

SOBREVIVÊNCIA DE TECNOLOGIAS EM JOGOS EVOLUCIONÁRIOS



Eleutério F. S. Prado¹

RESUMO

Empregando a teoria dos jogos evolucionários, o artigo apresenta um modelo em que tecnologias, com as quais se produzem bens substitutos próximos entre si, competem pela fração de mercado. Estas tecnologias podem apresentar rendimentos crescentes ou decrescentes com a evolução do mercado. Separa-se o dinamismo que vem da oferta do dinamismo que vem da demanda. No primeiro caso, o dinamismo é explicitado por meio do replicador dinâmico. No segundo, ele é apresentado por meio do processo de Polya. O modelo é construído sob o pressuposto da irreversibilidade do tempo, de tal modo que incorpora os fenômenos da sensibilidade às condições iniciais, do reforço de tendência, da combinação imprevisível das pequenas causas, da dependência de caminho e do autoencerramento.

1 INTRODUÇÃO

Como bem se sabe, a teoria da produção encontra-se ainda hoje amplamente encerrada ou *locked-in* na tecnologia dos rendimentos não-crescentes, ainda que sejam usuais as dúvidas sobre a adequação empírica deste suposto crucial, mesmo em livros didáticos neoclássicos (Kreps, 1990, p. 235-236). De fato, a observação casual do desempenho de setores, de empresas e mesmo de tecnologias, assim como o exame acurado das séries históricas de dados empíricos de custos de produção, parecem muitas vezes desmenti-lo. Observam-se, pois, processos produtivos com rendimentos crescentes que duram indefinidamente ou que duram enquanto existem. Contudo, mesmo que a evidência empírica lhe seja desfavorável, a teoria neoclássica mantém a suposição, quase como um dogma, de que isto não é possível.

Arida, em um texto pouco conhecido mas cuja importância ainda deverá ser devidamente reconhecida², procura mostrar que esta foi uma opção metodológica cuja origem pode ser encontrada retrospectivamente em *Os Princípios de Economia* de Marshall e cujo papel histórico foi o de definir o caminho da teoria neoclássica da produção, então nascente (Arida, 1983).

1 Professor da FEA/USP.

2 Este artigo deve ao Professor Jorge E. de C. Soromenho esta referência; deve a ele e aos Professores Armênio de S. Rangel e Décio K. Kadota críticas e sugestões.

Arida nota aí que Marshall, ao dar passos importantes na construção da teoria neoclássica, oscilou entre dois paradigmas de ciência: o mecânico e o biológico. Conforme o primeiro, a economia é entendida como um sistema de elementos conexos, relacionados externamente entre si, e que pode ser compreendido por mera decomposição – e agregação de partes que permanecem idênticas a si mesmas. Conforme o segundo, ela vem a ser vista como um sistema em permanente processo de auto-organização, cujos elementos se diferenciam e se integram no tempo, de tal modo que apenas pode ser compreendido por composição de partes mutantes que interagem em processo, apresentando propriedades emergentes³. Da primeira perspectiva, a economia é apresentada como algo que possui um movimento estacionário e que, ao ser eventualmente perturbado por causas exógenas, apresenta uma tendência para o equilíbrio; da segunda perspectiva, diferentemente, ela aparece como um processo evolucionário que possui fontes internas de movimento, que se adapta ao ambiente e que se desenvolve numa temporalidade irreversível.

Segundo Arida, as dificuldades de combinar os dois paradigmas na modelagem econômica – os *Princípios de Economia* de Marshall são eles mesmos a prova de que o empreendimento desafia o entendimento – leva a teoria econômica, depois dele, a optar pelo paradigma mecânico, centrando-se no conceito de equilíbrio. A motivação principal dessa opção não vem a ser, como em geral se acredita, meramente fazer um elogio da economia de mercado e de seu livre funcionamento, mas forjar técnicas de análise que fossem ou pudessem parecer adequadas ao entendimento do funcionamento do sistema econômico e servissem à política econômica⁴. Nesse sentido, como Arida enfatiza, Marshall considerava o paradigma biológico complexo demais. De qualquer forma, a história da ciência, desde então, mostra que este último se mostrou capaz de suportar um discurso intencionalmente monológico, formalmente exato. Por que esta opção, entretanto, levou a uma minimização do papel dos rendimentos crescentes?

Um sistema mecânico, quando deixado por sua própria conta, só perdura se mostra uma tendência inerente para o equilíbrio e isto ocorre apenas quando os seus movimentos internos estão sujeitos à realimentação negativa (ou seja, apresentam rendimentos decrescentes). É a partir disto que se pode entender a mencionada hipótese mantida da teoria neoclássica

3 Ainda que a auto-organização seja uma característica comum dos sistemas biológicos e dos sistemas sociais, estes últimos se distinguem dos primeiros pelo fato de que dependem da comunicação linguística. De acordo com Luhmann, os sistemas sociais e psíquicos se diferenciam pelo uso do “significado” (Luhmann, 1995, p. 2-3).

4 Esta tese está apresentada no segundo capítulo de *Economia como ciência* (Prado, 1991, p. 41-61)

consolidada. Diante do fato inegável de que a economia real perdura, havendo assumido firmemente o paradigma mecânico, ela tem de supor que os processos produtivos têm de acabar apresentando, necessariamente, rendimentos decrescentes. Ao escolher racionar por meio da estática e da estática comparativa, não lhe restou outra alternativa que a de atribuir aos rendimentos crescentes um papel subordinado, marginal, transitório, na conformação da tendência para o equilíbrio.

