

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANGELO CHIAVEGATTI PREBIANCA

**Crescimento, Acumulação de Capital e Inovação:
Um modelo baseado em agentes**

CURITIBA
2019

ANGELO CHIAVEGATTI PREBIANCA

**Crescimento, Acumulação de Capital e Inovação:
Um modelo baseado em agentes**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Bacharel no curso de
Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais
Aplicadas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João Basílio Pereima
Neto

CURITIBA
2019

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo aperfeiçoar um modelo teórico de crescimento econômico com acumulação de capital e inovação baseados em agentes (*agent-based model*). O modelo une dois processos de crescimento econômico que são tratados de forma separada na literatura de crescimento econômico, em modelos distintos. O tratamento simultâneo do crescimento econômico baseado em acumulação de capital e inovação permitirã a análise da dinâmica das economias que podem estar sujeitas a distintos regimes de crescimento econômico. Um fato empírico incontestável é o fato de que o processo real de crescimento econômico tem se dado com estas duas forças atuando simultaneamente com efeitos uma sobre a outra, de forma que ao tratá-las em separados os modelos que assim o fazem perdem uma parte importante da história e da dinâmica de crescimento. Os resultados obtidos durante a realização desta monografia não foram conclusivos. Há falhas de calibração no modelo, o qual precisa ser submetido a mais processos de experimentação e ajustes para que demonstre resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Crescimento, Inovação Tecnológica, Acumulação de Capital, Modelo Evolucionário, Sistemas Complexos, Modelo Baseado em Agentes.

ABSTRACT

This monograph aims to improve an theoretic model of Economic Growth, with capital accumulation and innovation being simulated in an agent-based model. The model unites two processes of economic growth that are addressed separately in the literature of economic growth, in distinct models. The simultaneous treatment of economic growth based on capital accumulation and innovation will allow analysis of the dynamic of economies that may be subject to different growth procedure. An empiric undeniable fact is that the real process of economic growth is happening with both of these forces acting simultaneously with effects on each other, so by treating them separately the models that do so lose an important part of history and the dynamics of growth. The results obtained during this monograph were not conclusive. There are calibration failures in the model, which need to be submitted to further trial and adjustment process to demonstrate satisfactory results.

Keywords: Growth, Innovation, Capital Accumulation, Evolutionary Model, Complex Systems, Agent-Based Model.

Lista de Figuras

2.1	Diagrama de Solow	11
2.2	Aumento da poupança no Diagrama de Solow	11
2.3	Deslocamento ao ponto de equilíbrio	12
2.4	Evolução do PIB per capita do Reino Unido	13
2.5	Comparação do crescimento do PIB per capita entre países	13
3.1	Consumo em função da taxa de Juros Fonte: Higachi et al. (2016)	20
4.1	Consumo x Produção	26
4.2	Mão-de-obra Agregada	26
4.3	Salário Real	26
4.4	Preço médio	27
4.5	Proporção entre Capital e Trabalho	27
4.6	Market Share por firma	27
4.7	Trajectoria individual das lucratividades por firma em 300 simualções	28

Lista de Tabelas

4.1	Parâmetros base da simulação	24
-----	--	----

Sumário

1	Introdução aos Modelos de Crescimento	8
2	Teorias do Crescimento	10
2.1	Crescimento e Acumulação de Capital	10
2.2	Crescimento e Inovação	12
2.3	Teoria Evolucionária do Crescimento	15
2.4	Modelos Evolucionários baseados em Agentes	16
3	O Modelo	18
3.1	Tempo	18
3.2	Agentes	18
3.3	Produção, demanda e estoque	18
3.4	Consumo	20
3.5	Preço, mark-up, receita e lucro da firma	20
3.6	Mão-de-Obra e Salários	21
3.7	Inovação e produtividade	22
4	Simulação e Resultados	24
4.1	Tabela de variáveis	24
4.2	Resultados e discussão: Modelo Evolucionário de Crescimento com Acumulação de Capital e Inovação	24
5	Conclusão	29
	APÊNDICE	31

1. Introdução aos Modelos de Crescimento

Se resumirmos o essencial das teorias modernas do crescimento econômico, e até mesmo teorias clássicas como Adam Smith, Ricardo e inúmeros outros, podemos claramente classificar os mecanismos que geram o crescimento econômico em dois grandes grupos de determinantes: a acumulação de capital resultando das decisões de investimento, e a inovação resultante das decisões de aperfeiçoar os processos produtivos, melhorar a qualidade dos bens de consumo e criar novos bens. Cada um destes mecanismos de crescimento, acumulação de capital e inovação, por si só constituem um universo complexo de decisões e interações econômicas, com efeitos sobre a sociedade nada triviais e foram objetos de estudos intensos. Muitas teorias e modelos de crescimento baseados em decisões de investimento e decisões de inovação tem sido desenvolvidos desde então. Uma grande parte da teoria econômica do crescimento se apoia em modelos macroeconômicos analíticos. No entanto, devido à complexidade do processo de crescimento das economias, mais recentemente, a partir dos anos 1990, e com mais intensidade a partir dos anos 2000, tem emergido uma literatura sobre crescimento que faz uso de modelos baseados em agentes, como uma tentativa de entender, com uma riqueza maior de detalhes, os mecanismos do crescimento econômico. Um dos principais atrativos desta nova teoria do crescimento baseada em agentes é que ela permite uma integração explícita entre os níveis micro, meso e macroeconômico, levando assim à uma descrição menos metafórica e mais realista de como o crescimento econômico opera nestes diversos níveis.

Os modelos baseados em agentes tem sido utilizados com um vigor crescente para vários fins e no caso das teorias do crescimento econômico tem possibilitado explorar algo que até então era inacessível para as abordagens exclusivamente agregadas: o fato de que os agentes em uma economia não são homogêneos e interagem entre si por mecanismos diversos. A consequência geral da interação de agentes heterogêneos é o fato de que estamos lidando com um sistema complexo, com possibilidades de percorrer distintas trajetórias cujo entendimento só podem ser definido mais criteriosamente em termos estatísticos. Não temos apenas uma única trajetória ótima para representar a evolução de tal sistema complexo, mas uma coleção de trajetórias que podem exibir padrões macroeconômicos semelhantes (uma espécie de equilíbrio dinâmico), como também podem apresentar trajetórias diversas. Dai a necessidade de analisar tais modelos por meio de um conjunto de simulações computacionais para entender como um sistema complexo pode evoluir.

Uma parte considerável da teoria do crescimento econômico agregada remonta ao trabalho pioneiro de Solow (1957). Muitas das premissas destes modelos permanecem válidas, como por exemplo o uso de funções de produção do tipo Cobb-Douglas, Leontief e inúmeras outras. A teoria de crescimento que faz uso de modelos baseados em agentes estende as teorias modernas, fornecendo detalhes e possibilidades de análise que até então não eram possíveis.

Assim, esta monografia tem por objetivo utilizar um modelo de crescimento baseado em agentes para reunir num único esquema analítico estes dois determinantes básicos do crescimento, que são a acumulação de capital e a inovação. Para tal foi adaptado um modelo de crescimento endógeno baseado em agentes já existente na literatura (Nelson and Winter, 1982; Higachi et al., 2016) o qual é baseado exclusivamente em inovação, para incluir o mecanismo de acumulação de capital, de forma a termos um modelo mais completo. É importante ressaltar que os objetivos de análise do modelo adaptado não são

correspondentes a este trabalho, o artigo de (Higachi et al., 2016) trata sobre o mercado financeiro, portanto apenas sua estrutura foi utilizada como base para os estudos realizados. A união dos dois determinantes (Inovação e Acumulação de Capital) em apenas um modelo permite que tenhamos um esquema analítico simulável onde é possível entender o processo de crescimento como resultante da combinação de dois regimes de crescimento que na realidade, atuam simultaneamente: um regime de crescimento baseado em acumulação de capital e um regime de crescimento baseado em inovação. E mais ainda, será possível explorar as interações entre estes dois mecanismos, pois parece muito óbvio que a difusão de uma inovação, também engendre uma onda de acumulação de capital que lhe de suporte à expansão. Não abordaremos o problema mais complexo, já levantado por Schumpeter (1934), de que o processo de criação, contém também um elemento de destruição ou substituição de bens numa economia.

Esta monografia está dividida em cinco capítulos seguidos por anexos. O *primeiro* capítulo consiste na introdução ao tema, estabelecimento dos objetivos específicos da Monografia, assim como sua estrutura. No *segundo* capítulo é realizada a revisão da literatura já existente sobre o tema abordado, iniciando pelos modelos básicos de Solow, uma breve contextualização sobre modelos multisetores, os modelos endógenos de crescimento e os modelos evolucionários. Ademais discute-se sobre tecnologia e o auxílio proveniente dos microcomputadores para o desenvolvimento de Modelos Baseados em Agentes. O *terceiro* capítulo apresenta o modelo desenvolvido e suas especificidades, contendo as modificações essenciais realizadas no modelo base para que este comporte a acumulação de capital e suas dinâmicas procedentes. Os resultados das simulações do modelo são apresentadas no *quarto* capítulo, com explicações relativas ao comportamento esperado das variáveis macroeconômicas, dado as especificidades elaboradas no capítulo anterior. No *quinto* capítulo, apresentam-se as conclusões da Monografia relativas aos resultados obtidos.

Por fim, para os interessados em replicar o modelo para realizar outros testes e análises, será disponibilizado no apêndice o código e os valores dos parâmetros iniciais da simulação, necessários para obter os mesmos resultados aqui obtidos pelo software LSD (Laboratory for Social Development, versão 7.0, por Marco Valente).

2. Teorias do Crescimento

O entendimento sobre crescimento econômico avançou a passos largos nas últimas décadas, e é um dos campos de pesquisa mais ativos da teoria econômica. Vários são os esforços para compreender os aumentos de renda alcançada por países industrializados, em desenvolvimento e países pobres fomentaram uma série de estudos sobre desenvolvimento econômico, a fim de diferenciar as estruturas dos países que foram milagres do crescimento, daqueles que não tiveram sucesso, ou que estão presos em “armadilhas da renda média” (Gill et al., 2007).

No que concerne às primeiras teorias modernas do crescimento, um dos autores mais importantes é Robert Solow, responsável pela publicação de dois artigos teóricos nos anos 50, o primeiro com o título de “*Uma contribuição para a teoria do crescimento econômico*, Solow (1956)” e o segundo “*Mudança Técnica e a Função de Produção Agregada*, Solow (1957)”. Suas teorias contribuíram para a teoria econômica por esclarecer o papel da acumulação de capital físico e a importância do progresso técnico como motor fundamental para um crescimento econômico sustentado.

Aproximadamente trinta anos depois das publicações de Solow, momento no qual os estudos pelo tema haviam entrado em declínio, duas novas contribuições são publicadas por Romer (1986) e Lucas (1988), endogenizando o progresso da tecnologia por meio do que chamaram de “Capital Humano”. Para esta segunda fase das teorias do crescimento, a questão essencial era explicar o processo de inovação e integrá-lo aos modelos macroeconômicos, pois este seria o principal mecanismo pelo qual as economias poderiam fugir da estagnação de longo prazo tal como prevista pelo modelos de crescimento baseados em acumulação de capital, sujeitos que estavam, à lei dos rendimentos decrescentes.

2.1 Crescimento e Acumulação de Capital

Para analisar os fundamentos do funcionamento da acumulação de capital utilizamos o modelo básico de Solow (1956) o qual não possui progresso técnico e, portanto, não apresenta crescimento da renda per capita no estado estacionário. Esta revisão tem por objetivo destacar os resultados obtidos por tais modelos mais do que ser uma demonstração detalha dos modelos matemáticos.

