

## **A UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS NA CONSTRUÇÃO DE UM MERCADO DE AÇÕES ARTIFICIAL**

Wagner Vieira Ramos<sup>1</sup>, Camilo Rodrigues Neto<sup>2</sup>

### **ABSTRACT**

In this article, we present an artificial stock market constructed using a technique of complex systems modeling called Agent-Oriented Modeling, describing their main characteristics and commenting on some of the results obtained through several executions of this model. We also present concepts related to the stock market, such as investors' profiles and stylized facts, which were used, respectively, in model construction and in the analysis of the results. We hope, this way, to emphasize the potential of using the modeling of complex systems in the financial market studies.

### **RESUMO**

Neste artigo, apresentamos um mercado de ações artificial construído a partir de uma técnica de modelagem de sistemas complexos denominada modelo orientado a agentes, descrevendo suas principais características e comentando alguns dos resultados obtidos por meio de diversas execuções deste modelo. Também apresentamos conceitos associados ao mercado de ações, tais como perfis de investidores e fatos estilizados, que foram utilizados, respectivamente, na construção do modelo e na análise dos resultados obtidos. Esperamos, com isso, ressaltar o potencial da utilização da modelagem de sistemas complexos em estudos do mercado financeiro.

**Palavras-chave:** Sistemas complexos, mercado de ações, fatos estilizados, modelo baseado em agentes.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Modelagem de Sistemas Complexos pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. Analista do Banco Central do Brasil. E-mail: [wvramos@usp.br](mailto:wvramos@usp.br)

<sup>2</sup> Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. E-mail: [camiloneto@usp.br](mailto:camiloneto@usp.br)

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de ações artificial apresentado no presente artigo foi desenvolvido como parte essencial da dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos (USP, 2016).

Com ele, foi possível realizar um estudo da influência da heterogeneidade dos investidores no próprio mercado, em particular em características representadas por fatos estilizados, e o predomínio de um determinado perfil em investidores híbridos, ou seja, que podem adotar mais de um perfil. Tal estudo seria, no mínimo, muito mais difícil de ser realizado utilizando-se técnicas analíticas.

Neste artigo, pretendemos apresentar o mercado artificial de ações desenvolvido como um exemplo da utilização de técnicas de modelagem de sistemas complexos no estudo do mercado financeiro, a fim de salientar o potencial da utilização dessas técnicas.

## 2 CONCEITOS

Antes, porém, de detalhar o modelo desenvolvido, é preciso apresentar alguns conceitos necessários à compreensão deste detalhamento.

### 2.1 Sistemas complexos

Sistemas complexos estão por toda a parte, nós mesmos fazemos parte de diversos deles, somos compostos por diversos deles e, até mesmo, somos um deles. E, no entanto, o estudo sistematizado dos sistemas complexos e o desenvolvimento de ferramentas e metodologias para modelá-los é um processo relativamente recente. Mas o que é um sistema complexo? Segundo Mitchell (2009, p. 13, tradução nossa), sistema complexo pode ser definido como “um sistema com uma grande rede de componentes que não possuem um controle central e atuam de acordo com regras simples de operação, dando origem a comportamentos coletivos complexos, processamento de informação sofisticado e adaptação via aprendizagem, ou evolução”.

Podemos encontrar exemplos que correspondam a essa definição nas mais diversas áreas, como, por exemplo, na ecologia (colônias de insetos sociais, cadeias alimentares), na anatomia (sistema nervoso, sistema imunológico), nas redes sociais (redes de relacionamentos pessoal, profissional e acadêmico), na tecnologia (a internet) e na economia

(relações entre produção e consumo e entre capital e emprego, mercados). Neste artigo, examinaremos o mercado financeiro, em particular, o mercado de ações.

