa incursão progressiva de econofísica em revistas de economia parecem anunciar certos desenvolvimentos futuros na teoria financeira moderna e, conseqüentemente, na economia financeira.”

Portanto, temos o crescimento da econofísica não só como disciplina, mas também como uma fonte importante para uma matéria interdisciplinar, na junção de finanças, física, economia e ciências da computação. Junção essa, na qual, os autores Schinckus, Jovanovic e Silva aguardam que tenhamos grandes frutos no futuro.

5.2 O estudo da Econofísica hoje

O objetivo da econofísica é a análise de sistemas socioeconômicos complexos. A econofísica é um campo considerado complexo, por isso hoje ela é dividida em duas áreas a econofísica estatística e a econofísica baseada em agentes, o objetivo das duas continua sendo o mesmo, a análise de sistemas socioeconômicos complexos, mas abordam de forma diferente, basicamente a econofísica baseada em agentes estuda modelos de dados e a econofísica estatística se baseia em modelos de fenômenos (Schinckus, 2012). A introdução do assunto é feita por Schinckus (2012, p. 2):

A econofísica trata de sistemas complexos cujas propriedades não podem ser simplesmente derivadas ou previstas a partir do conhecimento dos estados iniciais desse sistema. Uma compreensão profunda requer, ao mesmo tempo, uma análise holística centrada no macro comportamento do sistema e uma análise mais micro de componentes interagentes envolvidos no sistema. Como Kwapien e Drozd [20, p.120], a abordagem holística que identifica as regularidades estatísticas requer uma descrição paralela do mesmo sistema no nível mais baixo de sua organização. Basicamente, a econofísica baseada em agentes e a econofísica estatística possuem diferentes níveis de estudos necessários para a compreensão profunda de sistemas complexos.

A econofísica baseada em agentes e a econofísica estatística têm bases comuns, uma vez que descrevem aspectos socioeconômicos como sistemas complexos sugerindo o resultado inevitável de reunir numerosos componentes, o que não é simples. Além disso, essas duas abordagens evitam suposições a priori, e elas baseiam sua metodologia sobre verificações empíricas. As semelhanças entre comportamentos de computação e física estatística (transições de fase) foram descobertos e explicados por Langston [16-18] em suas obras dedicadas a complexidade. Mais precisamente, Langston mostrou que “a computação pode surgir espontaneamente e vir a dominar a dinâmica dos sistemas físicos quando estes sistemas estão perto de uma transição entre suas fases sólidas e líquidas, especialmente na vizinhança de uma segunda ordem ou transição crítica” [18, p.13]. Apesar da existência dessa analogia conceitual, algumas diferenças permanecem entre abordagem estatística e uma abordagem puramente computadorizada. Basicamente, elas não usam a mesma metodologia computacional. Embora a econofísica baseada em agentes trate de modelos microscópicos aplicados a agentes heterogêneos e de aprendizagem; econofísica estatística usa principalmente agentes de “inteligência zero” (sem habilidade de aprendizagem porque partículas não pensam), cujas interações são aleatórias. Considerando que a econofísica baseada em agentes tenta reproduzir as regularidades estatísticas observadas em sistemas econômicos ou financeiros, a estatística procura descrever essas regularidades diretamente da evolução desses sistemas. Esta distinção entre dois subcampos de econofísica tem sido sugerida por Bouchaud [24] e Ball [25], mas também foi evocado por Fen et al. [26], Chakraborti et al. [27,28] que escreveu uma revisão econômica através de dois excelentes documentos complementares dedicados aos fundamentos desses dois sub-campos. As analogias conceituais enfatizadas por Langston [16-18] sugere que há apenas uma econofísica do ponto de vista teórico (estudo dos sistemas econômicos considerados sistemas complexos) que podem ser implementados através de duas formas diferentes de tratar as regularidades estatísticas caracterizando a complexidade dos sistemas econômicos.

