Crescimento *Demand-Led* e Competição Neo-schumpeteriana: Um Modelo Macroeconômico Baseado em Agentes

Dr. Adilson Giovanini

Resumo

Este artigo desenvolve um modelo macroeconômico baseado em agentes (ABM) de inspiração kaldoriana e neo-schumpeteriana, no qual o crescimento econômico emerge da interação entre demanda efetiva, investimento induzido, *learning-by-doing*, inovação e competição entre firmas heterogêneas. O modelo incorpora mecanismos de causalidade cumulativa à la Verdoorn, difusão tecnológica, entrada e saída endógena de firmas e dinâmica oligopolista. A calibração utiliza dados tabulados para 182 países no período 1995–2023, a partir dos quais foram estimados o crescimento médio do produto, a volatilidade macroeconômica e um coeficiente empírico de Verdoorn, empregado na parametrização dos mecanismos de aprendizado e produtividade. Os resultados mostram que o modelo reproduz simultaneamente crescimento liderado pela demanda, progresso tecnológico endógeno, heterogeneidade persistente entre firmas, distribuição assimétrica do tamanho das empresas e flutuações macroeconômicas emergentes, reforçando o potencial dos ABMs para analisar dinâmicas econômicas fora do equilíbrio.

Palavras-chave: crescimento demand-led; modelos baseados em agentes; mudança tecnológica; competição evolucionária; heterogeneidade estrutural.

Classificação JEL: O41; O33; C63; D21; L16.

Área 4. Microeconomia, Economia Industrial e Estrutura Produtiva

Abstract

This article develops a Kaldorian and neo-Schumpeterian agent-based macroeconomic model (ABM) in which economic growth emerges from the interaction between effective demand, induced investment, learning-by-doing, innovation, and competition among heterogeneous firms. The model incorporates Verdoorn-type cumulative causation mechanisms, technological diffusion, endogenous firm entry and exit, and oligopolistic dynamics. Calibration relies on tabulated data for 182 countries covering the 1995–2023 period, from which average output growth, macroeconomic volatility, and an empirical Verdoorn coefficient were estimated and used to parameterize learning and productivity mechanisms. The results show that the model simultaneously reproduces demand-led growth, endogenous technological progress, persistent firm heterogeneity, asymmetric firm-size distribution, and emergent macroeconomic fluctuations, reinforcing the potential of ABMs for analyzing out-of-equilibrium economic dynamics.

Keywords: demand-led growth; agent-based models; technological change; evolutionary competition; structural heterogeneity.

1. Introdução

O crescimento econômico constitui um dos temas centrais da teoria econômica, particularmente no que se refere aos mecanismos responsáveis pela persistência das diferenças de produtividade, industrialização e dinamismo entre economias ao longo do tempo. Desde Young (1928), Schumpeter (1942) e Kaldor (1966, 1972), consolidou-se uma tradição teórica que interpreta o crescimento econômico como um processo cumulativo, impulsionado pela interação entre demanda efetiva, retornos crescentes, aprendizado produtivo, mudança tecnológica e transformação estrutural.

Nessa perspectiva, o crescimento econômico não decorre apenas da acumulação fatores de produção, mas principalmente da expansão dos mercados, do investimento induzido, do aprendizado ao nível das firmas e da difusão tecnológica. Young (1928) destaca que a ampliação na especialização das firmas, em resposta ao aumento no tamanho do mercado, gera economias dinâmicas de escala e ganhos cumulativos de produtividade. Kaldor (1966, 1972), por sua vez, enfatiza o papel da demanda efetiva e da indústria de transformação como motores do crescimento econômico, formalizando a relação positiva entre expansão do produto e da produtividade por meio da Lei de Verdoorn. Paralelamente, a tradição neo-schumpeteriana interpreta o capitalismo como um sistema evolutivo marcado por inovação, heterogeneidade tecnológica e destruição criadora (Schumpeter, 1942; Nelson; Winter, 1982).

Apesar da relevância dessas contribuições, a literatura ainda apresenta dificuldades para integrar simultaneamente demanda efetiva, heterogeneidade microeconômica, inovação e dinâmica competitiva. Modelos neoclássicos normalmente assumem equilíbrio, racionalidade perfeita e firmas homogêneas, enquanto a literatura pós-keynesiana e kaldoriana opera em nível agregado, limitando a representação explícita da competição tecnológica, inovação descentralizada e seleção evolucionária, mediante microfundamentação da dinâmica macroeconômica (Kaldor, 1966; 1972; Robinson, 1962; Pasinetti, 1981; Rowthorn, 1981; Setterfield, 1997; 2010; Lavoie, 2014).

Nesse contexto, os ABMs tornaram-se particularmente relevantes por permitirem incorporar heterogeneidade entre firmas, interações descentralizadas e dinâmicas fora do equilíbrio. A literatura recente avançou significativamente na integração entre demanda efetiva, inovação e competição (Dosi *et al.*, 2010; Caiani *et al.*, 2016). Entretanto, ainda permanece relativamente limitada a integração explícita entre mecanismos kaldorianos de crescimento *demand-led* e estruturas neo-schumpeterianas de competição tecnológica.

Diante disso, o presente trabalho desenvolve um modelo macroeconômico baseado em agentes com inspiração kaldoriana e neo-schumpeteriana, no qual o crescimento emerge da interação entre demanda efetiva, investimento induzido, aprendizado (*learning-by-doing*), inovação e competição entre firmas heterogêneas. O modelo incorpora mecanismos de causalidade cumulativa, difusão tecnológica, entrada e saída endógena de firmas e dinâmica oligopolista.

O objetivo central consiste em analisar como a interação entre a demanda agregada, a produtividade e a competição gera trajetórias macroeconômicas caracterizadas por crescimento cumulativo, mudança estrutural e heterogeneidade persistente. Assim, o artigo busca contribuir para a literatura ao combinar elementos pós-keynesianos e neo-schumpeterianos em um ambiente computacional baseado em agentes, calibrado a partir de momentos empíricos que buscam reproduzir os fatores estilizados reconhecidos por essas literaturas.

Os resultados mostram que o modelo calibrado conseguiu reproduzir estes fatos estilizados. Sobretudo o crescimento liderado pela demanda, o progresso tecnológico endógeno, a distribuição assimétrica do tamanho das firmas, a heterogeneidade persistente da produtividade e as flutuações macroeconômicas. O sistema também gera relação positiva entre crescimento do produto e produtividade, compatível com a tradição kaldoriana.

Além desta introdução, o artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta a revisão da literatura. Em seguida, a Seção 3 formaliza a estrutura formal do modelo. A Seção 4 apresenta os procedimentos de calibração e a Seção 5 os resultados das simulações. Por fim, a Seção 6 realiza algumas considerações finais.

2. Revisão de Literatura

A literatura sobre crescimento econômico apresenta longa tradição de debate acerca dos determinantes da dinâmica de longo prazo, particularmente no que se refere ao papel da demanda agregada, da mudança tecnológica, das economias dinâmicas de escala e da heterogeneidade estrutural. Entre as abordagens heterodoxas, as tradições kaldoriana e neo-schumpeteriana destacam-se por interpretar o crescimento econômico como um processo essencialmente cumulativo, caracterizado pela interação entre retornos crescentes, aprendizado produtivo, mudança estrutural e competição tecnológica (Young, 1928; Kaldor, 1966; Dosi *et al.*, 2010).

O ponto de partida dessa tradição encontra-se em Young (1928), que rompe com interpretações estáticas do crescimento ao argumentar que a expansão no tamanho do mercado amplia a divisão do trabalho, intensifica economias dinâmicas de escala e estimula processos contínuos de aprendizado e especialização produtiva. Nessa perspectiva, o crescimento econômico não decorre da acumulação quantitativa de fatores, mas principalmente de mecanismos cumulativos associados à especialização produtiva, ao investimento e ao aumento da produtividade. O crescimento assume, assim, natureza circular e cumulativa, a expansão da produção estimula o aprendizado e os ganhos de eficiência, que reforçam novamente a capacidade de expansão da demanda e da produção.