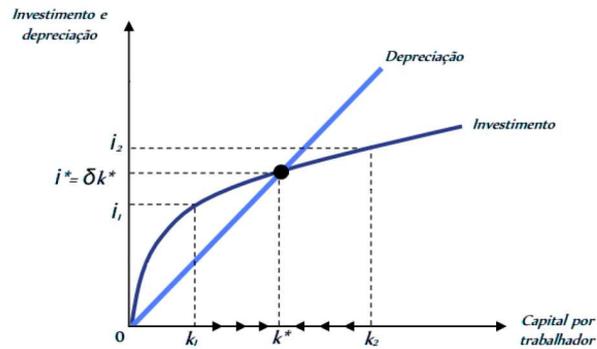
Visualizando o diagrama de Solow é possível notar como se comporta o estoque de capital dentro do seu modelo matemático. Essa abordagem assume que há um ponto de equilíbrio em que o valor do investimento e da depreciação resultam em um estoque de capital per capita constante. Muito embora o estoque de capital esteja crescendo em termos absolutos, no chamado estado-estacionário, o nível de estoque de capital está crescendo proporcionalmente à poupança. O que permanece constante é a relação capital/trabalho, $k = K/L$. A estagnação ocorre, portanto, em termos per capita. A equação dinâmica de Solow é dada por:

$$\dot{k}(t) = sf[k(t)] - (n + \delta)k(t) \quad (2.1)$$

onde s é a taxa de poupança, n a taxa de crescimento populacional e δ é a taxa de depreciação. O estado estacionário é alcançado quando $\dot{k}(t) = 0$, quando então a relação capital per capita não varia. Isso ocorre quando os dois termos da equação acima se

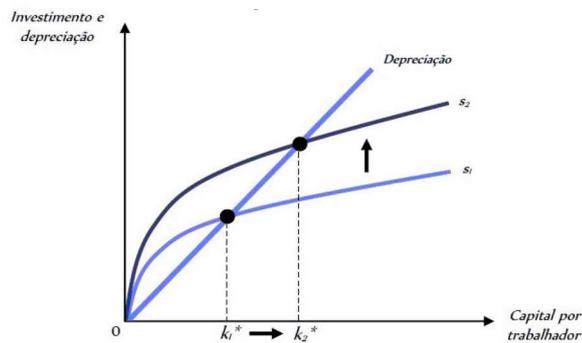
igualam, com uma combinação de equilíbrio da taxa de poupança com n e δ .

Figura 2.1: Diagrama de Solow



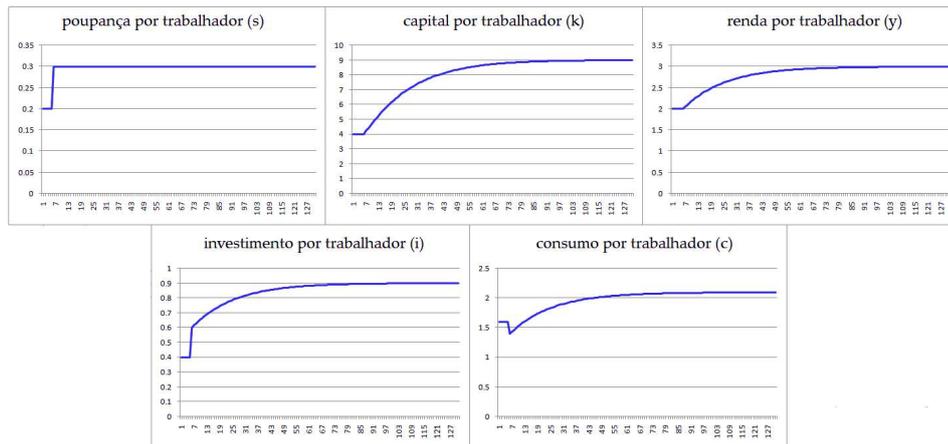
Conforme o modelo de Solow há a possibilidade de aumentar o estoque de capital per capita, e conseqüentemente a renda per capita, por meio de um aumento da poupança. A imagem abaixo demonstra como um aumento na poupança desloca o estoque de capital para um novo ponto de equilíbrio entre o investimento (percentual poupado da renda) e a depreciação. Quando este novo ponto de equilíbrio é alcançado, novamente a renda per capita para de crescer e a economia entra em um novo estado-estacionário.

Figura 2.2: Aumento da poupança no Diagrama de Solow



O processo não é imediato, dado que o estoque de capital se acumula gradualmente. Na Figura 2.3 é possível visualizar como o valor das variáveis se aproximam de seus novos pontos de equilíbrio

Figura 2.3: Deslocamento ao ponto de equilíbrio



Portanto segundo o modelo de Solow básico, pode-se concluir que países com uma maior razão poupança/investimento, mantendo tudo mais constante, tenderão a atingir maiores níveis de renda agregada. Como já mencionado, neste modelo não há crescimento no estado estacionário, e isso acontece pela falta de progresso técnico, que só é adicionado no modelo desenvolvido por Solow em um segundo artigo (Solow, 1957).

Análises posteriores a Solow procuraram fornecer maiores explicações sobre o funcionamento da acumulação de capital em economias em crescimento, como a de Uzawa (1961), que repetiu um modelo próximo ao de Solow porém com a presença de dois setores, a fim de avaliar problemas fundamentais que poderiam existir na distinção entre setores que produzem bens de consumo e setores que produzem bens de capital. Os modelos de dois setores, apesar de simples, foram um passo importantíssimo para o entendimento de como são feitas as desagregações fundamentais para avançar aos modelos cada vez mais complexos que possuem diversos setores.

Uma das descobertas conclusivas dos modelos de dois setores é que a relação capital-trabalho é superior no setor que produz bens de consumo, comparativamente ao setor produtor de bens de capital. Essa informação permite assumir que há uma dependência direta entre ambos os setores, já que o setor de bens de consumo é capital intensivo, este irá adquirir o estoque de K junto ao setor de bens de capital, e este último apresentará crescimento equivalente.

2.2 Crescimento e Inovação

Ao observar a história das economias ao redor do mundo de uma perspectiva de longo prazo, é notável que a prosperidade e crescimento econômico são conquistas recentes para a humanidade. Podemos usar como exemplo o Reino Unido que iniciou seu crescimento sustentado em um período anterior aos demais, conforme gráfico a seguir:

Figura 2.4: Evolução do PIB per capita do Reino Unido

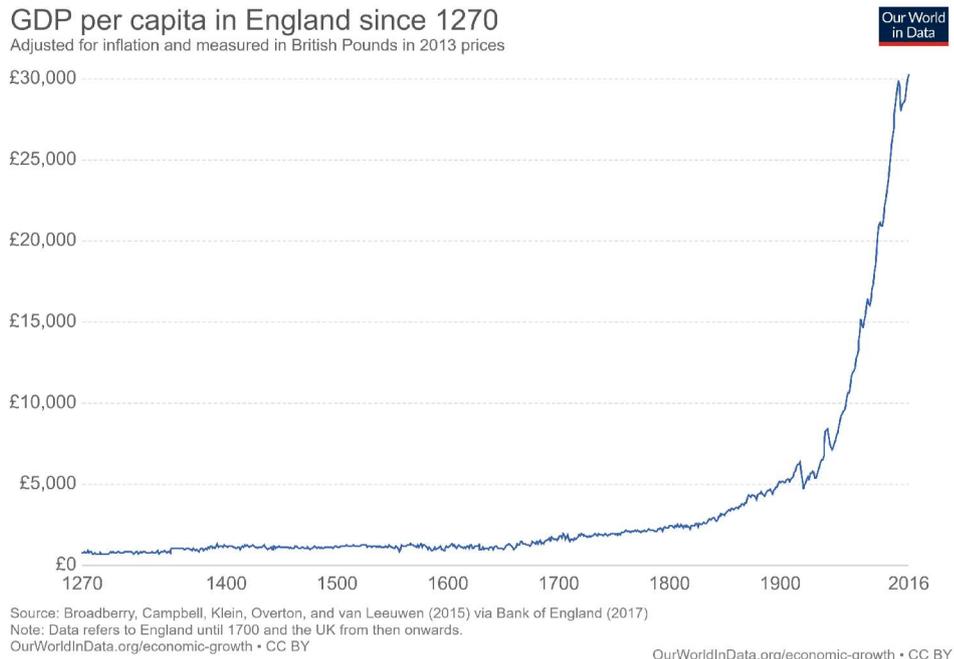
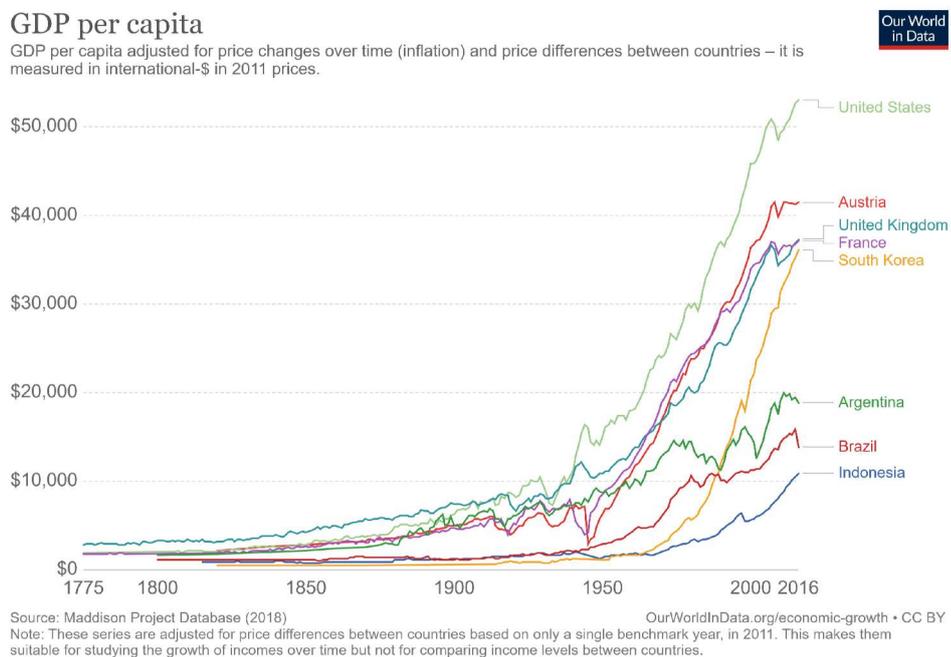


Figura 2.5: Comparação do crescimento do PIB per capita entre países



De acordo com as estimativas do primeiro gráfico (2.4) até o ano de 1800 aproximadamente a renda per capita do Reino Unido cresce muito pouco, poderíamos dizer que fica quase estagnada desde os anos 1700 até 1800. Porém uma mudança considerável na renda por trabalhador tem início em torno de 1800 levando ao que chamamos hoje de primeira revolução industrial, onde a inserção dos teares mecânicos nas indústrias de tecido e o uso de máquinas a vapor aprimoraram o processo produtivo. Essas observações de dados empíricos são expressas no segundo trabalho de Solow, que trata sobre a mudança técnica.

A presença de mudança técnica significa que o valor de A na equação $Y = K^\alpha AL^{1-\alpha}$ aumenta ao longo do tempo a uma taxa g , a qual no modelo de Solow é tratada como exógena, $A_t = A_0 \exp(gt)$. Nenhuma explicação analítica sobre a geração de produtividade é fornecida e nenhuma equação, em termos mais restritos, explica como g se comporta.

Dentre as mudanças realizadas na segunda contribuição de Solow (1957), há agora dois fatores que aumentam de forma direta e indireta a produtividade do trabalho: por meio da própria melhoria tecnológica e por meio da acumulação de capital adicional resultante deste avanço. No primeiro modelo, o crescimento do produto per capita tende a diminuir conforme os retornos de capital se tornam decrescentes, já no segundo modelo essa tendência é compensada pela tecnologia, e o crescimento é determinado pelo progresso técnico (g).

Dadas estas limitações dos modelos com progresso tecnológico exógeno, modelos de crescimento de segunda geração, se pudermos assim nos referir a tais modelos, passaram a dar destaque aos determinantes da tecnologia em termos endógenos. Um exemplo é o artigo publicado por Romer intitulado *Increasing Returns and Long-Run Growth*, Romer (1986), o qual mensura o avanço tecnológico por meio de um estoque de ideias, onde novas ideias permitem que os insumos sejam melhor aproveitados gerando um produto maior ou de melhor qualidade. Para modelar o estoque de ideias Romer as considera como um insumo que possui custo fixo de produção e, por serem um bem não-rival, podem ser utilizadas diversas vezes a um custo marginal baixo. O aumento de produtividade por meio do acúmulo incessante de novas ideias produz, em nível agregado um mecanismo de retornos crescentes de escala. Em termos de uma função de produção o que obtemos agora é alguma função na forma, por exemplo, da função (2.2) a seguir:

$$Y_t = K_t^\alpha A_t^\gamma L_t^{1-\alpha} \quad (2.2)$$

onde $\gamma > 0$ e portanto a soma dos coeficientes da função resulta em um valor maior que 1 introduzindo a possibilidade de obter retornos crescentes de escala numa função de produção.