Contrariamente, quando se opta por admitir que a economia é um sistema em processo de evolução – quando se a compreende, seguindo uma terminologia atual, como um sistema adaptativo complexo –, é preciso supor que ela perdura sob as tendências contrárias que favorecem os rendimentos decrescentes ou os rendimentos crescentes. Dito desse modo, é necessário pressupor que se move em desequilíbrio, em direção a atratores ou atraída por pontos de mudanças, segundo tendências conflitantes que envolvem dinâmicas de realimentação, tanto negativas quanto positivas.

Ainda que a economia dos processos com retornos crescentes nunca tenha desaparecido totalmente⁵, somente a partir de meados da década dos anos 80 ela parece ter tido uma nova oportunidade histórica, não em razão da audácia metodológica dos economistas, mas em face da ocorrência de transformações profundas nos critérios de cientificidade da Matemática, da Física, da própria Biologia etc. que culminaram no advento do chamado paradigma da complexidade (Convenay, Highfield, 1995). No caso da Economia, dentre outros, tornam-se então importantes os trabalhos de Brian Arthur⁶, já que estes apresentam modelos que apreendem a dinâmica – ou melhor, o movimento dotado de temporalidade histórica – dos processos econômicos. Os seus modelos fazem isto porque incorporam o papel do aprendizado, do reforço de tendência, da sensibilidade às condições iniciais, da combinação imprevisível de pequenas causas (efeito acaso), da dependência de caminho (path-dependence), do auto-encerramento (lock-in) etc. (Arthur, 1994).

5 Apesar de Adam Smith ter centrado a explicação do crescimento econômico e da “riqueza das nações” na divisão do trabalho, entendendo esta última como um processo de especialização crescente e de persistente revolucionamento das condições da produção, e de ter adotado, assim, um suposto de rendimento crescente, esta tradição, depois de Ricardo, apenas subsistiu às margens da teoria econômica.

6 De modo muito revelador, Brian Arthur é um economista que teve uma formação inicial em engenharia, campo em que manteve contato com a teoria dos sistemas, em particular com a cibernética; eis que foi aí, como se sabe, que nasceu o paradigma da complexidade. A saga do reconhecimento mínimo de seus trabalhos, altamente originais, no “colégio” dos economistas está contada na história da constituição do Instituto Santa Fé, de Waldrop (1992).

Esta introdução, algo hiperbólica, pareceu necessária para colocar os objetivos do presente artigo numa perspectiva correta. Descendo para um nível de pretensão bem mais modesto, quase didático, este artigo tem por objetivo apresentar a compreensão da economia que emerge dos textos de Arthur, assim como todo um conjunto de conceitos aí encontrado, que tem se mostrado fértil em microeconomia. Pretende-se – e esta é a contribuição do artigo – fazer isto por meio de um modelo de jogo evolucionário, separando o dinamismo que vem do lado da oferta do dinamismo que vem do lado da demanda, para entender a sobrevivência de tecnologias numa temporalidade histórica. É preciso mencionar aqui que a própria teoria dos jogos evolucionários apenas recentemente (década dos anos 90) saiu do campo da biologia matemática (Maynard Smith, 1982), onde nasceu (na década dos anos 70), para a esfera da ciência econômica (Weibull, 1997; Samuelson, 1997; Vega-Redondo, 1996; Young, 1998).

Para atingir tais objetivos, em primeiro lugar faz-se uma apresentação sintética do modelo básico da teoria dos jogos evolucionários. Este envolve populações cujos elementos adotam estratégias que se enfrentam na natureza ou na sociedade. O conceito de solução a ser empregado será o de **estratégia evolucionária estável** ou ESS (iniciais da expressão *Evolutionary Stable Strategy*). A dinâmica do jogo será modelada por meio do replicador dinâmico (*replicator dynamics*). Em seqüência, constrói-se um modelo econômico identificando as estratégias do jogo com tecnologias que se materializam em produtos, os quais têm características específicas e concorrem no mercado. Explora-se, então, a possibilidade de que a dinâmica do lado da oferta seja contrariada pela dinâmica do lado da demanda – modelada como um processo de Polya –, com a finalidade de obter um melhor entendimento do processo de mercado. Este é examinado, quer sob a suposição de que a produção apresenta rendimentos crescentes, quer sob a suposição contrária. A demanda será inicialmente tomada como se fosse determinada exogenamente, mas em seqüência admite-se que ela sofre influências endógenas, as quais lhe determinam um caminho.

2 JOGOS EVOLUCIONÁRIOS

Aqui se emprega um tipo de modelo que aproveita concepções teóricas desenvolvidas em Biologia, tendo em vista aplicações em Ciência Social. Os modelos dinâmicos a serem apresentados são ditos evolucionários porque envolvem populações cujos elementos possuem ou adotam estratégias que se encontram submetidas a um processo adaptativo por meio de seleção, mutação e herança.

Dada uma determinada população e as condições de ambiente a que ela está submetida, seleção é a componente deste processo que determina as possibilidades de sobrevivência dos elementos desta população ou das estratégias por eles escolhidas. Cada um destes elementos tem certas características ou faz certas opções, as quais determinam, de algum modo, o seu sucesso *vis-à-vis* dos outros que compõem a população.

Em Biologia, esta última é vista como uma coleção de fenótipos e cada elemento é encarado como um representante de um fenótipo determinado; o processo que os seleciona opera cegamente; o sucesso desses fenótipos na luta pela sobrevivência é medido pela capacidade que tem de se reproduzir, de geração para geração, mantendo ou aumentando a sua participação na população. Em Economia, cada elemento é uma unidade de decisão (uma firma, por exemplo) que opta, dentre um conjunto finito, por um determinado produto social, ou seja, uma tecnologia, uma convenção, um modo de comportamento; o processo que seleciona este produto social opera, em parte, por meio da consciência dos agentes, os quais são racionalmente limitados e capazes de apreender com o passar do tempo, alterando o seu comportamento; o sucesso de cada produto social vem a ser medido pela sua capacidade de sobrevivência na sociedade.