A econofísica estatística utiliza os dados macroeconômicos para fazer suas análises, sem se preocupar com o micro, utiliza os dados passados para especular sobre o futuro. A econofísica estatística é colocada como o esclarecimento de fatos que o mainstream econômico não conseguia resolver, como já foi citado anteriormente. Podemos ver uma melhor explicação de economia estatística em Schinckus (2012, p. 2):

A econofísica estatística vem da física estatística e está frequentemente associada ao que chamamos de “fatos estilizados” na economia. Esses fatos estilizados se referem principalmente a “fatos empíricos que surgiram em estudos estatísticos de séries temporais financeiras (ou econômicos) e que parecem ser persistentes em vários períodos de tempo, lugares, mercados, ativos, etc.” [27, p.994]. Porque este tipo de econofísica se baseia principalmente em uma análise temporal de fenômenos financeiros ou econômicos, de dados passados sobre preços, volumes, transações e os modelos descrevem as distribuições empíricas *fat-tailed* de retornos, a ausência de autocorrelação de retornos ou agrupamento de volatilidade. Para a econofísica estatística, os sistemas econômicos compostos por múltiplos componentes (sem agentes que aprendem) interagindo de forma a gerar macro propriedades para o sistema [29, p.4]. Essas macropropriedades podem se caracterizar em termos de regularidades estatísticas. Em oposição a economia (ou econofísica baseada em agentes), a econofísica estatística considera que apenas o macro nível pode ser observado e analisado. Não há modelagem do comportamento racional e/ou individual como no mainstream econômico ou na economia baseada em agentes. Quando se referem a agentes, os econofísicos estatísticos utilizam, em vez disso, agentes “inteligência zero”, sentido definido por Gode e Sunder [30, p.124], ou seja, um agente que não tem inteligência, não busca nem maximizar os lucros, não observa e não se lembra ou não aprende. O comportamento dos agentes é aleatório e o resultado é então matematicamente análogo para os modelos de reação de difusão em física. Embora muitos trabalhos em economia estatística não mencionem a abordagem em tudo [13, 31], outros trabalhos tentam explicar regularidades estatísticas usando partículas aleatórias (caracterizadas por uma “inteligência zero”). Bak et al. [32], por exemplo, forneceu um modelo em que as ordens eram partículas que se moviam ao longo de uma linha de preço, e cujas colisões aleatórias foram vistas como transações (ver também Farmer et al. [33], para o mesmo tipo de modelo). Sistemas financeiros, portanto, constituem um grande número de componentes cujas interações geram propriedades observáveis tais como leis de potência, por exemplo. Enquanto que os economistas e os econofísicos baseados em agentes compartilham uma metodologia microscópica, a econofísica estatística se baseia em uma macro abordagem na qual os átomos não pensam que implica que todos os “componentes do mercado” (incluindo comerciantes, especuladores e hedgers) obedecem propriedades estatísticas. Nesta perspectiva o econofísico

estatístico evita a difícil tarefa de teorizar sobre a psicologia individual (ou a racionalidade) dos investidores [34]. Em termos de modelagem, os econofísicos estatísticos também evitam o difícil processo de calibração de modelos baseados em agentes (que parece ser o principal inconveniente dessa abordagem [35]) porque se refere a uma abordagem macroscópica descrevendo macroestatísticas. O conhecimento desenvolvido por esse tipo de modelo resulta principalmente da análise de dados passados que os autores tentam explicar através de processos estatísticos complexos. Em certo sentido, o principal objetivo da econofísica estatística é descrever os dados financeiros e econômicos passados através de modelos e, portanto, especular sobre a probabilidade de eventos futuros.

A econofísica baseada em agentes possui uma micro-abordagem, mas ela não se iguala a economia tradicional, ela é baseada na interação dos agentes, como eles reagem as interações e não nas questões tradicionais, como a racionalidade, por exemplo. Basicamente ela estuda o comportamento, interação, para compreender o macro. Conforme Schinckus (2012, p. 4):

A econofísica baseada em agentes é baseada em uma microabordagem, pois utiliza a modelagem baseada em agentes. A literatura sobre a econofísica baseada em agentes é enorme e publicada em várias disciplinas. Este modelo pode ser encarado como uma abordagem interdisciplinar [66] se referindo a tantos campos que não é possível numerá-los neste artigo. Basicamente, econofísica baseada em agentes vem da física computacional [67] e, este campo tem desenvolvido principalmente modelos de mercados orientados por ordem (relacionados à microestrutura), modelos de teorias dos jogos (redefinindo os problemas das minorias e problemas relacionados) ou modelos usando a teoria cinética [28].