A partir dessa perspectiva, Kaldor (1966; 1972) desenvolveu uma abordagem *demand-led* do crescimento econômico, na qual a expansão da demanda agregada constitui o principal determinante da acumulação de capital, da produtividade e do crescimento de longo prazo. Em oposição aos

modelos neoclássicos de crescimento exógeno, Kaldor (1966) argumenta que a produtividade e o crescimento econômico evoluem conjuntamente por meio de retornos crescentes dinâmicos associados à industrialização e ao *learning-by-doing*. Nesse contexto emerge a chamada Lei de Verdoorn, para a qual a expansão da demanda induz aumento da produtividade via aprendizado, difusão tecnológica, economias dinâmicas de escala e transformação estrutural.

A tradição pós-keynesiana aprofundou essa abordagem ao enfatizar o papel da demanda efetiva, da distribuição funcional da renda e do investimento induzido na determinação do crescimento econômico de longo prazo (Lavoie, 2014). Nessa perspectiva, o investimento responde fundamentalmente às expectativas de demanda e à utilização da capacidade produtiva, fazendo com que o crescimento econômico seja interpretado como um processo historicamente dependente e condicionado por trajetórias cumulativas.

Paralelamente, a tradição neo-schumpeteriana e evolucionária desenvolveu uma abordagem centrada na heterogeneidade das firmas, na inovação e nos processos de seleção competitiva. Schumpeter (1942) interpreta o capitalismo como um sistema em permanente transformação, impulsionado por processos de destruição criadora nos quais novas tecnologias, produtos e formas organizacionais reorganizam continuamente a estrutura produtiva.

Nelson e Winter (1982) formalizaram essa interpretação ao desenvolver uma teoria evolucionária da mudança econômica baseada em firmas heterogêneas, racionalidade limitada, aprendizado cumulativo e seleção competitiva. Diferentemente dos modelos representativos tradicionais, a abordagem evolucionária enfatiza que as firmas possuem capacidades tecnológicas distintas e operam sob condições de incerteza, de modo que a dinâmica agregada emerge das interações descentralizadas entre agentes heterogêneos.

A literatura neo-schumpeteriana posterior aprofundou a análise dos mecanismos de aprendizado, difusão tecnológica e capacidade absortiva. Dosi (1988) argumenta que a mudança tecnológica possui forte componente cumulativo, sendo condicionada por trajetórias tecnológicas específicas, capacidades organizacionais e processos de aprendizado. A inovação não ocorre de forma homogênea ou instantaneamente difundida, pois depende da capacidade das firmas de absorver, adaptar e explorar novos conhecimentos tecnológicos. Como consequência, a heterogeneidade tecnológica e a persistência das vantagens competitivas se tornam características centrais da dinâmica capitalista.

Apesar da relevância dessas contribuições, grande parte da literatura macroeconômica tradicional ainda apresenta limitações importantes para integrar simultaneamente demanda efetiva, heterogeneidade microeconômica, mudança tecnológica e dinâmica competitiva. Os modelos neoclássicos de crescimento econômico, particularmente aqueles derivados da tradição de Solow (1956) e dos modelos DSGE contemporâneos, normalmente assumem equilíbrio intertemporal,

racionalidade perfeita e firmas representativas homogêneas, dificultando a incorporação de processos evolucionários cumulativos, aprendizado tecnológico e competição dinâmica.

Mesmo parte da literatura pós-keynesiana e kaldoriana, embora enfatize corretamente a centralidade da demanda efetiva, dos retornos crescentes e das restrições estruturais ao crescimento, frequentemente opera em nível excessivamente agregado, limitando a representação explícita da heterogeneidade tecnológica, da inovação descentralizada e dos processos schumpeterianos de competição e destruição criadora. Trabalhos clássicos como Robinson (1962), Pasinetti (1981), Rowthorn (1981) e Thirlwall (1979; 2002) concentram-se predominantemente em relações macroeconômicas agregadas entre demanda, produtividade, distribuição, restrição externa e acumulação, sem modelar explicitamente firmas heterogêneas, dinâmica concorrencial e mecanismos microeconômicos de seleção tecnológica. Mesmo contribuições mais recentes, como Setterfield (1997; 2010) e Lavoie (2014), apesar de incorporarem crescimento *demand-led*, causalidade cumulativa e dependência de trajetória, tendem a preservar elevado grau de agregação analítica.

Como argumentam Nelson e Winter (1982) e Dosi *et al.* (2010), essa elevada agregação dificulta a análise do modo como as propriedades macroeconômicas emergem das interações descentralizadas entre firmas heterogêneas submetidas a processos contínuos de aprendizado, inovação e competição evolucionária. Nesse contexto, os ABMs tornaram-se particularmente relevantes por permitirem representar explicitamente heterogeneidade, interações descentralizadas e dinâmicas fora do equilíbrio (Tesfatsion; Judd, 2006; Wilensky; Rand, 2015). Haja vista que eles possibilitam analisar trajetórias históricas não lineares, propriedades emergentes e processos cumulativos de mudança estrutural sem impor convergência automática ao equilíbrio.

A literatura recente de ABMs macroeconômicos evolucionários avançou significativamente na integração entre demanda efetiva, dinâmica tecnológica e competição. Dosi *et al.* (2010), por exemplo, desenvolvem um modelo no qual crescimento, flutuações macroeconômicas e mudança estrutural emergem da interação entre firmas heterogêneas, investimento induzido e inovação. Os autores demonstram que modelos baseados em agentes conseguem reproduzir simultaneamente diversos fatos estilizados observados empiricamente, incluindo persistência do crescimento, heterogeneidade produtiva, volatilidade macroeconômica e dinâmica oligopolista.

No campo macroeconômico, os ABMs também passaram a ser utilizados para investigar instabilidade financeira, desemprego, dinâmica industrial e transformação estrutural. Estes modelos conseguem reproduzir distribuições assimétricas do tamanho das firmas, ciclos endógenos e padrões persistentes de heterogeneidade tecnológica (Caiani *et al.*, 2016).

Apesar desses avanços, ainda existe relativa escassez de modelos capazes de integrar simultaneamente crescimento liderado pela demanda, causalidade cumulativa kaldoriana, mudança tecnológica neo-schumpeteriana e competição evolucionária em um ambiente computacional baseado

em agentes. Grande parte da literatura concentra-se em modelos puramente pós-keynesianos, nos quais a heterogeneidade microeconômica permanece limitada, ou em modelos evolucionários nos quais a demanda agregada desempenha papel secundário.

O presente trabalho busca contribuir para essa literatura ao desenvolver um modelo macroeconômico baseado em agentes que integra explicitamente: (i) crescimento *demand-led*; (ii) mecanismos de *learning-by-doing* e Lei de Verdoorn; (iii) investimento induzido pela utilização da capacidade; (iv) inovação e difusão tecnológica; (v) competição evolucionária entre firmas heterogêneas; e (vi) entrada e saída endógena de firmas. Dessa forma, o modelo permite analisar como a interação entre demanda efetiva, mudança tecnológica e competição gera trajetórias macroeconômicas emergentes caracterizadas por crescimento cumulativo, transformação estrutural, desaceleração endógena e dinâmica oligopolista.

3. Estrutura do Modelo

3.1 Visão geral do modelo

O modelo desenvolvido consiste em um ABM de inspiração kaldoriana e neo-schumpeteriana, no qual o crescimento econômico emerge da interação entre demanda efetiva, dinâmica concorrencial, investimento induzido, inovação, mudança estrutural e difusão tecnológica. A estrutura analítica combina elementos da tradição de crescimento liderado pela demanda com mecanismos evolucionários de competição e mudança tecnológica, aproximando-se das contribuições de Young (1928), Kaldor (1966; 1972), Nelson e Winter (1982) e Dosi *et al.* (2010).

O sistema econômico é composto por uma população heterogênea de firmas industriais que competem por participação de mercado, ajustam preços, realizam investimentos, acumulam capacidades produtivas, inovam e entram ou saem do mercado ao longo do tempo. A dinâmica agregada da economia emerge endogenamente das interações microeconômicas entre as firmas, sem imposição exógena de trajetórias de equilíbrio ou crescimento balanceado.

A economia evolui em períodos discretos. Em cada período, as firmas atualizam preços, competem por participação de mercado, produzem de acordo com a demanda efetiva, realizam investimentos, acumulam capital e inovam.