Mutação é o componente do processo de adaptação responsável pela geração de novos fenótipos ou novos produtos sociais que passam a competir com os já existentes. As mutações enriquecem o patrimônio competitivo da população, aumentando assim, em princípio, as suas possibilidades de adaptação. Já herança é o componente deste processo que estabelece a continuidade das características possuídas pelos elementos ou pelos produtos sociais que eles adotam, por exemplo, entre gerações sucessivas. A herança e a inovação são, obviamente, condições necessárias para que a seleção possa fazer o seu trabalho de adaptar as formas de existência da população ao ambiente, possibilitando, a sua sobrevivência.

Considere-se uma população cujos elementos adotam certas tecnologias que se materializam em determinados produtos com características determinadas. Cada tecnologia de produção é identificada com uma estratégia que pode vir a sobreviver ou pode tender a desaparecer. Para simplificar a apresentação, supõe-se que há apenas duas estratégias⁷; seja S o conjunto delas:

$$S = \{S_i\} = \{S_1; S_2\}$$

7 A generalização do que aqui se apresenta encontra-se em Vega-Redondo (1996). Como existem duas formas de interação, bilateral ou multilateral, há também duas modalidades de jogos evolucionários, a competição bilateral (*pairwise contest*) e a competição anônima (*playing the field*). Neste artigo, emprega-se somente a segunda modalidade.

Considere-se, agora, as frequências possíveis com que as unidades de decisão da população, ou seja, as firmas empregam as estratégias disponíveis; estas podem ser apresentadas por meio do seguinte conjunto:

$$\{(v_1; v_2) \mid 0 \leq v_2, v_1 \leq 1\}$$

Supondo que a unidade de produto ofertada é sempre vendida, note-se que $v_i = n_i/n$, ou seja, vem a ser também a fração de mercado de cada uma das tecnologias [n_i é a quantidade de produtos vendidos do tipo “ i ” ($i = 1$ ou 2) e n é a quantidade total de produtos absorvidos pelo mercado]. Da projeção deste conjunto bidimensional, obtém-se um *simplex* unidimensional $\Delta = \{v_1 \mid 0 \leq v_1 \leq 1\}$, pois $v_2 = (1 - v_1)$. Considere-se, também, o produto do conjunto de estratégias pelo conjunto de frequências de emprego de estratégias:

$$S \times \Delta = \{(s_i; v_1) \mid i = 1, 2 \text{ e } 0 \leq v_1 \leq 1\}$$

Para cada estratégia que pode ser adotada por uma determinada unidade de decisão, dada a distribuição de frequência das estratégias empregadas por todas as outras, está associado um *pay-off* esperado, o qual mede o seu grau de sucesso:

$$U = \{U(s_i; v_1) \mid (s_i; v_1) \rightarrow (s_i; v_1) \in \mathfrak{R}\}$$

Nesta formalização, duas suposições foram adotadas:

- a) o número total de produtos comercializados é grande, de tal modo que a contribuição de cada venda para as frequências possa ser considerada insignificante (em caso contrário s_i e v_j não podem ser considerados independentes);
- b) a influência das escolhas da população nos *pay-offs* obtidos pelas unidades de decisão pode ser representada apenas pelas frequências de adoção das estratégias disponíveis.

Na formulação acima, padrão na teoria dos jogos evolucionários, as unidades de decisão só atuam segundo estratégias puras. Os modelos a serem desenvolvidos neste estudo requerem que se faça uma generalização da formulação básica acima apresentada, no sentido de estabelecer uma certa dependência entre s_i e v_j . Aqui se admitirá que os *pay-offs* das estratégias dependem também do número de produtos gerados por meio delas, ou seja:

$$U = \{U(s_i; v_1, n) \in \mathfrak{R}\}$$

A teoria evolucionária dos jogos aqui apresentada resumidamente baseia-se no princípio segundo o qual a viabilidade das várias estratégias depende do valor dos *pay-offs* a elas associados. Nos jogos a serem apresentados, o valor dos *pay-offs* será igual ao lucro por unidade de produto obtido pelas firmas. A evolução do jogo, que se expressa nas frequências das unidades vendidas, entretanto, dependerá das decisões dos ofertantes (as firmas) e dos demandantes (os consumidores) destas mercadorias.

O conceito de estratégia evolucionária estável, básico na teoria aqui resumida, refere-se a uma situação – um equilíbrio estacionário – em que uma estratégia prevalecente não pode ser substituída por uma outra que apresente melhor capacidade de sobrevivência. Em geral, uma estratégia σ^* , possivelmente mista, é evolucionária estável se, para qualquer outra ρ , sempre existe algum $\underline{\varepsilon} > 0$ tal que, se $0 < \varepsilon < \underline{\varepsilon}$.

$$U[\sigma^*; (1 - \varepsilon)\sigma^* + \varepsilon\rho] > U[\rho; (1 - \varepsilon)\sigma^* + \varepsilon\rho]$$

No jogo aqui analisado, $\sigma^* = s_i$ e $\rho = s_j$, $i \neq j$. Dito em palavras, uma estratégia σ^* adotada pela população é um ESS se nenhuma mutação σ que venha a ser adotada por uma fração arbitrariamente pequena de indivíduos é capaz de “invadir” a população (ou seja, ter aí presença, conseguindo sobreviver), obtendo um *pay-off* pelo menos igual ao da estratégia σ^* ⁸.