## 2.2 O mercado de ações visto como um sistema complexo

Podemos definir *mercado* como um sistema no qual agentes negociam bens numa estrutura que pode ser física ou normativa. No mercado financeiro, os bens negociados são ativos financeiros e no mercado de ações, tais ativos financeiros são ações, ou seja, subdivisões mínimas da participação no patrimônio de uma empresa e as estruturas de negociação são providas por bolsas de valores. Percebe-se claramente que os mercados assim definidos são sistemas complexos, uma vez que não há um controle central que determine quem vai vender, quem vai comprar, quantos bens serão negociados e por quanto. Cada agente negocia de acordo com regras relativamente simples, se adaptando e evoluindo com a experiência. Além disso, há pelo menos um comportamento coletivo emergente bem visível, que é a formação de preço do bem negociado.

## 2.3 Livro de ofertas

Nos principais mercados de ações do mundo, as negociações são intermediadas por bolsas de valores, para onde investidores enviam ordens de compra ou de venda de ações para serem executadas. Historicamente, a estrutura de negociação de ações disponibilizada pelas bolsas de valores consistia em instalações físicas para a prática de pregões viva voz, nos quais operadores ofereciam, literalmente aos gritos, propostas de compra e de venda de ações em nome de seus clientes. A partir do final do século passado, várias das principais bolsas de valores do mundo, como a NASDAQ, a de Londres, a de Tóquio, a de Hong Kong e a BM&FBovespa, entre outras, substituíram paulatinamente os pregões viva voz por sistemas informatizados em que são cadastradas ordens de compra e de venda que são efetivadas em negociações de ações ou registradas para possível negociação futura numa estrutura conhecida como *livro de ofertas*, cujo funcionamento será detalhado adiante.

## 2.4 Fatos estilizados

De acordo com Cooley (1995, p. 3, tradução nossa), “um fato estilizado é uma aproximação teórica de um fenômeno observado empiricamente”. Fatos estilizados podem ser utilizados para diversos propósitos, no modelo apresentado neste artigo, foram considerados três dos principais deles, a saber, distribuição não normais dos retornos, aglomeração de

volatilidade e volume de negociação elevado e persistente, para verificar como são afetados pela heterogeneidade dos perfis dos agentes.

## 2.5 Agentes do mercado de ações

Na visão clássica da economia, o mercado financeiro deve ser estudado por meio de uma microeconomia reducionista, na qual “os agentes são entendidos como unidades de decisão clarividentes, dotadas de racionalidade grosso modo perfeita e já constituídas como tais em face das escolhas” (PRADO, 2006, p. 305). Esta visão implica em que os agentes possuam racionalidade tal que, segundo Simon (1976, tradução nossa), “o conhecimento seja pleno, as expectativas estejam corretas e o resultado da ação seja certo”. Já na visão de mercado financeiro como sistema complexo, pressupõe-se que os agentes possuam comportamentos heterogêneos e atuem sem ter pleno conhecimento de todas as informações do mercado, havendo a possibilidade de que suas expectativas não estejam corretas e sem que o resultado da ação seja certo.

No modelo aqui analisado, os agentes podem ter perfis fundamentalistas, grafistas, híbridos ou aleatórios. Tais perfis serão descritos com mais detalhes adiante.

## 2.6 Modelagem do mercado de ações

O estudo dos sistemas complexos tem evoluído muito nas últimas décadas e uma série de metodologias, técnicas e abordagens têm sido utilizadas para a construção de modelos para os sistemas estudados, dentre as quais, cabe destacar os sistemas dinâmicos, os autômatos celulares, a percolação, o estudo dos fractais, a teoria do caos, o estudo de redes complexas e os modelos orientados a agentes. No trabalho apresentado neste artigo, o mercado de ações foi estudado como um sistema complexo, modelado por meio de um mercado artificial de ações, que é um caso particular de modelo orientado a agentes.

## 2.7 Modelo orientado a agentes

Um modelo orientado a agentes é um sistema computacional que simula um ambiente cujos participantes (os agentes) interagem entre si e com o ambiente. Tais modelos são bastante adequados para representar sistemas complexos como os mercados financeiros, nos quais os pesquisadores dispõem de “dados de qualidade muito alta em uma alta frequência, que dão a eles um amplo conjunto de fatos e características para se trabalhar” (LEBARON, 2001, tradução nossa).

