

## UM MODELO EVOLUCIONÁRIO NORTE-SUL

### RESUMO

A partir do modelo de Nelson e Winter de competição Schumpeteriana, o presente trabalho desenvolve um modelo evolucionário bissetorial com assimetrias tecnológicas Norte-Sul que possibilita analisar a influência de aspectos institucionais e de distintos regimes tecnológicos sobre os processos de convergência e de divergência entre países. O modelo em questão mostra a dinâmica microeconômica que está na raiz dos resultados de convergência, tais como a magnitude do esforço da firma em P&D e o estímulo à difusão do conhecimento. Os resultados obtidos através da simulação sugerem uma outra interpretação da idéia de convergência condicional, baseada na existência de assimetrias nas capacidades tecnológicas entre os dois grupos de países. O trabalho também analisa a robustez dos resultados por meio de simulações de Montecarlo e de diagramas de densidade de probabilidade.

Palavras-chave: Modelo Evolucionário – Crescimento Econômico – Inovação e Difusão de Tecnologia – Convergência Condicional

### ABSTRACT

Taking as a point of departure the classical model of Schumpeterian competition proposed by Nelson and Winter, this work expands it by including two sectors and a North-South dynamics, with a view to analyzing how institutions and technological regimes affect the processes of convergence and divergence in the international economy. The model highlights some microeconomic variables that play a key role in shaping convergence and divergence, like the amount of resources that firms devote to R&D and their efforts to boost the diffusion of technology. The results suggest a view of convergence based on strong learning efforts in less developed economies. Convergence requires institutions favorable to innovation when the technological regime is science-based. On the other hand, when the regime is cumulative, imitation could offer a promising avenue for catching-up with the technological leaders. Finally, this work also analyses the strength of the model results using Montecarlo method and probability density graphs.

Keywords: Evolutionary Model – Economic Growth – Innovation and Technologic Diffusion – Conditional Convergence

ANPEC: ÁREA 3 - Economia Internacional e Finanças

CLASSIFICAÇÃO JEL: O41, O33, F43

*Os autores agradecem os comentários de Hermes Higashi, Mario Luiz Possas e José Luis Oreiro, mas os isentam de quaisquer responsabilidades sobre os erros e opiniões existentes no artigo.*

**André Luiz Fernandes, TCE-PR e UFPR (aluiz\_2000@yahoo.com)**

**Gabriel Porcile, UFPR e CNPq (porcile@ufpr.br)**

## UM MODELO EVOLUCIONÁRIO NORTE-SUL

### Introdução

O interesse nos determinantes do crescimento econômico foi revigorado no começo dos anos noventa pela chamada teoria do crescimento endógeno, que procurava tornar o progresso técnico uma função das decisões de investimento das firmas num ambiente de concorrência imperfeita<sup>1</sup>. As idéias de divergência, convergência absoluta, convergência condicional e clubes de convergência dominaram em grande medida o debate empírico no período recente, já que se acreditava que a existência de um processo de convergência (absoluta ou condicional) dos níveis de renda *per capita* entre países seria uma evidência em favor dos “velhos” modelos de crescimento (i.e., do clássico modelo de SOLOW, 1956). Inversamente, se a evolução dos níveis de renda *per capita* entre países fosse no sentido de uma diferenciação crescente, então seriam os novos modelos de crescimento endógeno os que produziriam previsões mais próximas dos fatos estilizados do crescimento econômico internacional.

Embora um consenso esteja certamente longe de ser alcançado entre os que participam do debate, parece existir uma maioria de autores favorável à idéia de que a convergência condicional é a que melhor descreve as tendências efetivamente observadas nas taxas de crescimento da renda *per capita* dos distintos países no longo prazo (DE LA FUENTE, 2000). No entanto, como já observara FAGERBERG (1995), não são necessários os rendimentos decrescentes do capital (dos “velhos” modelos de crescimento) para obter este resultado: processos de difusão internacional de tecnologia podem muito bem explicá-lo. Este trabalho desenvolve essa idéia, mostrando como a convergência condicional é uma macroestrutura que emerge endogenamente da interação entre agentes heterogêneos, dotados de distintas capacidades tecnológicas, num contexto de concorrência schumpeteriana - i.e., de concorrência baseada na inovação e na difusão de tecnologia, na racionalidade limitada e no desequilíbrio.

Assim, o trabalho claramente se insere na tradição teórica evolucionária. Mais especificamente, ele toma como ponto de partida o modelo seminal de NELSON e WINTER (1982) na adaptação proposta por ANDERSEN (2003). Embora o modelo de Nelson-Winter (NW) exiba alguns problemas sérios (que se apontam, no seu devido momento, ao longo do trabalho), ele tem também vantagens importantes, em particular sua simplicidade e a possibilidade de visualizar com clareza o impacto, sobre a evolução da indústria, da mudança de algumas variáveis chave - especialmente o regime tecnológico e o nível dos esforços de P&D nas firmas.

As perguntas que naturalmente se colocam neste momento são as seguintes: Qual é a diferença entre o modelo proposto neste trabalho (que será chamado modelo NW ampliado ou NWA) e o modelo NW? Qual é contribuição específica dessa diferença para a compreensão do processo de crescimento econômico?

Com relação à primeira pergunta, é importante mencionar três diferenças entre NW e o modelo NWA aqui desenvolvido.

A primeira e mais óbvia é a existência no modelo NWA de dois países, o Norte e o Sul, que diferem entre si apenas pelas capacidades e estratégias tecnológicas das firmas que hospedam. Não há dúvida de que esta é uma representação extremamente simples das assimetrias entre os países, e das especificidades macro-micro que os diferenciam. Em particular, o âmbito macroeconômico está ausente, o que é um problema sério na análise de processos nos quais a dependência da trajetória é

---

<sup>1</sup> O crescimento endógeno, entendido como a capacidade do modelo de gerar crescimento sustentado da renda *per capita* no longo prazo, pode ocorrer em concorrência perfeita quando existem externalidades na produção ou no investimento, de tal modo que o aprendizado é um subproduto daquelas atividades (ROMER, 1986). Mas o progresso técnico endógeno, num sentido estrito - que resulta de decisões deliberadas das firmas de investir em tecnologia para obter lucros de oligopólio ou monopólio - exige algum tipo de imperfeição de mercado que torne possível remunerar os inovadores.

muito intensa e as variações de curto prazo de algumas variáveis (como, por exemplo, a taxa de câmbio) podem ter efeitos permanentes sobre o crescimento. No entanto, esta simplificação foi adotada com o objetivo de focar a análise nos processos de inovação e difusão de tecnologia e em como eles afetam o crescimento relativo dos países<sup>2</sup>. Observe-se que esta descrição da economia internacional encontra-se subjacente na maioria dos trabalhos de inspiração schumpeteriana (em suas distintas vertentes teóricas), que considera as assimetrias tecnológicas como o determinante chave das diferenças internacionais nas taxas de crescimento econômico<sup>3</sup> (CIMOLI, 1988; GROSSMAN e HELPMAN, 1992, cap.7; VERSPAGEN, 1993; AGHION e HOWITT, 1998, cap. 11).

Uma segunda diferença entre NW e NWA diz respeito à dimensão setorial do crescimento, já que distintos setores podem mostrar taxas diferentes de crescimento da produtividade e de expansão da demanda. Por essa razão, o padrão de especialização (os setores que predominam na estrutura produtiva de cada país) é uma variável importante para definir as taxas de crescimento de longo prazo. Neste trabalho, se assume que existem dois setores que podem diferir em termos de seu dinamismo tecnológico. Não se analisam, no entanto, possíveis efeitos provocados por mudanças na distribuição da demanda efetiva entre eles, em função de diferenças nas elasticidades preço e renda da demanda.

Um esforço com objetivos muito similares aos que aqui se propõem – economia aberta, vários setores e assimetrias tecnológicas entre países, gerando trajetórias de convergência e divergência - é o de DOSI e FABIANI (1994). Trata-se de um modelo mais complexo, cuja principal vantagem é tratar de forma mais realista o ambiente macroeconômico, ao permitir ajustamentos competitivos via variações na taxa de câmbio e nos salários nominais<sup>4</sup>. Em contrapartida, o referido artigo não discute o efeito de diferentes regimes tecnológicos sobre a divergência e a convergência internacionais, um aspecto central neste trabalho. Além disso, o modelo de Dosi e Fabiani não parte da matriz do modelo de Nelson e Winter, o que torna sua estrutura bastante diferente daquela do modelo NWA<sup>5</sup>. Poder-se-ia dizer que o modelo de Dosi e Fabiani é um parente muito próximo (e em alguns aspectos mais rico) do modelo NWA, com traços comuns, mas também com diferenças significativas. Cada membro da família dos modelos evolucionários de simulação revela com maior intensidade um certo traço distintivo dessa família. Neste trabalho, a relativa simplicidade do modelo NWA permite visualizar mais claramente a dimensão tecnológica dos processos de convergência e divergência.

Finalmente, utilizam-se técnicas de Montecarlo para testar a consistência e a robustez dos resultados obtidos a partir da simulação. O uso de gráficos de densidade de probabilidade permite mostrar a diversidade de resultados possíveis e suas respectivas probabilidades, um ponto extremamente importante em modelos deste tipo, nos quais a trajetória da economia pode ser diferente em cada rodada da simulação. Esta técnica tem sido utilizada com pouca frequência em modelos evolucionários, e considera-se que seu uso é uma opção metodológica relevante do presente trabalho, que permite ser bastante preciso a respeito das trajetórias de crescimento que o modelo possibilita.