3.2 Demanda agregada e investimento

A demanda agregada constitui o principal motor do crescimento econômico, em linha com a tradição pós-keynesiana e kaldoriana. Formalmente, a demanda agregada é determinada por um mecanismo de persistência macroeconômica dado por:

$$D_t = \omega D_{t-1} + (1 - \omega) D_t^*, \quad (1)$$

em que D_t representa a demanda agregada no período t, D_{t-1} corresponde à demanda passada, D_t^* representa a demanda fundamental da economia e ω corresponde ao parâmetro de persistência macroeconômica. A demanda fundamental é dada por:

$$D_t^* = C_t + I_t + A_t + S_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

em que C_t representa o consumo agregado, I_t corresponde ao investimento agregado, A_t representa a demanda autônoma, S_t corresponde aos efeitos dinâmicos associados ao crescimento cumulativo e ε_t representa choques macroeconômicos aleatórios. O consumo depende da renda agregada da economia:

$$C_t = c(W_t + \theta \Pi_t), \quad (3)$$

em que c representa a propensão marginal a consumir, W_t corresponde à massa salarial agregada, Π_t representa os lucros agregados e θ corresponde à parcela dos lucros convertida em consumo. Esta especificação para o consumo incorpora explicitamente a lógica pós-keynesiana, segundo a qual a renda e o crescimento econômico são determinados pela demanda efetiva e pela dinâmica distributiva (Kaldor, 1966; Lavoie, 2014).

O investimento agregado segue um mecanismo acelerador dependente da utilização da capacidade produtiva:

$$I_t = \gamma Y_t [1 + \alpha(u_t - u^*)], \quad (4)$$

em que γ representa a propensão ao investimento, α corresponde ao acelerador, u_t representa a utilização média da capacidade produtiva e u^* corresponde à utilização desejada. Dessa forma, o investimento responde endogenamente à demanda e à utilização da capacidade instalada, reproduzindo mecanismos kaldorianos de causalidade cumulativa entre crescimento, investimento e produtividade (Kaldor, 1972).

3.3 Produção, capacidade produtiva e competição

A produção de cada firma é determinada simultaneamente pela demanda dirigida à firma e pela capacidade produtiva disponível:

$$Y_{it} = \min\,(D_{it}, \bar{Y}_{it}), \tag{5}$$

em que Y_{it} é a produção da firma i, D_{it} corresponde à demanda efetiva recebida pela firma e $\bar{Y}_{it}$ representa sua capacidade produtiva máxima. A capacidade produtiva depende do estoque de capital e do nível tecnológico da firma:

$$\bar{Y}_{it} = A_{it}^{\psi} K_{it} \kappa, \tag{6}$$

em que A_{it} representa a produtividade da firma, K_{it} corresponde ao estoque de capital, κ representa a produtividade do capital e ψ corresponde à elasticidade tecnológica da capacidade produtiva. A utilização da capacidade produtiva é definida por:

$$u_{it} = \frac{Y_{it}}{\bar{Y}_{it}}, \tag{7}$$

A competitividade das firmas depende simultaneamente do nível tecnológico e dos preços relativos:

$$Comp_{it} = A_{it}^{\eta} \left(\frac{1}{P_{it}}\right)^{1-\eta}, \tag{8}$$

em que $Comp_{it}$ representa a competitividade da firma, A_{it} corresponde ao nível tecnológico, P_{it} representa o preço e η determina o peso relativo da tecnologia na competição. As participações de mercado evoluem conforme mecanismos de seleção competitiva inspirados na tradição neo-schumpeteriana:

$$ms_{it} = ms_{it-1}\left[1+\lambda\left(\frac{Comp_{it}}{\bar{Comp}_t}-1\right)\right], \tag{9}$$

sendo ms_{it} o *market share* da firma e λ à intensidade da competição. Firmas mais competitivas ampliam a participação de mercado ao longo do tempo, reproduzindo mecanismos evolucionários de seleção e mudança estrutural (Nelson; Winter, 1982; Dosi *et al.*, 2010).

3.4 Preços, salários e acumulação de capital

Os preços são determinados via *mark-up* sobre custos unitários:

$$P_{it} = \frac{c}{A_{it}}(1 + \mu_{it}), \tag{10}$$

em que c representa o custo unitário básico e μ_{it} corresponde ao *mark-up* da firma. Os lucros são determinados pela diferença entre receitas e custos:

$$\Pi_{it} = P_{it}Y_{it} - C_{it}, \tag{11}$$

Os salários reais evoluem parcialmente em função da produtividade:

$$w_{it} = w_0 A_{it}^{\rho}, \tag{12}$$

em que w_0 representa o salário base e ρ corresponde ao parâmetro de repasse da produtividade para o salário. Essa especificação permite incorporar mecanismos *wage-led*, nos quais ganhos de produtividade sustentam parcialmente a demanda via crescimento da massa salarial.

O estoque de capital evolui conforme:

$$K_{it+1} = (1 - \delta)K_{it} + I_{it}, \tag{13}$$

sendo δ a taxa de depreciação do capital e I_{it} o investimento da firma. O investimento depende simultaneamente da lucratividade e da utilização da capacidade produtiva, reproduzindo mecanismos pós-keynesianos de acumulação induzida pela demanda.

3.5 Mudança tecnológica e causalidade cumulativa

A produtividade evolui endogenamente por meio de três mecanismos principais: o aprendizado obtido pela firma (*learning-by-doing*), inovação estocástica e difusão tecnológica. O componente de aprendizado é dado por:

$$LB_{it} = \phi g_{it}^{\beta}(u_{it} - \bar{u})^{\chi}, \tag{14}$$

em que LB_{it} representa o efeito de aprendizado, g_{it} corresponde ao crescimento da firma, ϕ representa o parâmetro de aprendizado, β correspondem à elasticidade do aprendizado em relação ao crescimento e χ é a elasticidade relativa à utilização da capacidade. Além disso, o modelo incorpora explicitamente mecanismos de causalidade cumulativa associados à Lei de Verdoorn:

$$g_{A,it} = \nu g_{Y,it}, \tag{15}$$

em que $g_{A,it}$ representa o crescimento da produtividade, $g_{Y,it}$ corresponde ao crescimento da produção e ν representa o coeficiente de Verdoorn. A produtividade incorpora ainda mecanismos probabilísticos de inovação e processos de difusão tecnológica dependentes da capacidade absortiva das firmas, em linha com a literatura evolucionária neo-schumpeteriana (Dosi, 1988; Cimoli; Dosi; Stiglitz, 2009).

3.6 Entrada e saída de firmas

O modelo considera que a demografia industrial é endógena. As firmas podem sair do mercado em função da baixa lucratividade, reduzida participação de mercado ou elevada ociosidade da capacidade produtiva. Simultaneamente, novas firmas entram probabilisticamente no mercado com níveis tecnológicos próximos à fronteira tecnológica vigente. Esse mecanismo reproduz processos schumpeterianos de destruição criadora e renovação estrutural (Schumpeter, 1942).

3.7 Dinâmica emergente do sistema

A interação entre a demanda efetiva, o investimento induzido, a competição evolucionária, a mudança tecnológica e a seleção competitiva gera trajetórias macroeconômicas emergentes caracterizadas por crescimento cumulativo, desaceleração endógena, heterogeneidade persistente, transformação estrutural e flutuações macroeconômicas não lineares. Assim, a dinâmica agregada emerge da interação descentralizada entre firmas heterogêneas, permitindo analisar processos de crescimento econômico liderados pela demanda, regimes de mudança estrutural e trajetórias evolucionárias de longo prazo.

4 Calibração e Implementação Computacional

A calibração do modelo foi realizada a partir da combinação entre evidências empíricas, fundamentos teóricos da literatura evolucionária e pós-keynesiana e procedimentos iterativos de ajuste das propriedades emergentes do sistema. O objetivo central consistiu em construir um regime macroeconômico capaz de reproduzir fatos estilizados associados ao crescimento liderado pela demanda, à dinâmica neo-schumpeteriana de competição e mudança tecnológica e à presença de mecanismos de causalidade cumulativa entre produtividade, investimento e expansão da demanda agregada.

A implementação computacional do modelo foi desenvolvida na linguagem R. A construção do código e parte do processo iterativo de refinamento paramétrico foram realizados com apoio do modelo de inteligência artificial ChatGPT 5.5. A ferramenta foi utilizada como suporte auxiliar para

acelerar a implementação computacional do modelo, auxiliar na depuração de erros, identificação de inconsistências paramétricas e exploração sistemática dos diferentes regimes dinâmicos emergentes. Salienta-se que todas as decisões finais relativas à modelagem econômica, estrutura teórica, calibração, interpretação analítica e validação dos mecanismos permaneceram sob responsabilidade exclusiva do autor.

