

Um modelo evolucionário Norte-Sul

ANDRÉ LUIZ FERNANDES
GABRIEL PORCILE*

A North-South evolutionary model. This work expands the classical Nelson and Winter model of Schumpeterian competition by including two sectors and a North-South dynamics, with a view to analyzing how different institutions and technological regimes affect the processes of convergence and divergence in the international economy. The results suggest that convergence may emerge out of the efforts for imitation in the South when the technological regime is cumulative. But when the regime is science-based, imitation is not enough for a successful catching-up. In this case convergence requires the South to invest in innovation as well. The work also analyses the robustness of the model results using Montecarlo techniques.

Key-words: Evolutionary Model, Economic Growth, Innovation and Technologic Diffusion, Conditional Convergence.

JEL Classification: O41, O33, F43.

INTRODUÇÃO

O interesse nos determinantes do crescimento econômico foi revigorado no começo dos anos 1990 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.¹ As idéias de divergência, conver-

* Assessor de Engenharia do Tribunal de Contas — PR, Mestre em Desenvolvimento Econômico pela UFPR. E-mail: aluiz_2000@yahoo.com. Professor Adjunto do Departamento de Economia da UFPR, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: porcile@ufpr.br. Submetido: Junho, 2005; aceito: Julho, 2006.

¹ 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.

gência absoluta, convergência condicional e clubes de convergência dominaram em grande medida o debate empírico no período recente. 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 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 (2001). 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, ele permite 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 pesquisa e desenvolvimento (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 em que a dependência da trajetória é 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.² Observe-se que esta descrição da eco-

² 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.

nomia 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 econômico³ (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 no NWA são introduzidos dois setores que podem mostrar taxas diferentes de crescimento da produtividade. Por essa razão, o padrão de especialização (os setores que predominam na estrutura produtiva de cada um dos países) 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 diferenças nas elasticidades preço e renda da demanda pelos bens produzidos em cada setor. De novo, esta grande simplificação dos fatores que operam do lado da demanda justifica-se pelo objetivo central do trabalho, que é analisar os efeitos da dinâmica tecnológica Norte-Sul sobre a convergência.

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.⁴ 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.⁵ 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 cer-

³ 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.

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

⁵ 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.

to traço distintivo da família. Neste trabalho, o traço dominante é a dimensão tecnológica dos processos de convergência e divergência.

Finalmente, a terceira diferença entre NWA e NW é que o modelo NWA utiliza 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 contribuição metodológica relevante, que permite atribuir probabilidades às trajetórias de crescimento geradas pelo modelo.

Com relação à segunda pergunta (i.e., qual é 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), quando por alguma razão há dificuldades ou barreiras à difusão internacional de tecnologia. 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. Em regimes baseados na ciência, políticas orientadas a promover exclusivamente a difusão internacional de tecnologia, não se evitam a divergência, e são necessárias, portanto, políticas de inovação nos países retardatários.

O trabalho está dividido em duas seções, além da introdução e das conclusões. Na primeira seção apresenta-se o modelo NWA. Na segunda seção são mostrados os resultados das simulações, obtidos através de técnicas de Montecarlo, e discutem-se suas implicações em termos da convergência e divergência internacionais.

O MODELO DE NELSON E WINTER AMPLIADO — NWA

Definição do modelo NWA

No modelo apresentado nesta seção a inovação é tratada como um processo estocástico, isto é, como uma variável cujos valores obedecem a uma distribuição de probabilidades. Não é possível saber o valor exato que cada variável adotará no tempo, mas é possível conhecer a probabilidade com que esses valores

ocorrem. Como além de variáveis estocásticas existem distintas não linearidades, o modelo só pode ser estudado por meio de técnicas de simulação em computador, sem que seja possível encontrar uma solução analítica. Por essa razão, o número de períodos considerado, o número de simulações realizado e a calibração dos parâmetros são extremamente importantes para explicar o comportamento do sistema. No modelo aqui apresentado, com poucas exceções (detalhadas no texto), usam-se os parâmetros sugeridos por Nelson e Winter (1982). Os resultados do estudo apresentam-se como um conjunto de trajetórias, cada uma delas com certa probabilidade, e não como equilíbrios de longo prazo.