---

<sup>2</sup> A estrutura da economia internacional é essencialmente *à la* PREBISCH (1949): dois pólos, o centro e a periferia, que se conformaram como resultado da difusão internacional “lenta e desigual” do progresso técnico a partir da Revolução Industrial.

<sup>3</sup> Observe-se que esta percepção não é contraditória com as teorias que outorgam um papel relevante às instituições. Neste modelo, o marco institucional afeta as decisões de investimento em P&D das firmas, e por essa via a taxa de crescimento econômico. No entanto, o marco institucional (e em particular as políticas industrial e tecnológica) considera-se dado e constante. Mais uma vez, trata-se de uma suposição heróica que, no entanto, justifica-se pelo objetivo de concentrar os esforços apenas na dimensão tecnológica da concorrência.

<sup>4</sup> Nesse sentido, o Norte e o Sul do modelo NWA poderiam também ser considerados como duas regiões de um mesmo país.

<sup>5</sup> Como mencionado, isso tem vantagens e desvantagens. No modelo de NW, se bem a dimensão schumpeteriana da concorrência é enfatizada, a dimensão keynesiana é negligenciada. Um modelo que trata de forma extremamente interessante esta dimensão keynesiana é POSSAS et al (2001). Embora seja um modelo setorial, ele representa uma referência para uma estratégia cumulativa de construção de modelos evolucionários.

Com relação à segunda pergunta (a contribuição do modelo NWA para o estudo do crescimento econômico), vale a pena destacar, por enquanto, dois resultados (outros serão elaborados ao longo do texto).

O primeiro é que uma economia internacional formada por dois países com exatamente as mesmas características iniciais poderia mostrar divergência com uma probabilidade relativamente alta, em função dos mecanismos cumulativos incluídos no modelo. São soluções “de canto”, que confirmam a idéia já apontada por ARTHUR (1994) em modelos com retornos crescentes: pequenos acidentes ou eventos aleatórios num certo momento podem (via dependência da trajetória) ter conseqüências significativas no longo prazo.

Um segundo resultado é que a possibilidade de convergência em regimes tecnológicos baseados na ciência (*science based*) depende da existência no país relativamente atrasado de esforços tecnológicos de inovação, e não apenas de imitação. Este é um ponto que tem recebido pouca atenção na literatura sobre *catching-up* tecnológico.

O trabalho está dividido em duas seções, além da introdução e das conclusões. Na primeira seção são brevemente resumidos alguns fatos estilizados sobre crescimento econômico e o debate sobre convergência e divergência. Na segunda seção é proposto um modelo evolucionário para dois setores e dois países, e são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da simulação.

## 1. O Crescimento Econômico

A teoria neoclássica de crescimento, representada pelos trabalhos de SOLOW (1956, 1957), dominou a cena acadêmica do pós-guerra até os anos 1980. SOLOW (1956) mostrava que o crescimento econômico poderia ser explicado a partir de uma função de produção de retornos constantes de escala e rendimentos decrescentes no fator capital, com progresso técnico exógeno. Um de seus resultados clássicos mostrava que haveria a tendência da taxa de crescimento de longo prazo dos países de convergir a um valor de estado estacionário e este trabalho acabou por se tornar um ponto de referência obrigatório para o desenvolvimento da teoria neoclássica de crescimento. No estado estacionário, a taxa de crescimento da renda per capita deveria ser igual à taxa de progresso técnico exógeno. Já em SOLOW (1957), o autor buscou interpretar os dados sobre o crescimento norte-americano na primeira metade do século XX à luz de uma função de produção agregada. Neste trabalho, Solow apresentou evidências de que a acumulação de capital poderia explicar tão somente uma fração do referido crescimento e, além de definir os fundamentos de uma metodologia de análise empírica, chamou atenção para o estudo do progresso técnico como força motriz do crescimento econômico. Os trabalhos supracitados trouxeram conseqüências importantes para o estudo do crescimento dos países, tanto sobre a busca por elucidar a amplitude e o significado do progresso técnico no crescimento econômico, quanto na forma como veio se desenrolar, na prática, este estudo.

A extensão natural das idéias apresentadas no modelo descrito por SOLOW (1956) e que se desenvolveu através da literatura de crescimento neoclássica trazia a mensagem de que o ritmo de crescimento dos países tenderia a se reduzir gradualmente na medida em que os investimentos se dirigissem a atividades cada vez menos produtivas e de que os países mais pobres tenderiam a crescer mais rápido que os mais ricos. Assim, a tendência da renda per capita dos países de convergir para um valor de estado estacionário apresentada por SOLOW (1956) poderia implicar em uma tendência à convergência da renda per capita dos países a um valor comum desde que os referidos países contassem com parâmetros de preferências, tecnologias e políticas similares.

Embora se pudesse esperar que, dado o alcance e a importância das assertivas colocadas acima, estudos empíricos viriam mostrar, afinal, a aderência desta teoria à realidade dos números e das estatísticas, iniciou-se – e ainda continua – um grande debate sobre a validade e o alcance das conclusões extraídas dos trabalhos de SOLOW (1956, 1957) e da literatura deles derivados. Este

debate pode ser exemplificado através de uma rápida excursão por algumas conclusões extraídas de trabalhos de pesquisadores do crescimento de linhas distintas de pensamento econômico.

Seguindo uma linha teórica de corte mais tradicional, ou neoclássica, BARRO e SALA-I-MARTIN (1995) descartam a convergência absoluta<sup>6</sup> e concluem que os achados empíricos sobre convergência condicional são consistentes com o modelo de crescimento neoclássico.

Ao mesmo tempo, um autor de corte heterodoxo como VERSPAGEN (1993, p. 107) conclui em um estudo empírico sobre o período pós Segunda Guerra Mundial que:

1. As taxas de crescimento são diferentes entre países e entre grupos de países. Isto é verdade em nível agregado e em nível setorial.
2. As taxas de mudança tecnológica diferem entre setores.
3. A estrutura de produção difere entre países e no tempo.
4. A taxa de mudança tecnológica macroeconômica está relacionada aos níveis iniciais de produtividade do trabalho.
5. No mundo, como um todo, *falling behind* é mais relevante para os países mais pobres que *catching up*<sup>7</sup>.

Apesar destas diferentes leituras dos dados empíricos parecerem antagônicas, as mesmas não são completamente excludentes. Ao se considerar que a convergência condicional se refere ao fato de que a taxa de crescimento de cada país tende a se aproximar de um nível estacionário relativo e que este valor de longo prazo pode ser distinto entre países em função de seus fundamentos - parâmetros de escolaridade da população e variáveis políticas, entre outros - não haveria incompatibilidade entre este conceito de convergência e o aumento transitório da desigualdade internacional (DE LA FUENTE, 1996, p. 13). Numa primeira aproximação, as referidas leituras se apresentam como pontos de vista distintos sobre a mesma realidade e a maior diferenciação está na quantidade de tinta e nas cores usadas pelos autores de escolas distintas - ao menos a paisagem se mostra, basicamente, a mesma.

Embora autores como BARRO e SALA-I-MARTIN (1995), AGHION e HOWITT (1998) e ROS (2000) apontem para a validade da convergência condicional, a idéia de progresso técnico exógeno permaneceu provocando desconforto entre a comunidade acadêmica uma vez que não é possível imaginar que o mesmo não tenha fundamentação econômica. Este questionamento pode ser observado mesmo entre os adeptos da teoria tradicional. Como aponta DE LA FUENTE (2000, p. 2),

Dissatisfaction with the received theory has motivated the search for alternatives to the traditional neoclassical model that has driven the recent literature on endogenous growth. At the theoretical level, numerous authors have developed a series of models in which departures from traditional assumptions about the properties of the production technology or the determinants of technical progress generate predictions about the evolution of the international income distribution that stand in sharp contrast with those of neoclassical theory.

A teoria neoclássica passou a contar, então, com modelos de crescimento endógeno. Entretanto, para que isto fosse possível, foi necessário abandonar o pressuposto de rendimentos marginais decrescentes dos fatores. Ainda com o suposto de mercado perfeito, caso haja externalidades, pode-se ter crescimento endógeno - mas não se pode ter investimento em P&D. A competição imperfeita possibilita a remuneração da inovação intencional dos empresários privados e os rendimentos crescentes provêm das externalidades resultantes da inovação que, em última instância, podem acabar por evitar a convergência entre as taxas de crescimento do produto e da população ativa.

---

<sup>6</sup> Para DOSI (1994, p. 121), convergência absoluta ou convergência global é definida como a convergência de todo o universo de países em direção a níveis de renda crescentemente similares.

<sup>7</sup> O termo *catch-up* significa a diminuição da diferença entre os níveis de renda dos países mais pobres e os mais ricos (FAGERBERG, 1995). Já *falling behind* se refere ao movimento oposto.

Dentre as possibilidades vislumbradas pela teoria do crescimento endógeno estaria a de divergência da renda per capita entre os países.

Em um estudo empírico sobre o crescimento dos países, DE LA FUENTE (2000) reafirma a validade da visão tradicional – em detrimento da teoria do crescimento endógeno - de que a convergência é o denominador comum da trajetória de crescimento dos países e regiões desde que se controle algumas variáveis<sup>8</sup> quando da realização da análise empírica. Este controle se mostra particularmente importante ao analisar uma amostra para 98 países, abrangendo tanto desenvolvidos quanto subdesenvolvidos.

O debate sobre convergência e divergência prossegue acalorado e se por um lado as evidências apontam para o fortalecimento da teoria tradicional, esta parece não ter o poder explicativo necessário para desvendar as raízes econômicas dos movimentos que procura mostrar. Por outro lado, as tentativas dos teóricos do crescimento endógeno até o presente momento não se mostraram frutíferas à luz das mesmas evidências empíricas.