O paradigma evolucionário envolve a concepção de processo e de irreversibilidade. Ora, se o conceito de estratégias evolutivas estáveis dá forma à idéia de mutação, o conceito a ser agora apresentado, dará forma à idéia de seleção. A herança, como já se mencionou, é pressuposto de ambas as partes do modelo evolucionário aqui apresentado.

O processo temporal de mudança será aqui modelado por meio do replicador dinâmico, em sua versão baseada em tempo discreto. Em conseqüência, admitir-se-á que $t = 1, 2, 3, \dots$ e que $v^t = (v_1^t; 1 - v_1^t)$ é a combinação de frequências no momento t . A dinâmica da adoção de tecnologias materizadas em produtos pode ser escrita por meio de um sistema de equações a diferenças finitas. No presente caso, este sistema, dito autônomo, tem apenas uma equação independente:

$$v_1^{t+1} = v_1^t \frac{U(s_1; v_1^t, n)}{v_1^t U(s_1; v_1^t, n) + (1 - v_1^t)U(s_2; v_1^t, n)}$$

8 Note-se que este conceito foi desenvolvido em Biologia para expressar a idéia de adaptação ao meio (*fitness*), medida em geral pelo número de descendentes (*offsprings*).

Em palavras, a fração da população que atua segundo cada uma das estratégias no momento $t + 1$ é igual à mesma fração no momento t , multiplicada pela razão entre o *pay-off* associado à estratégia e o *pay-off* médio esperado para todas elas em conjunto. Para descrever a evolução da população pode-se escrever:

$$\text{se } \bar{U}(\bullet; v_1^t, n) = v_1^t U(s_1; v_1^t, n) + (1 - v_1^t)U(s_2; v_1^t, n)$$

então:

$$v_1^{t+1} - v_1^t = v_1^t \frac{U(s_1; v_1^t, n) - \bar{U}(\bullet; v_1^t, n)}{\bar{U}(\bullet; v_1^t, n)}$$

Pode-se notar que se os *pay-offs* associados às estratégias forem positivos, o denominador desta última expressão também será positivo. Neste caso, a dinâmica dependerá do sinal do numerador. Enquanto ele for maior do que zero, o valor de v_1^{t+1} será crescente; em caso contrário, ele será decrescente. O mesmo tipo de análise pode ser feito com base na expressão anterior do replicador, verificando se a razão do lado direito da expressão vem a ser, respectivamente, maior ou menor do que 1.

3 MODELO DE MERCADO

No jogo evolucionário aqui considerado as estratégias são constituídas por tecnologias distintas que estão incorporadas em produtos, também distintos entre si, mas que podem servir aos mesmos fins. Como os consumidores os encaram, por isto, como um mesmo – ou aproximadamente o mesmo – bem, elas competem pela participação em um mesmo mercado. Pretende-se enfatizar aqui, especialmente, a situação em que os rendimentos são crescentes. Entretanto, a situação em que eles se apresentam como decrescentes também será contemplada, inclusive para poder compará-las.

Assim como há dois produtos, há também duas populações de firmas, uma das quais produz 1 e a outra produz 2. Algumas destas firmas estão morrendo, outras estão nascendo, outras ainda em processo de desenvolvimento, dependendo do lucro que conseguem obter na luta pela participação e sobrevivência no mercado. Supõe-se aqui que estas firmas, mais ou menos eficientes quando comparadas entre si, operem com custos aproximadamente constantes no curto prazo, quando o nível de organização pode ser considerado como um dado, e com custos de longo prazo que dependem das tendências contraditórias no sentido de diminuí-los ou de aumentá-los. Supõe-se, também, que no longo prazo e dependendo de características da indústria, uma destas tendências venha a predominar, fazendo com que os custos das firmas apresentem rendimentos crescentes ou decrescentes.

Supõe-se, adicionalmente, que o nível de concentração da indústria, por razões de organização, não pode variar substancialmente no longo prazo.

De acordo com Marshall, o uso de uma mesma quantidade de recursos naturais com mais trabalho e capital produz uma tendência para que os rendimentos decresçam; entretanto, o esforço para melhorar a organização da firma – esforço este que inclui a divisão do trabalho – tende a gerar uma tendência contrária no sentido de elevar estes rendimentos. A chamada lei dos rendimentos decrescentes é bem conhecida. Já a lei dos rendimentos crescentes, segundo Marshall, pode ser expressa do seguinte modo: “*um aumento do trabalho e capital leva geralmente a uma organização melhor, que aumenta a produtividade da ação do trabalho e do capital*” (Marshall, 1982, p. 268). O modo concreto por meio do qual estas duas tendências se manifestam, e em especial esta última, depende, segundo ele, das economias externas e das economias internas.

Assume-se aqui que as trajetórias de longo prazo dos custos dos produtos 1 e 2 são um resultado do comportamento agregado das firmas que compõem as populações e que elas podem ser descritas por funções lineares. Em consequência, as equações de preços têm a seguinte forma:

$$p_1 = l_1 + [a_1 + n_1 b_1]$$

$$p_2 = l_2 + [a_2 + n_2 b_2]$$

Nestas expressões, os p_i respondem pelos preços esperados de venda dos produtos 1 e 2; as margens sobre os custos são expressas pelos l_i ; os n_i respondem pelas quantidades vendidas de 1 e 2; e os a_i e os b_i são parâmetros das funções de custos unitários, ilustradas no Gráfico-1.