## 2.8 Mercados artificiais de ações

Um mercado artificial de ações (*artificial stock market - ASM*) é um simulador computacional do mercado de ações que utiliza a técnica de modelagem orientada a agentes. Inúmeros modelos de mercados artificiais de ações podem ser encontrados na literatura, tais como o *Santa Fe ASM* (PALMER et al., 1994), o *modelo de Lux e Marchesi* (LUX; MARCHESI, 1999), o *modelo de Matassini e Franci* (MATASSINI; FRANCI, 2000), o *Genoa ASM* (RABERTO et al., 2001) e o *modelo de Preis, Golke, Paul e Schneider* (PREIS et al., 2007), apenas para citar alguns. Cada um deles, com suas peculiaridades, foi utilizado para analisar diferentes aspectos do mercado de ações. Comentaremos brevemente o modelo Genoa ASM, destacando, em seguida, quais de suas características foram aproveitadas no modelo aqui apresentado.

O Genoa ASM, também conhecido pela sigla GASM, é composto por três tipos de agentes: os fundamentalistas, os grafistas e os aleatórios, não havendo possibilidade de troca de perfil entre os agentes. Os fundamentalistas emitem uma ordem de compra caso o preço corrente da ação esteja abaixo do preço fundamental e emite uma ordem de venda caso contrário. Os grafistas emitem ordem de compra ou de venda dependendo da tendência dos preços passados, se a tendência for de alta, emite uma ordem de compra, se a tendência for de baixa, emite uma ordem de venda. Todos os agentes aleatórios emitem ordens que podem ser de compra ou de venda com uma determinada probabilidade. O modelo possui um mecanismo de negociação que procura reproduzir de maneira realista os livros de ofertas limitadas. Os agentes possuem limitações de dinheiro e de quantidade de ações para negociar e nem todos os agentes estão engajados em negociações em cada rodada de negociações.

No modelo desenvolvido para o trabalho apresentado neste artigo, procurou-se reproduzir as características do modelo GASM descritas acima, com três modificações importantes. A primeira é a inclusão do perfil híbrido. Agentes com esse perfil podem agir tanto como grafistas quanto como fundamentalistas em cada rodada de negociação, permitindo que se faça um estudo de qual desses perfis predomina ao final de um período de negociações. Outra modificação importante é que os agentes negociam por meio de estratégias, em vez de simplesmente emitirem ordens de compra ou de venda sem conexão com negociações anteriores. Finalmente, foi desenvolvido um mecanismo de aprendizagem por reforço para os agentes não aleatórios utilizando-se técnicas de inteligência artificial, mas essa característica será objeto de outro artigo.

### 3 LIVRO DE OFERTAS

Em mercados financeiros como o da BM&FBovespa, agentes que desejam negociar ações emitem ordens de compra ou de venda, nas quais constam o preço e o volume desejados. No caso das ordens de compra, o preço indica o limite máximo que o agente está disposto a pagar por ação e, no caso das ordens de venda, indica o limite mínimo que está disposto a aceitar por ação. Por isso, tais ordens são chamadas de *ordens limitadas*. Nem todas as ordens limitadas emitidas conseguem ser negociadas assim que chegam à bolsa. Se não houver uma contraparte que cubra a oferta (uma ordem de venda com preço menor ou igual ao preço máximo inscrito na ordem de compra emitida, ou uma ordem de compra com preço maior ou igual ao preço mínimo inscrito na ordem de venda emitida), a ordem é registrada num livro de ofertas para ficar em espera. Em termos de modelagem, o livro de ofertas é uma lista de filas de espera. Cada fila contém somente ordens de compra ou somente ordens de venda com o mesmo preço limite.

Em cada instante do ciclo de negociação, todas as filas de espera que contêm ordens de compra sempre estão associadas a preços estritamente menores do que os das filas de espera que contem ordens de venda. O maior preço ao qual está associada uma fila de espera que contém ordens de compra é chamado de *bid* e a fila associada a esse valor é chamada de *fila bid*. O menor preço ao qual está associada uma fila de espera que contém ordens de venda é chamado de *ask* e a fila associada a esse valor é chamada de *fila ask*. O *spread* é a diferença entre o ask e o bid, e o *preço de mercado* é igual a média entre bid e ask.