Uma linha de pesquisa que vem ganhando força na literatura tenta mostrar que na verdade a figura apresentada pelo crescimento dos países é mais complexa que a simples possibilidade de convergência ou divergência. Segundo esta idéia, cujo mérito estaria em fornecer uma visão mais geral sobre o fenômeno do crescimento econômico que abarcaria tanto a possibilidade de convergência quanto de divergência, a convergência poderia se dar em nível local, em grupos ou “clubes” de países (DOSI; FABIANI, 1994) (DURLAUF; QUAH, 1998) (FAGERBERG; VERSPAGEN, 2001).

Embora se possa vislumbrar pontos de contato a cerca dos macro resultados empíricos que possam trazer as diversas linhas de pesquisa sobre o crescimento, tanto de caráter mais tradicional, quanto mais heterodoxo, a um entendimento comum sobre alguns aspectos mais gerais do crescimento dos países, existe ao menos um ponto fundamental de divergência – particularmente entre a linha evolucionária e a linha mais tradicional – que se assenta sobre a busca das causas últimas deste crescimento. Nas palavras de FAGERBERG (1995, p. 281),

... a convergence between orthodox and non-orthodox views on the importance of technology for economic growth has to some extent taken place. Increasingly, innovation and diffusion of technology are now acknowledged as the major factors in growth processes, not only by Schumpeterians and other heterodox economists, but by many neoclassicals as well. However, important differences remain between the competing views, both with respect to how technology, firms and other agents are conceived and what the policy implications are.

Para DOSI e FABIANI (1994, p. 127), “... it seems to us that progress towards a better understanding of the ‘deeper sources’ of growth is hindered by an obstinate adherence to microfoundations and to the attempt by many to incorporate learning within the familiar framework of optimal allocation by an unboundedly rational representative agent.”

Além disto, uma visão de crescimento que não contemple a análise mais detalhada dos aspectos estruturais da economia pode obscurecer fatores relevantes para o entendimento da própria dinâmica do crescimento pois, como afirmam DOSI, PAVITT e SOETE (1990, p. 11):

In so far as technology gaps and their changes are a fundamental force in shaping international competitiveness, their impact on domestic income, by inducing and/or allowing a relatively high rates of growth via the foreign trade multiplier, will be significant. However, the ‘virtuous circle’ between technological levels, foreign competitiveness and domestic growth is not entirely automatic and endogenous to the processes of economic development. (...) country-specific and sector-specific innovative or imitative capabilities can be isolated as one of the single most important factors which originate these ‘virtuous circles’ and contribute to

---

<sup>8</sup> No estudo em questão as variáveis controladas são: nível inicial de capital humano, índice de estabilidade política, percentagem de gastos não produtivos em relação ao PNB e distorção de preços relativos de bens de capital. Esse tipo de convergência é chamado de “convergência condicional”, pois depende do controle em alguns parâmetros que definem o *steady state*.

explaining the patterns of international convergence or divergence in terms of trade performance, per capita incomes and rates of growth.

O tratamento que se pretende dar neste trabalho ao estudo do crescimento econômico e, particularmente, ao relacionamento norte-sul, fará uso de alguns dos fatores diferenciais da teoria evolucionária. Esta teoria permite a união de uma visão essencialmente dinâmica do crescimento, através da análise de elementos como o progresso técnico, a transformação estrutural, a incerteza e a não-ergodicidade, com a possibilidade de percorrer variados níveis de agregação, desde o país até a firma, passando pelo nível setorial.

Um ponto fundamental de distinção entre a teoria tradicional e a teoria evolucionária está no papel atribuído à firma. Para a teoria tradicional apenas as firmas que **maximizam** o lucro - mesmo que o façam sem saber - sobrevivem, o que permite que as mesmas possam ser reduzidas a um único agente representativo. Já para a teoria evolucionária as firmas **buscam** o lucro e o fazem através de comportamentos diversificados. Esta diversidade é resultado da inovação e proporciona a oportunidade de evolução desta população ao apresentar novas possibilidades aos mecanismos de seleção, dentre os quais se encontra o mercado<sup>9</sup>.

Estas idéias, vistas até aqui de uma maneira extremamente sucinta, formam a base do pensamento evolucionário em relação à firma. Em nível microeconômico o progresso técnico se dá através de melhoramentos incrementais derivados de uma busca por aumento ou recombinação do conjunto de técnicas de produção conhecido. Em âmbito macroeconômico se observam as grandes revoluções tecnológicas dentro das quais os referidos melhoramentos se encontram inseridos: as mudanças de paradigmas tecnológicos. Um paradigma tecnológico pode ser definido como um modelo e padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados das ciências naturais e em tecnologias selecionadas (DOSI, 1984, p. 14). O paradigma tecnológico se manifesta quando todo um conjunto de firmas começa a aplicar um novo princípio básico no mercado e, em grande medida, ele é parcialmente exógeno às mesmas - embora dependa de decisões tomadas em seu interior (VERSPAGEN, 1993, p.59).

A leitura do paradigma tecnológico, do ponto de vista do conjunto de firmas de um setor ou de uma indústria, pode ser efetuada através do conceito de regime tecnológico. Para MARSILI e VERSPAGEN (2001, p. 3), este conceito seria uma forma de estrutura intelectual que permite interpretar a variedade de processos de inovação observada entre os setores industriais. Deste modo, os regimes tecnológicos estabeleceriam uma interligação entre os diversos aspectos do processo de inovação e organizariam as diferenças entre as indústrias em poucas categorias invariantes

Para NELSON e WINTER (1982, p. 258), um regime tecnológico se refere a uma fronteira de possibilidades tecnológicas passíveis de serem atingidas, definida dentro de dimensões econômicas relevantes e limitada por restrições de ordem física e biológica, entre outras. Numa visão mais cognitiva, o regime tecnológico se refere àquilo que os técnicos acreditam ser possível fazer ou que, ao menos, acreditam valer à pena tentar fazer.

NELSON e WINTER (1982, p. 283) definem dois regimes tecnológicos dos quais faremos uso no presente texto: *science-based* e *cumulative technology*. No regime *science-based* a fonte de inovação para a firma são os avanços em pesquisa básica que ocorrem fora da indústria como, por exemplo, na universidade. Sob este regime, a inovação que a firma obtém hoje é independente daquilo que ela possa ter feito no passado e seu esforço em P&D deve estar dirigido para se manter na fronteira de um conjunto de possibilidades tecnológicas definido fora da indústria. No regime *cumulative technology* a fonte de inovação é o aprendizado incremental obtido no seio da própria produção, ou *learning-by-doing*, e não proveniente de fora da indústria. Neste caso, a inovação que a firma faz hoje depende dos resultados por ela obtidos no passado.

---

<sup>9</sup> Segundo DOSI (2001) o mercado é apenas um dos possíveis mecanismos de interação dinâmica e seleção. Outro mecanismo poderia ser, por exemplo, um processo político como a corrupção.

A seguir apresenta-se o modelo denominado “Nelson e Winter Ampliado” (NWA), que procura, como mencionado, introduzir no modelo original uma perspectiva Norte-Sul numa economia de dois setores.

## 2. O Modelo de Nelson e Winter Ampliado - NWA

### 2.1. Definição do modelo NWA

A forma básica do modelo proposto neste trabalho segue a tradição de modelos de Nelson e Winter com duas alterações importantes em relação ao modelo padrão, derivadas da incorporação das idéias de ANDERSEN (2001). As alterações dizem respeito à utilização da variável trabalho em lugar da variável capital na função de produção e à modificação da função de P&D de tal modo que a firma primeiramente verifica se obteve sucesso em P&D e, posteriormente, vem a saber se o sucesso é devido a imitação ou inovação.

Em contraste com o modelo original de Nelson e Winter, neste modelo as variáveis de estado são o trabalho  $L_{psf}$  e o conhecimento  $A_{psf}$ , onde os índices f, s, e p correspondem à firma f (1..n) do setor s (1 ou 2) e do país p (N ou S).

Todos os empregados de todas as firmas  $L_{psf}$  podem desempenhar tanto tarefas de produção como tarefas ligadas à pesquisa e recebem a mesma taxa de salário. A divisão entre as atividades de pesquisa e de produção é feita através de um parâmetro fixo  $r_{psf}$  de tal modo que o trabalho empregado na produção corresponde a  $L_{psf}^{prod} = (1 - r_{psf}) * L_{psf}$  e o trabalho ligado à pesquisa corresponde a  $L_{psf}^{pesq} = r_{psf} * L_{psf}$ .

A produção de cada firma é dada pelo produto do trabalho ligado à produção pela produtividade, ambos com a defasagem de um período.

$$(2.1.1) Q_{psf}(t) = (1 - r_{psf}) * L_{psf}(t-1) * A_{psf}(t-1)$$

A oferta de cada país e setor é dada pelo somatório da oferta de cada uma de suas firmas.

$$(2.1.2) TQ_{ps}(t) = \sum_{f=1}^n Q_{psf}(t)$$

A demanda total em cada país é igual ao salário nominal multiplicado pelo total de trabalhadores empregados no país, ou seja, a soma do emprego em todas as firmas, nos dois setores, do país em questão.

O salário nominal ( $w$ ) é definido como sendo igual à unidade.