O nível de tecnologia é definido no modelo de Romer pelo estoque de ideias $A(t)$, e este depende do número de pessoas engajadas em pesquisa, assim como o estoque de ideias já disponível. Teoricamente há duas contribuições desta abordagem: a primeira constatação é que o crescimento da economia está atrelado ao crescimento populacional, ou seja, um aumento no número de indivíduos provoca o surgimento de novos pesquisadores, resultando em um aumento na produção de novas ideias, já a segunda constatação é que a ideia tem efeitos duplos sobre a inovação, o primeiro é que assim que é feita uma descoberta, esta não pode ser redescoberta, e o segundo é que uma ideia abre possibilidade para um novo leque de inovações (e.g.: existe uma infinidade de softwares desenvolvidos para microcomputadores).

A busca de novas ideias é movida pela possibilidade de obtenção de lucro exclusivo (proporcionado pelas patentes) de parte do ganho social gerado por elas. Em um estudo feito por Griliches (1991) foi constatado que os retornos sociais chegam a ser de 40% a 60% superiores ao retorno das empresas privadas, ou seja, as externalidades positivas advindas da pesquisa superam as negativas.

2.3 Teoria Evolucionária do Crescimento

A mudança tecnológica introduz novos elementos na análise econômica e na teoria do crescimento. Os efeitos de novas tecnologias são diversos, e podem causar impactos profundos na dinâmica e na transformação de um sistema econômico. Não está em jogo apenas o aumento ou variação da produtividade, mas uma série de transformações que a economia pode sofrer. Uma economia sujeita a contínuos choques de produtividade está constantemente evoluindo entre um estado-estacionário e outro e, no limite, até operando permanentemente fora do equilíbrio, ou evoluindo em trajetórias diversas. Tal complexidade tem sido estudada pela chamada *teoria evolucionária do crescimento*.

Pesquisadores concentraram seus esforços no desenvolvimento de modelos com uma maior abrangência de variáveis explicativas e com um maior nível de complexidade, entre eles Richard Nelson e Sidney Winter, que publicam em 1982 o artigo *Uma Teoria Evolutiva da Mudança Econômica*, (Nelson and Winter, 1982). A teoria evolucionária procura explicar as condições em que o processo de mudança econômica ocorre sob a ótica de que há imperfeições no sistema, se apresentando como uma alternativa aos modelos clássicos.

A teoria evolucionária, tal como elaborada por Nelson & Winter é na verdade uma teoria da firma, pelo lado da oferta. De acordo com os autores, os agentes no sistema econômico, principalmente as firmas, mas também consumidores, apresentam certas características comportamentais que diferem dos modelos analíticos baseados em agentes representativos que possuem racionalidade ilimitada e portanto podem otimizar em qualquer ambiente e situação. Para Nelson & Winter, os agentes não são completamente racionais. Varias outras premissas sobre o comportamento ao nível micro-econômico estão presentes nos modelos evolucionários, tais como:

- Os atores econômicos são racionais e otimizadores, porém não possuem informações perfeitas, o que limita sua capacidade de maximização.
- O ambiente em que as firmas operam é dinâmico, permitindo que haja competição entre empresas em diferentes níveis tecnológicos, com diferentes capacidades produtivas internas, e com diferentes estruturas de custo. Em outras palavras os agentes são heterogêneos.
- A presença de retornos crescentes de escala pode emergir não diretamente de dentro de uma função de produção isolada, mas também da interação entre os agentes, quando por exemplo uma tecnologia ou conhecimento é difundido no sistema econômico, por meio de estratégias de imitação por parte das firmas.

De acordo com a teoria evolucionária os agentes são expostos a diversos eventos que requerem uma tomada de decisão, e os resultados de suas escolhas a serem feitas são previamente desconhecidos, desse modo o processo dinâmico é inteiramente originado apenas de condições conhecidas do passado. Os agentes representam empresas que tentarão, por exemplo, obter informações sobre o seu mercado, como a busca pela imitação da tecnologia das concorrentes ou do preço por eles praticados, na tentativa de se manterem lucrativas e competitivas. O modelo serve como um processo de “seleção natural”, onde firmas que tomam boas decisões são recompensadas com lucro e, portanto, se mantêm no mercado, e as demais que não possuem tal eficiência são filtradas. A teoria permite avaliar regularidades e problemas na realidade presente com estimações fora de estados hipotéticos

de equilíbrio, mas de um desenvolvimento contínuo de um mercado que compreende uma diversidade de agentes.

Pelo fato do crescimento gerar melhores bases para avanços na tecnologia, o processo de competição Schumpeteriana reforça os aumentos no gap-tecnológico entre as empresas participantes na simulação, contando que há empresas que assumem a fronteira inovativa e as demais precisam copiar os avanços das líderes com certo nível de imperfeição, ficando cada vez mais atrasadas na corrida tecnológica, e por fim desenvolvendo concentração no mercado. Isso ocorre mesmo em casos em que todas as empresas começam com as mesmas condições iniciais na simulação, pois o sucesso ou fracasso na obtenção de novas tecnologias ainda é um componente dinâmico que se difere entre as firmas.

Diante de todas as situações de desequilíbrio originárias do processo dinâmico descrito por esta teoria, o método de modelagem baseado em agentes utilizado pela teoria evolucionária se torna uma ferramenta necessária. A teoria evolucionária permite uma compreensão simultânea dos ambientes micro e macro com a emergência de diversos padrões no nível macro, oriundos de diferentes regras de decisão assumidas por agentes heterogêneos no nível micro.

2.4 Modelos Evolucionários baseados em Agentes

Com o aumento da capacidade de processamento e velocidade dos computadores, os economistas de hoje possuem ferramentas com um potencial elevado para a produção de análises teóricas que envolvem cálculos e estruturas complexos, que antes tinham resoluções próximas do impossível por métodos analíticos convencionais. A cada ano o progresso tecnológico dos hardwares e softwares disponíveis reduzem o “custo” de fazer pesquisas intensivas em computação, tais quais os modelos baseados em agentes (Agent Based Models - ABM).

Podemos constatar que as economias são sistemas complexos adaptativos dinâmicos em que é possível a modelagem utilizando agentes, pois esta compreende um grande número de agentes heterogêneos interagindo em um ambiente micro, e das interações locais emergem conjuntos de variáveis globais como taxas de crescimento, nível de emprego, índice de preços, dados que os próprios agentes utilizam como base em meio a tomada de decisões. Portanto, considerando a existência de informações sobre mecanismo adaptativo presente nos sistemas econômicos, diversos trabalhos acadêmicos buscam modelar simulações cada vez mais reais, que agregam um número maior de componentes, permitindo que possam ser extraídas informações mais precisas sobre o funcionamento da economia. A metodologia dos modelos baseados em agentes também possui raízes na ciência das redes (Network Science), que é utilizada como ferramenta de análise dos padrões que surgem conforme os agentes do modelo “evoluem”.

O uso de ABM's traz vantagens para o processo de experimentação em meio as pesquisas, já que estes podem ser executados diversas vezes alterando suas dinâmicas e os dados utilizados para obtenção de diferentes resultados, podendo demonstrar pequenas ou grandes variações dependendo da natureza dos testes. Já que se trata de uma vasta sequência de observações, as afirmações são obtidas por um método científico indutivo, no qual o raciocínio é construído com base em um número suficiente de amostras particulares.

O processo de construção de um modelo baseado em agentes conta com três elementos principais: Os agentes, o ambiente, e as suas interações.

Os agentes são a unidade básica dentro do modelo computacional, e podem

representar tanto agentes móveis (seres vivos) como imóveis (objetos, instituições). A definição do agente se dá por suas propriedades e comportamentos. As propriedades dos agentes são estados internos ou externos alterados conforme o tempo passa nas simulações, afetados pelo seu comportamento (ações). O ambiente em que os agentes interagem pode ser tanto definido de forma espacial como por meio de redes, ou até ambos. O padrão mais comum de distribuição espacial dos agentes é a utilização de um plano cartesiano de duas ou três dimensões para dispor os agentes sobre ele. Já os ambientes formados por redes ocorrem quando há ligações entre os agentes que interagem entre si formando “conexões interativas”. O terceiro e último elemento para a construção de um ABM são as interações, que podem acontecer de cinco maneiras: O agente em relação a si próprio, alterações internas no ambiente, interação entre dois agentes, interação entre o ambiente e um agente, e interações entre dois ambientes distintos.

Por fim os conceitos estabelecidos são traduzidos para uma linguagem de programação compatível com um software de simulação que seja adequado para a pesquisa a ser realizada.

3. O Modelo

Usualmente, um modelo baseado em agentes é preparado para buscar padrões emergentes que possam descrever um fenômeno dado um conjunto de regras e estímulos do ambiente. O modelo proposto neste trabalho procura reproduzir fenômenos encontrados no mundo real relativos ao crescimento econômico, tomando como ponto de partida modelos já testados pela literatura que tratam sobre desenvolvimento. As formulas demonstradas neste capítulo serão especificamente as mudanças que foram necessárias para adaptar o seu antecedente a um regime de acumulação de capital.

3.1 Tempo

O modelo simula o desenvolvimento de um setor econômico pelo período de 300 meses.

3.2 Agentes

O modelo possui 100 agentes que representam firmas para cada setor de uma economia hipotética, 100 para o setor de bens de capital e 100 para o setor de bens de consumo, totalizando 200 agentes.

3.3 Produção, demanda e estoque

Do lado da produção supõe-se uma economia baseada em trabalho e capital com retornos constantes de escala, onde as oscilações do produto podem ser determinadas pela variação do conjunto a cada período de tempo. Desta forma pode-se assumir uma função de produção Cobb-Douglas, $Y = BK^\alpha * AL^{1-\alpha}$, porém com uma adaptação feita por [André et al. \(2016\)](#), que leva em conta a expectativa de demanda, gerando capacidade ociosa caso o valor que a firma possa produzir ultrapasse o que ela espera vender. A capacidade produtiva depende então, em uma proporção de um para um, da quantidade de trabalho mobilizada $L_{i,t}$ multiplicada pelo coeficiente técnico de produção $A_{i,t}$, e da quantia de capital acumulado $K_{i,t}$ multiplicado pelo coeficiente de produtividade do capital $B_{i,t}$. Portanto, uma firma i , produzirá $X_{i,t}$ unidades de produto no período de tempo t , contratando uma quantidade $L_{i,t}$ de trabalho e aumentando seu estoque $K_{i,t}$ de capital, multiplicadas as suas respectivas produtividades $A_{i,t}—B_{i,t}$, onde até o momento, a única a variar (positivamente) com as inovações introduzidas pela firma é $A_{i,t}$, conforme descrito mais adiante na subseção 3.1.3:

$$X_{i,t}^{Eff} = \min \left[X_{i,t}^{Exp}; (A_{i,t}L_{i,t})^\alpha \times (B_{i,t}K_{i,t})^{1-\alpha} \right] \quad (3.1)$$

Para executar seu plano de produção, uma firma contrata trabalho em um dado período de tempo t conforme uma média ponderada (definida por ε) entre o montante de trabalho no período anterior $L_{i,t-1}$ e o montante necessário de trabalho para preencher as

expectativas de demanda do período, dado pela expectativa $X_{i,t}^{Exp}$ dividida pelo coeficiente técnico de produção $A_{i,t-1}$ no período anterior. A média ponderada busca não realizar alterações abruptas no estoque de trabalho entre períodos, ao mesmo tempo que fornece certa flexibilidade para que a firma realize contratações e demissões a depender de suas expectativas. Este modelo assume ainda que as empresas mantêm uma parcela de trabalho excedente u^l como medida preventiva para aumentos futuros inesperados na demanda. O modelo básico pertence a [André et al. \(2016\)](#), mas uma medida corretiva de estoque de produção será inserido posteriormente.

$$L_{i,t} = \varepsilon L_{i,t-1} + (1 - \varepsilon) \left[(1 + u^l) \frac{X_{i,t}^{Exp}}{A_{i,t-1}} \right] \quad (3.2)$$

O estoque de capital é composto por uma dinâmica do Modelo de Solow básico:

$$K_{i,t} = K_{i,t-1} (1 - \delta + I_{i,t}) \quad (3.3)$$

onde $K_{i,t}$ é composto pelo estoque de capital do período anterior $K_{i,t-1}$, reduzido por uma taxa fixa de depreciação δ , e acrescido de uma taxa de investimento $I_{i,t}$. A taxa de investimento é definida pela seguinte função:

$$I_{i,t} = \begin{cases} \lambda \left[\frac{X_{i,t}^{Exp} - X_{i,t}^{Eff}}{X_{i,t}^{Eff}} \right] \Pi_{i,t} & \text{if } X_{i,t}^{Eff} < X_{i,t}^{Exp}, \\ 0 & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (3.4)$$

onde $X_{i,t}^{Exp}$ é a expectativa de demanda para o período t , $X_{i,t}^{Eff}$ é a demanda efetiva no período t , λ é um parâmetro de controle que define quanto do crescimento nas expectativas irá ser incorporado ao investimento ($I_{i,t}$), e $\Pi_{i,t}$ é referente a uma parcela dos lucros acumulados que será investido para aumentar o estoque de capital. Há portanto, necessidade do aumento da expectativa de demanda em relação a demanda efetiva do período para que haja investimento, evidenciado pela condicional $X_{i,t}^{Eff} > X_{i,t}^{Exp}$, condição que quando não satisfeita implica em não realização de investimentos.

