

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Uma abordagem de economia em um sistema complexo

Amaury S. Amaral¹

Departamento de Contabilidade

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, SP

Fernando F. Ferreira²

Núcleo Interdisciplinar de Sistemas Complexos, USP, São Paulo, SP

Resumo.

O objetivo deste trabalho foi reproduzir uma economia rudimentar em processo computacional (algoritmo em C++), baseada no modelo de [1], cujo modelo foi possível introduzir um grupo de consumidores que realizam movimentos de compras e para tal utilizou-se da técnica do *partner preferred*. Significa que eles compram os seus produtos mediante um mecanismo de escolha de preço afetado por essas mesmas escolhas. No sentido oposto, o preço guarda forte correlação com os estoques cuja variável foi introduzida. Como o sistema está em rede pode-se notar o desencadeamento nas indústrias, nos bancos, nos empregos etc. O patrimônio foi o elemento de riqueza ou pobreza dos *players* do sistema. Ao final pudemos aplicar um choque na variável juro e foi possível verificar o comportamento dos patrimônios dos bancos e dos demais *players* do sistema.

Palavras-chave. Rede complexa, economia de rede, risco sistêmico.

1 Introdução

Os princípios de economia em rede foram teorizados por [5] e consistem em atribuir ao dinheiro um efeito real e determinante no ciclo da atividade econômica, conduta que não era considerada pelos economistas monetaristas nos estudos das variáveis. Para esses autores, os bancos têm papel central mediante a confiança e a concessão de crédito, cujo papel interdependente proporciona um equilíbrio geral no mercado de serviços e produtos.

Ao final pudemos aplicar um choque na variável juro e foi possível verificar o comportamento dos patrimônios dos bancos e dos demais *players* do sistema.

2 A economia como um sistema complexo

Conquanto a economia também seja um sistema complexo, percebe-se que sua análise ainda é restrita à junção da teoria econômica tradicional (*top down*, isto é, as decisões são tomadas dos primeiros princípios e depois orientadas para baixo) com os dados obtidos

¹asamaral@pucsp.br

²ferfff@gmail.com

pela econometria. O equilíbrio é buscado, mas nem sempre ele representa um testemunho da realidade, como bem sinalizou [2], p.1). Nota-se isso com as emergências das crises sistêmicas.

As crises sistêmicas baseadas no mercado são caracterizadas por uma coordenação falha: uma grande parte dos participantes do mercado decide simultaneamente reduzir o risco e desacelera as atividades financeiras. Essas crises tendem a se iniciar com um grande declínio no preço de um ativo, que se torna autossustentável.

Em [3], o sistema complexo é similar a um ser vivo que evolui de forma altamente não trivial e complexa, impulsionado por ecologia de agentes que interagem entre si e se adaptam sob a influência de uma retroalimentação. (p.6). Para ele, o sistema exibe fenômenos emergentes, que surpreendem e podem caminhar para uma posição extrema.

Miller e Page, em [4], afirmam não ser possível analisar o sistema em partes separadas, pois a interação e evolução dessas partes fazem emergir, ao longo do tempo, fenômenos que caracterizam o próprio sistema. (p.27).

3 Funcionamento do modelo Delli Gatti e suas contribuições

3.1 Os *players* da economia artificial

O algoritmo elaborado procurou seguir os efeitos dos juros nas empresas, fornecedores, bancos, consumidores etc. e ao final produzimos “choques” através da elevação dos mesmos. Segundo Stiglitz [5] os juros se propagam em rede de acordo com: $p = r_a(1 - P_b) + \int_{\psi_f}^{\infty} \left(\frac{Y_f - c_f}{B} - 1 \right) dF(\psi)$ (recebimentos no caso de não falência + recebimentos no caso de falência). Aqui B representa a quantia que o banco empresta a um tomador, por exemplo, uma firma. Tem-se que c_f é o custo de falência da firma, e $Y_f(\cdot, \psi)$ é o retorno no projeto implementado pela firma tomadora do empréstimo, o qual depende do estado do ciclo de negócios realizado com os seus parceiros ψ , e em que ψ_f é o valor no qual a firma entra em processo falência. O fator P_b é a probabilidade de falência desta firma: $P_b = Prob\{Y_f(\cdot, \psi) \leq (1 + r_a)B\}$.

Conforme artigo de [1], a economia artificial criada consiste de três setores básicos: (a) um setor inferior de I empresas nas quais se inserem os índices i ($i = 1, 2, 3, \dots, I$), as *Dowstream* (D); (b) um setor superior(2); a J firmas, com os índices j ($j = 1, 2, 3, \dots, J$), as *Upstream* (U), (c) um setor de Z bancos (3), indexados com z ($z = 1, 2, 3, \dots, Z$).

