

IMPACTO DO APRENDIZADO, NOVAS TECNOLOGIAS E CUSTOS DE AJUSTAMENTO NO CRESCIMENTO ECONÔMICO E EM GANHOS DE PRODUTIVIDADE¹

Bruno de Oliveira Cruz²

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da produtividade total de fatores no Brasil sofre uma desaceleração principalmente após 1980 (Mation, 2014). Um dos fatores apontados para esse resultado da economia brasileira reside na taxa de investimento.

Diversos autores argumentam que para se elevar a taxa de crescimento da economia de longo prazo seria necessário ampliar o investimento e, em especial, a aquisição de máquinas e equipamentos.

Em geral, os argumentos em favor de uma maior acumulação de capital concentram-se fortemente na necessidade de aumento do estoque de capital. Contudo, há que se lembrar que, pelo menos desde Solow (1960), alguns economistas têm destacado o papel importante do investimento e da aquisição de novas máquinas no acesso a novas tecnologias. Em outras palavras, máquinas e equipamentos não são homogêneos e incorporam novas tecnologias, e a cada período se tornam mais eficientes, com maior produção ou menor necessidade de uso de insumo para produzir. Portanto, argumenta-se aqui que o investimento é importante não apenas para ampliar o estoque de capital, como também para ampliar o acesso a novas tecnologias e consequentemente aumentar a produtividade da economia.

Essa hipótese de progresso tecnológico incorporado explica quase dois terços do crescimento da economia americana no pós-guerra (Greenwood, Hercowitz e Krussel, 1997). Hercowitz (1998) chega a afirmar que a hipótese de progresso tecnológico incorporado é o principal mecanismo de transmissão do progresso tecnológico para o crescimento econômico.

No caso brasileiro, Kupfer (2019) afirma que as firmas brasileiras, em especial as do setor industrial, têm mantido uma estratégia de curto prazo de redução de custos e não ampliação da produção, com efeitos negativos sobre o perfil de idade e tecnologia de máquinas e equipamentos. Ou seja, o autor argumenta que o investimento e a aquisição de novos equipamentos têm sido

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/brua25art2>

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea.

adiados, o que resulta em maior defasagem tecnológica e menor capacidade de crescimento da produtividade das firmas brasileiras, com consequente perda de competitividade.

Negri e Cavalcante (2014) apontam que o baixo dinamismo da produtividade do Brasil está ligado, entre outros fatores, a baixa taxa de investimento. De fato, há evidências de impacto positivo do investimento tanto na produtividade como na atividade de inovação medida pela pesquisa de inovação tecnológica (Pintec) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Alves, Gomes e Cavalcante, 2014).³

Esse mecanismo de transmissão do investimento para a produtividade, em nível de firma, pode não ser imediato devido aos custos de aprendizado com as novas tecnologias e a adaptação da linha de montagem para atingir o potencial máximo de produção da nova tecnologia. Esse processo tem sido longamente enfatizado na literatura econômica, no chamado *learning by doing* (aprender fazendo).

Existem diversas evidências para esse processo gradual de ganho de produtividade, Bahk e Gort (1993) estimam esses impactos para diversos setores da economia americana, mostrando a relevância do processo de aprendizado para os ganhos de produtividade. Os autores citam estudos clássicos como Wright (1936), sobre a indústria aeronáutica americana; Montgomery (1943), sobre a indústria naval; e Alchian (1963), com foco também na aeronáutica.

No Brasil, a ideia de curva de aprendizado foi estudada largamente. Um exemplo simples desse tipo de processo é a indústria naval. A Petrobras, em suas demandas para plataformas e navios impôs uma curva de aprendizado de modo que as firmas pudessem se ajustar aos modelos de produção mais avançados ao longo do tempo, incorporando esses ganhos vindos da aprendizagem e melhoria contínua da linha de produção.

Messa (2015), ao analisar a relação entre elevados episódios de investimento em nível da firma no Brasil, encontra evidência de uma lenta transmissão do aumento de estoque de capital para ganhos de produtividades. Para o autor esse resultado indicaria a presença de curvas de aprendizados nas firmas industriais brasileiras. Interpretações alternativas, segundo ele, afirmam que poderia haver sobreinvestimento, ou seja, investimento acima do mínimo necessário. Assim, firmas incumbentes criariam uma barreira à entrada de novas firmas naquela indústria.