A renda em cada setor ( $TL_{ps}(t)$ ) é igual ao somatório do salário nominal multiplicado pelo total de trabalhadores de cada firma do setor.

$$(2.1.3) TL_{ps}(t) = \sum_{f=1}^n wL_{psf}(t-1), \quad \text{onde } w \equiv 1.$$

A Demanda Mundial corresponde à soma das rendas setoriais.

$$(2.1.4) DM(t) = TL_{N1}(t) + TL_{N2}(t) + TL_{S1}(t) + TL_{S2}(t)$$

O preço de mercado em cada um dos setores é definido conforme a equação (2.1.5) abaixo na qual se supõe que a demanda mundial (DM) será repartida igualmente entre os setores 1 e 2.

$$(2.1.5) P_s(t) = \frac{0,5 * DM(t)}{TQ_{Ns}(t) + TQ_{Ss}(t)}$$

O consumo de cada setor é dado pela equação (2.1.6) abaixo. Considera-se que metade da renda nominal do país no período anterior é consumida em cada um dos setores de sua economia.

$$(2.1.6) C_{ps}(t) = \frac{0,5 * YY_p(t-1)}{P_s(t)}$$

A taxa de lucro de cada firma (2.1.7) é igual ao preço corrente multiplicado pelo produto, subtraído o custo do trabalho sobre o custo do trabalho.

$$(2.1.7) Lucro_{psf}(t) = \frac{P_s(t) * Q_{psf}(t) - L_{psf}(t-1)}{L_{psf}(t-1)}$$

As produtividades máxima e média de cada país e setor são dadas pelas equações (2.1.8) e (2.1.9) abaixo.

$$(2.1.8) A\_MAX_{ps}(t) = \max(A_{psf}(t))$$

$$(2.1.9) AMEDIA_{ps}(t) = \text{media}(A_{psf}(t))$$

A probabilidade de sucesso em P&D é modelada como um processo estocástico de dois estágios. Sucesso ou falha em P&D são modelados através da variável estocástica  $Z_{psft} \in \{0,1\}$ , onde  $Z_{psft} = 1$  significa sucesso e  $Z_{psft} = 0$  significa fracasso.

Os trabalhadores engajados em pesquisa na firma,  $L_{psft}^{pesq}$ , têm uma produtividade fixa, medida como o número médio de sucessos por período por pesquisador dado por  $1/\lambda$ . O resultado total da P&D desenvolvida pela firma é modelado por um processo de Poisson cujo tempo médio de espera para um sucesso é igual a  $\lambda$  multiplicado pelo número de pesquisadores. Deste modo:

$$(2.1.10) \text{Pr ob}(Z_{psft} = 1) = \lambda r_{psf} L_{psf}(t).$$

A probabilidade de que o sucesso em P&D seja fruto de um método específico de pesquisa (inovação ou imitação) é diretamente proporcional ao parâmetro fixo  $\theta$  que reflete o grau de dedicação dos pesquisadores a cada um dos supracitados métodos<sup>10</sup> (propensão a inovar).

Caso o sucesso em P&D tenha sido resultado de uma inovação, o aumento da produtividade obtido é função do tipo de busca realizado (*science-based* ou *cumulative technology*):

$$\left| \begin{array}{l} \text{Se TipoBusca} == 1 \quad (\textit{science-based}) \\ \quad AIN_{psf}(t) = \exp(\text{norm}(\log(1,02) + (\textit{double})t * 0,01, \textit{sigma\_in})) \\ \text{Senão} \quad (\textit{cumulative}) \\ \quad AIN_{psf}(t) = \text{norm}(A_{psf}(t-1), \textit{sigma\_in}) \end{array} \right.$$

Por outro lado, se o sucesso em P&D se deve à imitação, a nova produtividade da firma é a máxima produtividade de todas as firmas do setor no período anterior.

Se não há processo de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 0$ ), a nova produtividade da firma é dada pela equação abaixo.

$$AIM_{psf}(t) = A\_MAX_{ps}(t-1)$$

Caso exista um processo de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 1$ ), a nova produtividade da firma é descrita como:

$$AIM_{psf}(t) = \max(A\_MAX_{Ns}(t-1), A\_MAX_{Ss}(t-1)).$$

Aqui a imitação não se restringe apenas às firmas de um país mas a todas as firmas do setor, nos dois países.

A nova produtividade de cada firma é dada pelo valor máximo entre a produtividade da mesma no período anterior e a produtividade proveniente dos processos de inovação e de imitação (2.1.11).

$$(2.1.11) A_{psf}(t) = \max(A_{psf}(t-1), AIN_{psf}(t), AIM_{psf}(t))$$

<sup>10</sup> O grau de dedicação aos métodos de pesquisa engloba as condições institucionais em que a firma se encontra imersa e os incentivos e barreiras que as mesmas impõem à imitação e à inovação.

A contratação de trabalhadores (equação 2.1.13) é função unicamente do lucro de cada firma e seu cálculo pode ser desdobrado nas equações (2.1.12 e 2.1.13) abaixo.

$$(2.1.12) \text{ Investimento}_{psf}(t) = \text{Lucro}_{psf}(t)$$

$$(2.1.13) L_{psf}(t) = L_{psf}(t-1) * (1 + \text{Investimento}_{psf}(t))$$

A renda nominal de cada país é dada pela soma do produto de cada um de seus setores multiplicada pelo respectivo preço.

$$(2.1.14) YY_p(t) = P_1(t) * TQ_{p1}(t) + P_2(t) * TQ_{p2}(t)$$

As importações de cada setor são dadas pela diferença entre o consumo e a produção de cada setor.

$$(2.1.15) M_{ps}(t) = C_{ps}(t) - P_s(t) * TQ_{ps}(t)$$

Por razões de simplicidade, e porque o trabalho focaliza os efeitos da dinâmica tecnológica sobre a convergência / divergência, assume-se que a taxa de câmbio é fixa e igual à unidade.

## 2.2. Condições de contorno

Na definição das condições de contorno utilizadas neste conjunto de simulações houve a preocupação tão somente de estabelecer um ambiente que proporcionasse o exame do comportamento do modelo em face a modificações no parâmetro de ênfase em imitação e inovação e em relação a combinações de regimes de mudança tecnológica. Os parâmetros utilizados neste conjunto preliminar não espelham, necessariamente, valores empíricos.

Por construção, o modelo proporciona um ambiente competitivo que não favorece nenhuma das firmas e nenhum dos setores da economia. Todas as firmas possuem número de trabalhadores igual a 20 e cada setor da economia conta com 5 firmas. Desta forma, os países possuem inicialmente uma força de trabalho de 200 trabalhadores e, conseqüentemente, este “mundo artificial”, ao todo, possui 400 trabalhadores.

O lucro do período inicial de simulação para todas as firmas é igual a zero de tal forma que, num primeiro momento, todas as firmas têm o mesmo número de trabalhadores e o modelo apresenta condições iniciais rigorosamente iguais para as mesmas.

Um segundo aspecto que merece atenção neste modelo é o bloco de operações que define a P&D da firma.

O sucesso em P&D é modelado como um processo de Poisson. Foram adotados os valores de  $\lambda = 0,1$  e  $r_{psf} = 0,2$  e, para o período inicial de simulação,  $L_{psf}(0) = 20$  de tal forma que o tempo médio de espera do processo é igual a  $\lambda r_{psf} L_{psf}(0) = 0,4$ . Em um processo de Poisson com média  $\mu = 0,4$  a probabilidade de ocorrência de um evento pode ser obtida pela equação (2.2.1) abaixo.

$$(2.2.1) \text{Prob}(x=1)^{11} = e^{-0,4} 0,4 = 0,27.$$

Assim, espera-se inicialmente que a probabilidade de que ocorra um sucesso em P&D seja de aproximadamente 27% para cada uma das firmas.

Na medida em que as firmas obtêm sucesso em P&D e conseguem aumentar sua quantidade de trabalhadores, maior é o valor da média do processo de Poisson e maiores as suas chances de obter sucesso em P&D.

Uma vez determinado o sucesso em P&D resta saber se este sucesso é proveniente de um esforço em inovação ou em imitação realizado pela firma. Para isto o modelo utiliza o parâmetro  $\theta$  que pode ser fixado entre zero e um e exprime o grau de comprometimento da equipe de pesquisadores com imitação e inovação. Quanto mais próximo de zero for o valor de  $\theta$ , maior a ênfase da firma em imitação e, da mesma maneira, quanto mais próximo de um for o valor de  $\theta$ ,

---

<sup>11</sup> A probabilidade de ocorrência de  $n$  eventos em um processo de Poisson é:  $\text{Prob}(x = n) \cong \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!}$ .

maior a ênfase em inovação. A partir de um valor fixado para o referido parâmetro, busca-se em uma distribuição aleatória uniforme um valor entre zero e um que, em conjunto com o valor de  $\theta$ , identifica a origem do sucesso em P&D.

A seguir apresentam-se os resultados da simulação com o objetivo de analisar a resposta do modelo em termos da convergência e da divergência internacional.

### 2.3. Simulações e resultados preliminares

Os resultados apresentados a seguir referem-se à execução de quatro conjuntos de simulações (MC1 a MC4) cujo objetivo foi verificar em que condições ocorrem a convergência e a divergência de renda entre os países.

As variáveis relativas a renda nominal do norte (YYN) e renda nominal do sul (YYs), doravante renda do norte e renda do sul, têm o mesmo comportamento da renda real do norte e da renda real do sul, respectivamente<sup>12</sup>. Isso permite focar a análise da evolução da economia no comportamento da renda nominal.