A forma básica do modelo proposto neste trabalho segue a tradição do modelo de Nelson e Winter, com a modificação sugerida por Andersen (2001). A modificação consiste na utilização da variável trabalho em lugar da variável capital na função de produção, i.e. a função usada é AL e não AK. Isto evita que o progresso técnico gere um aumento sem limite da produtividade do capital, algo contraditório com a evidência empírica, que sugere que a produtividade do trabalho aumenta de forma contínua, enquanto a produtividade do capital permanece mais ou menos estável (Foley e Michl, 1999, cap. 1). Por outro lado, a especificação AL é freqüente na literatura sobre especialização internacional e dinâmica tecnológica, sendo usada por Fabiane e Dosi (1994) e em modelos analíticos schumpeterianos com um contínuo de bens (Cimoli, 1988; e Dosi et al, 1990).

A seguir apresentam-se as equações do modelo. As variáveis de estado são trabalho L_{psf} e 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 L_{psf} podem desempenhar tanto tarefas de produção como tarefas ligadas à pesquisa e recebem o mesmo 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 $L_{psf}^{pesq} = (1 - r_{psf}) * L_{psf}$ 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 na produção pela produtividade, ambos com defasagem de um período.

$$(1.1.1) \quad Q_{psf}(t) = (1 - r_{psf}) * L_{psf}(t-1) * A_{psf}(t-1)$$

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

$$(1.1.2) \quad TQ_{psf}(t) = \sum_{f=1}^n Q_{psf}(t)$$

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 () e a taxa de câmbio nominal são fixos e iguais à unidade. Esse suposto é fortemente restritivo, mas, como observado previamente, justifica-se na medida em que permite focar a atenção apenas no efeito das variáveis tecnológicas no desempenho dos países. Todavia, deve-se fazer a ressalva de

que isso tem implicações não triviais para a dinâmica do modelo. A principal é que a cumulatividade na concorrência schumpeteriana fica muito mais intensa. Se o país que perde terreno em termos tecnológicos pudesse compensar sua desvantagem competitiva com salários mais baixos ou com uma taxa de câmbio mais alta, poderia frear as forças que levam à concentração de mercados. Reduzindo a concentração, teria mais chances de investir em tecnologia e reduzir sua desvantagem. Mas na ausência desses mecanismos de correção, as forças da tecnologia definem a distribuição dos mercados entre firmas e países sem nenhuma restrição.

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.

$$(1.1.3) \quad TL_{ps}(t) = \sum_{j=1}^n wL_{psj}(t-1), \text{ onde } w = 1$$

A Demanda Mundial corresponde à soma das rendas setoriais nos dois países.

$$(1.1.4) \quad Q_{psj}(t) = (1 - r_{psj}) * L_{psj}(t-1) * A_{psj}(t-1)$$

O preço de mercado em cada um dos setores é definido conforme a equação (1.1.5) abaixo, na qual se supõe que a demanda mundial (DM) divide-se igualmente entre os dois setores, 1 e 2.

$$(1.1.5) \quad P_s(t) = \frac{0,5 * DM(t)}{TQ_{Ns}(t) + TQ_{Ss}(t)}$$

Observe-se que a equação (1.1.5) define um *mark-up* que é dado *ex post*: a firma obterá certa margem sobre os seus custos variáveis como função de sua produtividade, mas ela não sabe qual será essa margem *ex ante*, já que depende da produtividade de seus concorrentes, que a firma desconhece. O consumo de cada setor é dado pela equação (1.1.6) abaixo. Considera-se que metade da renda nominal do país no período anterior é consumida em cada um dos setores de sua economia.

$$(1.1.6) \quad C_{ps}(t) = \frac{0,5 * YY_p(t-1)}{P_s(t)}$$

A taxa de lucro de cada firma (1.1.7) é igual ao preço corrente multiplicado pelo produto, subtraído o custo do trabalho, dividido pelo custo do trabalho.

$$(1.1.7) \quad Lucro_{psj}(t) = \frac{P_s(t) * Q_{psj}(t) - L_{psj}(t-1)}{L_{psj}(t-1)}$$

A probabilidade de sucesso em P&D é modelada como um processo estocástico de dois estágios.⁶ Sucesso ou falha em P&D são modelados através da va-

⁶ Essa é outra modificação proposta por Andersen do modelo original NW. O processo de P&D transcorre em duas etapas. Primeiramente a firma verifica se obteve sucesso nas suas atividades P&D e, posteriormente, atribui o sucesso à imitação ou à inovação.