Este trabalho pretende aplicar um modelo desenvolvido por Cruz (2005), que incorpora algumas dessas características descritas: tecnologia incorporada em novas máquinas e aprendizado para tentar avaliar a combinação de baixo crescimento da produtividade e níveis reduzidos de investimento.⁴

Ainda que diversos fatores conjunturais possam explicar a deficiência crônica de crescimento da economia na recuperação da recessão de 2014-2016 ou mesmo na crise da pandemia, neste artigo simula-se o papel do aprendizado e a adoção de novas tecnologias na taxa de crescimento da economia, visando também analisar perspectivas de longo prazo. Pode-se supor que, por diversos motivos, a curva de aprendizado em vários setores da economia brasileira tem se tornado menos inclinada, como no caso da indústria naval, com menor demanda sobre o setor. O aprendizado e a adoção de novas tecnologias, além da recuperação do investimento, são parte essencial do debate sobre a recuperação da taxa de crescimento da produtividade brasileira.

3. Cruz (2020) discute de forma mais direta a relação entre investimento e progresso técnico incorporado em novas máquinas.

4. Modelos de crescimento com introdução de adoção de tecnologias e aprendizado são bastante comuns. Ver, por exemplo, Parente (1994).

2 SIMULANDO EFEITOS DOS CUSTOS DE ADOÇÃO EM MODELOS COM TECNOLOGIAS INCORPORADAS EM NOVAS MÁQUINAS

Solow (1960) foi um dos primeiros economistas a desenvolver modelo de crescimento econômico incluindo tecnologias incorporadas em novas máquinas. Denison (1964) e, pouco mais tarde, Jorgenson (1966) desafiam a chamada hipótese de progresso tecnológico incorporado como sem efeito no longo prazo.

Numa discussão mais recente com Jorgenson (1966), Hercowitz (1998) e Greenwood, Hercowitz e Krussel (1997) mostram que há dois fatos importantes que só conseguem ser explicados por modelos de tecnologia incorporada em novas máquinas: queda no preço relativo do capital controlando pela qualidade do capital; e aumento da participação real de máquinas e equipamentos na taxa de investimento.

Assim, essas evidências empíricas e novos avanços teóricos fazem com que a hipótese de tecnologia incorporada seja novamente colocada no centro do debate. Autores como Greenwood, Hercowitz e Krussel (1997) consideram essas características, com isso a tecnologia incorporada em novas máquinas consegue explicar dois terços do crescimento da produtividade nos Estados Unidos. Para o Brasil, é possível encontrar evidências de queda no preço relativo do capital. Uma estimativa para a economia brasileira seria uma queda de 2,5% ao ano no preço relativo do capital em função da incorporação de tecnologia em novas máquinas (Cruz, 2020).

A literatura sobre esse tópico no Brasil parece ser escassa. Raros são os trabalhos sobre a contribuição do progresso incorporado para o crescimento econômico do país, em especial, quando se debate a estagnação da produtividade da economia e ao mesmo tempo a redução da taxa dos investimentos.

Messa (2015) mostra o impacto de picos de investimento na produtividade de firmas no Brasil, onde os picos de investimento não são importantes para os ganhos de produtividade das firmas, o que aparentemente seria contraditório com a expansão e melhoria do parque tecnológico.

O resultado encontrado pelo autor, que os ganhos de produtividade não são imediatos, também é um achado bastante comum na literatura. Uma explicação para esse fenômeno é o chamado processo de aprendizado e difusão. Quando uma nova tecnologia está disponível, as firmas não conhecem todo o seu potencial e precisam aprender para atingir o potencial máximo dessa tecnologia. Essa nova tecnologia, por sua vez, precisa também ficar conhecida para as demais firmas, num processo de difusão tecnológica. Esse processo, muito destacado por neoschumpeterianos, tem longa tradição na economia e tem sido utilizado em modelos de crescimento com *learning by doing* pelo menos desde Arrow (1961).

Utilizando uma curva de aprendizado para novas tecnologias, Cruz (2005) constrói um modelo de crescimento endógeno que engloba os aspectos de tecnologia incorporada em novas máquinas, aprendizado e difusão. Basicamente, aplica-se um modelo *AK*, como o termo de produtividade *A* dado pela seguinte função:

$$Y = AK$$
$$A = 1 - qe^{-\lambda t} \tag{1}$$

Em que a variável q = taxa de progresso relativa incorporado; e λ = taxa de aprendizado e difusão da nova tecnologia.

A proposição é que o nível máximo da tecnologia, isto é, a fronteira tecnológica, está normalizada e é igual a um. Ao longo do tempo, a diferença entre o nível atual de produtividade da economia e as melhores práticas (fronteira tecnológica) vai se reduzindo pelo aprendizado e pela difusão de boas práticas. No entanto, quanto maior a complexidade da tecnologia, maior a perda de produção, ou seja, maior o “montante a ser aprendido”.