Todos os resultados descritos a seguir foram obtidos mediante o uso da técnica de Montecarlo, através da realização de 1000 (mil) rodadas de simulação para cada condição analisada nas quais se variou somente a semente do gerador pseudo-aleatório do sistema LSD<sup>13</sup>. Nestes conjuntos de simulações a primeira simulação (de número zero) utilizou a semente aleatória zero e as subseqüentes utilizaram sementes acrescidas de uma unidade, cada uma. Cada rodada de simulação foi efetuada para 100 (cem) períodos de tempo e os pontos mostrados nos GRÁFICOS 1, 3, 5, e 9 abaixo representam o valor médio obtido em cada conjunto de mil simulações para a renda de cada um dos países no centésimo período. O objetivo deste conjunto de simulações foi verificar a capacidade do modelo de gerar tendências de convergência e de divergência na renda dos países e, para tanto, buscou-se variar o valor do parâmetro  $\theta$ , que representa a intensidade com que as firmas se dedicam à inovação ou à imitação. Um valor de  $\theta$  igual a zero implica em uma política de P&D voltada para a imitação ao passo que quanto maiores os valores de  $\theta$ , maior a possibilidade da firma obter uma inovação.

A variação da intensidade de inovação em relação à imitação foi estudada considerando-se dois regimes de mudança tecnológica, quais sejam: *science-based* e *cumulative technology*.

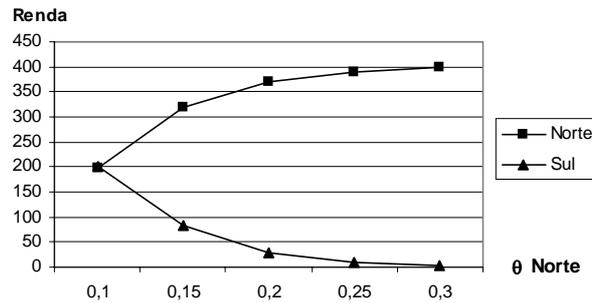
Além disso, foram considerados dois contextos de difusão internacional de tecnologia: inexistência e existência. A inexistência de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 0$ ) supõe um processo de imitação que se restringe a firmas do próprio setor e país. Já sua existência ( $\varepsilon = 1$ ) implica num processo de imitação que abrange todas as firmas de um setor, independentemente do país.

No primeiro conjunto de simulações (MC1) os dois setores, 1 e 2, possuem firmas cujo padrão de mudança tecnológica é *science-based* em um contexto de inexistência de difusão de tecnologia ( $\varepsilon = 0$ ). O parâmetro relativo à ênfase em inovação ou imitação ( $\theta$ ) foi fixado em 0,1 para o Sul e foi variado entre 0,1 e 0,3 para o Norte. Em média, não há uma tendência do modelo de gerar concentração de renda em um determinado país, dadas condições iguais para todas as firmas de todos os setores da economia. A tendência à concentração da renda no Norte é marcante na medida em que aumenta o diferencial da ênfase na inovação pelas firmas do norte (GRÁFICO 1). Note-se que nas condições em questão um diferencial de 0,2 para o valor de  $\theta$  entre o Norte e o Sul implicou na concentração de toda a renda no Norte.

<sup>12</sup> Isto decorre do fato de que a renda real em cada um dos países (YRN e YRS) é igual à sua renda nominal sobre um índice de preços, que é comum aos dois países e igual a  $P' = 0,5P_1 + 0,5P_2$ . Assim, como  $YRN = YYN/P'$  e  $YRS = YYS/P'$ , temos que  $YRN/YRS = YYN/YYS$ .

<sup>13</sup> LSD (Laboratory for Simulation Development) é um programa de computador para simulação de modelos. Maiores detalhes sobre seu uso podem ser obtidos em VALENTE e ANDERSEN (2003).

GRÁFICO 1 - MC1 -RENDA DO NORTE E DO SUL EM FUNÇÃO DE  $\theta$  NORTE - *SCIENCE-BASED*



FONTE: O autor

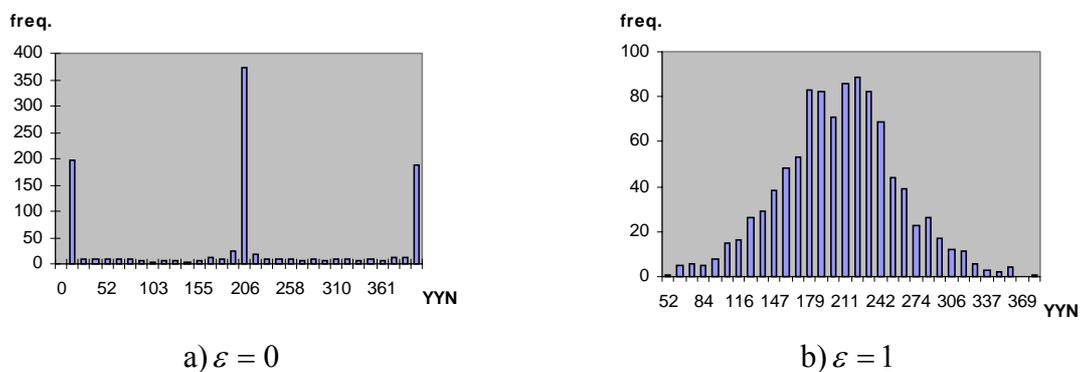
NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE variando entre 0,1 e 0,3  
 $\varepsilon = 0$

Um ponto de interesse neste gráfico é o ponto em que  $\theta$  Norte é igual a 0,1 (e portanto igual a  $\theta$  Sul) onde se observam valores de renda nominal semelhantes para os dois países. Este ponto representa os valores médios para renda do norte (YYN) e para renda do sul (YYS) no centésimo período de simulação obtidos através da execução de 1000 (mil) simulações. Os valores exatos das médias são 198,9069 para o norte e 201,0931 para o sul e uma verificação mais apurada sobre a possível convergência de renda entre os países no ponto em questão pode ser feita através da análise da dispersão dos valores finais de renda do norte (GRÁFICO 2-a) abaixo. Neste gráfico pode-se notar uma tendência ao aparecimento de soluções de canto (e divergência) além da solução caracterizada pelos valores médios supracitados, em que ocorre a convergência de renda entre os países quando  $\varepsilon = 0$ .

De fato, os resultados deste conjunto de simulações indicam que a renda do norte (YYN) será aproximadamente zero, 200 e maior que 387 em 20%, 37% e 19% dos casos, respectivamente. Este tipo de solução, descrita em ARTHUR (1994, p.13), denota a operação dos mecanismos de retornos crescentes presentes no modelo, que fazem com que a maior ou menor sorte no processo estocástico de inovação gere processos cumulativos que eventualmente conduzem à divergência entre firmas inicialmente idênticas.

Ao se considerar a possibilidade de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 1$ , GRÁFICO 2-b) somente para o ponto em destaque ( $\theta$ Norte= $\theta$ Sul=0,1) verifica-se uma tendência à convergência no modelo e o desaparecimento das soluções de canto (divergentes), já que a difusão evita a plena operação dos mecanismos cumulativos de concentração da estrutura de mercado.

GRÁFICO 2 - DISPERSÃO DA RENDA DO NORTE - *SCIENCE-BASED*



a)  $\varepsilon = 0$

b)  $\varepsilon = 1$

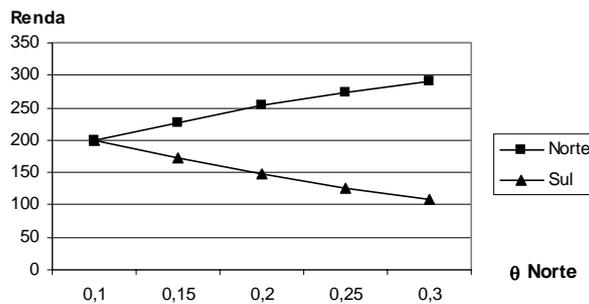
FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,1

Para o exercício seguinte (MC2), buscou-se repetir o experimento MC1 com a modificação do regime de mudança tecnológica para *cumulative technology*.

Novamente aqui (GRÁFICO 3) evidencia-se a concentração da renda no Norte na medida em que aumenta a ênfase em inovação pelas firmas do Norte. Porém, dada a característica cumulativa do aumento de produtividade das firmas em análise, a concentração para valores baixos de  $\theta$  não é tão evidente quanto no caso em que se estudou o regime *science-based*.

GRÁFICO 3 - MC2 -RENDA DO NORTE E DO SUL EM FUNÇÃO DE  $\theta$  NORTE - CUMULATIVE

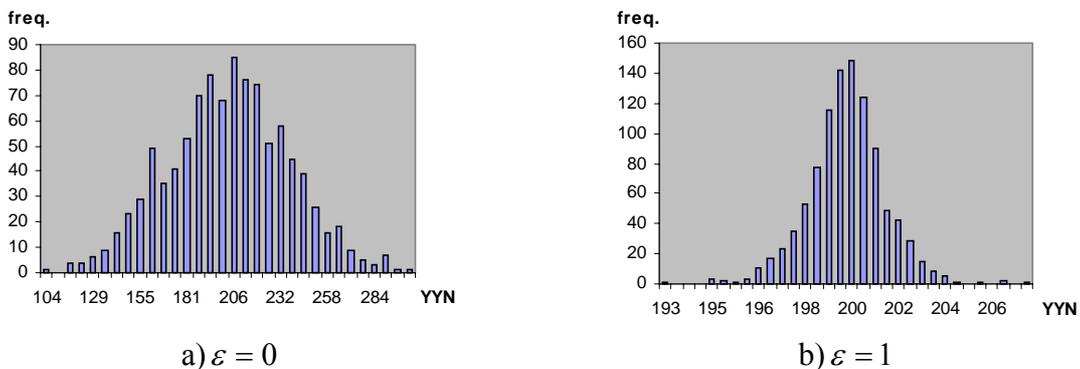


FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE variando entre 0,1 e 0,3

Uma verificação do ponto de possível convergência de renda entre os países ( $\theta$ Sul= $\theta$ Norte=0,1) mostra que o regime *cumulative technology* apresenta uma conformação de dispersão de renda (GRÁFICO 4-a) que permite concluir por uma tendência de convergência, mesmo ao se considerar a ausência de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 0$ ).