O processo de calibração ocorreu em múltiplas etapas iterativas. Inicialmente, foram definidos parâmetros estruturais inspirados nas literaturas neo-schumpeteriana e pós-keynesiana, especialmente em trabalhos relacionados a modelos *demand-led* e modelos macroeconômicos baseados em agentes (Nelson; Winter, 1982; Dosi *et al.*, 2010; Lavoie, 2014). Em seguida, utilizaram-se dados empíricos da Penn World Table, versão 10.01, para calibrar momentos macroeconômicos fundamentais associados ao crescimento econômico e à dinâmica da produtividade.

A base empírica utilizada compreendeu informações anuais para 182 países no período 1995–2023. Inicialmente, os dados foram organizados por país e ano. Formalmente, foram construídas as seguintes variáveis:

$$g_{Y,it} = \Delta \ln (rgdpo_{it}), \tag{16}$$

e

$$g_{A,it} = \Delta \ln (rtfpna_{it}), \tag{17}$$

em que $g_{Y,it}$ representa a taxa de crescimento do produto real da economia i no período t, enquanto $g_{A,it}$ corresponde ao crescimento da produtividade total dos fatores. Após a remoção das observações com valores ausentes ou não finitos, obteve-se uma amostra internacional utilizada para estimar momentos macroeconômicos de referência empregados na calibração do modelo.

A partir dessa base foram calculados três momentos empíricos centrais: (i) o crescimento médio histórico do produto; (ii) a volatilidade histórica do crescimento econômico; e (iii) um coeficiente empírico de Verdoorn, obtido a partir da relação entre crescimento da produtividade e crescimento do produto. Esses momentos serviram como referência para calibrar parâmetros associados ao *learning-by-doing*, à intensidade da causalidade cumulativa entre demanda e produtividade e à dinâmica tecnológica. O coeficiente de Verdoorn, utilizado na calibração, foi obtido a partir da relação média observada entre crescimento da produtividade total dos fatores e crescimento do produto real:

$$g_A = \nu g_Y, \tag{18}$$

em que g_A representa o crescimento da produtividade, g_Y corresponde ao crescimento do produto e ν representa o coeficiente de Verdoorn calibrado empiricamente. No exercício realizado, o valor médio estimado para ν foi de 0,33, sendo posteriormente utilizado como referência para disciplinar os mecanismos endógenos de aprendizado e crescimento da produtividade presentes no modelo.

Os parâmetros calibrados foram ajustados iterativamente de forma a reproduzir propriedades emergentes consideradas empiricamente plausíveis, como crescimento econômico cumulativo moderado, desaceleração endógena do crescimento econômico, crescimento persistente da produtividade, estabilidade concorrencial, níveis moderados de concentração industrial, entrada e saída contínua de firmas e flutuações macroeconômicas não explosivas.

O processo de calibração buscou reproduzir um conjunto de fatos estilizados consistentes com a literatura evolucionária e pós-keynesiana. Nesse sentido, adotou-se uma estratégia de calibração baseada em propriedades emergentes, amplamente utilizada em modelos baseados em agentes (Wilensky; Rand, 2015). A validação concentrou-se na capacidade do modelo de reproduzir simultaneamente diferentes regularidades macroeconômicas e industriais, incluindo persistência do crescimento econômico, dinâmica pró-cíclica da produtividade, estabilidade oligopolista, heterogeneidade persistente entre firmas, crescimento endógeno da produtividade e trajetórias cumulativas de longo prazo.

Ao longo do processo de calibração foram identificados diferentes regimes dinâmicos. Dependendo da combinação paramétrica adotada, o sistema convergiu para trajetórias explosivas de crescimento cumulativo, regimes de estagnação secular associados à insuficiência de demanda efetiva, processos de monopolização endógena ou regimes relativamente estáveis de crescimento *demand-led* com mudança estrutural gradual.

Destaca-se, também, que o modelo não possui solução analítica fechada. As propriedades macroeconômicas observadas emergem endogenamente das interações descentralizadas entre firmas heterogêneas, de modo que a calibração desempenha papel central na identificação dos regimes macroeconômicos possíveis e na análise das propriedades dinâmicas do sistema.

5 Resultados

A presente seção analisa as propriedades macroeconômicas e microeconômicas emergentes do modelo a partir do conjunto final de parâmetros calibrados. Como o sistema não possui solução analítica fechada, os resultados decorrem integralmente das interações descentralizadas entre firmas heterogêneas submetidas a mecanismos de demanda efetiva, investimento induzido, aprendizado produtivo, inovação e competição evolucionária.

A **Tabela 1** apresenta os principais parâmetros utilizados nas simulações. O conjunto paramétrico final foi definido iterativamente com o objetivo de reproduzir simultaneamente fatos

estilizados associados às tradições kaldoriana e neo-schumpeteriana, incluindo crescimento *demand-led*, causalidade cumulativa entre produto e produtividade, heterogeneidade persistente entre firmas, dinâmica oligopolista moderada e flutuações macroeconômicas endógenas não explosivas.

Tabela 1 – Parâmetros calibrados

Parâmetro	Símbolo	Valor calibrado
Intensidade do learning-by-doing	ϕ	0,38
Acelerador do investimento	γ	1,55
Taxa de difusão tecnológica	δ	0,0015
Probabilidade de inovação	p_{innov}	0,035
Crescimento autônomo da demanda	g_a	0,018
Propensão marginal a consumir	c	0,94
Repasse produtividade-salário	ω	0,92
Pressão seletiva competitiva	λ	0,12
Taxa de entrada de firmas	$entry$	0,045
Intensidade do choque macroeconômico	σ	0,003
Elasticidade tecnológica da capacidade produtiva	η	0,35
Utilização desejada da capacidade	u^*	0,80
Piso mínimo de investimento	I_{mim}	(0,02 \cdot K)
Persistência da demanda agregada	ρ_D	0,997
Limite inferior de utilização da capacidade	u_{min}	0,70
Limite superior de utilização da capacidade	u_{max}	0,97

Fonte: Os autores

Os parâmetros relacionados ao aprendizado, à inovação e à difusão tecnológica, sobretudo a intensidade do *learning-by-doing* (ϕ = 0,38), a probabilidade de inovação (p_{innov} = 0,035) e a taxa de difusão tecnológica (δ = 0,0015), foram calibrados de modo a gerar crescimento persistente da produtividade sem produzir convergência tecnológica completa entre as firmas. Simultaneamente, o acelerador do investimento (γ = 1,55) e a elevada persistência da demanda agregada (ρ_D = 0,997) permitiram reproduzir trajetórias de crescimento relativamente estáveis e fortemente influenciadas pela dinâmica da demanda efetiva.

Os parâmetros associados à competição evolucionária e à demografia industrial também desempenharam papel central na estabilização do sistema. A pressão seletiva (λ = 0,12) e a taxa de entrada de firmas ($entry$ = 0,045) permitiram preservar a heterogeneidade estrutural e a renovação sem gerar processos cumulativos de monopolização. Da mesma forma, os limites inferior e superior

de utilização da capacidade produtiva, u_{min} = 0,70 e u_{max} = 0,97, contribuíram para evitar trajetórias explosivas de investimento ou colapsos recessivos persistentes. A partir desse conjunto paramétrico, as subseções seguintes analisam as principais trajetórias emergentes do modelo.

5.1 Crescimento macroeconômico e dinâmica da demanda

A **Figura 1A** mostra que o PIB agregado cresce de 1.200 unidades no período inicial para mais de 8.000 unidades ao final da simulação, sem convergência para estado estacionário. Após uma fase inicial de rápida expansão, associada à ativação simultânea dos mecanismos de investimento induzido, utilização da capacidade produtiva e aprendizado cumulativo, o sistema passa a apresentar trajetória relativamente estável de crescimento.