Essa complexidade de redesenho da linha de montagem, ou treinamento de mão de obra, pode explicar a demora em se conseguir notar os ganhos de produtividade. A hipótese por trás do modelo é que quanto mais distante da fronteira tecnológica mais simples seria para uma economia ter ganhos de aprendizado e incorporar novas tecnologias. A partir de um modelo desse tipo, é possível entender o impacto de adoção de novas tecnologias na defasagem dos ganhos explícitos de produtividade. Assim, a proposta do tipo de políticas de conversão na indústria 4.0 ou de adoção de novas tecnologias podem apresentar uma certa defasagem no impacto sobre a produtividade e desempenho das empresas.

Cruz (2005) mostra que, a depender da combinação de parâmetros, após a adoção de uma nova tecnologia, é possível haver uma redução no ritmo de crescimento do consumo e do estoque de capital e, em alguns casos, até queda de produtividade. Basicamente, o aprendizado sobre a nova tecnologia e o ajuste de linhas de produção fazem com que a firma não consiga imediatamente ter o retorno máximo possível dessa nova tecnologia. Desse modo, a firma precisa recorrer a gastos com treinamento da mão de obra para se adaptar e aprender a nova tecnologia. Há diversas evidências empíricas sobre esse aprendizado.⁵

Nesse modelo com aprendizagem e difusão de novas tecnologias, a taxa de crescimento da economia seria definida por três parcelas: uma taxa de crescimento da economia a longo prazo; os ganhos com aprendizagem; e o custo associado à implantação da nova tecnologia, ou seja, o total que seria necessário aprender para se atingir a fronteira tecnológica. Em termos formais:

$$\gamma_y = \gamma_A + \gamma_k = q - \delta - \rho + \frac{\lambda q e^{-\lambda t}}{A} - q^2 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Em que γ_i é a taxa de crescimento da variável i ; e q é a variável que mede o grau de complexidade ou nível de tecnologia incorporada em novas máquinas.

Simulando dados para duas economias:

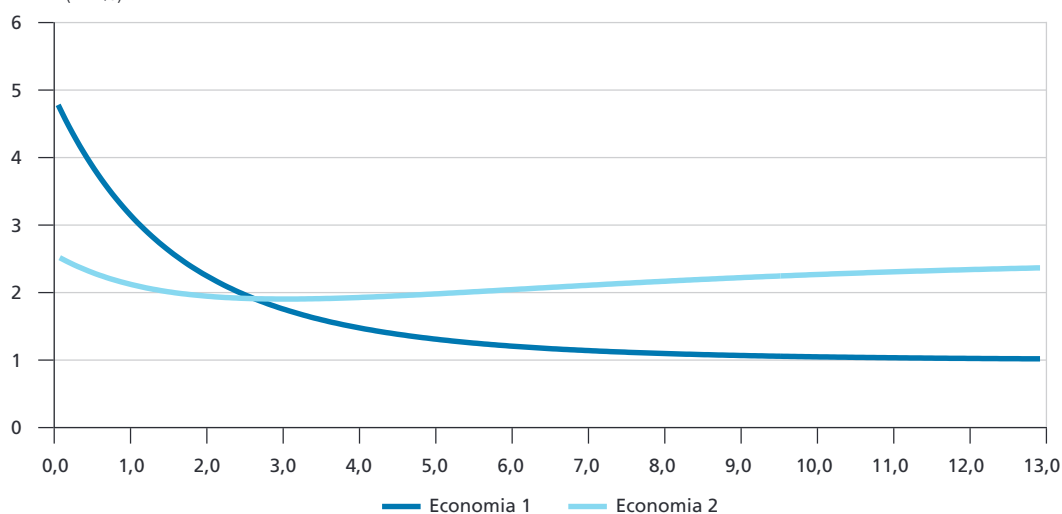
- a primeira (economia 1) tem crescimento de longo prazo em 1% e taxa de aprendizado de 0,3, supondo $\rho = 0,1$ e $\delta = 0,15$, com uma tecnologia menos complexa $q = 0,26$. A taxa de aprendizado em $\lambda = 0,3$ tem uma interpretação bastante simples, significa que a economia demoraria aproximadamente onze anos para conseguir atingir 99% do potencial de uso da tecnologia incorporada; e
- a segunda (economia 2) tem uma tecnologia mais complexa, mas uma taxa de aprendizado menor, $q = 0,275$ e $\lambda = 0,2$. Nesse caso, essa economia demoraria pelo menos dezesseis anos para conseguir atingir o potencial de 99% de conhecimento da tecnologia.

5. Bahk e Gort (1993) citam estudos clássicos como Wright (1936) sobre a indústria aeronáutica americana, Montgomery (1943) para indústria naval, Alchian (1963), com foco também na aeronáutica. No Brasil, a ideia de curva de aprendizado é largamente utilizada, um exemplo simples foi a indústria naval no Brasil, onde se impôs uma curva de aprendizado de modo a que as firmas pudessem se ajustar aos modelos de produção mais avançados ao longo do tempo, incorporando esses ganhos vindos da aprendizagem e melhoria contínua da linha de produção.