A partir dessas equações de preços, como $n_1 = n(v_1)$ e $n_2 = n(1 - v_1)$, tem-se que as funções de lucro por unidade assumem a seguinte forma:

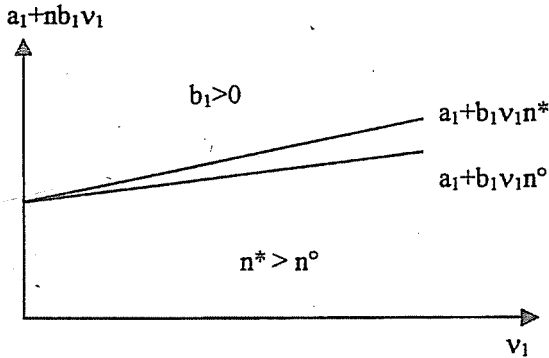
$$U(s_1; v_1, n) = p_1 - [a_1 + n b_1(v_1)]$$

$$U(s_2; v_1, n) = p_2 - [a_2 + n b_2(1 - v_1)]$$

Admite-se aqui que os b_i são suficientemente pequenos de tal modo que, no tempo de duração do jogo, o custo nunca possa, por exemplo, dobrar se ele for positivo ou nunca venha a se reduzir a zero se for negativo. Note-se que, no primeiro caso, tem-se rendimentos decrescentes e, no segundo, tem-se rendimentos crescentes; obviamente, os rendimentos são constantes se b_i for zero.

Gráfico 1

FUNÇÃO CUSTO POR UNIDADE



As funções de lucro unitário acima especificadas determinam uma coleção de matrizes de *pay-offs*, 2×1 , cada uma das quais mostra, na primeira e na segunda linha, respectivamente, o lucro esperado pelas unidades de decisão que optam por 1 e 2, dependendo do modo com que o mercado como um todo se encontra repartido entre as duas opções. Em geral, assumindo por simplicidade que $p_1 = p_2 = p$ e $a_1 = a_2 = a$, tem-se:

$$U(e; v_1, n) = \begin{bmatrix} p - a - nb_1v_1 \\ p - a - nb_2(1 - v_1) \end{bmatrix}$$

É preciso notar, agora, que este jogo têm três equilíbrios possíveis: dois de estratégias puras, $(s_1; 1)$ e $(s_2; 0)$, e um de estratégia mista⁹, que é obtido igualando os *pay-offs* das estratégias 1 e 2, do que resulta que $v_1^* = b_2/(b_1 + b_2)$. Trata-se, então, de saber se estas combinações de estratégias são evolucionárias estáveis. Tem-se:

$$U(e; 1) = \begin{bmatrix} p - a - b_1n \\ p - a \end{bmatrix}$$

$$U(e; 0) = \begin{bmatrix} p - a \\ p - a - b_2n \end{bmatrix}$$

⁹ Mista não significa aqui que cada unidade de decisão opta com determinadas probabilidades pelas duas estratégias disponíveis; significa, isto sim, que cada uma delas opta por uma única estratégia, mas ambas podem coexistir, participando do mercado numa proporção determinada.

$$U\left(\bullet; \frac{b_2}{b_1 + b_2}\right) = \begin{bmatrix} p - a - n \frac{b_1 b_2}{b_1 + b_2} \\ p - a - n \frac{b_1 b_2}{b_1 + b_2} \end{bmatrix}$$

Se os retornos são crescentes, para analisar a situação pode-se supor que $b_1 < 0$ e $b_2 < 0$. Neste caso, o valor da primeira linha da matriz $U(\bullet; 1)$ é maior do que o valor da segunda e, em consequência, $(s_1; 1)$ é um ESS. Ademais, o valor da segunda linha da matriz $U(\bullet; 0)$ é também maior do que o valor da primeira, de tal modo que $(s_2; 0)$ é também um ESS. Como os valores das linhas da terceira matriz considerada, iguais entre si, são menores do que os valores respectivos das linhas de $U(\bullet; 1)$ e $U(\bullet; 0)$, então o equilíbrio de estratégia mista não é um ESS. De igual modo, no caso de rendimentos decrescentes, pode-se mostrar que $U(\bullet; 1)$ e $U(\bullet; 0)$ não são ESS, mas que isto ocorre com o equilíbrio de estratégia mista.

4 DINAMISMO DO LADO DA OFERTA

Há duas fontes possíveis de dinamismo na situação acima retratada: uma delas no lado da oferta e a outra no lado da demanda. Supondo que os preços dos dois produtos concorrentes são iguais ($p_1 = p_2 = p$) e que os consumidores sejam indiferentes entre 1 e 2, admite-se aqui, inicialmente, que a fonte de dinamismo se encontra apenas na concorrência entre as próprias firmas. São, pois, as decisões de produção que comandam o andamento do mercado. Em função dos lucros esperados, as quantidades ofertadas por meio das tecnologias 1 e 2 pode ir se modificando. Os consumidores simplesmente adquirem aquilo que está no mercado. Neste caso, a evolução temporal do mercado é fornecida pelo replicador dinâmico, sem mais complicações.

Para encontrar a especificação do processo dinâmico, admite-se que a demanda de mercado tem a seguinte forma:

$$p = \alpha + \beta n, \text{ em que } \alpha > 0 \text{ e } \beta < 0$$

Logo, simplificando a notação, tem-se:

$$U(s_1) = \alpha + \beta n - a - b_1 n v_1^t$$

$$U(s_2) = \alpha + \beta n - a - b_2 n + b_2 n v_1^t$$

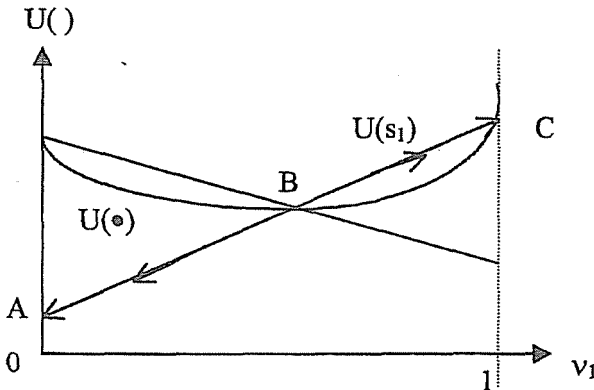
Ademais:

$$\bar{U}(\bullet) = (\alpha + \beta n - a - b_2 n) + 2b_2 n v_1^t - (b_1 + b_2)n(v_1^t)^2$$