GRÁFICO 4 - DISPERSÃO DA RENDA DO NORTE - CUMULATIVE



a)  $\varepsilon = 0$

b)  $\varepsilon = 1$

FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,1

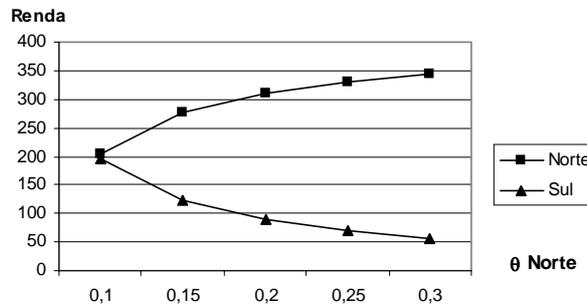
Ao se considerar a possibilidade de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 1$ , GRÁFICO 4-b) para o referido ponto, acentua-se a tendência à convergência vista para o caso em que  $\varepsilon = 0$ , com a diminuição da dispersão dos valores de renda do Norte em torno da média e a conseqüente distribuição equitativa de renda entre o Norte e o Sul.

Nos conjuntos de simulações apresentados a seguir (MC3 e MC4) foram consideradas economias formadas por dois setores de regimes de mudança tecnológica distintos. No conjunto MC3 foi feita a suposição de inexistência de difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 0$ ) e no MC4 foi suposta a difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 1$ ).

No conjunto de simulações MC3 se definiu o Setor 1 como composto de firmas cujo padrão de mudança tecnológica se aproxima do regime *science-based* e o Setor 2 com o regime *cumulative technology*. Novamente efetuou-se a variação dos valores de ênfase das firmas do Norte em

inovação, entre 0,1 e 0,3, mantendo-se o referido parâmetro fixo para as firmas do Sul em 0,1 (GRÁFICO 5). Não há difusão internacional de tecnologia, ou seja, supõe-se  $\varepsilon = 0$ .

GRÁFICO 5 - MC3 -RENDA DO NORTE E DO SUL EM FUNÇÃO DE  $\theta$  NORTE: SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE* SEM DIFUSÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA

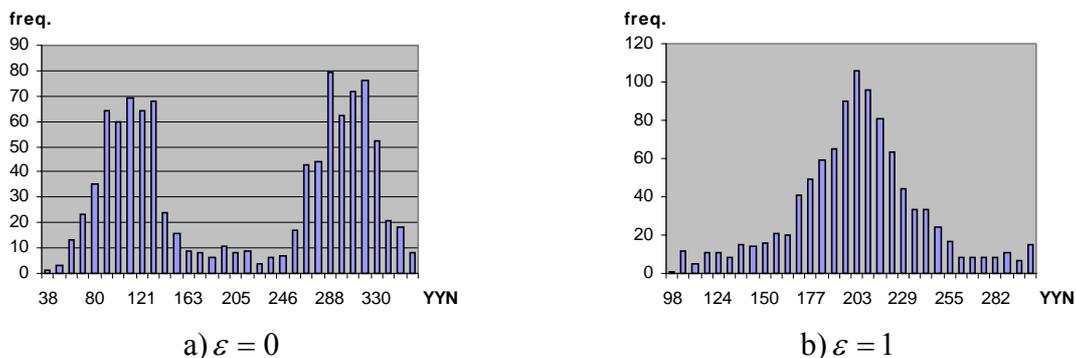


FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE variando entre 0,1 e 0,3

Este caso se apresenta como um padrão intermediário entre os experimentos realizados para os regimes *science-based* (MC1) e *cumulative technology* (MC2). O padrão de dispersão da renda do Norte (GRÁFICO 6-a) mostra que a aparente convergência denotada pela igualdade das médias das rendas dos dois países no ponto em que  $\theta$  Sul e  $\theta$  Norte são iguais a 0,1 representa na verdade um caso de divergência. O padrão de dispersão de renda se apresenta como um caso híbrido em relação aos padrões vistos nos casos MC1 e MC2.

GRÁFICO 6 - DISPERSÃO DA RENDA DO NORTE - SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE*



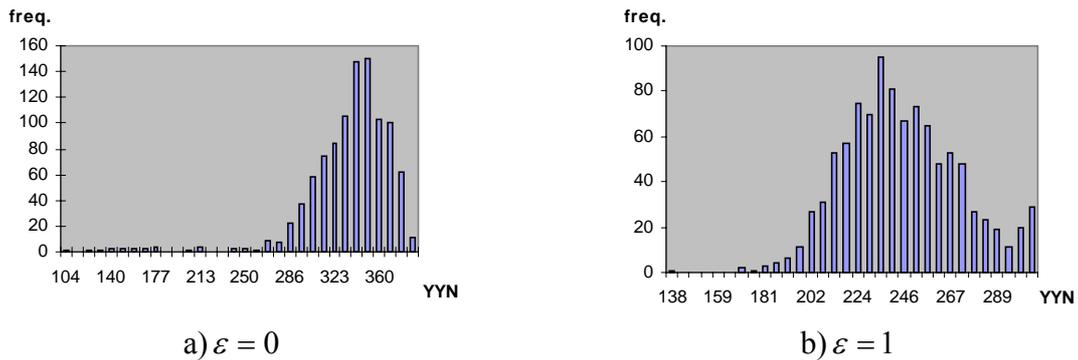
FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,1

A partir deste conjunto MC3 de simulações foram extraídos alguns resultados para os valores de  $\theta$  iguais a 0,1 para as firmas do Sul e 0,25 para as firmas do Norte.

A renda do Norte apresenta um padrão de dispersão em torno da média de 330,39 descrito pelo GRÁFICO 7-a abaixo. Percebe-se que mesmo em um caso francamente favorável à inovação no Norte, embora seja evidente a tendência à concentração da renda neste país, ocorrem resultados em que a renda acaba por se concentrar até mesmo no Sul, o que se pode verificar pelos valores inferiores a 200 no referido gráfico.

GRÁFICO 7 - DISPERSÃO DA RENDA DO NORTE - SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE*

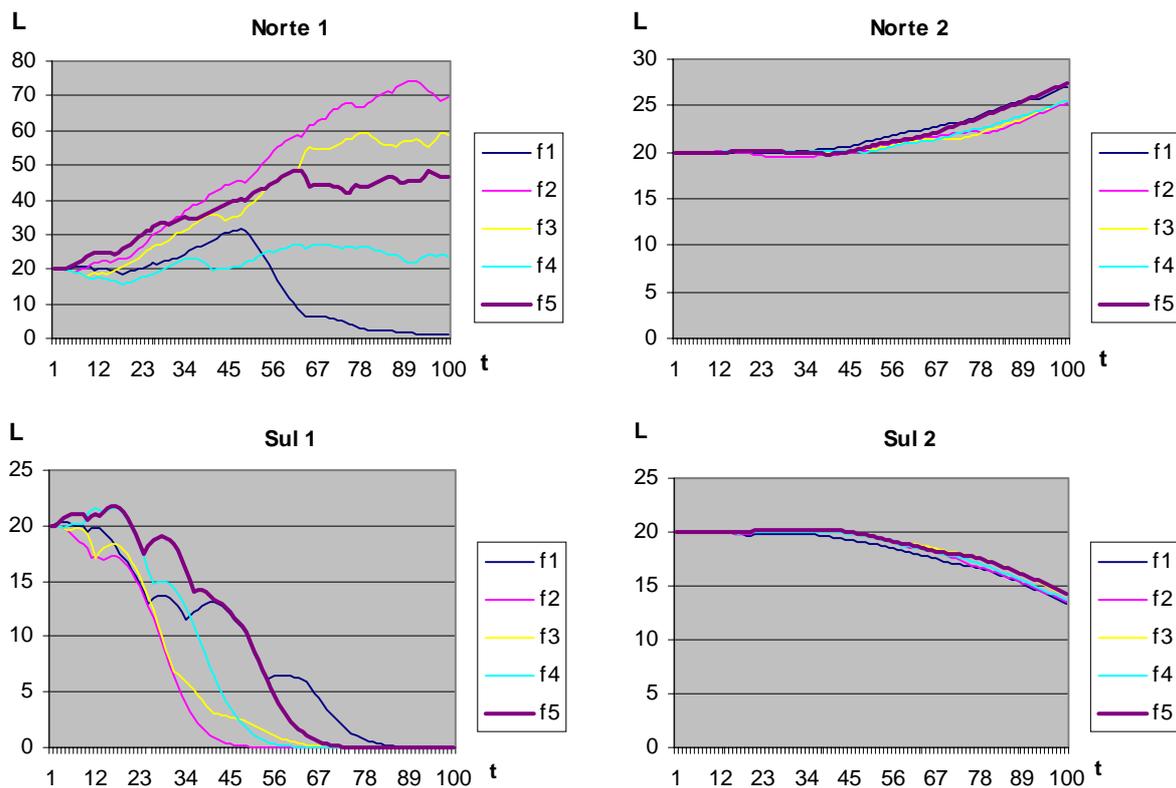


FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,25

Extraindo-se o resultado apresentado pela simulação 343 (semente aleatória que representa o caso médio do conjunto de simulações), pode-se verificar a dinâmica interna aos setores (GRÁFICO 8).