Quando um agente emite uma ordem, podem acontecer quatro consequências possíveis:

- registro no livro de oferta com alteração do preço de mercado da ação;
- registro no livro de oferta sem alteração do preço de mercado da ação;
- ocorrência de negociação com alteração do preço de mercado da ação;
- ocorrência de negociação sem alteração do preço de mercado da ação.

O preço de mercado da ação aumentará caso ocorra uma das duas possibilidades abaixo:

- alta do bid, provocada pela emissão de uma ordem de compra cujo valor seja maior do que o bid atual, mas seja menor do que o ask;

- alta no ask, provocada pela emissão de uma ordem de compra cujo valor seja maior do que o ask quando a fila ask possuir apenas uma ordem.

Por outro lado, o preço de mercado da ação cairá caso ocorra uma das duas possibilidades abaixo:

- baixa do ask, provocada pela emissão de uma ordem de venda cujo valor seja menor do que o ask atual, mas seja maior do que o bid;
- baixa no bid, provocada pela emissão de uma ordem de venda cujo valor seja menor do que o bid quando a fila bid possuir apenas uma ordem.

Com isso, observamos que a dinâmica de preços de uma ação negociada num ambiente de bolsa de valores com livro de ofertas é um comportamento emergente do sistema complexo composto pela bolsa e pelos agentes que atuam nela, pois, embora decorra da interação entre esses componentes, é independente dos objetivos individuais deles.

## 4 FATOS ESTILIZADOS

As séries temporais de retornos produzidas pelo modelo apresentado foram analisadas com o objetivo de verificar influência da heterogeneidade dos agentes em três dos principais fatos estilizados, que são a distribuição não normais dos retornos, a aglomeração de volatilidade e o volume de negociação elevado e persistente. Nos exemplos apresentados abaixo para ilustrar tais fatos estilizados, consideraremos a série temporal de preços da ação PETR4 no período de 28/04/2008 a 29/12/2011.

### 4.1 Distribuição de retornos não normais

Modelos clássicos de previsão de preços utilizados no mercado de capitais, tais como o modelo *Martingal* e os modelos de *Passeio Aleatório 1, 2 e 3* (*Random Walk 1, 2 e 3*, ou *RW2, RW1 e RW3*), descritos em (CAMPBELL; LO; MACKINLAY, 1997) pressupõem a distribuição normal dos retornos. Entretanto, estudos empíricos mostraram que eventos extremos ocorrem com mais frequência do que o previsto numa distribuição Gaussiana. De fato, Ehrentreich verificou que “dados financeiros reais têm maior probabilidade nas caudas e no centro, em outras palavras, eles têm caudas grossas e picos altos” (EHRENTREICH, 2008, p.57, tradução nosa).

Na figura abaixo, comparamos a distribuição dos retornos diários da ação PETR4 com a distribuição normal:

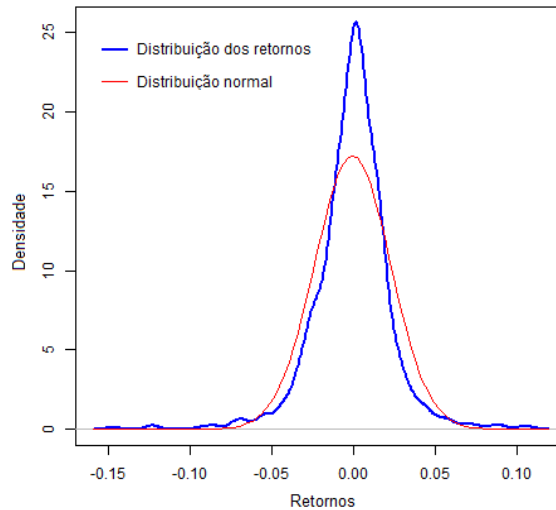


Figura 1 – Distribuição dos retornos da ação PETR4

Fonte: BM&amp;FBovespa, cálculos do próprio autor

Podemos verificar retornos maiores do que os previstos pela distribuição normal em ambas as extremidades, configurando caudas grossas, além de uma quantidade de ocorrências no centro da distribuição bem maior do que a prevista na distribuição normal, configurando pico alto.