Todos os modelos baseados em agentes se concentram na modelagem matemática de agentes atomísticos, mas essa abordagem atomística é muito diferente do que é geralmente desenvolvido na economia dominante, principalmente com base em um individualismo metodológico sobre características pessoais (função de utilidade, aversão ao risco, e assim por diante) e racionalidade. Ao contrário a racionalidade não é condição necessária na econofísica baseada em agentes. Na verdade, os agentes são considerados como partículas interagindo, comportamentos criam estruturas diferentes (como moléculas, cristais, etc.). Nesse tipo de modelagem a noção de “agente” deve ser pensado como o ponto de partida para o raciocínio e, portanto, é uma “partícula elementar” cuja interação e comportamento são bases epistêmicas para a compreensão de macro fenômenos. Nessa perspectiva, o conceito de agente não está associado ao método do agente representativo [68]. Como os agentes de aprendizagem são vistos como agentes heterogêneos e “divergem de

muitas maneiras – geneticamente, culturalmente, por redes sociais, preferências, etc” [66, p.6]. A principal diferença entre a econofísica estatística e a econofísica baseada em agentes se referem aos tipos de dados que esses dois sub-campos usam. Enquanto o primeiro usa dados históricos com (eventualmente) agente inteligência zero, estes últimos produzem dados através de uma modelagem complexa de sistemas de autoevolução (com agentes que aprendem). O principal objetivo da econofísica baseada em agentes é a “reprodução de fenômenos” (e não a descrição como economia física estatística) como mencionado por Chakraborti et al. [28, p1014]: “novos desafios surgem, como economistas tentam identificar os mecanismos simples que permitem que um modelo baseado em agentes não reproduzam comportamento trivial”. Esta importância de reprodutibilidade dos dados pode ser observada em toda literatura dedicada a modelos [35,69] ou [70].

Mas Schinckus (2012) ressalta também que em alguns momentos ou análises não é possível identificar essa distinção das duas áreas da econofísica, de tão complexa que é essa separação, ele coloca que essa distinção às vezes é muito difícil de ser identificada:

“As duas seções precedentes supuseram uma distinção clara entre a econofísica baseada em agentes e a econofísica estatística. Embora seja metodologicamente justificada e pedagogicamente útil esta distinção é por vezes muito difícil de identificar. Na verdade, algumas pesquisas intereconômicas surgiram para conectar as abordagens micro e macro. Johnson et al. [101], E Zhou e Sornette [102] utilizaram a modelagem baseada em agentes para reproduzir o fato estatístico observado nos mercados financeiros enquanto Podobnik et al. [103] combinou estocásticos e baseado em agentes para desenvolver um modelo para o tempo de negociação, volume de negociação e mudança de preços. Gubiec e Kutner [104] mostraram também que um mecanismo objetivo pode ser deduzido do quadro do processo estocástico da oferta, que independente da inteligência dos agentes (sugerindo que modelos também não precisam lidar sempre com agente inteligência zero).

Além disso, embora este trabalho tenha se concentrado apenas na econofísica aplicada a economia, o desenvolvimento da econofísica poderia também lidar com outras disciplinas (como política ou psicologia) contribuindo, portanto, para o surgimento de uma compreensão interdisciplinar de sistemas sociais complexos: Artemi [105], por exemplo, considerou a potencial contribuição da econofísica para a tomada de decisões políticas, enquanto Shi et al. [106] estudou as possíveis colaborações entre econofísicos e especialistas em viés psicológico. Gonzalez et al. [107] e Song et al. [108] também aplicaram para a econofísica perspectivas para os padrões de mobilidade humana, enquanto Balcan et al. [109] ou Meloni et al. [110] estudaram as mobilidades das doenças. Mais recentemente, Ratkiewicz et al. [111]

modelou a dinâmica de popularidade online, Bollen et al. [112] estudou dados do Twitter e Perc [113] forneceu uma análise da evolução das palavras mais comuns inglesas sobre os séculos. A diversidade dessas obras mostra o dinamismo intelectual da econofísica, que poderia se tornar, no futuro, um “campo transdisciplinar” de sucesso. (SCHINCKUS, 2012, p. 5).