riável estocástica $Z_{psft} \in \{0,1\}$, onde $Z_{psft} = 1$ significa sucesso e Z_{psft} 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, $1/\lambda$. O resultado total da P&D desenvolvida pela firma é modelado como um processo de Poisson cujo tempo médio de espera para um sucesso é igual a λ multiplicado pelo número de pesquisadores. Deste modo:

$$(1.1.8) \quad \text{Prob}(Z_{psft} = 1) = \lambda r_{psft} L_{psft}(t)$$

A probabilidade de que o sucesso em P&D seja fruto de um método específico de pesquisa, a saber inovação ou imitação, é diretamente proporcional ao valor do parâmetro θ , que reflete o grau de dedicação dos pesquisadores a cada um dos supracitados métodos. Poder-se-ia considerar esse parâmetro como refletindo a propensão da economia a inovar. Diferentes sistemas nacionais de inovação podem privilegiar os esforços de geração de inovações ou podem estar orientados a fortalecer a difusão e adaptação de tecnologias já existentes. Essas diferenças institucionais entre sistemas nacionais de inovação explicam em última instância os valores diferentes que o parâmetro mostra em cada economia.⁷

Caso o sucesso em P&D tenha sido resultado de uma inovação, o aumento da produtividade obtido é função do tipo de busca realizado, de acordo com o regime tecnológico de cada firma: *science-based* (1.1.9) ou *cumulative technology* (1.1.10) (Nelson e Winter, 1982: 283).⁸ 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, o esforço em P&D da firma deve estar dirigido para se manter na fronteira de um conjunto de possibilidades tecnológicas definidas fora da indústria. Os aumentos de produtividade ocorrem na forma de “saltos”, de maneira que, quando uma firma obtém uma inovação, ela consegue um nível de produtividade muito superior ao resto das firmas. Essa vantagem, por sua vez, lhe permite elevar substancialmente sua probabilidade de ter sucesso no período seguinte, de tal forma que o mercado se concentra rapidamente. No regime *cumulative technology*, pelo contrário, a fonte de inovação é o aprendizado incremental obtido na própria produção, ou *learning-by-doing*. Neste caso, a inovação que a firma gera hoje é uma função dos resultados por ela obtidos no passado, em torno de uma tendência mais suave e gradual. A firma que tem sucesso na inovação obtém um diferencial de produtividade menos marcado do que no caso anterior.

⁷ O conceito de Sistema Nacional de Inovação já está bem consolidado na literatura schumpeteriana e admite diversas modalidades institucionais e objetivos. Na clássica definição de Freeman (1987), o Sistema nacional de Inovação é definido como: “the network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies”.

⁸ Para Nelson e Winter (1982: 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 a pena tentar fazer.

As seguintes equações descrevem o impacto dos aumentos de produtividade em função de uma inovação tecnológica nos regimes *science-based* e *cumulative technology*, respectivamente⁹:

$$(1.1.9) \quad AIN_{psf}(t) = \exp(\text{nom}(\log(1,02) + t * 0,01, \text{sigma_in}))$$

$$(1.1.10) \quad AIN_{psf}(t) = \text{nom}(A_{psf}(t-1), \text{sigma_in})$$

As equações anteriores descrevem o processo de inovação. 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:

$$(1.1.11) \quad AIM_{psf}(t) = A_MAX_{ps}(t-1)$$

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

$$(1.1.12) \quad AIM_{psf}(t) = \text{MAX}(A_MAX_{Ns}(t-1), A_MAX_{Ss}(t-1))$$

Aqui a imitação não se restringe apenas às firmas de um país, mas a todas as firmas do setor, nos dois países. Neste trabalho existem apenas dois casos polares — zero difusão ou difusão internacional completa de tecnologia — o que permite analisar melhor os efeitos da difusão internacional sobre a convergência.

A produtividade da firma em (t) é dada pelo valor máximo entre a produtividade da mesma no período anterior e a produtividade proveniente dos processos de inovação e de imitação (1.1.13).

$$(1.1.13) \quad A_{psf}(t) = \text{max}(A_{psf}(t-1), AIN_{psf}(t), AIM_{psf}(t))$$

A contratação de trabalhadores (equação 1.1.15) é função unicamente do lucro de cada firma e seu cálculo pode ser desdobrado nas equações (1.1.14 e 1.1.15) abaixo.

$$(1.1.14) \quad \text{Investimento}_{psf}(t) = \text{Lucro}_{psf}(t)$$

$$(1.1.15) \quad L_{psf}(t) = L_{psf}(t-1) * (1 + \text{investimento}_{psf}(t))$$

⁹ Para Nelson e Winter (1982: 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.