Tendo em vista que o objetivo principal do modelo é analisar as interações entre a acumulação de capital e a inovação das firmas e os decorrentes efeitos macroeconômicos sobre os ciclos econômicos, o lado da demanda da economia é tratado como exógeno, porém variável. Desta maneira o modelo não contempla comportamento do consumidor, apenas determina condições básicas para que o consumo seja concretizado: primeiramente é computada a demanda agregada (C_t^{Ag}) e depois distribuída pelas firmas a depender de seu market share ($ms_{i,t}$), que varia de acordo com os preços praticados ao longo do tempo. Já as firmas produzem limitadas pelas suas expectativas ($X_{i,t}$), podem errar em determinados momentos do tempo e produzir mais que a demanda efetiva ($X_{i,t}^{Eff}$), e a diferença não comercializada será acumulada na forma de estoque ($X_{i,t}^S$). No caso contrário, onde a demanda efetiva for maior que a produção, não haverá acumulação de pedidos, e o estoque que realimenta o produto disponível, será zero.

$$X_{i,t}^S = \begin{cases} X_{i,t-1}^S + X_{i,t} - X_{i,t}^{Eff} & \text{if } X_{i,t}^{Eff} < X_{i,t} + X_{i,t-1}^S, \\ 0 & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (3.5)$$

3.4 Consumo

A demanda agregada (C_t^{Ag}) no modelo é computada por primeiro e apenas depois é distribuída pelas firmas, isso permite que seja determinada exógenamente como descrito anteriormente. É um processo realizado de cima para baixo. A demanda agregada corresponde a função Marshalliana a qual depende da Renda Agregada (W_{t-1}) e do Preço Médio (P_{t-1}). Parte do consumo é também influenciado pelo setor de crédito existente no modelo de [Higachi et al. \(2016\)](#).

$$C_t^{Ag} = \alpha \frac{W_{t-1}}{P_{t-1}} + (1 - \alpha) \frac{1}{[1 + \psi_1(i_{t-1} - i_t)]^{\psi_2}} \frac{W_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (3.6)$$

O segundo termo da equação (3.6) corresponde ao efeito da taxa de juros no consumo, processo logístico demonstrado na figura 3.1. Os parâmetros ψ_1 e ψ_2 controlam o formato da curva logística¹. O formato logístico demonstra que nos extremos da taxa de juros a mudança realizada no consumo é diminuta.

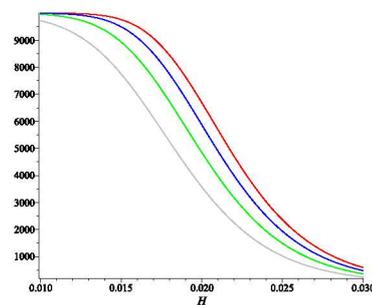


Figura 3.1: Consumo em função da taxa de Juros
Fonte: [Higachi et al. \(2016\)](#)

3.5 Preço, mark-up, receita e lucro da firma

A dinâmica de preços neste modelo tem uma inserção a mais que o modelo de [Higachi et al. \(2016\)](#), onde parcela da formulação do preço também incorpora o retorno do capital (κ).

$$P_{i,t} = (1 + Z_{i,t}) \left(\frac{W_t + \kappa}{X_{i,t}^{Exp}} \right) \quad (3.7)$$

Tendo definido seu preço e seu market share, a firma estará em condições de calcular sua receita e os custos operacionais e, ao fim, seu lucro. A firma tem uma receita composta pela receita operacional e pela receita financeira, que é originada a partir dos juros recebidos pelos lucros acumulados nos períodos anteriores, rendendo a taxa de juros bancária. Supõe-se que as firmas para evitar custos de oportunidade do capital apliquem os seus lucros retidos no sistema bancário. Tratando-se de despesas, os custos totais são compostos no modelo pelo custo operacional (salários), gastos em pesquisa e desenvolvimento como proporção do lucro acumulado no início do período t , despesas financeiras sobre a dívida acumulada e, por fim, a distribuição de dividendos para os sócios. Assim, o lucro total da firma no final do período de tempo t será:

¹Por uma questão de simplicidade nós não controlamos a dívida do consumidor, apenas armazenamos o efeito negativo dos juros em uma parte do consumo agregado. Caso impormos uma restrição inter-temporal ao consumo individual, dado que não há diferenciação entre o comportamento dos consumidores, nada relevante seria adicionado a dinâmica agregada, ao contrário do fato de que o consumo irá se recuperar lentamente após a crise.

$$\Pi_{i,t} = (R_{i,t}^O + R_{i,t}^F - W_{i,t} - R\&D_{i,t} - i_t D_{i,t-1}^S - Dividendos) \quad (3.8)$$

3.6 Mão-de-Obra e Salários

O mercado de trabalho é a segunda instância que faz desse modelo complexo. A negociação de salários depende da produtividade da firma e seu sucesso no processo inovativo e depende do salário médio agregado. Uma vez que a mudança tecnológica é levada em conta, melhorias tecnológicas que aumentam a produtividade do trabalho irão afetar a rentabilidade e a fragilidade financeira, pois afeta o custo unitário de mão de obra e, portanto, a competitividade. De fato, esta influência torna-se mais intensa e complexa quando a inovação tecnológica é maior.

Enquanto a produtividade e o montante de trabalho estão definidos ao nível da firma, de acordo com sua capacidade inovativa e plano de produção, o salário médio pago pela firma depende das interações entre empresas como um padrão agregado. Dado que o salário médio é o mesmo para todas as firmas, eles são afetados pelo ambiente macroeconômico. Não obstante, se uma firma obtém sucesso em inovar, ela irá se deparar com a decisão de demitir alguns de seus empregados e, portanto, reduz $L_{i,t}$ e mantém o plano de produção, ou até, mantém os trabalhadores e expande a produção. Este é um mecanismo implícito na equação (3.9), se a produtividade da firma é maior que a média, sua estratégia é repassar uma parcela de ϖ do ganho de produtividade aos trabalhadores. Isto incrementa o a renda agregada como a renda per capita, assim como o consumo no longo prazo, gera crescimento econômico e ajuda a evitar desemprego causado pela tecnologia. Por outro lado, temos a firma com uma baixa produtividade, que pode se deparar com problemas de financiamento devido ao alto custo do trabalho advindo de um alto salário médio.

O custo total de trabalho da firma ($W_{i,t}$) é um dos dois custos envolvidos na produção e depende do salário nominal unitário (V), tal qual é fixo (constante), da produtividade média do trabalho ($\bar{A}_{i,t}$) e a quantidade de mão de obra contratada pela firma ($L_{i,t}$), como descrito pela seguinte equação:

$$W_{i,t} = \begin{cases} V\bar{A}_t L_{i,t} & \text{if } A_{i,t} - \bar{A}_t \leq 0 \\ V[\bar{A}_t + \varpi(A_{i,t} - \bar{A}_t)]L_{i,t} & \text{if } A_{i,t} - \bar{A}_t > 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

onde o salário nominal unitário (V) é definido no início da simulação e ϖ é um parâmetro que regula o “salário-prêmio”, ou seja, porção da diferença de produtiva que será passada ao salário. De acordo com a equação (3.9), uma firma com alta produtividade paga maiores salários, enquanto as com baixa produtividade pagam baixos salários. A equação é mais rica do que sua simples aparência e conduz a salários heterogêneos entre as firmas. Isto é consistente com a ideia de que “Contratos de trabalho podem ser vistos em parte como troca de presentes” de [Akerlof \(1982\)](#) que nomeou este mecanismo como teoria da equidade da troca social ([Akerlof, 1984](#), p. 82, 83)².

²De acordo com [Akerlof \(1982\)](#) uma empresa pode dar um “presente” aos trabalhadores pagando a eles um salário extra. No nosso caso, o “prêmio” é dado pelas firmas produtivas na forma de salários que excedem o salário médio, como descrito na segunda parte da equação 3.9.

3.7 Inovação e produtividade

Uma vez que a mudança tecnológica é levada em conta, aperfeiçoamentos tecnológicos que elevam a produtividade do trabalho afetarão a lucratividade e a fragilidade financeira por afetar os custos unitários de trabalho e, assim, a competitividade. A utilização do processo de concorrência schumpeteriana com três diferentes formas de inovar permite que as empresas não apenas inovem de forma extrema (por meio de pesquisa), mas também copiando as líderes do mercado ou melhorando o conhecimento sobre seu próprio processo produtivo. A produtividade passou a contar não apenas com um multiplicador do trabalho, mas agora contempla uma variável que delimita o crescimento do produto através da produtividade do capital "B", tal qual é constante ao decorrer do tempo.

Os mecanismos de inovação utilizados serão os mesmos de Higachi et al. (2016): *Learn-by-doing*, imitação e inovação através de P&D. As firmas tentam a todo momento escolher entre uma das três opções, na busca pela melhor produtividade disponível, de acordo com a equação (3.15).

O processo de *Learn-by-doing* (Arrow (1962)) permite que a expansão produtiva da firma também seja causa de um aumento na produtividade do trabalhador, devido a uma relação linear criada entre os aumentos de produção dos últimos dois períodos ($t - 2$ e $t - 1$) e a conseqüente variação da produtividade, como demonstra a equação:

$$A_{i,t}^{LD} = \delta_1 \frac{\dot{X}_{i,t-1}}{X_{i,t-1}} \quad \text{if} \quad \dot{X}_{i,t-1} > 0 \quad (3.10)$$

A equação (3.10) é referente a Lei de Kaldor-Verdoorn (dos autores Verdoorn (2002) e Kaldor (1961)), que é essencialmente a correlação entre a produtividade e a demanda agregada. Neste modelo esta relação macro foi aplicada no ambiente micro, porém manteve-se a relação agregada. O parâmetro δ_1 é o coeficiente de Kaldor-Verdoorn, e representa a sensibilidade que a tecnologia por aprendizado ($A_{i,t}^{LD}$) cresce relativamente às variações percentuais da produção $\frac{\dot{X}_{i,t-1}}{X_{i,t-1}}$, onde $\dot{X}_{i,t}$ é a variação de produção da firma entre $t - 2$ e $t - 1$. A parcela condicional que institui $\dot{X}_{i,t} > 0$ tem intuito de prevenir que hajam perdas tecnológicas em casos que eventuais reduções na produção aconteçam.