Para finalizar o tópico, temos um resumo dos dois campos da econofísica, os modelos baseados em agentes, querem observar o mundo através de seus fenômenos e os modelos estatísticos querem selecionar uma parte real da economia financeira e estudá-la, conforme Schinckus (2012).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal conclusão que podemos tomar é o caminho percorrido pela Econofísica. Podemos comparar esse caminho com o da economia comportamental na microeconomia. A economia comportamental entrou na microeconomia pelo mercado financeiro, foi uma resposta à racionalidade plena, ou seja, um conceito básico e um pressuposto utilizado na microeconomia, mas o qual a impedia de avançar. Na econofísica foi igual. A econofísica entra na macroeconomia pelo mercado financeiro, também por um problema de pressuposto, a macroeconomia pressupondo a Gaussianidade não conseguia avançar, a econofísica foi então uma resposta a uma limitação teórica na macroeconomia, tal qual a economia comportamental foi para a microeconomia. Recusar a Gaussianidade na macroeconomia é como recusar a racionalidade plena que a microeconomia trouxe a macroeconomia. Como já discutido anteriormente, a proposta é separar as matérias, separar seus fundamentos. Temos em Schinckus (2013), uma análise aprofundada sobre a Gaussianidade, onde ele destaca a utilização dos processos de Lévy estáveis por econofísicos e que essa utilização é o cerne da econofísica. Destaca ainda que os econofísicos querem descrever o mundo como ele é, partindo de dados reais para uma análise, e não a partir de teorias e tentando segui-las, assim a ideia de Gaussianidade e convergência não é aceita pelos físicos, pois suas características, a convergência Gaussiana apenas ocorrendo no infinito e a distribuição Gaussiana sendo apenas no centro, não caracterizam distribuições empíricas.

Com a retirada da aceitação da racionalidade plena, ou seja, retirando a obrigação da Gaussianidade, com os modelos físicos ocorre à aceitação de crises financeiras, as crises financeiras são possíveis nesse novo modelo feito pelos físicos. Assim, com esses modelos, caminhamos para uma análise mais real da economia, na qual não temos a obrigatoriedade de racionalidade e é possível prever crises financeiras, em Schinckus (2013) temos esse destaque, ele coloca que os economistas utilizam distribuição de probabilidade lognormal para considerar mudanças de preços, mas isso implica que não há possibilidade de uma grande flutuação, assim, subestimando crises. Já econofísicos desenvolvem modelos com eventos extremos, tendo saltos de exaltação, podendo assim, prever e colocar em seus estudos as crises.

Perante todas as explorações apresentadas, é possível concluir que a econofísica surge das próprias limitações da economia. Temos nesse ponto as contribuições matemáticas da econofísica, onde a economia financeira havia ficado estagnada, sem conseguir superar e sobrepor alguns pontos (como já demonstrados anteriormente), a econofísica veio como uma resposta para as limitações da economia financeira, as quais os problemas não eram somente no campo matemático, mas também no campo teórico, chegando assim ao questionamento a forma como estudamos a macroeconomia. Um ponto que não chega a ser um questionamento da econofísica, mas é substancial para a mudança de sua forma de estudo da economia matemática é o equilíbrio. Esse ponto não é colocado como um problema, apenas é considerado como o ápice do sistema, mas longe de ser como na economia tradicional, em que ele é o ponto o qual chegaremos no longo prazo. Para a econofísica, ele é só mais um dos momentos do ciclo. Sergio (2009) inicia esse tema e Schinckus (2011) aborda um pouco mais o tema, Sergio (2009) coloca que o equilíbrio é considerado uma distribuição estatística e não um ponto fixo, inclusive nem sempre sendo possível. Levanta ainda que a contribuição atual da física é o desequilíbrio, é a “criticalidade auto-organizada”.

Em Schinckus (2011) temos que o equilíbrio, diferente da economia, não é necessário para a econofísica, embora esse conceito veio da física ele é apenas considerado um potencial do sistema, não é considerado um estado final do sistema e que colocando o conceito da forma que a economia o coloca, acaba se limitando e não progredindo.