A dinâmica do modelo pode ser analisada agora no Gráfico 2, no qual se traçam as curvas do lucro unitário associado à estratégia 1, $U(s_1)$, e do lucro unitário médio das duas estratégias, $U(\bullet)$. Para fazê-lo, supõe-se primeiro que os retornos são crescentes para ambas as tecnologias, ainda que diferentes entre si ($b_1 < b_2$ - o custo unitário de 1 cai mais do que o custo unitário de 2, conforme as vendas crescem). Pode-se admitir, adicionalmente, que todas as duas sub-populações de firmas participam do mercado no início do processo e que, neste princípio, a presença relativa de cada uma delas no mercado resulta de uma seqüência de compras que depende de uma combinação de pequenas causas. Apenas quando n for igual a um certo $n^* + 1$ é que a lucratividade relativa passa a afetar a composição da oferta, segundo as duas tecnologias.

Gráfico 2

RENDIMENTOS CRESCENTES



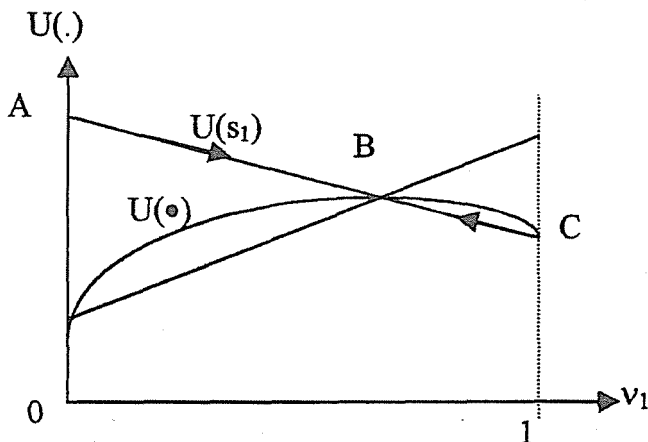
A última suposição implica que o ponto de início da substituição de tecnologia pode estar à esquerda ou à direita de B, no Gráfico 2. À esquerda de B tem-se que $U(s_1) < U(\bullet)$, o que implica que v_1 deve decrescer, de tal modo que a economia tende para o ponto A. À direita de B, ao contrário, tem-se que $U(s_1) > U(\bullet)$, o que implica que v_1 deve crescer, de tal modo que a economia tende para o ponto C. Logo, B nunca seria um atrator ou um equilíbrio estável.

Este resultado parece coincidir com as conclusões usuais da teoria neoclássica. Note-se, em primeiro lugar, porém, que aqui se supõe que a economia tende para o equilíbrio por meio de um processo dinâmico “real” e não “virtual”. Em consequência, como ela, nesta perspectiva, viaja no tempo, não se pode raciocinar por estática comparativa. É certo, ademais, que dentro das hipóteses adotadas, se os rendimentos são crescentes, apenas uma tecnologia virá eventualmente a dominar no mercado. Nesta situação há, pois, dependência de caminho. A tecnologia dominante, entretanto, não será necessariamente aquela mais eficiente no longo prazo, do ponto de vista econômico. A tecnologia 2, inferior economicamente, pode ganhar uma vantagem inicial (aleatória) e, assim, vir a preponderar; eis que o auto-encerramento depende da situação inicial em que começa o processo de replicação.

Esta situação pode ser comparada com aquela em que os rendimentos são decrescentes. Para traçar o Gráfico 3, supõe-se que $b_1 > 0$, $b_2 > 0$ e $b_1 < b_2$ (o custo unitário de 1 sobe menos do que o custo unitário de 2, conforme as vendas crescem, de tal modo que a primeira tecnologia é ainda a mais eficiente). Agora, B é um atrator estável e as tecnologias tendem a dividir o mercado. A semelhança com os resultados da teoria neoclássica são também evidentes, já que o processo tende a empregar as opções tecnológicas respeitando a eficiência econômica. A divisão do mercado entre elas, neste caso como no caso anterior, depende dos parâmetros das funções de custos unitários.

Gráfico 3

RENDIMENTOS DECRESCENTES



5 DINAMISMO DO LADO DA DEMANDA

Estes resultados foram obtidos sob a suposição de que a demanda é determinada exogenamente, a qual vem a ser, como se sabe, uma outra hipótese mantida da teoria neoclássica (Bowles, 1998). Assim, não se assumiu que ela tem um dinamismo próprio capaz de influenciar o andamento do mercado. Diferentemente, supôs-se que os consumidores eram indiferentes, em cada momento, entre adquirir o produto 1 ou o 2 e que as suas preferências não se alteravam ao longo do tempo. Ora, isto equivale a dizer que a história dos acontecimentos no mercado não influi na evolução da demanda, quando a experiência parece mostrar que isto nem sempre é verdadeiro.

Ora, essa suposição também pode ser modificada, admitindo-se que as preferências são mutáveis e que são influenciadas por fatores associados ao próprio desenvolvimento do mercado. Nesse sentido, vai-se supor aqui que as escolhas feitas num certo momento por um consumidor qualquer dependem das escolhas feitas no passado, pelo conjunto dos consumidores que foram até então ao mercado. Dito de outro modo, assume-se que as preferências dependem das características dos indivíduos, de suas experiências na sociedade, das informações obtidas no meio social e cultural, do processo de aprendizagem, ou seja, de um conjunto de fatores que as tornam dependentes de um processo de formação (ou de um caminho)¹⁰. Em particular, elas dependem das estratégias de propaganda e de diferenciação de produto das firmas.