Inserimos neste trabalho, em contribuição, um quarto setor, (d) composto pelos C - consumidores. Os índices i, j e z significam a ligação existente entre os C consumidores e as empresas *Dowstreams* e *Upstreams*, e os bancos.

3.2 Sobre o funcionamento das empresas na rede

As empresas (D) produzem produtos para consumidores, equivalente a uma fábrica que vende seus produtos no varejo. As firmas (I) produzem para suprir a (D) empresas com bens intermediários, fabricação e venda no atacado, nada vendendo aos consumidores diretamente.

No modelo original de Delli Gatti, as D empresas não contêm estoques, vendendo tudo que produzem, Igualmente, as U firmas que também não têm estoques, fabricando o necessário de seus produtos mediante encomenda das D empresas.

O arcabouço teórico para a inexistência de estoque está baseado na Lei de Sais (que determina a condição de inexistência de estoque).

No entanto, a fim de tornarmos a nossa economia artificial mais dinâmica, introduzimos na modelagem do sistema o componente estoque para influir na formação do preço de venda dos produtos. Sabemos, da economia real, que as empresas realizam liquidação de seus produtos, de acordo com a procura por seus produtos; essa demanda tornam os preços flexíveis, oscilando pelas escolhas dos consumidores. Assim, notamos que haverá uma flutuação positiva ou negativa nos preços, de acordo com as realizações das vendas desses produtos aos seus consumidores.

3.3 Os mecanismos financeiros da simulação e assimetrias

A vertente financeira caracteriza-se por relações de empréstimos e crédito concedidos na economia: *as duas empresas (D) e (U) obtém seus recursos por meio de financiamentos com os Z bancos, através de mecanismos de crédito. Verifica-se ainda que as firmas (U) também realizam resultados, emprestando valores para os grupos das (D) entidades.*

Com o intuito de aumentarmos o dinamismo econômico, introduzimos na modelagem o financiamento dos (C) consumidores junto aos Z bancos emprestadores dos recursos.

Assim, conforme a formulação, a rede financeira formada possui relação direta com a produção das empresas, ou seja, para produzirem os seus produtos necessitarão de crédito financeiro evoluindo endogenamente por meio de uma iteração de agentes.

O crédito assim incentivado denominou-se de escolha de parceiros preferidos; cada componente procura os seus “pares” ideais, de acordo com o menor preço ofertado. O mecanismo de escolha ocorre tanto nas mercadorias adquiridas como também nas taxas de juros aplicadas ofertadas.

O mecanismo transcende por uma escala da i -ésima firma D até o tempo t .

Em relação à produção Y_{it} , notamos que se trata de uma função côncava crescente, e a sua robustez financeira consiste na captura patrimônio líquido das empresa A_{it} , ou seja quanto melhor o desempenho e o porte econômico dessa empresa, melhor será a sua produção. Notamos que é influenciada por uma componente de evolução tecnológica β . Definimos: $Y_{it} = \phi A_{it}^\beta$, em que $\phi > 1$, $0 < \beta < 1$ são parâmetros, uniformes entre as firmas D . Em [1] essa função foi chamada de resultado financeiro restrito. Os agentes nessa economia artificial, bem como na economia real, têm racionalidade limitada, pois no caso contrário, bastaria um simples equacionamento das variáveis, e os resultados decorreriam de uma aplicação trivial.

O modelo pressupõe também a existência de uma assimetria de informação entre aqueles que emprestam recursos e os que realizam os empréstimos. Tal assimetria seria representada na equação a seguir: $\max_{Y_i} V(Y_i; A_i) = E(\pi(Y_i; A_i)) - C(Y_i)\Omega(Y_i; A_i)$.

Esta fórmula foi proposta por [6] e, similarmente, encontramos também em [5]. Ela, basicamente, consiste na afirmação de que os lucros líquidos esperados $E(\pi_i)$ são maximizados dos custos da falência C_i , ponderados pela probabilidade de falência Ω_i .

Os lucros estão representados em uma função crescente da saída Y_{it} .

À medida que crescem, os tamanhos das firmas aumentam, de igual modo, em escala, as suas atividades aumentando gradativamente o patrimônio líquido das firmas, demonstrando a evolução de suas riquezas.

A seu turno existindo uma fragilidade financeira haverá um reflexo no aumento de probabilidade de falência. A solução será dado por: $Y_i = \arg \max V(Y_i; A_i) = f(A_i)$. Derivando com $f' > 0$, tem-se uma representação linear da função.