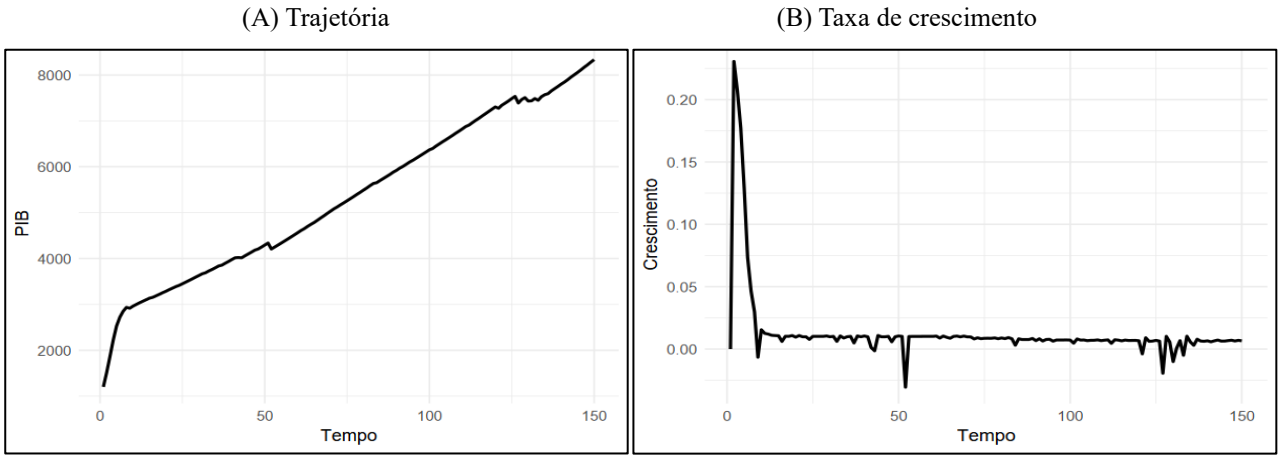


Figura 1 – Trajetória e taxa de crescimento do PIB

Fonte: Os autores

A dinâmica observada sugere que o crescimento econômico emerge endogenamente da interação entre demanda agregada, acumulação de capital e mudança tecnológica. Diferentemente do modelo de Solow (1956), e de suas versões subsequentes, o crescimento econômico não converge para uma trajetória determinada de forma exógena pela oferta de fatores ou pelo progresso técnico autônomo. O comportamento do sistema aproxima-se da tradição *demand-led*, na qual crescimento, investimento e produtividade evoluem de forma cumulativa e interdependente.

A **Figura 1B** reforça essa interpretação ao evidenciar que, após a volatilidade inicial de ajuste, a taxa de crescimento do PIB oscila em torno de valores positivos relativamente moderados, próximos de 1% por período. O sistema apresenta elevada resiliência dinâmica, retornando rapidamente a trajetórias positivas de crescimento, não obstante às desacelerações temporárias e episódios recessivos pontuais.

As flutuações macroeconômicas emergem endogenamente das interações entre demanda, investimento, competição e utilização da capacidade produtiva, sem necessidade de impor ciclos

exógenos ao modelo. As oscilações macroeconômicas emergem de forma descentralizada a partir da interação entre firmas heterogêneas (Dosi *et al.*, 2010). De modo que o modelo é capaz de reproduzir um regime macroeconômico relativamente estável, no qual a expansão da demanda efetiva sustenta simultaneamente o crescimento do produto, a acumulação de capital e a mudança tecnológica.

5.2 Produtividade, causalidade cumulativa e Lei de Verdoorn

A produtividade média das firmas, **Figura 2A**, cresce de forma persistente ao longo de toda a simulação, passando de 1 para valores 3,8 ao final do horizonte temporal.

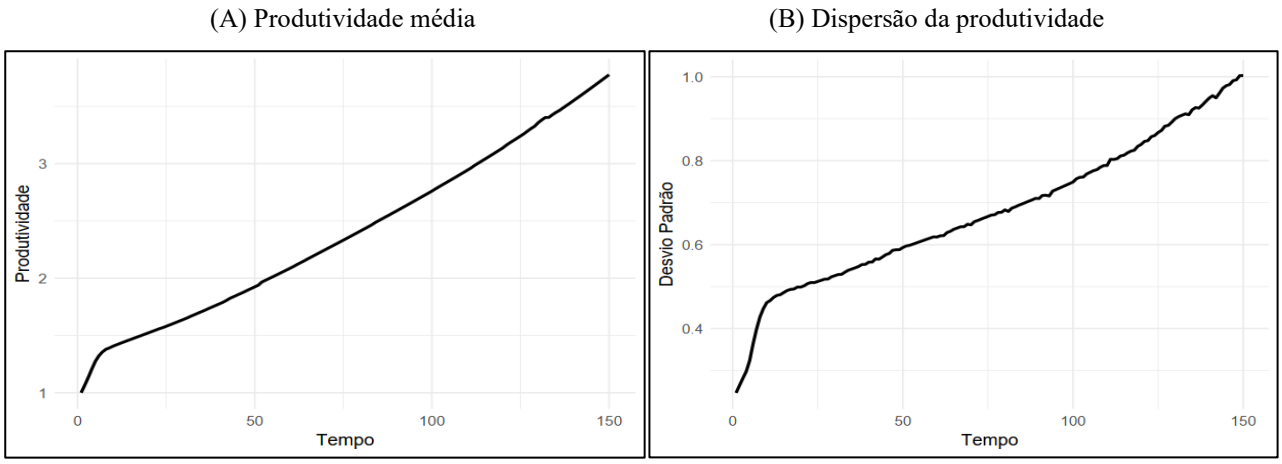


Figura 2 – Produtividade média e dispersão da produtividade

Fonte: Os autores

O comportamento da produtividade revela a presença de retornos dinâmicos cumulativos associados à expansão da produção. Conforme a demanda agregada se expande, intensificam-se os mecanismos de *learning-by-doing*, as economias dinâmicas de escala e a difusão tecnológica, elevando continuamente a eficiência média do sistema. O crescimento econômico passa, assim, a retroalimentar os próprios ganhos de produtividade.

Esse resultado reproduz diretamente a lógica da Lei de Verdoorn, segundo a qual o crescimento da produtividade depende positivamente da expansão do produto. O crescimento industrial e mudança tecnológica evoluem conjuntamente por meio de mecanismos cumulativos de aprendizado e investimento (Kaldor, 1966; 1972). Ao mesmo tempo, os resultados evidenciam mecanismos típicos da tradição neo-schumpeteriana. O avanço da produtividade não decorre apenas de economias de escala agregadas, mas da competição evolucionária entre firmas heterogêneas. Firmas tecnologicamente mais avançadas ampliam a participação de mercado, acumulam capacidades produtivas e impulsionam continuamente a fronteira tecnológica da economia.

A **Figura 2B** complementa essa análise ao mostrar que o desvio padrão da produtividade aumenta continuamente ao longo da simulação, indicando intensificação da heterogeneidade

tecnológica. Esse comportamento sugere que a mudança tecnológica ocorre de forma cumulativa, desigual e *path dependent*. Firmas diferem em capacidade absortiva, intensidade de aprendizado e desempenho inovativo, fazendo com que pequenas vantagens iniciais sejam progressivamente ampliadas ao longo do tempo. O modelo reproduz, portanto, um processo de divergência produtiva compatível com a tradição evolucionária (Nelson; Winter, 1982; Dosi, 1988).

A persistência da heterogeneidade tecnológica também indica que os mecanismos de difusão tecnológica operam de forma incompleta. Embora exista transmissão de conhecimento entre firmas, o processo não elimina integralmente as assimetrias produtivas, preservando diferenças estruturais de competitividade e capacidade inovativa.

5.3 Estrutura de mercado, competição evolucionária e dinâmica industrial

A concentração de mercado (**Figura 3A**), medida pela participação da maior firma no produto agregado, se reduz de forma gradual ao longo da maior parte da simulação, com o *market share* da firma líder caindo de 16% para níveis próximos de 7%. Nos períodos finais ocorre leve retomada da concentração, embora sem retorno aos níveis iniciais.