A função de investimento implica que a expansão da firma consiste num processo automático de acumulação de trabalho. Não se atribui aos agentes, portanto, nenhum grau de liberdade na decisão de investimento. O caráter evidentemente “não, keynesiano” dessa função pode ser atenuado admitindo que os agentes projetam para o futuro a experiência do período anterior. Quem foi bem-sucedido espera que seu mercado continue aumentando no futuro e por essa razão investe mais que seus concorrentes no período seguinte.

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

$$(1.1.16) \quad YY_p(t) = P_1(t) * TQ_{p1}(t) + P_2(t) * TQ_{p2}(t)$$

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

$$(1.1.17) \quad M_{ps}(t) = P_s(t) * (C_{ps}(t) - TQ_{ps}(t))$$

Condições iniciais e de contorno

A calibração do modelo não se realizou a partir de valores obtidos empiricamente; procurou-se, apenas, construir um ambiente que permitisse analisar os efeitos das mudanças nos parâmetros de inovação e imitação de tecnologia. Assume-se que no momento inicial todas as firmas são iguais. Cada firma começa com um estoque de trabalhadores igual a 20 e existem cinco firmas por setor em cada país, de forma que inicialmente há 200 trabalhadores em cada país. Como há dois países, o estoque total de trabalho na economia mundial é de 400 trabalhadores. Por outro lado, cada país começa também com uma certa renda nominal, que é a mesma nos dois países. Essa renda distribui-se na forma de salários, o que implica que no momento inicial o lucro é zero.

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 $\lambda r_{psf} \quad L_{psf}(0) = 0,4$ ¹⁰.

Na medida em que as firmas obtêm sucesso em P&D e conseguem contratar mais trabalhadores, maior é o valor da média do processo de Poisson, e maiores, portanto, 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 de inovação ou de imitação. Para isto o modelo utiliza o parâmetro q que pode ser fixa-

¹⁰ Valores adotados conforme Andersen (2001). A probabilidade de ocorrência de n eventos em um processo de Poisson é: $\text{Prob}(x=n) = e^{-\mu} \mu^n / n!$. No processo em questão, com média $\mu = 0,4$, a probabilidade de ocorrência de um evento é dada por: $\text{Prob}(x=1) = e^{-0,4} 0,4 = 0,27$. Assim, espera-se inicialmente que a probabilidade de que ocorra um sucesso em P&D seja de aproximadamente 27% para cada uma das firmas.

do entre zero e um: quanto maior o valor desse parâmetro, maior a probabilidade que o sucesso tenha sido gerado por uma inovação e não pela imitação de um processo existente.

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.

SIMULAÇÕES E RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados apresentados referem-se a quatro conjuntos de simulações (MC1 a MC4) cujo objetivo foi verificar em que condições ocorre a convergência ou a divergência de renda entre os países. As variáveis 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.¹¹ Isso permite desenvolver a análise observando apenas o comportamento da renda nominal. Todos os resultados descritos foram obtidos mediante o uso da técnica de Montecarlo, através da realização de mil rodadas de simulação para cada condição analisada, nas quais se variou apenas a semente do gerador pseudo-aleatório do sistema LSD.¹² Nestes conjuntos de simulações a primeira simulação (de número zero) utilizou a semente aleatória zero e as subsequentes utilizaram sementes acrescidas de uma unidade cada uma. Cada rodada de simulação foi efetuada para cem períodos de tempo e os pontos mostrados no Gráfico 1 abaixo representam o valor médio obtido em cada conjunto de mil simulações para a renda de cada um dos países no centésimo período. Cada um dos quatro conjuntos de simulação (MC1 a MC4) corresponde no Gráfico 1 a duas curvas referentes à renda do Norte e do Sul. Para MC1, temos MC1N (curva da renda nominal do Norte gerada pela simulação MC1) e MC1S (curva da renda nominal do Sul), e assim sucessivamente. O objetivo destes conjuntos de simulações é analisar que combinações de parâmetros geram tendências à convergência ou à divergência.

Num primeiro momento, analisaram-se os efeitos de variações no parâmetro θ , discutido na seção 1.1: um valor de q igual a zero implica que a estratégia de P&D está voltada para a imitação, ao passo que quanto maior o valor de θ , maior a possibilidade da firma obter uma inovação.¹³ Foram considerados os dois regimes de mudança tecnológica já descritos, quais sejam: *science-based* e *cumulative technology*.