Em [1] pressupõem-se a existência de informações assimétricas entre os emprestadores e os tomadores dos recursos e esse fato levaria a uma hierarquia na concessão dos financiamentos. A concavidade limitada representada pela função Y_i captura a ideia de que um aumento na variância das condições desses financiamentos traria concomitantemente uma redução, na média e de forma agregada, o resultado obtido.

Uma das soluções da equação de Y_i é a equação de produção $Y_{it} = \phi A_{it}^\beta$, que pode ser obtida pelo desenvolvimento de Y_i . [1] afirmam que tal função é do tipo Leontief, ou seja definida pela expressão: $Y_i = \min \left(\frac{1}{\delta_d} N_i, \frac{1}{\gamma} Q_i \right)$, onde $\delta_d > 0$ e $\gamma > 0$. De onde se extrai: $Q_{it} = \gamma Y_{it}$ e $N_{it} = \delta_d Y_{it}$.

3.4 O preço agregado na economia e efeitos nos estoques

No modelo original de Gatti et al., os produtos são vendidos a um preço estocástico e é definido por $u_{it} = f(\delta_{it}, \delta_{it})$.

O comércio existente é “perturbado” por uma variável δ , provocando um distúrbio estocástico na demanda. Tem-se que: $d(u_{it}, \delta_{it} + 1)$, em que u_{it} é o preço da i -ésima mercadoria.

Adaptamos o nosso modelo para introduzir o preço de acordo com os estoques existentes no mercado. O preço atual depende do preço anterior, ajustado a um fator do estoque pela demanda.

Os estoques $E_{it} = (Y_{it} - V_{it})$ serão a diferença entre a oferta menos a demanda efetiva. $u_{it} = \left(1 - \frac{E_{it-\sigma}}{Y_{it-\sigma}} \right) u_{it-\sigma}$.

3.5 Os fornecedores de insumos e processos de compra

Pelo modelo, as empresas $Upstream(U)$ produzem os bens intermediários por meio de uma tecnologia definida em uma função Leontief, que emprega apenas trabalho, definida por: $Q_{jt} = \frac{1}{\delta_u} N_{jt}$, em que $\delta_u > 0$.

Cada firma (D) tem apenas uma conexão com uma firma (U), mas muitas firmas (D) podem estar vinculadas a mais de uma empresa (U).

O processo de compra por meio (D) transcorre com a emissão das ordens de compras, definidas pelas ofertas dos conjuntos de fornecedores ϕ_j . Como cada empresa (D) busca por preços mais baixos do conjunto de (U), então por construção o parâmetro ϕ_j influencia o preço p_{jt} que as firmas $Upstreams$ vendem.

O preço contém uma taxa de juros “embutida” em sua composição, e é definida por: $p_{jt} = 1 + r_{jt}$, em que r_{jt} é a taxa de juros cobrada e que depende da condição financeira das $Upstreams$.

Assim essa taxa é definida por: $r_{jt} = \alpha A_{jt}^{-\alpha}$, em que α é um parâmetro.

Ou seja, a taxa de juros cobrada depende da solidez financeira das empresas fornecedoras de insumos *Upstreams*.

A fórmula de produção é também definida por $N_{jt} = \delta_u \gamma \phi \sum_{i \in \phi_j} A_{it}^\beta$.

3.6 Os mecanismos de crédito e impacto dos juros

As empresas são movidas por uma ordem financeira superveniente a elas, de tal ordem que o financiamento está em primeiro lugar, e os empréstimos bancários em segundo plano. Esse intervalo entre o financiamento interno, as despesas e os insumos são preenchidas pelo crédito. Para as empresas (*U*), a lacuna financeira é a diferença entre a massa salarial e o patrimônio líquido; já para as firmas (*D*), tal lacuna é representada pela diferença entre os custos dos insumos e o patrimônio líquido. Significa que a aquisição dos bens intermediários são financiadas não pela pelos empréstimos bancários, e sim pelos créditos obtidos. Assim, a demanda de crédito é definida por: $B_{xt} = W_{xt} - A_{xt}$, em que W_{xt} possui os índices $x = i$ para as empresa (*D*) e $x = j$ para as empresas (*U*), sendo descrito por: $W_{xt} = wN_{xt}$. O salário real é definido por w .

Por hipótese, o salário é abundante, de forma que as empresas não enfrentam qualquer escassez de mão-de-obra.

Pelo modelo proposto por [1], a firmas autofinanciadas, que possuam um nível de patrimônio líquido suficiente para financiar pelo menos a sua massa salarial, não demandam crédito.