(A) Concentração de mercado (B) Número de firmas

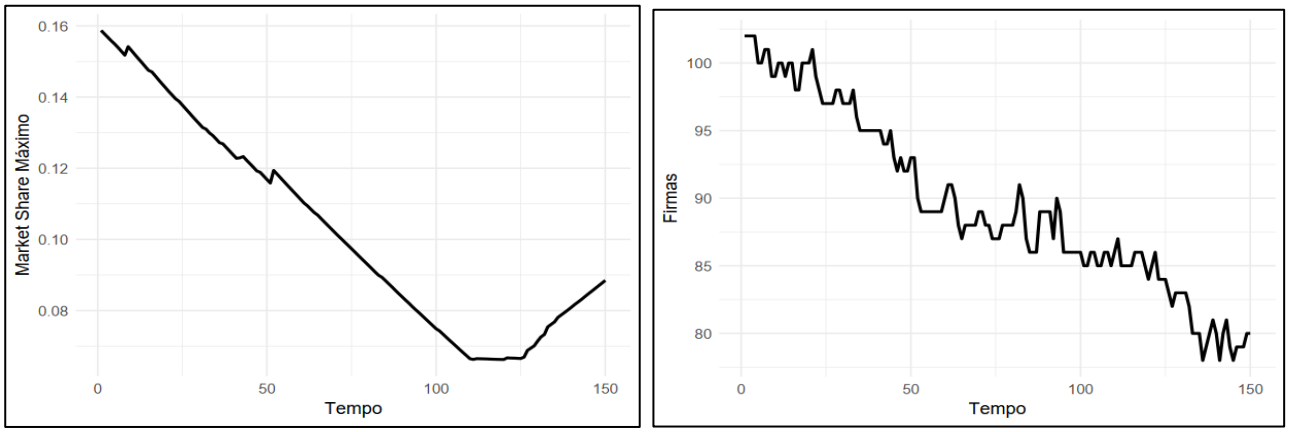


Figura 3 - Evolução da concentração de mercado e do número de firmas

Fonte: Os autores

A dinâmica observada sugere coexistência entre forças competitivas descentralizadoras e mecanismos cumulativos de diferenciação tecnológica. Em uma primeira fase, a expansão da demanda agregada cria espaço para crescimento relativamente disseminado das firmas, favorecendo maior diversificação produtiva e reduzindo a dominância inicial das líderes de mercado. Simultaneamente, os mecanismos de entrada de firmas e difusão tecnológica limitam a formação de estruturas excessivamente concentradas.

Esse resultado indica que o modelo evita trajetórias de monopolização cumulativa frequentemente observadas em modelos evolucionários sem mecanismos adequados de renovação competitiva. A calibração final permitiu preservar os mecanismos neo-schumpeterianos de seleção competitiva sem produzir convergência para estruturas monopolistas extremas. Entretanto, a leve retomada da concentração nos períodos finais sugere que as forças cumulativas associadas à inovação e ao aprendizado permanecem ativas no longo prazo. Firmas tecnologicamente mais avançadas ampliam progressivamente participação de mercado à medida que a heterogeneidade produtiva se intensifica. O sistema converge, portanto, para uma estrutura oligopolista moderada, caracterizada por competição dinâmica e persistência parcial das vantagens tecnológicas.

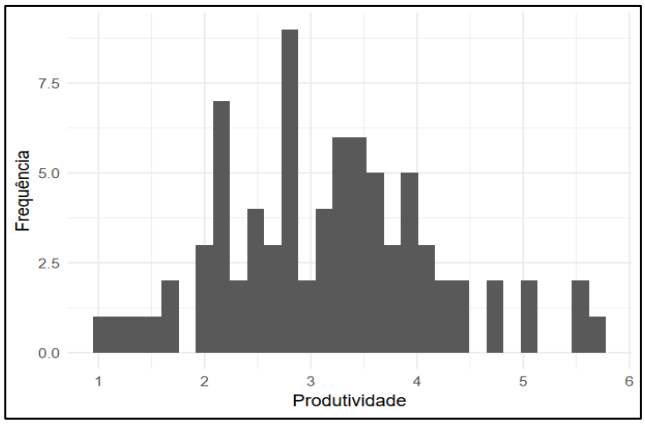
A **Figura 3B**, reforça essa interpretação evolucionária. A população de firmas se reduz de forma gradual ao longo da simulação, passando de 100 firmas iniciais para 80 firmas ao final do período analisado.

A redução no número de firmas evidencia a atuação contínua de mecanismos de seleção competitiva e destruição criadora. Firmas menos produtivas ou incapazes de acompanhar a dinâmica tecnológica tendem a perder competitividade e eventualmente sair do mercado, enquanto firmas mais eficientes ampliam escala produtiva e participação relativa. A dinâmica de seleção ocorre de forma relativamente gradual, sem colapsos competitivos abruptos ou eliminação massiva de firmas, indicando que os mecanismos de entrada incorporados no modelo desempenham papel estabilizador importante, preservando a diversidade competitiva e a renovação estrutural ao longo do tempo.

5.4 Heterogeneidade produtiva e distribuição do tamanho das firmas

A **Figura 4A** apresenta a distribuição da produtividade das firmas ao final da simulação. Observa-se ampla dispersão dos níveis de produtividade, com coexistência de firmas tecnologicamente avançadas e firmas relativamente defasadas. A distribuição não converge para valores homogêneos, indicando persistência estrutural da heterogeneidade tecnológica.

(A) Distribuição da produtividade



(B) Distribuição do tamanho das firmas

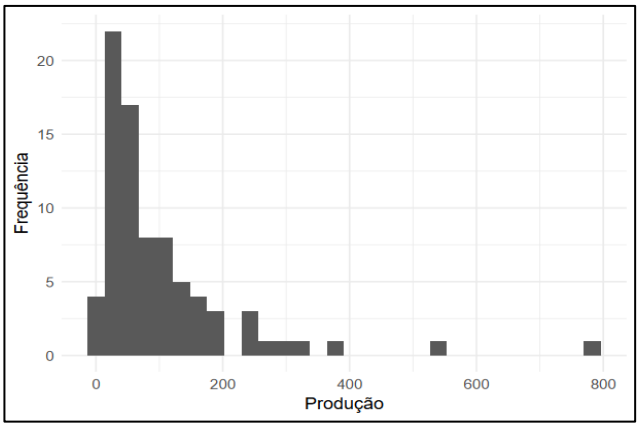


Figura 4 - Distribuição da produtividade e do tamanho das firmas

Fonte: Os autores

Esse resultado possui elevada relevância teórica porque contrasta diretamente com abordagens neoclássicas convencionais, nas quais a competição e a difusão tecnológica produzem convergência relativamente rápida entre agentes. No modelo desenvolvido, inovação, aprendizado e difusão tecnológica operam de forma cumulativa e desigual, preservando diferenças persistentes de capacidade produtiva.

A presença simultânea de firmas líderes e firmas tecnologicamente atrasadas sugere que o sistema reproduz trajetórias tecnológicas dependentes da trajetória, nas quais pequenas vantagens iniciais podem ser continuamente ampliadas ao longo do tempo. A mudança tecnológica não ocorre de maneira homogênea, mas depende da capacidade de absorção, adaptação e aprendizado de cada firma, conforme enfatizado pela literatura neo-schumpeteriana.

A **Figura 4B**, referente à distribuição do tamanho das firmas, mostra que a estrutura industrial é fortemente assimétrica, caracterizada pela coexistência de muitas firmas pequenas e poucas firmas de grande escala. Resultado que reproduz um dos principais fatos estilizados da dinâmica industrial capitalista. Sem impor exogenamente qualquer estrutura oligopolista, o modelo gera endogenamente concentração moderada e forte diferenciação produtiva.

A interpretação econômica é consistente com mecanismos evolucionários de competição dinâmica. Firmas mais produtivas conseguem ampliar a participação de mercado, acumular capital e explorar economias dinâmicas de escala, tornando-se progressivamente maiores ao longo do tempo. Novas firmas entram continuamente no mercado com escala reduzida de operação, enquanto firmas menos competitivas sobrevivem em nichos limitados ou acabam eliminadas pelo processo competitivo.

A coexistência entre firmas pequenas, médias e grandes indica que o sistema não converge nem para monopólio absoluto nem para concorrência atomizada homogênea. O resultado é uma estrutura oligopolista moderada, caracterizada por diversidade produtiva, liderança tecnológica e renovação competitiva contínua.

5.5 Lei de Verdoorn, acumulação de capital e dinâmica cumulativa

A **Figura 5** apresenta a relação entre crescimento do PIB e crescimento da produtividade, reproduzindo diretamente o mecanismo associado à Lei de Verdoorn. Observa-se relação positiva e relativamente robusta entre as duas variáveis, indicando que períodos de maior expansão do produto tendem a estar associados a maiores taxas de crescimento da produtividade.