¹¹ 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 $P^t = 0,5P1 + 0,5P2$. Assim, como $YRN = YYN/P^t$ e $YRS = YYS/P^t$, é evidente que $YRN/YRS = YYN/YYS$.

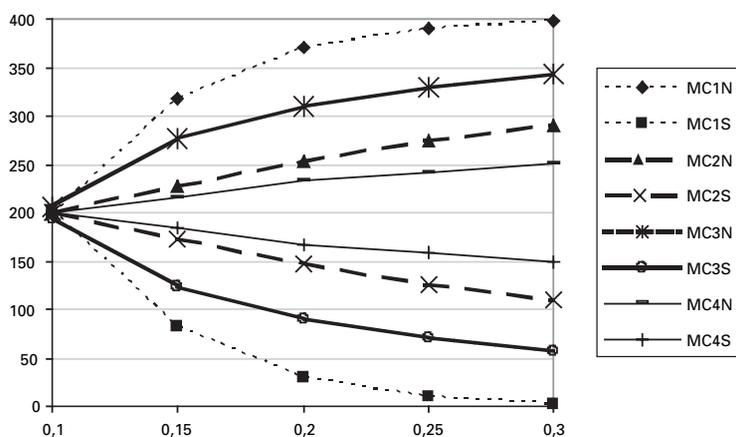
¹² LSD (Laboratory for Simulation Development) é um programa de computador para simulação de modelos. Maiores detalhes sobre seu uso podem ser obtidos em Valente e Andersen (2003).

¹³ O parâmetro q foi escolhido tendo como limite superior o valor $q = 0.3$ que induz a completa concentração dos mercados no regime *science-based*.

Além disso, como mencionado, foram considerados dois contextos de difusão internacional de tecnologia: a difusão está completamente bloqueada ($\varepsilon = 0$), o que implica que a imitação se restringe às firmas do próprio país, ou a difusão é perfeita ($\varepsilon = 1$), o que implica que se imita a produtividade da melhor firma, não importando em que país ela se localiza.

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 em que a difusão de tecnologia está ausente ($\varepsilon = 0$). O parâmetro relativo à ênfase em inovação ou imitação (θ , propensão a inovar) foi fixado em 0,1 para o Sul e varia entre 0,1 e 0,3 no Norte. No Gráfico 1 observa-se que, em média, quando $\theta = 0,1$ nos dois países, não há uma tendência de concentração da renda num determinado país. Mas na medida em que o θ do Norte aumenta, emerge uma tendência à divergência internacional. Assim, quando há uma diferença de 0,2 entre os valores de θ no Norte e no Sul, a renda concentra-se completamente no Norte.

Gráfico 1
Renda do Norte e do Sul em função de θ Norte



Fonte: Os autores

Nota: θ Sul=0,1 e θ Norte variando entre 0,1 e 0,3

MC1 — ambos setores *science-based*

MC2 — ambos setores *cumulative*

MC3 — setor 1 *science-based* e setor 2 *cumulative* (sem difusão internacional de tecnologia)

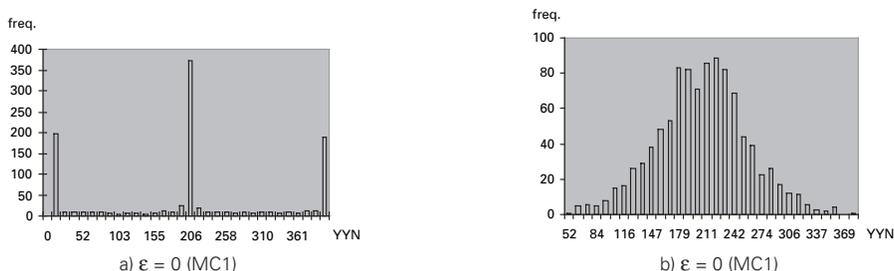
MC4 — setor 1 *science-based* e setor 2 *cumulative* (com difusão internacional de tecnologia)