Há uma população heterogênea de consumidores, cada um dos quais obtém satisfação seja por meio de 1 ou de 2, mas isto depende de certo modo da participação de cada um destes produtos no mercado. Vai-se admitir aqui que o comportamento agregado dessa população pode ser sintetizado nas probabilidades, π e $1 - \pi$, de que os produtos 1 e 2 venham a ser adquiridos, no momento t -ésimo mais um, por um consumidor qualquer. Aqui se quer considerar, pois, que π é uma função da fração de mercado obtida pelo produto 1 no momento t -ésimo e, para tanto, escreve-se $\pi(v_1^t)$. Tem-se, então:

$$n_1^{t+1} = n_1^t + \delta(v_1^t)$$

em que:

$$\delta(v_1^t) = \begin{cases} 1 & \text{com probabilidade } \pi(v_1^t) \\ 0 & \text{com probabilidade } [1 - \pi(v_1^t)] \end{cases}$$

¹⁰ Uma exposição mais ampla dos microfundamentos aqui considerados encontra-se em Rizzello (1997).

Para modelar a dinâmica da aquisição de produtos – e da adoção de tecnologias – por parte dos consumidores, empregar-se-á o processo de Polya generalizado¹¹, o qual torna a seqüência das escolhas dependente da “história” do processo. A vantagem deste processo estocástico é que ele permite considerar diversas hipóteses alternativas sobre o evoluir do processo de sobrevivência de tecnologia. Dividindo a expressão acima por $n^t + 1$ tem-se:

$$v_1^{t+1} = v_1^t + \frac{1}{n^t + 1} [\delta(v_1^t) - v_1^t]$$

Definindo, agora, convenientemente, uma nova variável aleatória que envolve δ e π , pode-se transformar a expressão acima, de tal modo a decompô-la numa parte determinista e numa parte aleatória.

$$\text{Se } \mu(v_1^t) = \delta(v_1^t) - \pi(v_1^t)$$

onde: $E[\mu(v_1^t)] = 0$

tem-se que:

$$v_1^{t+1} = v_1^t + \frac{1}{n^t + 1} [\pi(v_1^t) - v_1^t] + \frac{1}{n + 1} \mu(v_1^t)$$



É fácil ver, agora, que os dois primeiros termos do lado direito da expressão mostram a tendência do processo e o terceiro deles responde pelo seu comportamento randômico na margem¹². Empregando o operador esperança, tem-se:

$$E\left(\frac{v_1^{t+1}}{v_1^t}\right) = v_1^t + \frac{1}{n^t + 1} [\pi(v_1^t) - v_1^t]$$

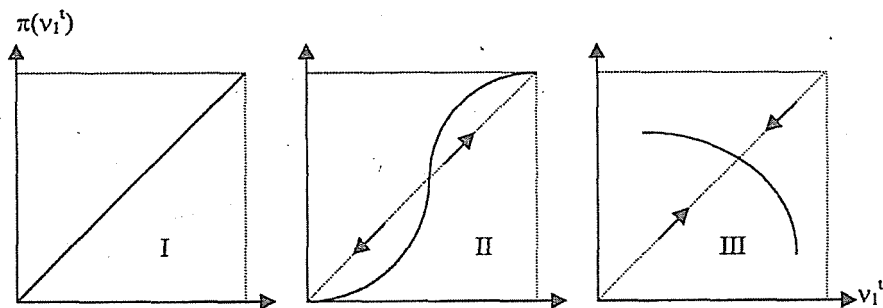
Tudo depende nesta última expressão da relação entre a história da divisão do mercado, dada por v_1^t , e a probabilidade de seu andamento no futuro dada esta história, ou seja, de $\pi(v_1^t)$. O Gráfico 4 apresenta três possibilidades, as quais permitirão, logo mais, fazer um confronto entre a dinâmica que vem da oferta com a dinâmica que vem da demanda.

11 Esta generalização, denominada também de processo de Polya não-linear, é uma idéia original de Arthur, cujo desenvolvimento recebeu contribuições de Ermoliev e Kaniovski (Arthur, Ermoliev, Kaniovski, 1994).

12 Aqui, como lembra Arthur, acaso e necessidade interagem (Arthur, 1994, p. 8).

Gráfico 4

CASOS DO PROCESSO DE POLYA GENERALIZADO



Em I, tem-se a situação em que a esperança da participação de 1 no mercado em $t + 1$ é igual ao valor desta participação em t (pois, o segundo termo do lado direito da expressão acima é, neste caso, nulo). É possível mostrar que, assim, o processo de Polya tende para um valor qualquer entre 0 e 1, segundo uma distribuição uniforme¹³. Se este tipo de dinâmica de demanda ocorre quando há, do lado da oferta, rendimentos crescentes, o processo de mercado pode chegar a um resultado diferente da solução de canto. Se a dinâmica do lado da oferta operasse sem constrangimentos, é isto o que ocorreria; como ela opera constrangida é provável que as tecnologias venham repartir o mercado numa certa proporção. Isto é também o que ocorreria se o dinamismo do lado da demanda, sob as influências dos consumidores uns sobre os outros, assim como dos produtores sobre os consumidores, viesse a se comportar do modo como está em III.