A inovação tecnológica pode também ser adquirida pela firma através da imitação dos concorrentes. A imitação é parcial, dado que as firmas não conseguem absorver todas as informações implícitas no processo produtivo alheio, portanto a cópia será uma proporção da diferença tecnológica existente entre a firma e a maior entre três firmas concorrentes (escolhidas aleatoriamente) que foram alvo de observação no período:

$$A_{i,t}^{IM,max} = \max(A_{1,t-1}^{IM}, A_{2,t-1}^{IM}, A_{3,t-1}^{IM}) \quad (3.11)$$

Assim que a firma a ser imitada é escolhida, é determinado quanto desta produtividade será absorvida pela firma que irá imitar, a depender da distância existente entre a tecnologia da firma a ser copiada e a imitadora, definida pela seguinte função logística inversa:

$$A_{i,t}^{IM} = \Delta A_{i,t}^{IM,max} \left[1 - \frac{\delta_2}{\left(1 + \delta_3 \exp(-\delta_4 \Delta A_{i,t}^{IM,max})\right)^2} \right] \quad \text{if} \quad P_{i,t}^{IN} \geq RND \quad (3.12)$$

onde $\Delta A_{i,t}^{IM,max} = A_{i,t-1}^{IM,max} - A_{i,t-1}$ é a distância tecnológica, $\delta_{2,3,4}$ são constantes que controlam quão perfeita será a imitação, e $P_{i,t}^{IN}$ é a probabilidade de inovação. Uma firma que está capacitada a imitar pode não fazer isso da melhor forma, e poderão ter maiores dificuldades de dar um salto tecnológico posteriormente. A dificuldade aumenta cada vez mais conforme se aumenta a distância entre a produtividade do "imitador" e do "imitado". A condição lógica afirma que a imitação irá acontecer apenas se a probabilidade computada pela equação (3.13) for maior do que um número aleatório uniforme $RND \in [0, 1]$.

O terceiro modo de alcançar níveis mais altos de inovação tecnológica no modelo é através da criação de um novo processo produtivo por meio de P&D. Este mecanismo é composto por dois estágios, no primeiro verifica-se o sucesso ou fracasso da descoberta da nova tecnologia de acordo com a função probabilística (3.13). Caso houver descoberta será computado o valor do crescimento da produtividade, de acordo com a função logística generalizada (3.14).

Na equação (3.13), a probabilidade de inovação segue um processo exponencial inverso e é dependente de gastos em P&D e da produtividade anterior. O montante gasto em P&D depende da distribuição de lucros, portanto, $R\&D_{i,t} = \varphi_i \Pi_{i,t}^S$.

$$P_{i,t}^{IN} = \frac{\gamma_0}{[1 + \gamma_1 \exp(-\gamma_2 R\&D)]^2} + \frac{\gamma_0}{[1 + \gamma_3 \exp(-\gamma_4 A_{i,t-s}^{time})]^2} \quad (3.13)$$

onde $\gamma_{0...4}$ são os parâmetros que permitem ajustar a sensibilidade da probabilidade de inovar em relação aos gastos em P&D e $A_{i,t-s}^{time}$ é o tempo que passou desde a última inovação no tempo s .

A nova produtividade após uma inovação ocorrer aumentará de acordo com uma distribuição normal de média $A_{i,t-1}$ média e variância σ_2^2 . Este resultado será usado apenas se a probabilidade de inovação ($P_{i,t}^{IN}$) que foi calculada em (3.13) é maior ou igual a um número quase aleatório gerado por uma distribuição uniforme de probabilidade, e a função desta distribuição variando entre 0 e 1. A produtividade no novo patamar de inovação, portanto, é calculado da seguinte forma:

$$A_{i,t}^{IN} = \begin{cases} Norm(A_{i,t-1}, \sigma_2^2) - A_{i,t-1} & \text{if } P_{i,t}^{IN} \geq RND[0, 1] \\ 0 & \text{if } P_{i,t}^{IN} < RND[0, 1] \end{cases} \quad (3.14)$$

Por fim, entre as três opções acima a firma irá escolher a melhor disponível:

$$A_{i,t} = A_{i,t-1} + \max(A_{i,t-1}^{LD}, A_{i,t-1}^{IM}, A_{i,t-1}^{IN}, 0) \quad (3.15)$$

4. Simulação e Resultados

Para verificar o comportamento do modelo realiza-se simulações a fim de avaliar se este, dado os valores iniciais estipulados, gera resultados compatíveis com os fatos estilizados. Neste trabalho não houve a utilização de dados reais, estes são puramente voltados a simulação e podem eventualmente ser aproximações aos valores reais. Os dados apresentados a seguir foram os utilizados na simulação final, tais quais geram os gráficos presentes na sessão de resultados.

4.1 Tabela de variáveis

Tabela 4.1: Parâmetros base da simulação

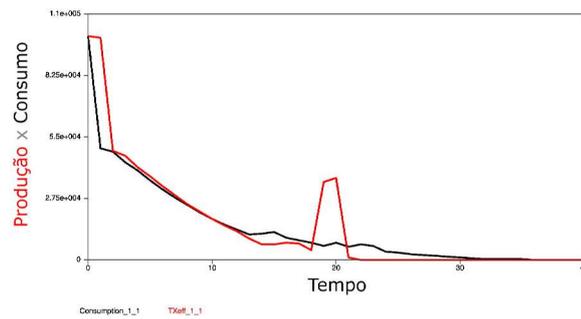
Descrição	Param.	Equação	Valor
Demanda Efetiva	$X_{i,t}^{Eff}$	3.1	1000 (3 lags)
Expectativa de Demanda	$X_{i,t}^{Exp}$	3.1	1000 (1 lag)
Produtividade do Trabalho	$A_{i,t}$	3.1	1.0 (3 lags)
Produtividade do Capital	$B_{i,t}$	3.1	1.0
Estoque de Trabalho	$L_{i,t}$	3.2	1000 (1 lag)
Taxa de Conservação de Trab.	ε	3.2	0.8
Taxa de Demissão/Contratação	$1 - \varepsilon$	3.2	0.2
Capacidade Ociosa	u^l	3.2	0
Estoque de Capital	$K_{i,t}$	3.3	1000 (3 lags)
Taxa de Depreciação do Capital	δ	3.3	0.01
Taxa de Incorporação de Expec.	λ	3.4	1000
Estoque de Produção	$X_{i,t}^S$	3.5	0
Demanda Agregada	C_t^{Ag}	3.6	100000
Preço Médio	P_{t-1}	3.7	2.0 (3 lags)
Taxa de Mark-up	$Z_{i,t}$	3.7	0.03
Retorno do Capital	κ	3.7	$1 * K_{i,t}$
Lucros Acumulados	$\Pi_{i,t}$	3.8	2000 (1 lag)
Receita Operacional	$R_{i,t}^O$	3.8	0 (1 lag)
Receita Financeira	$R_{i,t}^F$	3.8	0 (1 lag)
Gastos com P&D	$R\&D_{i,t}$	3.8	0 (1 lag)
Despesas Financeiras	$D_{i,t-1}^S$	3.8	0 (1 lag)
Dividendos	W_{t-1}	3.8	0 (1 lag)
Salário Médio	W_{t-1}	3.9	1000 (1 lag)

4.2 Resultados e discussão: Modelo Evolucionário de Crescimento com Acumulação de Capital e Inovação

A começar pelo output de produção e consumo (Figura 4.1) desta economia, são decrescentes a patamares baixíssimos após alguns períodos de simulação, acontecimento devido a calibração do modelo, capaz de gerar crises nocivas a economia do setor simulado quando os ciclos inovativos não são bem sucedidos. As alterações no modelo (de todas

as variáveis explicitadas no desenvolvimento deste texto) afetaram significativamente a capacidade de todas as variáveis se comportarem de modo ordenado, e diversas modificações corretivas foram feitas ao longo do tempo visando retornar a um crescimento sustentado. Em todos os resultados obtidos durante a parametrização e calibração do modelo, estes eram explosivos positivamente ou negativamente, gerando concentração para poucas firmas de grande parte do mercado (market share) conforme o aumento do número de simulações. Por se tratar de um mercado onde haviam condições estabelecidas pelo modelo de [Higachi et al. \(2016\)](#) para existir concorrência perfeita, ou seja, com uma constante entrada e saída de firmas no setor, o problema que é encontrado nos resultados é de calibração dos parâmetros, que não foi solucionado devido a grande volatilidade do conjunto macroeconômico após as diversas mudanças das variáveis no ambiente micro. Os melhores resultados obtidos foram selecionados para demonstração gráfica de como reagem determinadas variáveis à flutuação do conjunto.

Figura 4.1: Consumo x Produção



Os ajustamentos realizados pelas expectativas adaptativas fazem com que a produção acompanhe o consumo ao longo de todas as simulações, limitados em sua trajetória decrescente pela incapacidade de reduzir completamente sua mão-de-obra para adequar a produção aos níveis de consumo para não gerar choques ainda mais negativos, mantendo também determinada capacidade ociosa para eventuais crescimentos.

Figura 4.2: Mão-de-obra Agregada

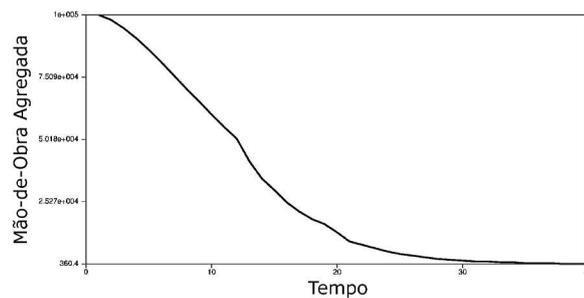
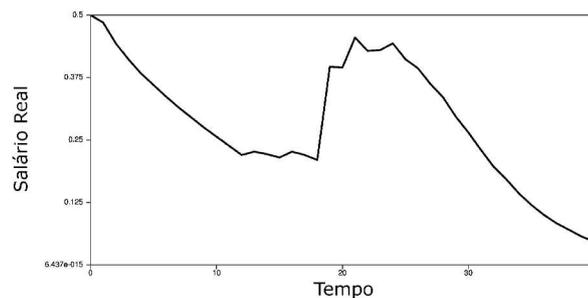


Figura 4.3: Salário Real



O primeiro choque negativo gera um "efeito bola de neve", a mão de obra agregada das firmas decresce, os salários pagos são menores e, reduzido o consumo a produção da firma se reduz, pois as expectativas de demanda são decrescentes, quadro que pode ser revertido quando a necessidade de ajuste da produção em relação ao consumo é positivo e algumas condições mínimas (como poder de compra do salário real) são favoráveis à recuperação.

Figura 4.4: Preço médio

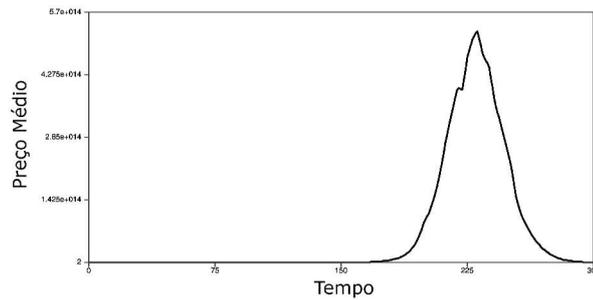
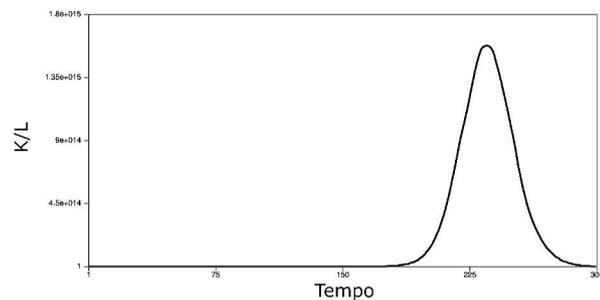
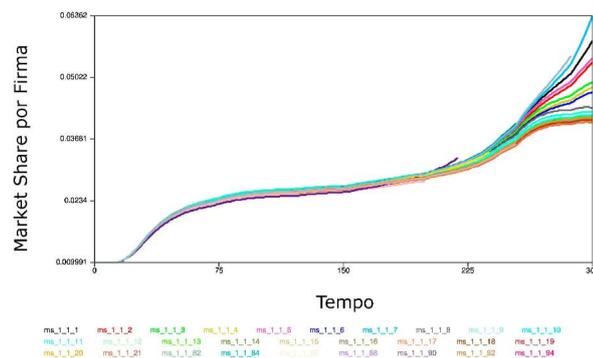


Figura 4.5: Proporção entre Capital e Trabalho



O aumento do estoque de capital na proporcionalidade em relação a mão-de-obra empregada impacta no preço dos produtos, diminuindo o poder de compra dos poucos agentes participantes das interações na simulação deste setor que ainda recebem salário. A crescimento exagerado do valor do estoque de capital é também uma falha de parametrização que, mesmo ao aplicar limitações das necessidades da função de produção Leontief da proporcionalidade dos fatores de produção, o estoque de capital foi capaz por um breve momento de superar o número de trabalhadores, voltando ao equilíbrio e normalizando os preços após algumas simulações.