Vale a pena deter-se brevemente no caso de convergência, em que θ é igual no Norte e no Sul. Como já se observou, em média, a renda dos dois países tende a ser praticamente a mesma no momento $t = 100$. Mas o Gráfico 2-a, que mostra o diagrama de dispersão das mil simulações no período $t = 100$, qualifica bastante este resultado. Pode-se notar a importância das soluções de canto, isto é, de resultados de divergência. Com efeito, a probabilidade de que a renda se concentre no Norte ou no Sul é de aproximadamente 40 %. Em outras palavras, sem

difusão internacional de tecnologia, dois países cujas firmas no momento inicial são exatamente iguais, em virtude da intensidade dos retornos crescentes, podem sofrer um processo intenso de divergência. De fato, os resultados deste conjunto de simulações indicam que a renda do norte (YYN) será aproximadamente zero (divergência em favor do Sul), 200 (convergência) e maior que 387 (divergência em favor do Norte) em 20%, 37% e 19% dos casos, respectivamente. Este tipo de solução, descrita por Arthur (1994: 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 (θ Norte = θ Sul = 0,1), verifica-se uma tendência à convergência no modelo e ao 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*



Fonte: Os autores

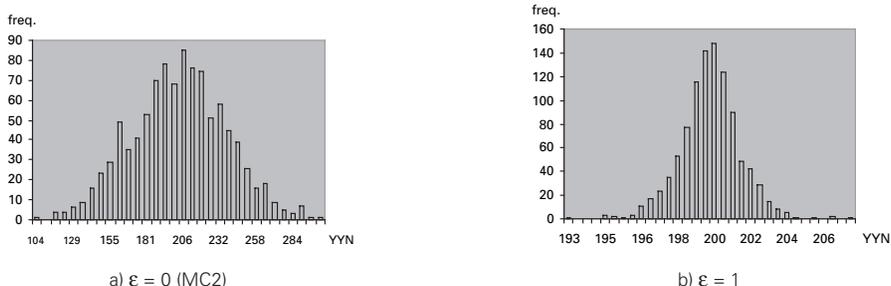
Nota: θ Sul = 0,1 e θ Norte = 0,1

Observe-se também que quando o regime é *science-based* a convergência somente ocorrerá quando o esforço de inovação do Sul for equivalente ao esforço de inovação do Norte. Em outras palavras, neste regime tecnológico, uma estratégia de *catching up* baseada exclusivamente na imitação não conseguiria fechar o hiato tecnológico e de crescimento entre o Norte e o Sul. Este resultado é similar ao alcançado por Verspagen (1993) através de um modelo não-linear de difusão de tecnologia, no qual o hiato tecnológico somente se fecha por completo quando o esforço autônomo de inovação nos dois países é o mesmo.

No exercício seguinte (MC2), é repetido o experimento MC1, mas agora no contexto do regime *cumulative technology*. Neste caso, novamente a renda concentra-se no Norte quando aumenta a ênfase na inovação por parte das firmas do Norte. Mas dado que neste regime tecnológico os aumentos de produtividade ocorrem de forma mais gradual e cumulativa, a concentração para valores baixos de q no Sul não é tão evidente como no regime *science-based*. Pode-se observar também que quando os países são similares (θ Sul = θ Norte = 0,1), a tendência à convergência é muito marcada no regime *cumulative technology* (Gráfico

3-a), mesmo no caso em que não há difusão internacional de tecnologia ($\varepsilon = 0$). Naturalmente, quando a difusão internacional de tecnologia é possível ($\varepsilon = 1$), a convergência torna-se muito mais intensa (Gráfico 3-b).

Gráfico 3: Dispersão da Renda do Norte – *cumulative*

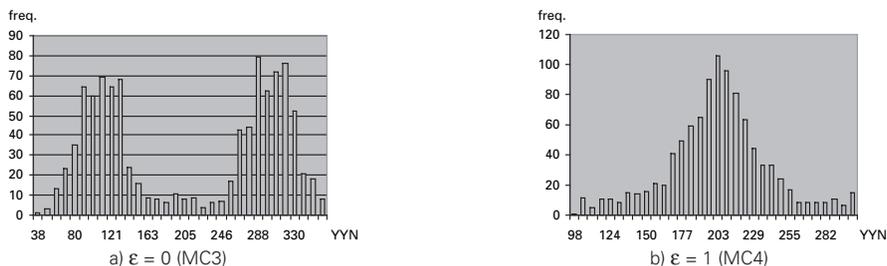


Fonte: Os autores

Nota: θ Sul = 0,1 e θ Norte = 0,1

Nas simulações apresentadas a seguir (MC3 e MC4), as economias consistem em dois setores com regimes de mudança tecnológica distintos: o Setor 1 é *science-based* e o Setor 2 é *cumulative technology*. Em MC3 assume-se que não há difusão internacional de tecnologia ($\varepsilon = 0$), suposto que se retira em MC4 ($\varepsilon = 1$). Novamente, foi permitida a variação dos valores do parâmetro θ entre 0,1 e 0,3 no Norte, mantendo-se constante (e igual a 0,1) nas firmas do Sul. Este caso produz 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 4-a) mostra que a aparente convergência de notada pela igualdade das médias das rendas dos dois países no ponto em que θ Sul e θ 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 4: Dispersão da Renda do Norte – Setor 1 – *science-based* e Setor 2 – *cumulative technology*