#### 4.2 Aglomeração de volatilidade (volatility clustering) dos retornos

A volatilidade diária ( $v_i$ ) de uma ação é definida como  $v_i = \log(p_i / p_{i-1})$ , onde  $p_i$  e  $p_{i-1}$  são os preços de fechamento da ação no  $i$ -ésimo dia e do dia anterior a este, respectivamente. Na figura abaixo, apresentamos o gráfico das volatilidades diárias da ação PETR4:

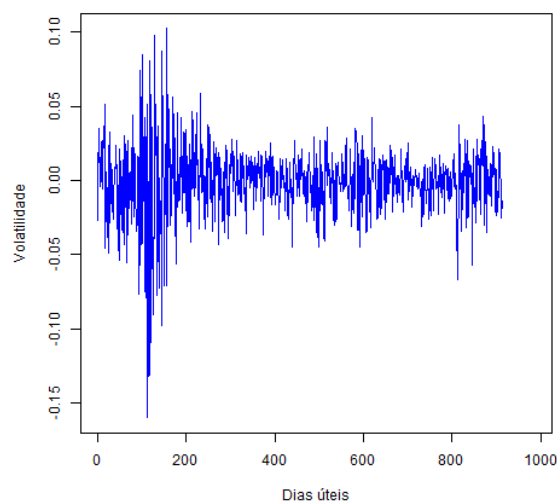


Figura 2 – Volatilidade diária da ação PETR4

Fonte: BM&amp;FBovespa, cálculos do próprio autor



A aglomeração de volatilidade se caracteriza por períodos de altas volatilidades seguidos por períodos de baixas volatilidades. Para obtermos uma melhor visualização da aglomeração de volatilidade, utilizaremos uma variação do conceito de índice de aglomeração utilizado por Tseng e Li (2012, p. 12-14). Sobre a série temporal das volatilidades diárias define-se uma janela móvel com um determinado tamanho. São definidos, também, um limite superior equivalente a uma porcentagem da diferença entre a maior e a menor volatilidade da janela mais a menor volatilidade e um limite inferior simétrico ao limite superior (por exemplo, se a maior volatilidade na janela for 0,95 e a menor for 0,05 e a porcentagem for 80%, o limite superior será  $0,8.(0,95 - 0,05) + 0,05 = 0,77$  e o limite inferior será  $0,2.(0,95 - 0,05) + 0,05 = 0,22$ ). Contam-se as volatilidades diárias dentro dessa janela maiores do que o limite superior e menores do que o limite inferior, se a contagem das volatilidades maiores do que o limite superior for maior do que a contagem das volatilidades menores do que o limite inferior, o índice de aglomeração de volatilidade da janela é definido como 1, se for menor, é definido como -1 e se for igual, é definido como 0. Move-se, então, a janela adiante em um dia e o processo é repetido até que toda a série temporal seja percorrida. Na figura abaixo, apresentamos o gráfico do índice de volatilidade da ação PETR4 para uma janela de 10 dias, com porcentagem igual a 75%:

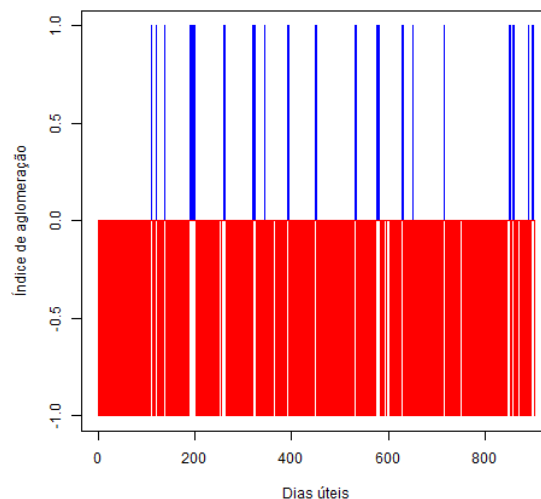


Figura 3 – Índices de aglomeração de volatilidade da ação PETR4

Fonte: Dissertação de mestrado "O EFEITO DA DIVERSIDADE DE PERFIS DE INVESTIDORES NA DINÂMICA DE PREÇOS DE UM MODELO VIRTUAL DO MERCADO DE AÇÕES DA BM&FBOVESPA" Wagner Vieira Ramos (USP, 2016) pag. 40