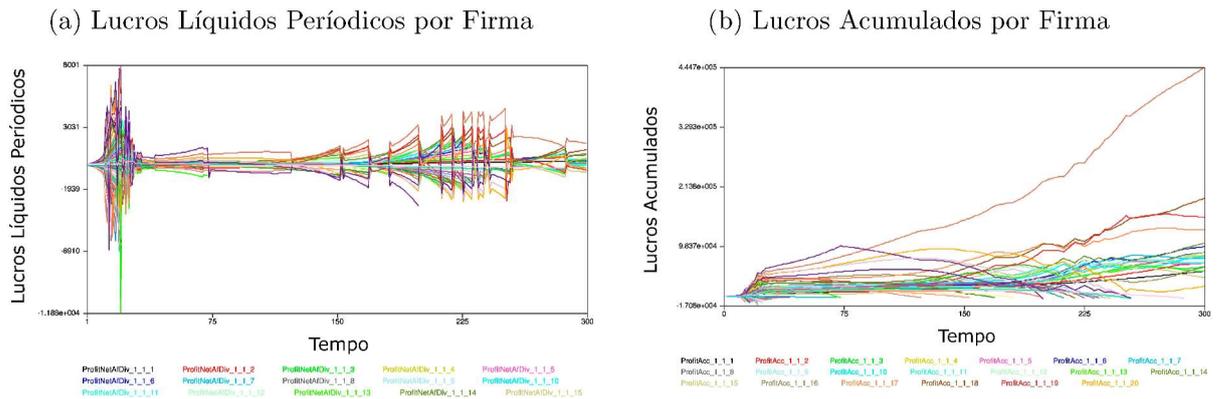
Figura 4.6: Market Share por firma



A parcela de mercado das firmas se expande ao longo das 225 primeiras simulações uniformemente, até que a falência de diversas empresas competidoras abre um maior espaço para um crescimento generalizado, onde se inicia a divergência entre o market-share entre os agentes.

A competição por fatias de mercado neste modelo é realizada via preço já que não há diferenciação de produto, o que leva a algumas firmas que praticam menores preços sem significativa diferenciação tecnológica em relação às demais, acabem falindo. Nos últimos períodos já é possível observar a diferença entre o mercado dos que tiveram avanços tecnológicos bem sucedidos e de maior impacto em relação aos demais, com distinções de preço sustentadas para o longo prazo, até que novas firmas consigam realizar inovações de maior aporte tecnológico e ultrapassem os detentores da maior parcela do setor.

Figura 4.7: Trajetória individual das lucratividades por firma em 300 simulações



Dentre as firmas com maiores lucratividades nesta simulação, não são as mesmas com maiores fatias de mercado, estas, como dito anteriormente são apenas as que praticam menores preços, e sua mão de obra que tem a produtividade alterada pela inovação faz com que a disposição de mão-de-obra necessária seja menor, ainda necessitando de um estoque de capital para aumentar seu produto, que não é diretamente afetado pela especialização técnica dos trabalhadores, e portanto não garante aumentos de lucratividade imediatos.

5. Conclusão

A correlação explícita de variáveis próximas já é observável, como discutido na sessão de resultados, mas pouco pode-se concluir em relação ao modelo dado que ele apresenta falhas e resultados insuficientes para se analisar uma economia com crescimento balanceado, algo que já era esperado devido a complexidade emergente da alocação de diversas teorias, relações micro-fundamentados em apenas um mesmo ambiente para interagirem e gerarem resultados agregados. O modelo precisa de alguns aprimoramentos no balanceamento conjuntural que não foram encontrados durante a realização da pesquisa, porém que serão corrigidos em futuras etapas da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Akerlof, G. A. (1982). Labor contracts as partial gift exchange. *The Quarterly Journal of Economics*, 97(4):543–569.
- Akerlof, G. A. (1984). Gift exchange and efficiency-wage theory: four views. *The American Economic Review*, 74(2):78–93. Papers and Proceedings of Ninety-Sixth Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1984).
- André, L., Ciarli, T., Savona, M., and Valente, M. (2016). The Effect of Demand-Driven Structural Transformations on Growth and Technological Change. *Journal of Evolutionary Economics*, 26(1):219–246.
- Arrow, K. J. (1962). The Economics Implications of Learning By Doing. *Review of Economic Studies*, 29:155–173.
- Gill, I. S., Kharas, H. J., and Bhattasali, D. (2007). *An East Asian renaissance: ideas for economic growth*. World Bank Publications.
- Griliches, Z. (1991). The search for r&d spillovers. *NBER Working Paper*, 3768.
- Higachi, H. Y., Lima, G. T., and Pereima, J. B. (2016). Crescimento, ciclo econômico, mudança tecnológica e financiamento. *Economia e Sociedade*, 25(58):533–568.
- Kaldor, N. (1961). Capital Accumulation and Economic Growth.
- Lucas, R. L. (1988). On the Mechanism of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22:3–42.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge MA Belknap, Cambridge, USA.
- Romer, P. M. (1986). Increasing Return and the Long Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94:1002–1037.
- Schumpeter, J. A. (1934). *A Theory of Economic Development*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70:65–94.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39:312–320.
- Uzawa, H. (1961). On a two-sector model of economic growth. *Review of Economic Studies*, 29(1):40–47.
- Verdoorn, P. (2002). chapter Factors that Determine the Growth of Labour Productivity, pages 28–36.

APÊNDICE

Código do modelo no LSD:

MODELBEGIN

EQUATION("IdFirm")

/* Firm's id number */

v[0]=1;

CYCLE(cur,"Firm")

WRITES(cur,"IdFirmas",v[0]++);

PARAMETER // Transform idFirm in parameter and never compute it again

RESULT(1)

EQUATION("T")

/* Time */

v[0]=t;

RESULT(v[0])

/* 1)EQUATIONS AT INDUSTRY LEVEL

----- */

EQUATION("NumFirms")

/* Count Number of Firms */

v[0]=0;

CYCLE(cur,"Firm")

v[0]++;

RESULT(v[0])

EQUATION("OA")

/* Aggregated Supply: $Y=C+ dXS$ */

v[0]=V("Consumption");

v[1]=VL("XST",1);

v[2]=V("XST");

v[3]=v[2]-v[1];

RESULT(v[0]+v[3])

EQUATION("ICMHH")

/* Market Concentration Index */

v[0]=0;

CYCLE(cur,"Firm")

{ v[1]=VS(cur,"ms");

v[0]=v[0]+v[1]*v[1];

}

RESULT(v[0])

```

EQUATION("TCeff")
/* Aggregated Effective Demand from firms*/
v[0]=SUM("Xeff");
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("TXeff")
/* Aggregated Effective Production*/
v[0]=SUM("Xeff");
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("TXexp")
/* Aggregated Expected Demand*/
v[0]=SUM("Xexp");
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("XST")
/* Not planned stock aggregated */
v[0]=SUM("XS");
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("CTXeff")
/* Product growth rate */
v[0]=VL("TXeff",1);
v[1]=V("TXeff");
if (v[0]=0)
    v[2]=0;
else
    v[2]=v[1]/v[0]-1;
RESULT(v[2])

```

```

EQUATION("EM")
/* Competitivy Average weighted by 'ms'*/
RESULT(WHTAVE("E","ms"))

```

```

EQUATION("AM")
/* Average Productivity weighted by market-share */
RESULT(WHTAVE("A","ms"))

```

```

EQUATION("CAM")
/* Productivity growth rate */
v[0]=VL("AM",1);
v[1]=V("AM");
v[2]=v[1]-v[0];
v[3]=v[2]/v[0];
RESULT(v[3])

```

```

EQUATION("PME")

```

```
/* Average price weighted by market-share */
RESULT(WHTAVE("P","ms"))
```

```
EQUATION("CPME")
/* Inflation */
v[0]=VL("PME",1);
v[1]=V("PME");
v[2]=v[1]/v[0]-1;
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("TL")
/* Aggregated labour demand*/
v[0]=SUM("L");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("TK")
/* Aggregated stock of capital*/
v[0]=SUM("K");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("WT")
/* Total Nominal Wage */
v[0]=SUM("W");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("TDiv")
/* Aggregated Dividends */
v[0]=SUM("Dividend");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("WN")
/* Aggregated Nominal Wage */
v[0]=V("WT");
v[1]=V("TL");
v[2]=v[0]/v[1];
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("WR")
/* Aggregated Real Wage */
v[0]=V("WT");
v[1]=V("PME");
v[2]=V("TL");
v[3]=v[0]/v[1];
RESULT(v[3]/v[2])
```

```
EQUATION("TIncome")
v[0]=VL("WT",1);
v[1]=VL("TDiv",1);
```

```
v[2]=v[0]+v[1];
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("Consumption")
/* Aggregated consumption (quantity)
C = a.(W/P)t-1 + (1-a)*[(W/P)t-1]/[(1+b(Ht-1 - Ht))^c]*/
v[0]=V("TIncome")/VL("PME",1);
v[1]=VL("H",1)-V("H");
v[2]=V("alpha");
v[3]=2;
v[4]=2;
v[5]=v[2]*v[0];          //a.W/P
v[6]=pow((1+v[3]*v[1]),v[4] );
v[7]=((1-v[2])*v[0])/v[6];
v[8]=v[5]+v[7];
RESULT(v[8])
```

```
EQUATION("Tms")
RESULT(SUM("ms"))
```

```
EQUATION("S")
/* Aggregated Savings */
v[0]=V("TIncome");
v[1]=V("PME");
v[2]=V("Consumption");
v[3]=v[1]*v[2];
RESULT(v[0]-v[3])
```

```
EQUATION("PMgC")
v[0]=V("Consumption");
v[1]=VL("WT",1)/VL("PME",1);;
RESULT(v[0]/v[1])
```

```
EQUATION("TRT")
/* Aggregated Operating Revenue */
v[0]=SUM("RT");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("TProfitOp")
/* Aggregated Operating profit */
v[0]=SUM("ProfitOp");
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("TProfitNet")
/* Aggregated Operating profit */
v[0]=SUM("ProfitNet");
RESULT(v[0])
```

```

EQUATION("TProfitAcc")
/* Aggregated free cash flow accumulated */
v[0]=SUM("ProfitAcc");
RESULT(v[0])

EQUATION("TDebt")
/* Aggregated debt (only firms with negative ProfitAcc) */
v[0]=SUM("Debt");
RESULT(v[0])

EQUATION("TWorthNet")
/* Aggregated WorthNet (only firms with positive ProfitAcc) */
v[0]=SUM("WorthNet");
RESULT(v[0])

EQUATION("TRD")
/* Expenditure in R&D */
v[0]=SUM("RD");
RESULT(v[0])

EQUATION("ProfitWage")
v[0]=V("TProfitOp");
v[1]=V("WT");
RESULT(v[0]/v[1])

/* 1B - Financial Market
----- */
EQUATION("d")
/* Bank risk rate */
v[0]=V("TDebt");
v[1]=V("TWorthNet");
if (v[1]>0)
    v[2]=v[0]/v[1];
else
    v[2]=999;
RESULT(v[2])

EQUATION("h")
/* Mark up of bank adjusted by risk rate (indebtedness) using a Richard's curve */
v[0]=VL("d",1);
if (v[0]>0)
{
    v[1]=V("hmax"); // If v[1]=2 then interest rate can triplicate H
    v[2]=pow(1+V("theta1")*exp(-V("theta2")*v[0]),V("theta3")); //alterado de 50 pa
    v[3]=v[1]/v[2];
}
else
    v[3]=0;