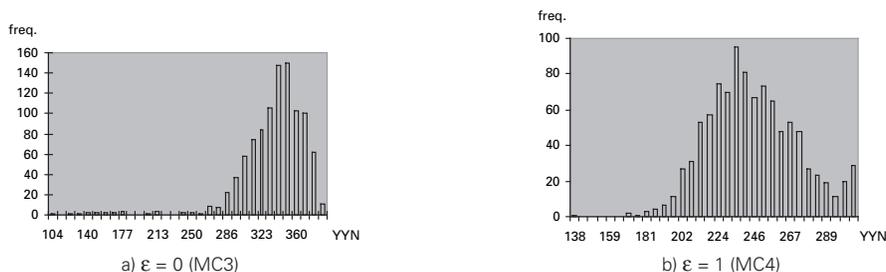


Fonte: Os autores

Nota: θ Sul = 0,1 e θ Norte = 0,1

A partir deste conjunto MC3 de simulações, foram extraídos alguns resultados para os valores de θ 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 5-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 5: Dispersão da Renda do Norte – Setor 1 – *science-based* e Setor 2 – *cumulative technology*



Fonte: Os autores

Nota: θ Sul = 0,1 e θ Norte = 0,1

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 foi permitida a variação do θ das firmas do Norte entre 0,1 e 0,3, mantendo-se θ 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. Na medida em que aumenta a diferença entre θ Norte e θ Sul, repete-se a mesma tendência vista em MC3 (conforme o Gráfico 1), a saber, o aumento correspondente do diferencial de renda entre Norte e Sul. Porém, neste caso (MC4) o efeito do aumento de θ Norte na renda dos países é muito menos expressivo que o observado em MC3. Observa-se também uma diferença significativa entre MC4 e MC3 no comportamento da dispersão da renda do Norte no ponto em que θ Sul e θ Norte são iguais a 0,1 (Gráfico 4-b). Em MC4, a renda do Norte apresenta-se concentrada em torno da média, o que permite concluir que o referido ponto é efetivamente um ponto de convergência de renda entre os países, enquanto que em MC3 predominava a divergência. Podem ser observados na Tabela 1 os valores da renda por país e por setor obtidos no conjunto de simulações MC4.

Tabela 1: Renda do Norte e do Sul e renda por setores – Setor 1 – *science-based* e Setor 2 – *cumulative technology* com difusão internacional de tecnologia (MC4)

θ NORTE	YYS	YYN	YS1	YS2	YN1	YN2
0,1	200,4331 (37,6539)	199,5669 (37,6539)	100,4031 (37,6673)	100,0301 (1,0757)	99,5969 (37,6673)	99,9699 (1,0757)
0,15	184,1762 (33,9239)	215,8238 (33,9239)	84,5891 (33,8869)	99,5870 (1,2676)	115,4109 (33,8869)	100,4130 (1,2676)
0,2	167,0675 (30,6408)	232,9325 (30,6408)	67,9786 (30,6139)	99,0889 (1,4407)	132,0214 (30,6139)	100,9111 (1,4407)
0,25	158,4452 (26,8075)	241,5548 (26,8075)	59,8124 (26,8531)	98,6328 (1,5512)	140,1876 (26,8531)	101,3672 (1,5512)
0,3	148,8076 (25,7637)	251,1924 (25,7637)	50,6362 (25,6513)	98,1715 (1,7836)	149,3638 (25,6513)	101,8285 (1,7836)

Fonte: Os autores

Nota: Desvio-padrão entre parênteses

Os dados apresentados na Tabela 1 indicam que o Setor 1, *science-based*, é responsável pelo aparecimento da divergência de renda entre os países na medida em que aumenta a possibilidade do Norte de obter inovações.

Os resultados obtidos através destes conjuntos de simulações permitem concluir que o modelo se comporta de forma consistente com os fatos estilizados micro e macro apontados pela literatura sobre convergência e divergência econômica. Na Tabela 2 encontra-se uma síntese dos resultados das simulações para os pontos de possível convergência de renda entre o Norte e o Sul.