Já em II, descreve-se uma situação em que o processo de adoção de tecnologia tem um ponto fixo, não de canto, não-estável. Quando $v_1^t > \pi(v_1^t)$, o processo tende à origem e v_1^t tende a 0; quando, por outro lado, $v_1^t < \pi(v_1^t)$, o processo tende ao vértice superior em que $v_1^t = 1$. Ora, se este tipo de dinâmica do lado da demanda ocorre quando, do lado da oferta, as tecnologias apresentam rendimentos decrescentes, então o mercado tenderá a se aproximar de uma solução de canto. Nesta situação, o dinamismo do lado da demanda restringe o dinamismo do lado da oferta, de tal modo que uma situação em que uma tecnologia exclui a outra pode agora ocorrer. É evidente que a solução do mercado não pode ser dita eficiente em geral, também nesta situação.

¹³ Arthur, Ermoliev, Kaniovski (1994) provaram que o processo de Polya generalizado sempre converge para um ponto fixo.

5 CONCLUSÃO

Quando se enxerga todos os resultados apresentados em conjunto, emerge uma visão do mercado bem distinta da fornecida pela teoria neoclássica¹⁴, ainda que esta possa figurar como um seu caso particular. Ao invés da solução de mercado depender de um mero ajustamento entre oferta e demanda, agora, ela depende do conflito entre essas duas **forças**, ou seja, do confronto entre o dinamismo do lado da oferta e o dinamismo do lado da demanda, os quais podem, como foi visto, obedecer a lógicas distintas. Neste processo, em que há dependência de caminho, auto-encerramento, rendimentos crescentes, efeito acaso, o elemento estocástico tem necessariamente o seu lugar. O mercado parece menos uma máquina bem lubrificada do que um processo incerto de auto-organização. Não se pode dizer, *a priori*, independentemente de uma análise dos dados históricos, se ele é eficiente, se tende para um equilíbrio estacionário e, sobretudo, se os seus processos são ergódicos.

Esta visão do mercado mostra também por que os agentes econômicos, sejam eles firmas, associações de consumidores, judiciário ou governo estão sempre procurando nele intervir, para contrariar o seu livre funcionamento. Se esta intervenção pode vir a ser danosa da perspectiva da eficiência, o comportamento espontâneo do mercado também pode sê-lo. Em particular, o modelo apresentado sugere uma razão pela qual as empresas estão muitas vezes tentando planejar a sua própria demanda, tentando controlar os consumidores por meio da propaganda e da diferenciação de produtos¹⁵. Esta visão, entretanto, não autoriza a opinião segundo a qual o processo econômico pode ser gerenciado globalmente por meio do planejamento centralizado. Ao contrário, sem adotar as implicações políticas, ela é consistente com a idéia de que a competição mercantil em geral é um processo de descoberta que ocorre dispersa e heterogeneamente (Hayek, 1978). Pois, como se sabe, a alocação de recursos pode envolver, também, justiça social.

14 Esta visão, que pode ser chamada de neo-institucionalista, difere não apenas da visão neoclássica, mas também da visão mantida pela nova economia institucional, de Williamson por exemplo (Groenewegen, Vromen, 1997).

15 A propaganda de preços parece ser preferida nos setores da economia que apresentam rendimentos decrescentes e a propaganda de marca, que parece vir sempre acompanhada do esforço de diferenciação de produto, é mais empregada nos setores que apresentam rendimentos crescentes.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIDA, P. *Social differentiation and economic theory*. Rio de Janeiro: PUC/RJ, out. 1983. (Texto para discussão, 58).
- ARTHUR, B. W. *Increasing return and path dependence in the economy*. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1994.
- ARTHUR, W. B., ERMOLIEV, Y. M., KANIOVSKI, Y. M. Path-dependence processes and the emergence of macrostructure. In: *Increasing returns...*, 1994. p. 33-48.
- BOWLES, S., Endogenous preferences: the cultural consequences of markets and economic institutions. *Journal of Economic Literature*, v. 36, p. 75-111, mar. 1998.
- COVENEY, P., HIGHFIELD, R. *Frontiers of complexity – the search for order in a chaotic world*. EUA: Fawcett, 1995.
- HAYEK, F. A. Competition as a discovery procedure. In: *New studies in philosophy, politics and economics and history of ideas*. Londres: Routledge & Kegan Paul, 1978.
- KREPS, D. M. *A course in microeconomic theory*. Princeton: Princeton University Press, 1990.
- LEYDESDORFF, L., BESSELAAR, P. V. D. *Evolutionary economics and chaos theory*. New York: St. Martin Press, 1994.
- LUHMANN, N. *Social system*. Stanford: Stanford University Press, 1995.
- GROENEWEGEN, J., VROMEN, J. Theory of the firm revisited: new and neo-institutional perspectives. In: MAGNUSON, L., OTTOSON, J. *Evolutionary economics and path dependence*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 1997. p. 33-55.
- MARSHALL, A. *Princípios de Economia – tratado introdutório*. São Paulo: Abril Cultural, 1982. v. 1.
- MAYNARD SMITH, J. *Evolution and the theory of games*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- PRADO, E. F. S. *Economia como ciência*. São Paulo: IPE/USP, 1991.
- RIZZELLO, S. The microfoundations of path dependency. In: MAGNUSON, L., OTTOSON, J. *Evolutionary economics and path dependence*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 1997. p. 98-118.

- SAMUELSON, L. *Evolutionary games and equilibrium selection*. Cambridge: The MIT Press, 1997.
- VEGA-REDONDO, F. *Evolution, games, and economic behaviour*. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- WALDROP, M. M. *Complexity – the emerging science at the edge of order and chaos*. New York: Touchstone, 1992.
- WEIBULL, J. W. *Evolutionary game theory*. Cambridge: The MIT Press, 1997.
- YOUNG, H. P. *Individual strategy and social structure – an evolutionary theory of institutions*. Princeton: Princeton University Press, 1998.