Pela figura, percebemos claramente períodos de concentração de altas volatilidades, em azul, seguidos de períodos de concentração de baixas volatilidades, em vermelho. Embora os períodos de concentração de alta volatilidade sejam todos curtos, podemos dizer que se verifica a aglomeração de volatilidade para a ação PETR4 no período analisado.

#### 4.3 Volume de negociação elevado e persistente

Dados empíricos e estudos teóricos evidenciam a ocorrência de volume elevado e persistente de negociação. Nas figura abaixo, observamos a evolução da quantidade de negociações da ação PETR4:

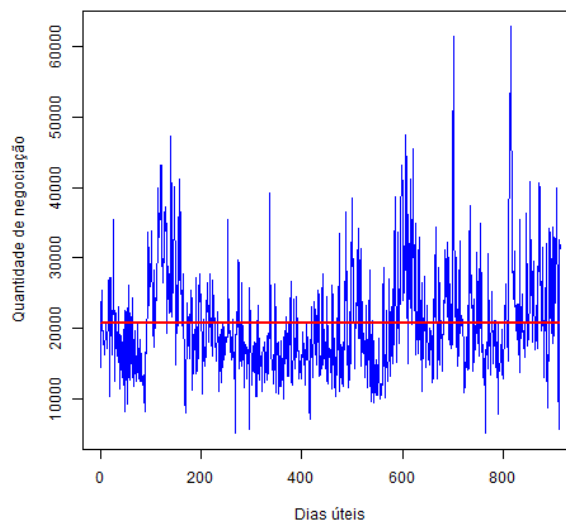


Figura 1 – Quantidade de negociações da ação PETR4

Fonte: BM&FBovespa

Podemos verificar que a média das quantidades diárias de negociações (indicada em vermelho na figura 4) é superior a 20.000 e que, na grande maioria dos dias do período analisado, a quantidade diária de negociações foi superior a 10.000.

## 5 PERFIS DOS AGENTES

### 5.1 Perfil Grafista

Investidores de perfil grafista negociam a partir da chamada *análise técnica*, ou *grafismo*, que parte do princípio de que os preços dos ativos e os volumes negociados seguem certos padrões, e emitem ordens de compra ou de venda dependendo da tendência dos preços

passados. Se a tendência for de alta, emitem ordens de compra (ou utilizam estratégias de compra para posterior revenda), se a tendência for de baixa, emitem ordens de venda (ou utilizam estratégias de venda para posterior recompra).

## 5.2 Perfil Fundamentalista

O investidor de perfil fundamentalista avalia os fundamentos econômicos de uma empresa e o contexto macroeconômico no qual ela está inserida para definir um *preço fundamental*, também chamado de *preço justo*, para as ações dessa empresa. Se o preço de mercado da ação estiver abaixo do preço fundamental, o investidor esperará um aumento de preço e realizará operações de compra. Se o preço de mercado da ação estiver acima do preço fundamental, o investidor esperará uma queda de preço e realizará operações de venda.

Os agentes fundamentalistas do modelo apresentado utilizam o lucro por ação projetado para o ano seguinte e a taxa de crescimento do lucro por ação como parâmetros para avaliar os fundamentos econômicos da empresa, e a taxa básica de juros como parâmetro para avaliar o contexto econômico no qual ela está inserida.