Assim, a demanda por crédito da i -ésima empresa (*D*) é definida por: $B_{it} = wN_{it} - A_{it} = w\delta_d \phi A_{it}^\beta - A_{it}$, de forma que o reflexo no patrimônio de (*D*) será maior quanto maior for o patrimônio de (*U*).

Em relação à rede bancos-firmas, o modelo prevê a existência de um conjunto de consumidores do z -ésimo banco, denotado por ϕ .

Esse parâmetro dependerá da taxa de juros, e, que por construção, significa que quanto mais alto este parâmetro, mais empresas solicitarão empréstimos à rede de bancos.

O z -ésimo banco adota a seguinte regra para estabelecer a taxa de juros sobre os empréstimos ao x -ésimo tomador do empréstimo ($x = j$ ou $x = i$): $r_{zt}^x = \sigma A_{zt}^{-\sigma} + \theta (l_{xt})^\theta$, em que $A_{zt}^{-\sigma}$ é o patrimônio líquido do z -ésimo banco e l_{xt} é um índice que mede a alavancagem da x -ésima empresa, σ, θ são parâmetros positivos. A alavancagem é um medidor que representa a divisão entre as dívidas dessa empresa por seu patrimônio líquido. Mede o quanto tal empresa está “endividada”. A taxa de juros do banco z -ésimo será definida pela forma: $r_{zt}^j = \sigma A_{zt}^{-\sigma} + \theta \left(\frac{(w\delta_u \gamma \phi)}{A_{jt}} \sum_{i \in \phi_j} A_{it}^\beta - 1 \right)^\theta$. (1)

Isso indica que essa taxa será uma função decrescente do patrimônio líquido do banco e da j -ésima firma, e simultaneamente uma função crescente das empresas *downstreams* (*D*).

Cada empresa (*D*) tem uma vinculação por crédito e por produção com uma empresa (*U*), e tais vínculos são estabelecidos aleatoriamente, no tempo t .

O modelo também se propaga por meio de avalanches de falências devido a repercussão negativas de crédito concedidos aos fornecedores, contaminando assim todo o sistema.

Verificamos também que quanto menor o índice de alavancagem, em uma análise dos bancos, maior será a propagação dessa concessão de crédito, que representa um baixo endividamento em relação ao seu patrimônio.

Assim, percebemos que quanto menores as taxas de juros, concedidos nos empréstimos, se a alavancagem estiver em um grau menor, maior será a concessão do crédito.

3.7 A formação dos lucros e dos patrimônios

(a) Os lucros das empresas (D) são definidos por: $\pi_{it} = u_{it}Y_{it} - (1 + r_{zt}^i)B_{it} - (1 + r_{jt})Q_{it}$, em que u_{it} é o preço cobrado na economia; Y_{it} é a produção (oferta); r_{zt}^i é a taxa de juros; B_{it} é o crédito concedido e Q_{it} é a quantidade de produtos (insumo de produção).

Com a introdução da rede de consumidores, o novo lucro que se define para bancos é: $\pi_{it} = u_{it}V_{it} - (1 + r_{zt}^i)B_{it} - (1 + r_{jt})Q_{it}$, em que V_{it} passa a ser a demanda efetiva em que os consumidores realmente adquirem tais produtos.

(b) Os lucros das empresas (U) é definido por: $\pi_{jt} = (1 + r_{zt}^j)B_{jt} - (1 + r_{jt})Q_{jt}$, B_{jt} é o crédito concedido, Q_{jt} é a quantidade de produtos (insumo de produção) e r_{jt} a taxa de juros cobrada.

(c) Os lucros dos bancos são definidos por: $\pi_{zt} = \sum_{i \in I_z} (1 + r_{zt}^i)B_{it} + \sum_{j \in J_z} (1 + r_{zt}^j)B_{jt}$, em que B_{it} e B_{jt} são os créditos concedidos às empresas (U) e (D).

Com o acréscimo na simulação de créditos concedidos para os consumidores, temos: $\pi_{zt} = \sum_{i \in I_z} (1 + r_{zt}^i)B_{it} + \sum_{j \in J_z} (1 + r_{zt}^j)B_{jt} - \sum_{k \in K_z} (1 + r_{zt}^k)B_{kzt}$, em que B_{kzt} representa o crédito concedido aos consumidores mediante a taxa de juros r_{zt}^k .