(A) Produtividade e tamanho

(B) Lei de Verdoorn

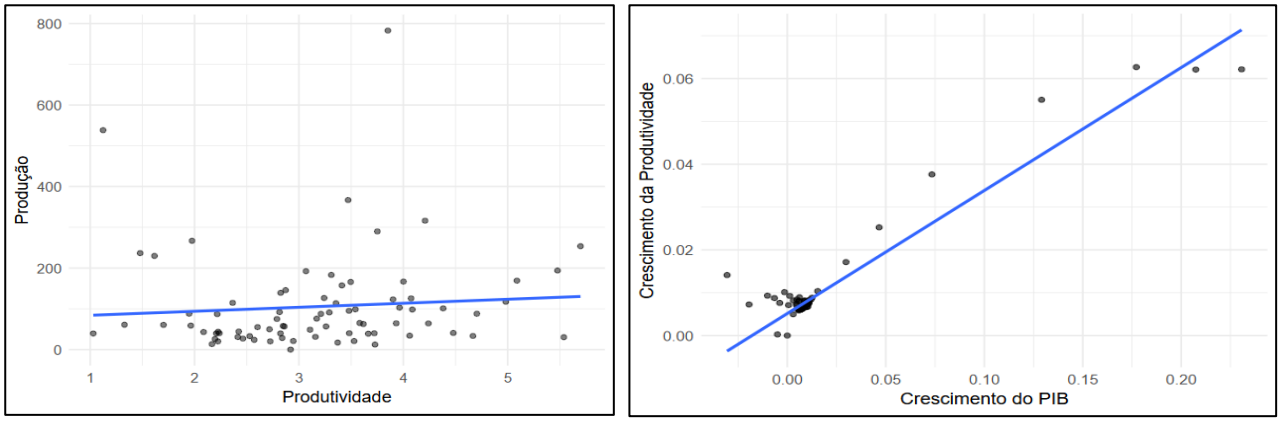


Figura 5 - Relação entre crescimento do PIB e crescimento da produtividade e trajetória do capital agregado

Fonte: Os autores

Esse resultado constitui uma das principais evidências de que o modelo internaliza mecanismos de causalidade cumulativa típicos da tradição kaldoriana. O crescimento da produtividade não emerge como processo exógeno ou autônomo, mas como consequência da expansão da produção, da intensificação do *learning-by-doing*, do aumento da utilização da capacidade produtiva e da ampliação do investimento.

A dinâmica observada sugere que o crescimento econômico gera condições favoráveis para aceleração do progresso técnico e difusão tecnológica. Conforme a demanda agregada se expande, aumentam simultaneamente as oportunidades de aprendizado, investimento e inovação, reforçando continuamente os ganhos de produtividade. Comportamento que reproduz diretamente a interpretação kaldoriana, economias que crescem mais rapidamente tendem também a apresentar maior crescimento da produtividade devido à presença de retornos crescentes dinâmicos associados à expansão industrial.

Além disso, o resultado reforça a complementaridade entre mecanismos kaldorianos e neo-schumpeterianos. O crescimento da produtividade observado nos períodos de maior expansão do produto não decorre apenas de economias de escala agregadas, mas também da intensificação da competição tecnológica entre firmas heterogêneas. A expansão da demanda amplia incentivos ao investimento e à inovação, acelerando a dinâmica evolucionária do sistema.

A dispersão moderada em torno da tendência linear indica ainda que o mecanismo de Verdoorn está estruturalmente incorporado ao modelo, e não restrito a episódios específicos de crescimento acelerado. Mesmo em períodos de crescimento relativamente baixo, mantém-se associação positiva entre expansão do produto e avanço da produtividade.

Observa-se processo contínuo e cumulativo de acumulação de capital, **Figura 6A**, com o estoque agregado crescendo de 6.500 unidades no período inicial para valores superiores a 24 mil unidades ao final do horizonte temporal. A acumulação de capital ocorre de forma relativamente estável, sem colapsos abruptos ou trajetórias explosivas persistentes. Esse comportamento sugere que os mecanismos estabilizadores incorporados à calibração, particularmente a suavização parcial da demanda, a limitação na utilização da capacidade e o investimento de reposição, foram fundamentais para disciplinar a dinâmica macroeconômica do sistema.

(A) Capital agregado

(B) Distribuição dos *market-shares*

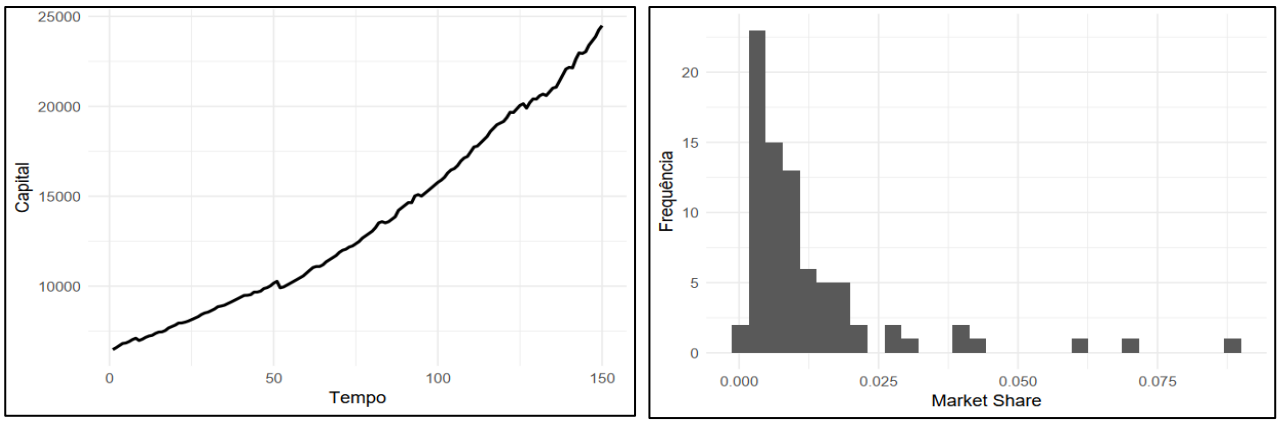


Figura 6 – Evolução do capital agregado e distribuição dos *market-shares*

Fonte: Os autores

No modelo, o investimento possui natureza claramente induzida. Firmas ampliam a capacidade produtiva em resposta à expansão da demanda, à elevação dos lucros e ao aumento da utilização da capacidade instalada. O crescimento do produto estimula os investimentos, que por sua vez amplia a produção, a capacidade produtiva e a produtividade, gerando mecanismo cumulativo de expansão econômica. Resultado que se aproxima da tradição pós-keynesiana e kaldoriana, segundo a qual a acumulação depende fundamentalmente das expectativas de demanda e da dinâmica da utilização da capacidade produtiva, e não de decisões intertemporais otimizadoras típicas de modelos neoclássicos.

Outro aspecto relevante é que o crescimento do capital agregado ocorre simultaneamente ao aumento da produtividade média anteriormente observado. O regime de crescimento gerado pelo modelo não possui caráter puramente extensivo, baseado apenas na expansão quantitativa dos fatores produtivos. Pelo contrário, a acumulação ocorre conjuntamente com a mudança tecnológica, o aprendizado e a difusão de capacidades produtivas. Ou seja, o modelo reproduz um regime de crescimento schumpeteriano-kaldoriano caracterizado pela interação entre demanda efetiva, acumulação de capital, competição evolucionária e mudança tecnológica endógena.

A **Figura 5B**, referente à distribuição dos *market shares*, mostra que a estrutura de mercado permanece relativamente descentralizada, embora marcada por heterogeneidade competitiva significativa. Observa-se distribuição fortemente assimétrica, com grande número de firmas apresentando participações reduzidas no mercado e poucas firmas concentrando parcelas maiores da produção agregada.

Esse resultado é compatível com evidências empíricas sobre dinâmica industrial capitalista e com a literatura evolucionária sobre competição schumpeteriana, segundo a qual a concorrência ocorre em ambiente estruturalmente heterogêneo, marcado pela coexistência entre firmas líderes e amplo conjunto de firmas menores tecnologicamente defasadas (Nelson; Winter, 1982; Dosi, 1988). O modelo reproduz endogenamente essa configuração sem impor exogenamente estruturas oligopolistas ou barreiras artificiais à entrada.

A assimetria observada decorre diretamente dos mecanismos evolucionários incorporados ao modelo. Firmas tecnologicamente mais avançadas conseguem ampliar a produtividade, acumular capital e expandir a participação de mercado ao longo do tempo, beneficiando-se de retornos cumulativos associados ao *learning-by-doing*, às economias dinâmicas de escala e à expansão da demanda. Esse comportamento aproxima-se da interpretação schumpeteriana segundo a qual a inovação e a competição tecnológica geram vantagens competitivas persistentes e reorganizam continuamente a estrutura industrial (Schumpeter, 1942).