```

```
RESULT(v[3])
```

```
EQUATION("H")
```

```
/* Interest rate adjusted by mark-up of the banks */
```

```
v[0]=V("h");
```

```
v[1]=(1+v[0])*V("ib"); //Basic interest rate ib=0.01
```

```
RESULT(v[1])
```

```
/* 2)EQUATIONS AT FIRM'S LEVEL
```

```
/* 2.1)Demand, Production and Prices
```

```
----- */
```

```
EQUATION("FirmAge")
```

```
/* Age of firm */
```

```
v[0]=VL("FirmAge",1)+1;
```

```
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("Ceff")
```

```
/* Demanda efetiva das firmas */
```

```
v[0]=V("ms");
```

```
v[1]=V("Consumption");
```

```
v[2]=v[0]*v[1];
```

```
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("Xexp")
```

```
/* Expected demand is a slow adaptation in sales expectations as an outcome  
of firms' conservative behavior aimed at smoothing short-term cycles.
```

```
See Ciarli(2010) Structural transformation in production */
```

```
v[0]=0.8;
```

```
v[1]=VL("Xexp",1);
```

```
v[2]=VL("Ceff",1);
```

```
v[3]=v[0]*v[1]+(1-v[0])*v[2];
```

```
RESULT(v[3])
```

```
EQUATION("Xeff")
```

```
/* Quantity is computed as the productivity times Labour and Capital. */
```

```
v[0]=V("Xexp");
```

```
v[1]=V("B"); //K productivity
```

```
v[2]=V("K");
```

```
v[3]=VL("A",1); //L productivity
```

```
v[4]=V("L");
```

```
v[5]=VL("XS",1);
```

```
v[6]=v[1]*v[2]; //B times K
```

```
v[7]=v[6]*0.6;
```

```
v[8]=v[3]*v[4]; //A times L
```

```
v[9]=v[8]*0.4;
```

```
v[10]=v[7]*v[9]; //Cobb-Douglas
```

```
v[11]=min(v[10],v[0]);
```

```

v[12]=v[11]-v[5];
if(v[5]>v[11])
v[13]=0;
else if(v[12]>v[11])
v[13]=v[11]-v[5];
else
v[13]=v[11];
RESULT(v[11] )

```

```

EQUATION("XS")
/* Not planned stock of the firms */
v[0]=VL("XS",1);
v[1]=V("Xeff");
v[2]=V("Ceff");
v[3]=v[0]+v[1]-v[2];
if (v[3]<0)
v[4]=0;
else
v[4]=v[3];
RESULT(v[4])

```

```

EQUATION("Irate_Bas")
v[1]=V("lambda");
v[2]=VL("Ceff",1);
v[3]=V("Xexp");
if(v[3]<v[2])
  v[4]=0; //No Profit, no Investment
else
  v[4]=v[1]*((v[3]-v[2])/v[2]); //(1-"lambda")*(profit/Kapital)
RESULT(v[4])

```

```

/* função investimento*/
EQUATION("Irate_Ang")
v[2]=V("lambda");
v[3]=V("Xexp");
if(v[3]<v[2])
  v[4]=0; //No Profit, no Investment
else
  v[4]=v[1]*((v[3]-v[2])/v[2]); //(1-"lambda")*(profit/Kapital)
RESULT(v[4])

```

/*As the firm purchases new capital vintages when commanded by an increase in the desired production, the level of the capital stock productivity is computed as the depreciation:*/

```

EQUATION("Irate_Old")
v[1]=V("lambda");
v[2]=VL("Ceff",1);

```

```

v[3]=V("Xexp");
if(v[3]<v[2])
  v[4]=0; //No Profit, no Investment
else
  v[4]=v[1]*((v[3]-v[2])/v[2]); //(1-"lambda")*(profit/Kapital)
RESULT(v[4])

```

```

EQUATION("Irate")
v[1]=V("lambda");
v[2]=VL("Ceff",1);
v[3]=V("Xexp");
if(v[2]>v[3])
  v[4]=v[1]*((v[2]-v[3])/v[2]);
else
  v[4]=0; //No growth, no Investment
RESULT(v[4])

```

```

/*
v[0]=V("lambda");
v[1]=V("

```

```

v[1]=(1-v[0])*(profit/Kapital)
v[2]=1+V("Dep_rate")-V("Xexp")/V("Xeff")
*/

```

```

EQUATION("Ivalue")
v[0]=V("Irate");
v[1]=v[0]*VL("ProfitNet",1);
if (v[0]<0)
  v[2]=0;
else
  v[2]= v[1];
RESULT(v[3])

```

```

/* Colocar aqui função invest e capital*/

```

```

EQUATION("K")

```

```

/*

```

```

K(t) = K(t-1) * (1 - Dep_rate + Final Investment rate)

```

The capital is reduced by depreciation and increased by investments. Investments are aimed at reaching a desired expansion or contraction of productive capacity K, as a function of unit price cost and market shares.

```

*/

```

```

v[0]=(1-V("Dep_rate"))*VL("K",1) + V("Ivalue");
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("L")

```

```

/* Labour demand by the firm */

```

```

v[0]=V("parameterE");
v[1]=V("parameterU");

```

```

v[2]=V("Xexp");
v[3]=VL("A",1);
v[4]=VL("L",1);
v[5]=v[0]*v[4] + (1-v[0])*(1+v[1])*v[2]/v[3];
RESULT(v[5])

```

```

EQUATION("KL")
RESULT(V("K")/V("L"))

```

```

EQUATION("W")

```

```

/* Total wage paid by the firm. Seja W=wL,. The productivity is parcialy passed to
/* X=AL or L=X/A ... */

```

```

v[0]=V("V");
v[1]=V("AM");
v[2]=V("A");
v[3]=V("varpi")*(v[2]-v[1]);
v[4]=V("L");
if (v[3]>0)
    v[5]=v[0]*(v[1]+v[3])*v[4];
else if (v[3]<=0)
    v[5]=v[0]*v[1]*v[4];
RESULT(v[5])

```

```

EQUATION("P")

```

```

/* Price: depends on unitary variable cost (wage unit)and depend on research and de

```

```

v[0]=V("W");
v[1]=V("Xexp");
v[2]=V("Z");
v[3]=V("RD");
v[4]=V("parameterR")*VL("K",1);
v[5]=(1+v[2])*((v[0]+v[4])/v[1]);      /*V("V")*VL("A",1);
RESULT(v[5])

```

```

EQUATION("Z")

```

```

/* Price adjustment as a reaction to competitors' average price

```

```

This procedure adjust price, which attend internal motives, to the market average

```

```

If internal price is higher than the market firms

```

```

decreases its internal price settlement */

```

```

v[0]=VL("PM",1);
v[1]=VL("P",1);
v[2]=V("z");
v[3]=VL("Z",1);
v[4]=V("rho");
if(v[0]>v[1])
v[5]=(1+v[4]+v[2])*(v[3]);
else if (v[0]<v[1])
v[5]=(1-v[4]+v[2])*(v[3]);
else

```

```

    v[5]=v[3];
RESULT(v[5])

EQUATION("z")
/* Changing of the Mark up motivated by demand and to pay for (as much as possible)
   the debts using Richard's curve (generalized logist) with min at -0.1 and max at
v[0]=V("FirmAge");
v[1]=VL("Xeff",1)+VL("XS",1);
v[2]=VL("Xeff",2)+VL("XS",2);
v[3]=VL("Xeff",3)+VL("XS",3);
v[4]=VL("Ceff",1);
v[5]=VL("Ceff",2);
v[6]=VL("Ceff",3);
if (v[0]<=3)
{ v[7]=v[1];
  v[8]=v[4];
}
else
{ v[7]=(v[1]+v[2]+v[3])/3;
  v[8]=(v[4]+v[5]+v[6])/3;
}
if (v[8]>v[7] && v[7]>=0) // if DEF>X+XS
{ v[9] =v[8]/v[7]-1; // Significant range [0,0.10]
  v[10]=1+V("varrho1")*exp(-V("varrho2")*v[9]);
  v[11]=pow(v[10],V("varrho3"));
  v[12]=0.01/v[11];
}
else if (v[8]<v[7] && v[7]>0) // if DEF<X+XS
{ v[9] =v[8]/v[7]-1; // Significant range [-0.10,0]
  v[10]=1+V("varrho1")*exp(-V("varrho2")*(-v[9]));
  v[11]=pow(v[10],V("varrho3"));
  v[12]=-0.01/v[11];
}
else // if DEF=X+XS
  v[12]=0.0; // Don't change mark up by demand motive

v[13]=VL("DF",1); // Financial expense motive [0,0.1]
if (v[13]>0)
{ v[14]=1+V("varrho4")*exp(-V("varrho5")*(v[13]-V("f")));
  v[15]=pow(v[14],V("varrho6"));
  v[16]=0.01/v[15];
}
else
  v[16]=0;
v[17]=v[12]+v[16]; // Demand + financial effect on mark up
RESULT(v[17])

```

```

EQUATION("E")
/* Competitvity */
v[0]=V("P");
v[1]=VL("P",1);
if (v[0]>0)
    v[2]=1/v[0];
else
    v[2]=1/v[1];
RESULT(v[2])

EQUATION("ms")
/* market share */
v[0]=VL("ms",1);
v[1]=VL("E",1);
v[2]=VL("EM",1);
v[3]=V("beta");           // beta = 0.05
if (v[2]>0)
{   v[4]=v[3]*(v[1]/v[2]-1);
    v[5]=(1+v[4])*v[0];
}
else
    v[5]=0;
RESULT(v[5])

/* 2.2)Firm's Balance Sheet = Revenue, Cost, Debts and Profit
----- */
EQUATION("RT")
/* Total Revenue */
v[0]=V("RO");
v[1]=V("RF");
v[2]=v[0]+v[1];
RESULT(v[2])

EQUATION("RO")
/* Operating Revenue */
v[0]=V("P");
v[1]=V("Ceff");
v[2]=v[0]*v[1];
RESULT(v[2])

EQUATION("RF")
/* Financial income */
v[0]=VL("ProfitAcc",1);
if(v[0]>0)
    v[1]=0.80*V("H")*v[0];
else
    v[1]=0;

```

```
RESULT(v[1])
```

```
EQUATION("RD")
```

```
/* Spent on innovation */
```

```
v[0]=VL("ProfitOp",1);
```

```
v[1]=VL("ProfitOp",2);
```

```
v[2]=VL("ProfitOp",3);
```

```
v[3]=(v[0]+v[1]+v[2])/3;
```

```
v[4]=V("FirmAge");
```

```
if(v[3]>0 && v[4]>3)
```

```
v[5]=V("phi")*v[3];
```

```
else
```

```
v[5]=0;
```

```
RESULT(v[5])
```

```
EQUATION("RDRate")
```

```
v[0]=V("RD");
```

```
v[1]=V("RT");
```

```
if (v[1]>0)
```

```
    v[2]=v[0]/v[1];
```

```
else
```

```
    v[2]=0;
```

```
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("ProfitOp")
```

```
/* Operating Profit */
```

```
v[0]=V("RT");
```

```
v[1]=V("W");
```

```
v[2]=V("RD");
```

```
v[3]=v[0]-v[1]-v[2];
```

```
RESULT(v[3])
```

```
EQUATION("DF")
```

```
/* Financial expense */
```

```
v[0]=VL("ProfitAcc",1);
```

```
if (v[0]<0)
```

```
{ v[1]=V("H");
```

```
    v[2]=(-1)*v[1]*v[0];
```

```
}
```

```
else
```

```
    v[2]=0;
```

```
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("ProfitNet")
```

```
/* Net Profit, after financial expense */
```

```
v[0]=V("ProfitOp");
```

```
v[1]=V("DF");
```

```
v[2]=V("Ivalue");
```

```
v[3]=v[0]-v[2]-v[3];
RESULT(v[3])
```

```
EQUATION("Dividend")
v[0]=V("parameterD")*VL("ProfitNet",1);
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("DivAcc")
v[0]=VL("DivAcc",1);
v[1]=V("Dividend");
v[2]=v[0]+v[1];
RESULT(v[0])
```

```
EQUATION("ProfitNetAfDiv")
/* Net Profit, after the dividend distribution */
v[0]=V("ProfitNet");
v[1]=V("Dividend");
v[2]=v[0]-v[1];
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("ProfitAcc")
/* Time cumulative Total Free Cash Flow */
v[0]=VL("ProfitAcc",1);
v[1]=V("ProfitNetAfDiv");
v[2]=v[0]+v[1];
RESULT(v[2])
```

```
/* Investment returns (residuals) */
EQUATION("rK")
/* Total K return */
v[0]=V("ProfitNet");
v[1]=V("K");
v[2]=v[0]/v[1];
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("rF")
/* Shareholders Investment return */
v[0]=V("Dividend");
v[1]=V("K");
v[2]=v[0]/v[1];
RESULT(v[2])
```

```
EQUATION("Debt")
/* Debt: if ProfitAcc is negative than ProfitAcc is interpreted as Debt */
v[0]=V("ProfitAcc");
if (v[0]<0)
    v[1]= (-1)*v[0];
else
```

```

    v[1]=0;
RESULT(v[1])