## 5.3 Perfil Aleatório

Existem investidores que não são nem grafistas nem fundamentalista. Não podemos dizer que suas escolhas sejam aleatórias, mas são decorrentes de motivos tão diversos e idiossincráticos que, do ponto de vista de um observador externo, são imprevisíveis. Assim, para fins de resultado agregado, é razoável modelar tais investidores como sendo aleatórios, ou seja, emitem ordem de compra com probabilidade  $p$  e ordens de venda com probabilidade  $(1 - p)$ , com  $0 < p < 1$ .

## 6 ESTRATÉGIAS

No modelo apresentado, cada agente possui inicialmente um caixa, com uma determinada quantidade de dinheiro, e um portfólio, com uma determinada quantidade de ações. Tanto o caixa quanto o portfólio podem ser alterados por meio de negociações, que são executadas por meio de estratégias classificadas das seguintes maneiras:

- *pelo objetivo*: podem ser estratégias de especulação ou de reposição;
- *pelo tipo*: podem ser estratégias de compra e revenda, de venda e recompra, somente de compra ou somente de venda.

### 6.1 Estratégias de especulação

São estratégias executadas pelos agentes visando retorno financeiro. São compostas por duas emissões de ordens opostas, uma inicial e outra final, sendo que a ordem final é emitida tão logo a ordem inicial seja negociada. Tais estratégias, se executadas até o fim, ou seja, até o momento em que a ordem final seja negociada, não alteram o portfólio do agente, mas podem alterar seu caixa tanto positivamente, quanto negativamente.

Nem sempre a estratégia consegue ser executada até o final e, neste caso, o modelo considera que a estratégia teve retorno zero. Se, ao final da estratégia, não tiver havido negociação com a ordem inicial, não terá havido alteração nem no caixa, nem no portfólio do agente. Se tiver havido negociação somente da ordem inicial, mas não da final, foi considerado que uma eventual diminuição no caixa foi compensada pelo um aumento no portfólio e vice-versa.

### 6.2 Estratégias de reposição

Caso o agente tente utilizar uma estratégia de compra e revenda, mas não possua caixa suficiente, ou caso tente utilizar uma estratégia de venda e recompra, mas não possua nenhuma ação em seu portfólio, terá que recorrer a uma estratégia de reposição. Uma estratégia de reposição de compra serve para repor o portfólio e uma estratégia de reposição de venda serve para repor caixa. Estratégias de reposição possuem apenas ordem inicial e as considerações sobre a emissão e negociação dessa ordem são as mesmas feitas para as estratégias de especulação.

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram executadas cinquenta simulações para cada uma das seguintes distribuições de perfis:

- somente grafistas;
- somente fundamentalistas;
- somente híbridos;
- somente aleatórios;
- distribuição mista (100 grafistas, 100 fundamentalistas, 200 híbridos e 600 aleatórios).

Pelos resultados das simulações, foi possível verificar a ocorrência de dois fatos estilizados, a distribuição não normal dos retornos e a aglomeração em todas as simulações. No caso da distribuição não normal dos retornos, picos altos foram encontrados em todas as simulações e caudas grossas na grande maioria. As simulações não produziram nenhuma distribuição de retornos semelhante verificada para a ação PETR4 no período considerado, mas a análise dos resultados apresentou uma indicação de que alterações na distribuição dos perfis podem produzir uma distribuição mais próxima da real. No caso da aglomeração de volatilidades, verificou-se que a adoção de perfis mistos produziram, na grande maioria das simulações, sequências de aglomerações semelhantes às verificadas para a ação PETR4 no período considerado, com predomínio de períodos curtos de aglomeração de alta volatilidade e predomínio de períodos médios de aglomeração de baixa volatilidade.

No caso do volume de negociação, por não possuímos parâmetro de comparação, não foi possível determinar se os volumes verificados nas simulações podem ser considerados altos ou baixos. Mas pudemos determinar que as distribuições de perfis “somente fundamentalistas” e “somente aleatórios” produziram volumes menores de negociação e as demais distribuições produziram volumes maiores de negociação.