3.8 A influência das más dívidas nos patrimônios das entidades

A fórmula geral do patrimônio é definida por: $A_{xt+1} = A_{xt} + \pi_{xt} - BD_{xt}$, em que indicamos que o patrimônio cresce com o lucro π_{xt} e decresce com o crédito concedido BD_{xt} , $x = j$ ou $x = i$, de acordo com as empresas.

A dívida não recuperável dos bancos é definida por: $BD_z = \sum_{i \in \phi_z^B} (1 + r_{zt}^i)B_{it} + \sum_{j \in \phi_z^B} (1 + r_{zt}^j)B_{jt}$.

Como introduzimos a rede ao consumidor, então a dívida não recuperável dos bancos é definida por: $BD_z = \sum_{i \in \phi_z^B} (1 + r_{zt}^i)B_{it} + \sum_{j \in \phi_z^B} (1 + r_{zt}^j)B_{jt} + \sum_{k \in \phi_z^B} (1 + r_{zt}^k)B_{kt}$, em que o crédito passou a se representado pelos índices i, j e k , definido pelas empresas *Downstreams*, *Upstreams* e ainda por k consumidores.

A rede pela lista de fórmulas: as cores iguais representam as iterações possíveis, ou seja, alterando-se uma equação surtirá efeitos concomitantemente em outras.

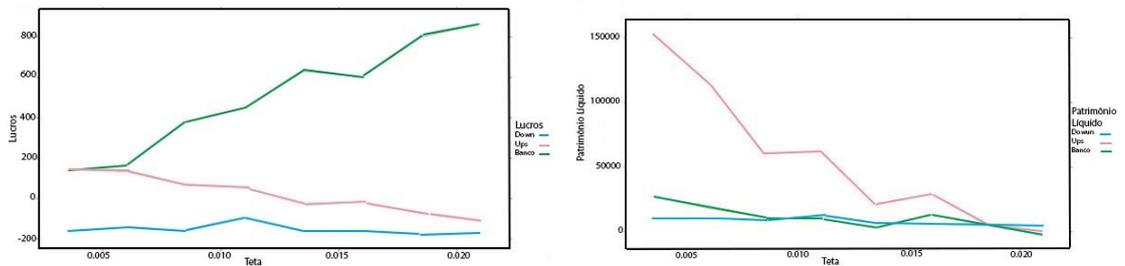


Gráfico demonstrando os choques apurados nas taxas de juros em (1) dos *players*.

4 Conclusões

O sistema socioeconômico, caso particular dos sistemas complexos, autorreferenciam-se em suas previsões, retroalimentando-se com o resultado de suas próprias ações e, por isso, possuem uma estrutura auto-organizável. Em decorrência, o seu comportamento torna-se imprevisível na escala esperada. Ao lado do fenômeno da emergência, outros foram concebidos no universo da complexidade. Dentre eles, a transição de fase, cujas mudanças nas estatísticas de um fenômeno surgem a partir de um valor crítico dos parâmetros de controle. A universalidade que os sistemas complexos exibem é uma evidência em que detalhes microscópicos não são muito relevantes, mas sim, a natureza das interações dos seus agentes constituintes. Vale ainda mencionar que os sistemas complexos podem ser adaptativos; em outras palavras, eles são reativos às mudanças do meio ou as perturbações das regras internas que permeiam tais interações.

Verificamos ainda que causas múltiplas e efeitos não-lineares são características próprias dos fenômenos socioeconômicos. Variações microscópicas entre as interações dos elementos constituintes podem levar a uma grande mudança no comportamento esperado e previsto do fenômeno. Em razão disso, normalmente suas estatísticas não são captadas adequadamente pelas equações lineares.

Agradecimentos

Agradecemos à USP e à PUCSP, em especial à SBMAC e à Fundação de Física Teórica.

Referências

- [1] D. Delli Gatti, B. C. Greenwald, A. Russo, J. E. Stiglitz, Business fluctuations and bankruptcy avalanches in an evolving network economy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 4:195-212, 2009.
- [2] J. Doyne Farmer, Economics Needs to Treat the Economy as a Complex System. Conferência “Rethinking Economics and Politics”. Oxford: *INET - Institute for New Economic Thinking*, pages 1-15, 2012.
- [3] N. F. Johnson, *Simply Complexity: A Clear Guide to Complexity Theory*. Oxford: Oneworld, 2007.
- [4] J. H. Miller, and S. E. Page, *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton: Princeton University, 2009.
- [5] J. E. Stiglitz, and B. Greenwald, *Towards a New Paradigm in Monetary Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [6] J. E. Stiglitz, and B. Greenwald Financial market imperfections and business cycles. *Quarterly Journal of Economics*. Oxford: Oxford University Press, 108:77-114, 1993.