Continuando na ideia do equilíbrio, mas indo de encontro com o assunto do novo tratamento da macroeconomia, com o tratamento a partir de relações, considerando assim a economia como uma estrutura molecular, esse seria um grande avanço, como já foi colocado, levaria a economia ao patamar de ciências como a própria física, a química, biologia, na qual estudaríamos o conceito do todo, como se uma modificação mudasse o ser economia, temos um ponto a destacar em Schinckus (2011) no qual ele coloca que a principal contribuição da econofísica para a análise econômica é poder colocar todos sistemas como uma estrutura molecular, pois a análise física sem considerar o equilíbrio, estuda o sistema como um ser, assim o equilíbrio não sendo um ponto considerável, é o estudo de um ser, podendo haver evolução dessa estrutura, ao contrário de economistas tentando explicar usando o equilíbrio, os econofísicos usam o equilíbrio temporal, em que cada estágio há um equilíbrio.

Portanto, discutimos os pontos principais da econofísica, o porquê de seu surgimento e suas contribuições, deve ser destacada a sua contribuição a forma de estudo da

macroeconomia, a econofísica só conseguiu surgir e criar suas fórmulas, desconsiderando as fundamentações da macroeconomia, as quais vem da microeconomia. Precisamos, portanto, de um reestudo da macroeconomia, agora considerando as contribuições da econofísica e levando em conta como ela mostrou a limitação das teorias macroeconômicas, teorias essas, que se fossem consideradas, os estudos não avançariam, esse ponto foi muito discutido por Silva (2009) onde ele lembra que já havia distinção entre a microeconomia e a macroeconomia nos tempos clássicos, e que isso deve ser dessa forma, só assim a economia poderia se tornar o que é a biologia hoje, mas destaca novamente que os economistas tem que se integrar ao novo campo, ao novo estudo, e conclui que em um cenário otimista poderemos passar a estudar uma ciência completamente diferente da de hoje.

A junção entre, economia, física, ciências da computação e biologia, faz da econofísica, como já é considerada, uma matéria interdisciplinar, traz consigo conceitos muito interessantes para a economia, como já demonstrados anteriormente, destacando a forma de estudo da macroeconomia por interações, como interações biológicas, como se as interações econômicas representassem um organismo, uma célula, a qual responde ao sistema com suas interações. Isso nos levaria, como destacou Silva (2009), a um estudo da economia de uma forma como é estudada a biologia hoje, com os sistemas complexos e bem estruturados. Isso seria uma grande mudança e seu estudo provavelmente traria, realmente, mudanças conceituais na economia.

Utilizando Daniel e Sornette (2008) para finalizar esse assunto e já o utilizando para o último ponto desse trabalho, e o qual espero que sirva de reflexão para uma mudança na forma como os economistas hoje, ainda, rejeitam a econofísica. Eles destacam que o desenrolar mais empolgante fica na fronteira de economia e ciências biológicas, na parte cognitiva e comportamental, pois a física tem que desempenhar um papel de unificar conceitos, o qual ainda não ocorre, mas demonstra sua grandiosidade pela participação de físicos em financeiras e investidoras, sendo assim, valiosos em Wall Street.

Como já colocados os exemplos no corpo do trabalho, as instituições que estudam a econofísica se baseiam principalmente na física e não na economia. Infelizmente os economistas estão, na sua maioria, céticos em relação a econofísica. Em alguns trechos dos autores podemos destacar esse ponto. Os economistas que não acreditam na econofísica, acabam que não colheram seus frutos no futuro (SILVA, 2009). Temos também em (SCHINCKUS, 2011) que os físicos estão agora indo além de sua disciplina, ao contrário do

que ocorreu antes, em que a economia se utilizou da física, mas os economistas precisam integrar os conceitos da física e não ignorá-los, precisam estudar e aceitar esse novo campo.