GRÁFICO 8 - EVOLUÇÃO DO TRABALHO NAS FIRMAS DOS DOIS SETORES - SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE* SEM DIFUSÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA



FONTE: O autor

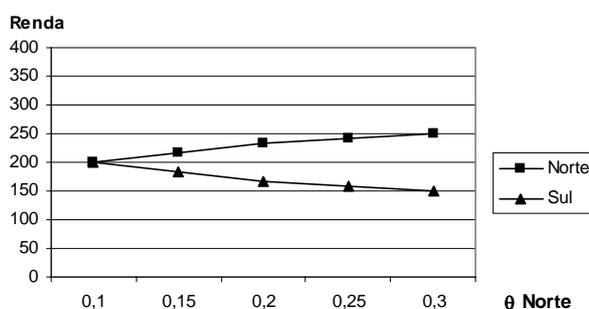
NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,25

A partir do GRÁFICO 8 observa-se no setor 1, cujo regime é *science-based*, um maior potencial de concentração da renda no Norte, com a posterior liquidação do referido setor no Sul, nos momentos finais da simulação. Uma tendência semelhante se mostra no setor 2, porém a concentração da renda no Norte só se evidencia a partir da segunda metade do período em análise.

Por fim, no conjunto de simulações MC4 foi definido um Setor 1 composto de firmas de regime *science-based* e um Setor 2 com o regime *cumulative technology*. Novamente efetuou-se a variação dos valores de ênfase das firmas do Norte em inovação, entre 0,1 e 0,3, mantendo-se  $\theta$  Sul igual a 0,1. Em MC4 foi suposta a difusão internacional de tecnologia ( $\varepsilon = 1$ ) em todos os pontos do experimento. A comparação dos resultados obtidos em MC4 com os resultados de MC3 permite avaliar a influência da existência ou não de difusão internacional de tecnologia nos padrões de convergência e de divergência de renda entre os países.

O padrão de variação da renda dos países na medida em que aumenta a diferença de ênfase entre inovação dos mesmos repete a mesma tendência vista em MC3 (GRÁFICO 5). Na medida em que  $\theta$  Norte aumenta em relação a  $\theta$  Sul, aumenta o diferencial de renda entre o Norte e o Sul. Porém, neste caso (MC4) o efeito do aumento de  $\theta$  Norte na renda dos países é muito menos expressivo que o observado em MC3.

GRÁFICO 9 - MC4 -RENDA DO NORTE E DO SUL EM FUNÇÃO DE  $\theta$  NORTE: SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE* COM DIFUSÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA



FONTE: O autor

NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE variando entre 0,1 e 0,3  
 $\varepsilon=1$

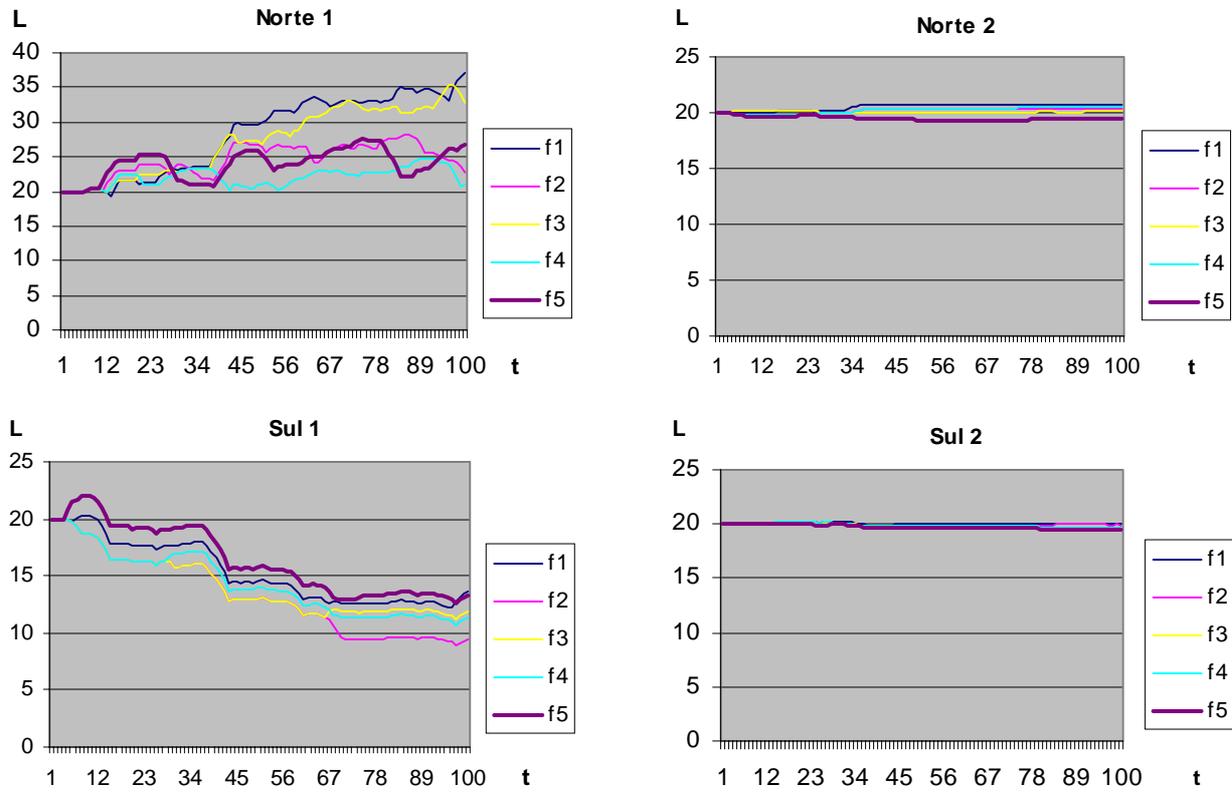
Observa-se também uma diferença na dispersão da renda do Norte no ponto em que  $\theta$  Sul e  $\theta$  Norte são iguais a 0,1 (GRÁFICO 6-b) em relação ao caso anterior (MC3). Neste caso (MC4) a renda do Norte se apresenta concentrada em torno da média, o que permite concluir que o referido ponto é efetivamente um ponto de convergência de renda entre os países.

Uma análise do ponto em que  $\theta$  Sul é igual a 0,1 e  $\theta$  Norte é igual a 0,25 mostra que novamente se apresenta uma dispersão da renda do Norte em torno da média de (GRÁFICO 7-b). Em contraste com o mesmo ponto do caso MC3, a média de renda do Norte neste caso é substancialmente menor, o que evidencia o efeito da difusão internacional de tecnologia na diminuição do *gap* de renda entre os países.

Tomando-se a simulação de semente aleatória 271 (uma das simulações que apresentam valores médios de renda semelhantes aos valores médios de renda obtidos no conjunto de mil simulações) pode-se visualizar a dinâmica do trabalho nas diversas firmas da economia quando se supõe a difusão internacional de tecnologia (GRÁFICO 10).

GRÁFICO 10 -

EVOLUÇÃO DO TRABALHO NAS FIRMAS DOS DOIS SETORES - SETOR 1 - *SCIENCE-BASED* E SETOR 2 - *CUMULATIVE* COM DIFUSÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA



FONTE: O autor  
 NOTA:  $\theta$  SUL=0,1 e  $\theta$  NORTE=0,25  
 $\varepsilon=1$

Observa-se neste caso que a difusão internacional de tecnologia diminuiu a concentração das firmas em ambos os setores e produziu um resultado que aponta para o setor 1 (*science-based*) como sendo a fonte de divergência de renda entre os países.

Os resultados obtidos através deste conjunto preliminar de simulações permitem concluir que embora se trate de um sistema não-linear com retornos crescentes, o modelo não apresenta resultados caóticos. Na TABELA 1 encontra-se uma síntese dos resultados das simulações para os pontos de possível convergência de renda entre o Norte e o Sul. Evidencia-se na mesma a tendência do setor *science-based* de produzir divergência nos referidos pontos quando se supõe a inexistência de difusão internacional de tecnologia. Nos experimentos em que o setor *science-based* não produz divergência, aumenta a dispersão dos valores de renda em torno da média.

TABELA 1 - POSSÍVEIS PONTOS DE CONVERGÊNCIA DE RENDA ENTRE O NORTE E O SUL

$\varepsilon$	REGIME TECNOLÓGICO		$\theta_{SUL}=\theta_{NORTE}$	DESVIO-PADRÃO	CONVERGÊNCIA
	SETOR 1	SETOR 2			
0	SB	SB	0,1	134,64*	+/-
0	C	C	0,1	33,30	++
0	SB	C	0,1	97,55*	-
1	SB	SB	0,1	52,22	+
1	C	C	0,1	1,59	+++
1	SB	C	0,1	37,65	++

FONTE: O autor

NOTA:

SB - Science-based

C - Cumulative Technology

$\varepsilon=0$  - sem difusão internacional de tecnologia

$\varepsilon=1$  - com difusão internacional de tecnologia

Convergência: (-) indica divergência e (+) indica convergência

\* Presença de soluções de canto

As simulações apresentadas mostram uma visão do crescimento cujo motor é o progresso técnico focado na firma evolucionária. A evolução desta economia se baseia em mecanismos de seleção de mercado combinados com mecanismos de geração de diversidade e de difusão de conhecimento. Convivem aqui firmas distintas que apresentam graus diversos de produtividade e que, em sua busca pelo lucro, dependem do seu conhecimento acumulado e da sua história e estão submetidas à incerteza em relação aos resultados de suas ações.