```

```

EQUATION("WorthNet")

```

```

/* Liquidid Asset (Patrimonio liquido):

```

```

    if ProfitAcc is negative than ProfitAcc is interpreted as Worth Net */

```

```

v[0]=V("ProfitAcc");

```

```

if (v[0]>0)

```

```

    v[1]= v[0];

```

```

else

```

```

    v[1]=0;

```

```

RESULT(v[1])

```

```

/* 2.3) Price searching

```

```

----- */

```

```

EQUATION("PF")

```

```

/* Peso de firmas na pesquisa de preço */

```

```

v[0]=1;

```

```

RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("EAP1")

```

```

/* Pesquisa aleatoria de preços 1 */

```

```

cur=RNDDRAW("Firm","PF");

```

```

RESULT(VS(cur,"P"))

```

```

EQUATION("EAP2")

```

```

/* Pesquisa aleatoria de preços 2 */

```

```

cur=RNDDRAW("Firm","PF");

```

```

RESULT(VS(cur,"P"))

```

```

EQUATION("EAP3")

```

```

/* Pesquisa aleatoria de preços 3 */

```

```

cur=RNDDRAW("Firm","PF");

```

```

RESULT(VS(cur,"P"))

```

```

EQUATION("EAP4")

```

```

/* Pesquisa aleatoria de preços 4 */

```

```

cur=RNDDRAW("Firm","PF");

```

```

RESULT(VS(cur,"P"))

```

```

EQUATION("PM")

```

```

/* Preço medio de concorrentes estimado pelas firmas para comparacao com seu preço

```

```

v[0]=V("EAP1");

```

```

v[1]=V("EAP2");

```

```

v[2]=V("EAP3");

```

```

v[3]=V("EAP4");

```

```

v[4]=v[0]+v[1]+v[2]+v[3];
v[5]=V("NT");
v[6]=v[4]/v[5];
RESULT(v[6])

```

```

/* 2.4) Classification of the firms: Hedge, Especulative and Ponzy
----- */

```

```

EQUATION("J")
/* Financial expense */
v[0]=VL("ProfitAcc",1);
if (v[0]<0)
{ v[1]=V("H");
  v[2]=(-1)*v[1]*v[0];
}
else
  v[2]=0;
RESULT(v[2])

```

```

/* 2.5) TECHNOLOGIAL CHANGE: Learning by doing, Immitation and innovation
----- */

```

```

EQUATION("CX")
/* Production growth rate of the firms */
v[0]=VL("Xeff",1);
v[1]=V("Xeff");
if (v[0]==0)
  v[2]=0;
else
  v[2]=v[1]/v[0]-1;
RESULT(v[2])

```

```

EQUATION("ALD")
/* Produtivity if learning by doing occur */
if (V("ALDhappen")==0) // ALD do not happends
  v[3]=0;
else
{ v[0]=V("delta1"); // delta1 = [0.2, 0.8] Kaldor-Verdoorn coeficient
  v[1]=V("CX");
  if (v[1]>0)
    v[3]=v[0]*v[1];
  else
    v[3]=0;
}
RESULT(v[3])

```

```

EQUATION("ALD2")

```

```

/* Productivity if learning by doing occur */
if (V("ALDhappen")==0) // ALD do not happens
  v[3]=VL("A",1);
else
{ v[0]=V("delta1"); // delta1 = [0.2, 0.8] Kaldor-Verdoorn coeficient
  v[1]=V("CX");
  v[2]=VL("A",1);
  if (v[1]>0)
    v[3]=(1+v[0]*v[1])*v[2];
  else
    v[3]=v[2];
}
RESULT(v[3])

EQUATION("A1")
/* Randon choice of firm which will be immitated */
cur=RNDDRAW("Firm","PF");
RESULT(VS(cur,"A"))

EQUATION("A2")
/* Randon choice of firm which will be immitated */
cur=RNDDRAW("Firm","PF");
RESULT(VS(cur,"A"))

EQUATION("A3")
/* Randon choice of firm which will be immitated */
cur=RNDDRAW("Firm","PF");
RESULT(VS(cur,"A"))

EQUATION("AIM")
/* Productivity if imitation occur
  Firms are able to immitate only the technology existing 3 period before */
v[0]=V("PIN");
if (v[0]<RND) // AIM occurs
  v[9]=0;
else
{ v[0]=VL("A",1);
  v[1]=VL("A1",1);
  v[2]=VL("A2",1);
  v[3]=VL("A3",1);
  v[4]=max(v[1],v[2]);
  v[5]=max(v[3],v[4]);
  v[6]=v[5]-v[0];
  if (v[6]>0)
  { v[7]=V("delta2");
    v[8]=pow( 1+V("delta3")*exp(-V("delta4")*v[6]),2 );
    v[9]=v[6]*(1-v[7]/v[8]);
  }
}

```

```

    }
    else
        v[9]=0;
}
RESULT(v[9])

EQUATION("AIM_Old")
/* Productivity if imitation occur
   Firms are able to immitate only the technology existing 3 period before */
v[0]=V("PIN");
if (v[0]<RND)                                // AIM occurs
    v[7]=0;
else
{ v[0]=VL("A",1);
  v[1]=VL("A1",1);
  v[2]=VL("A2",1);
  v[3]=VL("A3",1);
  v[4]=max(v[1],v[2]);
  v[5]=max(v[3],v[4]);
  if (v[5]>v[0])
  { v[6]=exp(-log(v[5]/v[0])); // effects of the technological distance on learn
    v[7]=V("delta2")*v[6]*(v[5]-v[0]);
  }
  else
    v[7]=0;
}
RESULT(v[7])

EQUATION("AIN")
/* Productivity if innovation occur */
v[0]=V("PIN");
v[1]=RND;
v[2]=VL("A",1);
if(v[1]<=v[0])
{ v[3]=norm(v[2],V("sigma"))-v[2];
  WRITE("AINtime",0);
}
else
{ v[3]=0;
  v[4]=V("AINtime")+1;
  WRITE("AINtime",v[4]);
}
RESULT(v[3])

EQUATION("AIN2")
/* Productivity if innovation occur */
v[0]=V("PIN");

```

```

v[1]=RND;
v[2]=VL("A",1);
if(v[1]<=v[0])
{ v[2]=norm(v[2],V("sigma"));
  WRITE("AINtime",0);
}
else
{ v[2]=0; // ths is not necessary (Bas 18/07/2016)
  v[3]=V("AINtime")+1;
  WRITE("AINtime",v[3]);
}
RESULT(v[2])

EQUATION("PIN")
/* The prob of the innovation results from expenditure in R&D and from cummulative
v[0]=VL("RDRate",1);
v[1]=VL("AINtime",1);
v[2]=V("gama0");
v[5]=v[2]/( pow(1+V("gama1")*exp(-V("gama2")*v[0]),2) ); //RD
v[6]=v[2]/( pow(1+V("gama3")*exp(-V("gama4")*v[1]),2) ); //AINtime
RESULT(v[5]+v[6])

EQUATION("A")
/* Choose the max of innovation, immitation and learnig by doing
and set Atype with correspondent innovation process chosen */
v[0]=VL("A",1);
v[1]=V("ALD");
v[2]=V("AIM");
v[3]=V("AIN");
v[4]=max(v[1],v[2]);
v[5]=max(v[3],v[4]);
v[6]=v[0]+v[5];
if (v[5]==v[1] && v[5]>v[0]) // If ALD is chosen
  WRITE("Atype",1);
else if (v[5]==v[2] && v[5]>v[0]) // If AIM is chosen
  WRITE("Atype",2);
else if (v[5]==v[3] && v[5]>v[0]) // If AIN is chosen
  WRITE("Atype",3);
else
  WRITE("Atype",0);
RESULT(v[6]) // antes retornava v[5]

/* 3) ENTRY AND EXIT OF FIRMS
----- */

EQUATION("FirmExit")

```

```

/* This equations belongs to Industry object
   Delete an overly indebted firm. This avoid "d" explode on time.
   Return the number of firms deleted in each time step.
   The threshold destruction is Debt 10 times higher than RT.*/

```

```

if (V("FirmDestroy")<1)
  v[0] = 0;
else
{ v[0]=0;
  v[4]=V("ExitThreshold");
  CYCLE_SAFE(cur,"Firm")
  { v[1]=VS(cur,"ms");
    v[2]=VS(cur,"Debt")/VS(cur,"RT");
    if (v[2]>=v[4])
      {DELETE(cur);
       v[3] = V("FirmLiving");
       WRITE("FirmLiving",v[3]-1);
       v[0]++;
      }
    }
  }
}
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("FirmNew")

```

```

/* This equation belongs to Industry object.
   When a firm became dominant (high ms) this firm split and create a new one
   by a fraction of its size, where 1% to 10% is a reasonable share */

```

```

if (V("FirmCreate")<1)
  v[15] = 0;
else
{ v[0]=V("T");
  v[1]=MAX("ms"); // Recover the MS from the largest
  v[2]=UNIFORM(0,1);
  v[3]=0.15/( pow((1+20*exp(-7*v[1])),2.5) ); // Probability of NewFirm, Pr(max)
  if (v[3]>v[2])
  { cur1=SEARCH_CND("ms", v[1]);
    cur2=ADDOBJ_EX("Firm", cur1);
    v[4]=0.10; // Size of new firm
    v[5]=(1-v[4])*v[1]; // ?? Is it good?
    v[6]=MAX("IdFirm")+1;
    WRITES( cur2,"IdFirm",v[6]);
    WRITES( cur2,"FirmAge",1);
    v[7]=VS(cur1,"AM"); //set the productivity by the average
    WRITES( cur2,"A", v[7]);
    WRITES( cur2,"ALD",v[7]);
    WRITES( cur2,"AIM",v[7]);
    WRITES( cur2,"AIN",v[7]);
  }
}

```

```

v[8]=VS(cur1,"PME");
WRITES( cur2,"P", v[8]);
WRITES( cur2,"E",1/v[8]);
WRITES( cur2,"ms", v[4]*v[1]);

v[9]=VS(cur1,"Xeff")*v[4];
WRITELS(cur2,"Xeff", v[9],t);
WRITELS(cur2,"Xexp", v[9],t);
WRITELS(cur2,"Xeff", v[9],t-1);
WRITELS(cur2,"Xexp", v[9],t-1);
WRITELS(cur2,"XS", 0,t-1);
WRITELS(cur2,"XS", 0,t);

v[10]=VLS(cur2,"Xeff",1); //Repeat the writels as the first v[9]
WRITELS(cur2,"Xeff", v[10],t); //doesn't works accordingly. I don't know wh
WRITELS(cur2,"Xexp", v[10],t); //does not compute v[4] accordingly and caus
WRITELS(cur2,"XS", 0,t-1);
WRITELS(cur2,"XS", 0,t);

WRITES( cur2,"RT", v[7]*v[9]);
WRITES( cur2,"RO", v[7]*v[9]);
WRITES( cur2,"RF", 0);
WRITES( cur2,"W", v[4]*v[6]*v[9]);
WRITES( cur2,"RD",0);
WRITES( cur2,"ProfitOp",0);
WRITES( cur2,"DF",0);
WRITES( cur2,"ProfitNet",0);
WRITES( cur2,"ProfitAcc",0);
WRITES( cur2,"Debt",0);
WRITES( cur2,"WorthNet",0);
WRITES( cur2,"Z",0);

v[11]=VS(cur1,"Xeff")*(1-v[4]); // Resize the old firm
WRITES(cur1,"ms", (1-v[4])*v[1]);
WRITES(cur1,"Xeff",v[11]);
WRITES(cur1,"Xexp", v[11]);
WRITES(cur1,"XS", 0);

v[12] = V("FirmLiving");
WRITE("FirmLiving",v[12]+1);

v[15]=1;
}
else
v[15]=0;
}
RESULT(v[15])

```

```
MODELEND
```

```
void close_sim(void)
{
}
}
```