Temos então um problema, pois a econofísica está demonstrando que os fundamentos da macroeconomia não são suficientes para suas avaliações econômicas irem além, para conseguir ir além a econofísica teve de negar os princípios macroeconômicos. Mas agora, são necessários economistas para contribuir nessa área, pois são precisos novos fundamentos, precisamos de teoria que se encaixam na realidade, realidade essa imposta pela forma de cálculo da econofísica, que cria seus modelos a partir de dados reais, sem limitações teóricas e com menor limitação matemática. Talvez a negativa seja principalmente pela econofísica ter demonstrado a limitação de alguns fundamentos da economia, mas a questão, como já observado anteriormente, é que a econofísica não se prende a nenhum fundamento, apenas faz análise real dos dados, da forma mais realista possível, e defende que é a partir desses resultados que devem ser feitas teorias e não o contrário, não se deve fazer a teoria e assim limitar a análise dos dados reais.

A intenção dos econofísicos não é negar por completo a teoria econômica, mas sim que ela seja estudada em conjunto, como um campo interdisciplinar como a econofísica, eles não querem substituir os modelos econômicos, apenas dar uma realidade maior a eles (SCHINCKUS, 2013).

Conforme Schinckus (2011) os economistas financeiros acabam utilizando ferramentas menos complexas que os econofísicos, mas os economistas são quem explicam o porquê o fenômeno ocorre. Isso explica a importância dos economistas entrarem no processo de construção dessa disciplina, disciplina essa que é interdisciplinar, essa é a importância da comunicação entre econofísicos e economistas, para desenvolver um campo realista e explicativo, como as duas matérias querem.

Por isso, precisamos de uma maior participação dos economistas para o crescimento da disciplina econofísica. A econofísica chega ao resultado e tem melhores cálculos e modelos que os economistas, mas como diz Schinckus (2011), só os economistas tem o “como” e o “por que”, portanto é necessária sua participação. Esse trabalho terá atingido seu objetivo, se com ele, for possível a inclusão da matéria de econofísica no quadro de disciplinas oferecida pelas faculdades de economia, e não só no campo da física. Apenas com uma contribuição mútua será possível seu crescimento como matéria interdisciplinar, além do

que, como colocado nesse trabalho, a matéria é tida como muito importante, e a mais utilizada hoje em dia, em análises financeiras, portanto, ela é igualmente importante para a formação de nossos economistas.

REFERÊNCIAS

MANTEGNA, Rosario N.; STANLEY, H. Eugene. **An introduction to econophysics: Correlations and Complexity in Finance**. New York: Cambridge University Press, 1999.

JOVANOVIC, Franck; SCHINCKUS, Christophe. History of political economy: **The Emergence of Econophysics: A New Approach in Modern Financial Theory**. 45 ed. Duke University Press Journals ONLINE, 2013. 443-474 p.

SCHINCKUS, Christophe. **What can econophysics contribute to financial economics?**. International review of economics, Itália, v. 58, p. 147–163, jun. 2011.

SCHINCKUS, Christophe. **Between complexity of modelling and modelling of complexity: an essay on econophysics**. Physica a: statistical mechanics and its applications, Reino Unido, Leicester, v. 392, p. 3654–3665, set. 2013.

SCHINCKUS, Christophe. **How physicists made stable lévy processes physically plausible**. Brazilian journal of physics, Brazil, v. 43, p. 281–293, mai. 2013.

SILVA, Sergio Da. **Does macroeconomics need microeconomic foundations?**. Economics: the open-access, open-assessment e-journal, [S.L.], v. 3, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.economics-ejournal.org/economics/journalarticles/2009-23>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

BLANCHARD, Olivier. **Macroeconomia**. 5 ed. Brasil: Pearson Education, 2011.

VARIAN, Hal R.. **Microeconomia: Uma Abordagem Moderna**. 8 ed. Brasil: ELSEVIER - CAMPUS, 2012.

COLANDER, D. et al. **The financial crisis and the systemic failure of academic economics**. Univ. of Copenhagen Dept. of Economics Discussion, Copenhagen K., Denmark, mar. 2009. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1355882>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

DANIEL, Gilles; SORNETTE, Didier. Encyclopedia of quantitative finance: **Econophysics: historical perspectives**. 21 ed. Zurich: Rama Cont, 2008.

KAHNEMAN, Daniel. **Rápido e Devagar: Duas Formas de Pensar**. São Paulo: Editora Objetiva, 2012.