Por meio da análise das adoções de perfis por parte dos agentes híbridos, tornada possível pela incorporação desse tipo de agente ao modelo, verificamos que o perfil fundamentalista foi adotado mais vezes do que o perfil grafista pelos agentes híbridos em todas as simulações realizadas. Além disso, foi sempre dos fundamentalistas a maior diferença, em módulo, entre o número de vezes de adoções do perfil grafistas e o número de vezes de adoções do perfil fundamentalistas em um dia.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em primeiro lugar, podemos dizer que o modelo desenvolvido, com base no modelo GASM acrescido de características como negociação por meio de estratégias, capacidade de aprendizagem por parte de agentes não aleatórios e existência de agentes híbridos, permitiu reproduzir em quase todas as simulações a ocorrência de retornos não normais, com picos altos e caudas grossas e de aglomeração de volatilidades. Permitiu, também, analisar a influência de diversas distribuições de perfis nesses fatos estilizados e também no volume de negociações e no predomínio de perfil para os agentes híbridos. Além disso, permitiu analisar os resultados agregados da aplicação dos diversos tipos de estratégia, com base nos resultados da fase de aprendizagem.

Por fim, podemos concluir que o mercado de ações artificial desenvolvido demonstrou ser uma ferramenta de grande utilidade no estudo do mercado de ações.

## REFERÊNCIAS

- BODIE, Z. & KANE, A. & MARCUS, A. J. *Essentials of Investments*. Nova Iorque, 2008.
- CAMPBELL, J. Y. & LO, A. W. & MACKINLAY, A. C. *The econometrics of financial markets*. Princeton, 1997.
- COOLEY, T. *Frontiers of business cycle analysis*. Princeton, 1995.
- EHRENTREICH, N. *Agent-Based Modeling - The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited*. Berlin, 2008.
- LEBARON, B. *A builder's guide to agent based financial markets*. Quantitative Finance, v. 1, n. 2. 2001. 1–13 p.
- LOBATO, I. N. & VELASCO, C. *Long memory in stock-market trading volume*. Journal of Business and Economic Statistics, n. 18. 2000. 410–426 p.
- LUX, T. & MARCHESI, M. *Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market*. Nature, v. 397. 1999. 498–500 p.
- MATASSINI, L. & FRANCI, F. *Life in the stockmarket - a realistic model for trading*. arXiv:cond-mat/0008466, v. 1. Dresden, 2000.
- MITCHELL, M. *Complexity: A guided tour*. Nova Iorque, 2009.



NICOLIS, G. & NICOLIS, C. *Foundations of Complex Systems - Nonlinear Dynamics, Statistical Physics, Information and Prediction*. Cingapura, 2007.

PALMER, R. G. et al. *Artificial economic life: a simple model of stock market*. *Physica D*, v. 397. 1994. 264–275 p.

PRADO, E. F. S. *Microeconomia reducionista and microeconomia sistêmica*. *Nova Economia*, v. 16, n. 2. 2006. 302–322 p.

PREIS, T. et al. *Statistical analysis of financial returns for a multiagent order book model of asset trading*. *Physical Review E*, v. 76. 2007.

RABERTO, M. et al. *Agent-based simulation of a financial market*. *Physica A*, v. 299. 2001. 319–327 p.

SIMON, H. A. *From substantive to procedural rationality*. in: Latsis, s.j. (ed.): *Method and appraisal in economics*. Cambridge, 1976. 129–148 p.

STANLEY, H. E. et al. *Anomalous fluctuations in the dynamics of complex systems: from dna and physiology to econophysics*. *Proceedings of 1995 Calcutta Conference on Dynamics of Complex Systems*, *Physica A*, n. 224. 1996. 302 p.

TSENG, J. & LI, S. *Quantifying volatility clustering in financial time series*. *International Review of Financial Analysis*, v. 23, n. C. Stanford, 2012. 11–19 p.

Dissertação de mestrado "O EFEITO DA DIVERSIDADE DE PERFIS DE INVESTIDORES NA DINÂMICA DE PREÇOS DE UM MODELO VIRTUAL DO MERCADO DE AÇÕES DA BM&FBOVESPA" Wagner Vieira Ramos (USP, 2016).