O modelo tem deficiências derivadas de sua filiação aos modelos de Nelson e Winter como a descrição da inovação baseada em processo e não em produto e a pouca atenção aos mecanismos de demanda. Também o modelo não aborda temas financeiros ou comerciais de fixação de lucro pelo mark-up. Finalmente, existem carências derivadas de sua própria construção, cujo foco esteve na simplicidade e expansibilidade. Nesta conta se pode colocar o grau elevado de concentração em virtude da carência de mecanismos de atenuação, mecanismos estes que se encontram presentes tanto nos modelos de NELSON e WINTER (1982) quanto na proposta de ANDERSEN (2001).

Mas, ao mesmo tempo, o modelo tem algumas vantagens para a análise de questões de convergência e de divergência internacional. Trata-se de um modelo simples que permite expansão e aumento de complexidade e é passível de gerar os resultados de convergência e divergência vislumbrados pelos estudos empíricos sobre o crescimento. Além disto, este modelo poderia ser a base para a construção de outros modelos que, através da incorporação de grupos de países e do controle de parâmetros, permitiria gerar uma dinâmica de convergência e de divergência baseada na idéia de convergência de clubes.

O modelo apresenta resultados compatíveis com a teoria evolucionária e descreve, ainda que de modo estilizado, o efeito do padrão de especialização nas taxas de crescimento de longo prazo dos países e o efeito do distanciamento crescente entre o Norte inovador e o Sul menos avançado tecnologicamente. A mensagem deste modelo é que para se tentar evitar o aparecimento de uma tendência à divergência resultante da presença de setores *science-based*, mesmo ao se supor a difusão internacional de tecnologia, deve-se enfatizar a necessidade de se zelar pelas condições necessárias à inovação dos referidos setores também no Sul sem o que – feliz ou infelizmente – restará a estes países contar apenas com a sorte.

## Conclusões

O debate sobre o crescimento econômico ressurgiu com grande intensidade a partir dos anos oitenta, e trouxe como resultado uma reavaliação das contribuições de Solow em relação à idéia de convergência das taxas de crescimento da renda *per capita* entre os países, assim como da importância do progresso técnico para explicar a dinâmica deste crescimento. O resultado do debate foi até certo ponto paradoxal: a literatura empírica tendia a ser favorável à existência de um processo de convergência condicional, como nos velhos modelos de crescimento, mas ao mesmo tempo, do ponto de vista teórico, não era razoável trabalhar com modelos nos quais a taxa de progresso técnico era exógena, e não o fruto das decisões dos agentes econômicos no processo competitivo.

A literatura evolucionária sobre *catching up* tecnológico é um caminho plausível (embora, certamente, não seja o único possível) para responder a este paradoxo. Na visão evolucionária, o progresso técnico se desenvolve principalmente na firma e tem como resultado a diversidade, a qual, em conjunto com os mecanismos de seleção (principalmente a concorrência), produz a evolução - o crescimento e a mudança estrutural da economia.

Neste trabalho, procurou-se contribuir à literatura evolucionária sobre crescimento econômico através da construção de um modelo que amplia o trabalho seminal de Nelson e Winter e sua releitura por Andersen. Essa ampliação adota a forma da incorporação ao modelo original de dois setores e de uma economia internacional composta por países com diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico. Os resultados obtidos através da simulação com o modelo de Nelson e Winter Ampliado (NWA), e com o recurso a técnicas de Montecarlo, permitem concluir que, embora se trate de um modelo não-linear com retornos crescentes, pode produzir como resultado a convergência condicional a partir da dinâmica de inovação e da difusão tecnológica sobre bases evolucionárias. Convergência condicional, neste caso, reflete a existência de esforços de inovação e de imitação no Sul, a influência do regime tecnológico em cada setor e a possibilidade ou não de difusão internacional de tecnologia. Assim, ela é condicional às variáveis tecnológicas e às decisões de investir em tecnologia, e não à taxa de poupança ou à taxa de crescimento da população. A convergência no modelo evolucionário não requer rendimentos decrescentes no fator capital. A divergência, por outro lado, emerge quando a difusão de tecnologia é incipiente, o regime tecnológico é *science-based* e o Sul não investe em inovação.

O regime tecnológico afeta significativamente as possibilidades de convergência e o tipo de política mais adequado para alcançá-la. Tanto no regime *science-based* quanto no *cumulative*, é necessário promover os esforços de difusão de tecnologia. No entanto, quando o regime tecnológico é *science-based*, a imitação não é suficiente para evitar a divergência, e neste caso torna-se necessário que o Sul aloque os seus recursos também para a inovação.

O modelo apresentado mostra alguns problemas importantes, que os autores esperam ir abordando por meio de uma estratégia cumulativa de pesquisa em modelos evolucionários. O mais significativo é o fato de que não existe propriamente uma macroeconomia no modelo, na medida em que variáveis como salários e taxa de câmbio estão ausentes. Um segundo problema é que as firmas atuam basicamente como *price takers*, quando é mais razoável supor que (dado que são firmas inovadoras e concorrem através da tecnologia) elas têm algum poder de mercado e definem preços através do *mark up*. Em terceiro lugar, poderia ser permitida a substituição no consumo entre os bens, o que tornaria mais articulada a dinâmica entre os dois (ou mais) setores do modelo. Finalmente, seria interessante ampliar o número de países na economia internacional, o que permitiria gerar outros padrões de convergência ou divergência, inclusive a possibilidade de clubes de convergência.

## Referências Bibliográficas

- AGHION, P.; HOWITT, P. **Endogenous growth theory**. Cambridge: MIT Press, 1998.
- ANDERSEN, E. S. **Toward a Multiactivity Generalisation of the Nelson-Winter Model**. Nelson and Winter Conference, maio, 2001. Disponível em: <<http://www.business.auc.dk/druid/conferences/nw/paper1/andersen.pdf>> Acesso em: 14 janeiro 2003.
- ARTHUR, W. B.; **Increasing returns and path dependence in the economy**. The University of Michigan Press, 1994.
- BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. **Economic Growth**. New York: McGraw-Hill, 1995.
- DE LA FUENTE, A. **Notas sobre la economía del crecimiento II: convergencia?** Instituto de Análisis Económico (CSIC). V. 1, 2. PT 51.96. 1996.
- DE LA FUENTE, A. **Convergence across countries and regions: theory and empirics**. Instituto de Análisis Económico (CSIC). WP 447.00. Jan. 2000.
- DOSI, G. **Technical Change and Industrial Transformation**. Provas sem correção. London: The Macmillan Press Ltd, 1984.
- DOSI, G. Comentário de Giovanni Dosi sobre o texto Evolutionary Economics --The State of the Science de J. Peter Murmann. In: Conference on Evolutionary Economics, Johns Hopkins University, 2001. Disponível em: <<http://www.jhu.edu/~iaesbe/telepharmal/dosi.html>> Acesso em: 22 setembro 2003.
- DOSI, G.; FABIANI, S. Convergence and Divergence in the Long-term Growth of Open Economies. In: SOETE, L.; SILVERBERG, G. **The Economics of growth and technical change**, EE, 1994.
- DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L. **The Economics of Technical Change and International Trade**. London: Harvester Wheatsheaf, 1990.
- DURLAUF, S. N.; QUAH, D. T. **The New Empirics of Economic Growth**. Working Paper 98-01-012. Santa Fe: Santa Fe Institute, 1998.
- FAGERBERG, J. **III Catching up and falling behind in economic development: Convergence or divergence? The impact of technology on "why growth rates differ"**. Journal of Evolutionary Economics. n. 5, p. 269-284, 1995.
- FAGERBERG, J.; VERSPAGEN, B. **Technology-Gaps, Innovation-Diffusion and Transformation: an Evolutionary Interpretation**. ECIS. Second draft. Jun 2001. Disponível em: <<http://www.druid.dk/conferences/nw/paper1/fagerberg.pdf>> Acesso em: 26 fevereiro 2004.
- GROSSMAN, G. e HELPMAN, E. **Innovation and growth in the Global Economy**. MIT University Press, 1992.
- MARSILI, O.; VERSPAGEN, B. Technological Regimes and Innovation: Looking for Regularities in Dutch Manufacturing. ECIS, 2001. Disponível em: <<http://www.druid.dk/conferences/nw/paper1/MarsiliVerspagen.pdf>> Acesso em: 18 fevereiro 2004.

NELSON, R. R.; WINTER S. G. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge Mass.: Harvard University Press, 1982.

POSSAS, M. et al. Um Modelo Evolucionário Setorial. **Revista Brasileira de Economia**. vol. 55, nº 3, 2001.

PREBISCH, R. **El desarrollo económico de América Latina y algunos de sus principales problemas**. CEPAL, Santiago de Chile, 1949.

ROMER, P. M. Increasing Returns and Long-Run Growth. **The Journal of Political Economy**. Volume 94, Issue 5, Oct, 1986, p. 1002-1037.

ROS, J. **Development Theory and the Economics of Growth**. University of Michigan Press, 2000.

SOLOW, R. M. A Contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, v. 70, p. 65-94, 1956. In: SEN, A. **Economía del crecimiento**. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, 1989, p. 151-182.

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, v. 39, p. 312-320, 1957. In: SEN, A. **Economía del crecimiento**. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, 1989, p. 385-401.

VALENTE, M.; ANDERSEN, E.S. **A Hands-on Approach to Evolutionary Simulation: Nelson and Winter Models in the Laboratory for Simulation Development**. Disponível em: <<http://www.business.auc.dk/evolution/esapapers/esa99/NelwinSim.pdf>> Acesso em: 14 janeiro 2003.

VERSPAGEN, B. **Uneven Growth Between Interdependent Economies: Evolutionary View on Technology Gaps, Trade and Growth**. Adershot: Avebury Ashgate, 1993.