Ao mesmo tempo, a distribuição dos *market shares* indica que esses mecanismos cumulativos não produzem monopolização extrema do sistema. A presença contínua de entrada de firmas, difusão tecnológica parcial e competição descentralizada limita a concentração excessiva do mercado e preserva diversidade concorrencial ao longo da simulação. Resultados corroborados por Dosi *et al.* (2010) e Caiani *et al.* (2016), que mostram que economias capitalistas podem apresentar simultaneamente heterogeneidade persistente, liderança tecnológica e estabilidade oligopolista moderada.

O padrão emergente sugere, portanto, convergência para uma configuração oligopolista moderada, caracterizada pela coexistência entre liderança tecnológica, heterogeneidade competitiva e renovação estrutural contínua. A dinâmica competitiva permanece suficientemente intensa para impedir convergência monopolista, mas não elimina a persistência de vantagens relativas entre firmas. Esse resultado reforça a interpretação neo-schumpeteriana de que o crescimento econômico constitui processo estruturalmente desigual e continuamente reorganizado por mecanismos de inovação, seleção competitiva e destruição criadora.

Além disso, a distribuição assimétrica dos *market shares* reforça a interpretação de que o crescimento econômico no modelo ocorre de forma cumulativa e estruturalmente heterogênea. Firmas diferem persistentemente em produtividade, capacidade inovativa e desempenho competitivo,

fazendo com que a expansão agregada da economia seja acompanhada por reorganização contínua das posições relativas no mercado, em linha com a tradição evolucionária inaugurada por Nelson e Winter (1982).

6 Considerações Finais

Este estudo desenvolve um modelo macroeconômico baseado em agentes de inspiração kaldoriana e neo-schumpeteriana, no qual o crescimento econômico emerge da interação entre demanda efetiva, investimento induzido, *learning-by-doing*, mudança tecnológica e competição evolucionária entre firmas heterogêneas. Adotou-se uma estratégia de calibração baseada em propriedades emergentes, amplamente utilizada em modelos baseados em agentes, combinando ajuste iterativo de parâmetros. Para isso, utilizaram-se dados tabulados para 182 países no período 1995–2023, a partir dos quais foram estimados momentos empíricos associados ao crescimento médio do produto, à volatilidade macroeconômica e à relação entre crescimento e produtividade, posteriormente empregados na parametrização dos mecanismos de aprendizado e dinâmica tecnológica do modelo.

Os resultados das simulações mostraram que o modelo é capaz de reproduzir importantes regularidades macroeconômicas e microeconômicas observadas em economias capitalistas. No plano macroeconômico, ele gera crescimento persistentemente liderado pela demanda, acumulação cumulativa de capital, progresso tecnológico endógeno e flutuação econômica. A economia simulada não converge para um estado estacionário neoclássico, evoluindo continuamente por meio de processos cumulativos de investimento, aprendizado e expansão produtiva.

Os resultados também evidenciaram forte compatibilidade com a tradição kaldoriana de crescimento *demand-led*. Observou-se relação positiva entre crescimento do produto e crescimento da produtividade, reproduzindo os mecanismos associados à Lei de Verdoorn. O avanço da produtividade emerge endogenamente da expansão da produção, da utilização da capacidade produtiva e da intensificação do aprendizado obtido pelas firmas (*learning-by-doing*), reforçando mecanismos de causalidade cumulativa entre demanda, investimento e mudança tecnológica.

Ao mesmo tempo, o modelo reproduz propriedades centrais da tradição neo-schumpeteriana. A economia simulada apresenta heterogeneidade persistente entre firmas, distribuição assimétrica do tamanho das empresas, dinâmica oligopolista moderada, seleção competitiva e destruição criadora. Firmas diferem continuamente em produtividade, capacidade inovativa e desempenho competitivo, fazendo com que o crescimento agregado seja acompanhado por reorganização permanente da estrutura industrial.

Um dos principais resultados consiste precisamente na integração entre mecanismos macroeconômicos de demanda efetiva e processos microeconômicos de competição evolucionária.

Os resultados sugerem que o crescimento econômico, a mudança tecnológica e a dinâmica concorrencial não constituem fenômenos independentes, mas processos interdependentes que se reforçam cumulativamente ao longo do tempo. A expansão da demanda amplia os investimentos e o aprendizado produtivo, enquanto a competição tecnológica reorganiza continuamente a estrutura produtiva e impulsiona a fronteira tecnológica.

Além disso, o modelo mostrou-se capaz de gerar trajetórias macroeconômicas relativamente estáveis sem eliminar a presença de flutuações endógenas, heterogeneidade estrutural e competição dinâmica. A permitiu evitar tanto trajetórias explosivas quanto regimes de colapso recessivo persistente no produto agregado, produzindo um regime intermediário compatível com interpretações pós-keynesianas e neo-schumpeterianas do crescimento econômico.

Destarte, os resultados reforçam a interpretação de que o crescimento econômico constitui um processo histórico, cumulativo e estruturalmente desigual, no qual a demanda efetiva, a inovação, o aprendizado e a competição interagem continuamente contribuindo para a transformação da estrutura produtiva. O modelo desenvolvido sugere que abordagens que integram elementos pós-keynesianos e neo-schumpeterianos oferecem estrutura analítica promissora para compreender a dinâmica de longo prazo das economias capitalistas contemporâneas.

Por fim, salienta-se que o modelo ainda apresenta limitações importantes. A estrutura desenvolvida não incorpora explicitamente a heterogeneidade setorial, o setor financeiro, a dinâmica do crédito, o comércio internacional e a política fiscal. Extensões futuras podem incluir setores produtivos distintos, restrição externa ao crescimento econômico, sistema financeiro endógeno, dinâmica distributiva mais sofisticada e mecanismos explícitos de política industrial e tecnológica.

Referências

CAIANI, Alessandro *et al*. Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 69, p. 375-408, 2016.

CIMOLI, Mario; DOSI, Giovanni; STIGLITZ, Joseph E. Industrial policy and development: The political economy of capabilities accumulation. **New York: Oxford**, p. 113-137, 2009.

DOSI, Giovanni. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of economic literature**, p. 1120-1171, 1988.

DOSI, Giovanni; FAGIOLO, Giorgio; ROVENTINI, Andrea. Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. **Journal of economic dynamics and control**, v. 34, n. 9, p. 1748-1767, 2010.

KALDOR, Nicholas. Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom. **(No Title)**, 1966.

KALDOR, Nicholas. The irrelevance of equilibrium economics. **The Economic Journal**, v. 82, n. 328, p. 1237-1255, 1972.

LAVOIE, Marc. Post-Keynesian economics: new foundations. In: **Post-Keynesian Economics**. Edward Elgar Publishing, 2014.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **An evolutionary theory of economic change**. harvard university press, 1985.

PASINETTI, Luigi L. Structural change and economic growth. **Cambridge: Cambridge**, 1981.

RAND, William. An Introduction to Agent-Based Modeling. **Complexity Explorer–Santa Fe Institute. Recuperado de https://abm. complexityexplorer. org**, 2017.

ROBINSON, Joan. **Essays in the theory of economic growth**. Springer, 1965.

ROWTHORN, Robert E. Demand, real wages and economic growth. **Thames papers in political economy**, p. 1-39, 1981.

SCHUMPETER, Joseph. **Capitalism, socialism and democracy**. New York: Harper & Brothers, 1942.

SETTERFIELD, Mark (Ed.). **Handbook of alternative theories of economic growth**. Cheltenham: Edward Elgar, 2010.

SETTERFIELD, Mark. **Rapid growth and relative decline: modelling macroeconomic dynamics with hysteresis**. Springer, 1996.

TESFATSION, Leigh; JUDD, Kenneth L. (Ed.). **Handbook of computational economics: agent-based computational economics**. Elsevier, 2006.

THIRLWALL, Anthony Philip. The balance of payments constraint as an explanation of international growth rate differences. **PSL Quarterly Review**, v. 32, n. 128, p. 45-53, 1979.

THIRLWALL, Anthony Philip. The nature of economic growth: an alternative framework for understanding the performance of nations. In: **The Nature of Economic Growth**. Edward Elgar Publishing, 2002.

YOUNG, Allyn A. Increasing Returns and Economic Progress. **Revista de economía institucional**, v. 11, n. 21, p. 227-243, 2009.