Tabela 2: Possíveis pontos de convergência de renda entre o Norte e o Sul

ϵ	REGIME TECNOLÓGICO		θ SUL = θ 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: Os autores

Nota: SB – *Science-based*

C – *Cumulative Technology*

$\epsilon = 0$ – sem difusão internacional de tecnologia

$\epsilon = 1$ – com difusão internacional de tecnologia

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

* Presença de soluções de canto

É possível visualizar claramente na tabela 2 a tendência do setor *science-based* de produzir divergência quando se supõe a inexistência de difusão internacional de tecnologia. E ainda naqueles casos em que o setor *science-based* não produz divergência, os resultados mostram uma dispersão dos valores da renda em torno da média muito mais ampla do que acontece quando o regime tecnológico é cumulativo. Assim, os exercícios teóricos realizados com o modelo evolucionista reproduzem um fato estilizado levantado pela literatura internacional, a saber, a aparição de processos de divergência quando ocorrem mudanças no paradigma tecnológico (Verspagen, 2001), de forma que esse paradigma se torna mais próximo do regime *science-based*.

Em termos gerais, os resultados apresentados são consistentes com um conjunto de fatos estilizados apontados pela literatura sobre crescimento econômico. A convergência aparece como um fenômeno limitado a países que compartilham certo nível de esforços tecnológicos e no marco de regimes tecnológicos estáveis. Quando isso não ocorre, predominam processos de divergência. Também é possível observar processos de *falling behind* (ficar para atrás) e *forging ahead* (ultrapassagem) quando as economias não são muito diferentes nas suas capacidades tecnológicas. O modelo proposto parece ser flexível o bastante para representar a diversidade de situações que se observa empiricamente.

CONCLUSÕES

O debate sobre o crescimento econômico ressurgiu com grande intensidade a partir dos anos 1980. 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 posterior 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 influência de três fatores, i) os esforços de inovação e de imitação no Sul, ii) o tipo de regime tecnológico em cada setor, e iii) a possibilidade ou não de difusão internacional de tecnologia.

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 não controlam seu *mark up* (é dado *ex post*). Seria razoável supor que elas têm algum grau de controle sobre o preço de seus bens, fixando preços a partir de uma margem *ex ante*. Em terceiro lugar, poderia ser permitida a substituição no consumo entre os bens, tornando 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. (1998) *Endogenous growth theory*. Cambridge: MIT Press, 1998.
- Andersen, E. S. (2001) "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. (1994) *Increasing returns and path dependence in the economy*. The University of Michigan Press, 1994.
- Cimoli, M. (1988) "Technological gaps and Institutional Asymmetries in a North-South Model with a Continuum of Goods", *Metroeconomica*, 39, pp. 245-274.
- De La Fuente, A. (2000) "Convergence across countries and regions: theory and empirics". Instituto de Análisis Económico (CSIC). WP 447.00. Jan. 2000.
- Dosi, G.; Fabiani, S. (1994) "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. e Soete, L. (1990) *The Economics of Technical Change and International Trade*. Brighton: Wheatsheaf.
- Fagerberg, J. (1995) "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.
- Foley, D.; Michl, T. (1999) *Growth and Distribution*. Harvard University Press, 1999.
- Grossman, G.; Helpman, E. (1992) *Innovation and growth in the Global Economy*. MIT University Press, 1992.

- Freeman, C. (1987) *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Pinter.
- Nelson, R. R.; Winter S. G. (1982) *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge Mass.: Harvard University Press, 1982.
- Possas, M. et al. (2001) “Um Modelo Evolucionário Setorial”. *Revista Brasileira de Economia*. vol. 55, nº 3, 2001.
- Prebisch, R. (1949) “El desarrollo económico de América Latina y algunos de sus principales problemas”. CEPAL, Santiago de Chile, 1949.
- Romer, P. M. (1986) “Increasing Returns and Long-Run Growth”. *The Journal of Political Economy*. Volume 94, Issue 5, Oct, 1986, pp. 1002-1037.
- Valente, M.; Andersen, E.S. (2003) “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. (1993) *Uneven Growth Between Interdependent Economies: An Evolutionary View on Technology Gaps, Trade and Growth*. Aldershot: Avebury, 1993.
- Verspagen, B. (2001) “Economic Growth and Technical Change: An Evolutionary Interpretation”, *STI Working Papers* 2001/1.