A taxa de crescimento de longo prazo da economia 2 é mais elevada, 1,5%, uma vez que tem uma tecnologia mais complexa. Contudo, essa economia demora mais tempo para aprender sobre o potencial de uso da tecnologia. Em resumo, a economia 1 tem uma taxa de aprendizado maior, mas uma tecnologia menos complexa e um crescimento de longo prazo menor. A economia 2 tem taxa de difusão e aprendizado relativamente menor, mas uma tecnologia mais complexa e, portanto, uma taxa de crescimento de longo prazo mais elevado. Porém, a transição para essa taxa de longo prazo é mais demorada em comparação com a economia 1.

GRÁFICO 1

Economia com tecnologia menos complexa e elevada taxa de aprendizado/difusão versus economia com tecnologia mais complexa e baixa taxa de aprendizado/difusão¹
(Em %)



Fonte: Cruz (2005).
Elaboração do autor.
Nota: ¹ Dados simulados.

Claramente, são duas forças que explicam a taxa de crescimento das economias na transição para o longo prazo: o nível de complexidade da tecnologia e o grau de difusão/aprendizado. Na simulação realizada, a economia 2 adota uma tecnologia mais complexa, que gera uma taxa de crescimento de longo prazo maior, mas necessita de uma alocação de recursos maior para aprender como aproveitar totalmente a tecnologia mais complexa que foi adotada. Essa taxa de aprendizado e difusão na economia 2 é menor que na economia 1. São essas duas forças que afetam a dinâmica das duas economias.

Observa-se no gráfico 1 que a taxa de crescimento da economia 1 é negativa nos primeiros anos. Apenas após cinco períodos, a economia aprende e incorpora os ganhos de produtividade da adoção da nova tecnologia. No longo prazo, a economia 1 cresce mais que a economia 2, pelo maior nível de complexidade da tecnologia adotada. Mas nos períodos iniciais da dinâmica de transição, a economia 2 cresce mais que a economia 1. Somente após doze períodos, a economia 1 tem taxa de crescimento mais elevada que a economia 2.

Esse exercício simples deixa algumas lições para o estudo de produtividade e a ligação entre investimento em máquinas e equipamentos: o aprendizado e a difusão importam após adoção das novas tecnologias. Um estudo mais detido sobre esse mecanismo para as firmas brasileiras pode auxiliar sobremaneira a atuação dos gestores de política pública e melhorar a eficiência das intervenções propostas. Por exemplo, propostas da indústria 4.0,

ou de digitalização e internet das coisas, talvez necessitem de um tempo de adaptação na firma para que se atinja o potencial pleno da tecnologia. Da mesma forma, quanto mais complexa a tecnologia, maior o aprendizado necessário para se chegar à fronteira tecnológica das melhores práticas.

Uma das possíveis extensões deste trabalho seria estudar exatamente o impacto de adoção de novas tecnologias pelas firmas e o processo de aprendizado. Certamente, essa discussão sobre a inclusão do processo de difusão tecnológica, aprendizado sobre a tecnologia e progresso incorporado tem impacto relevante sobre a discussão regional e o desenvolvimento das economias subnacionais. Pode-se pensar também que a difusão e o aprendizado tendem a se concentrar espacialmente. Portanto, compreender esses fenômenos no território torna-se uma questão premente para a discussão de políticas regionais.

REFERÊNCIAS

- ALCHIAN, A. Reliability of progress curves in airframe production. *Econometrica*, v. 31, n. 4, p. 679-693, 1963.
- ALVES, P.; GOMES, N.; CAVALCANTE, E. J. **Impacto do investimento em máquinas e equipamentos sobre a inovação tecnológica e a produtividade das firmas industriais brasileiras**. Brasília: Ipea, 2014. (Texto para Discussão, n. 1930).
- ARROW, K. J. **The economic implications of learning by doing**. Stanford: IMSSS, 1961. (Technical Report, n. 101).
- BAHK, B-H.; GORT, M. Decomposing learning by doing in new plants. *Journal of Political Economy*, v. 101, n. 4, p. 561-583, 1993.
- CRUZ, B. **Essays on investment and technological adoption**. 2005. Tese (Doutorado) – Université Catholique de Louvain, Louvain, 2005.
- _____. Uma análise em nível de firma do investimento industrial no Brasil com enfoque regional. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n. 24, 2020.
- DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Org.). **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. Brasília: ABDI; Ipea, 2014. 445 p. v. 2.
- DENISON, E. F. The unimportance of the embodied question. *The American Economic Review*, v. 54, n. 2, p. 90-94, 1964.
- GREENWOOD, J.; HERCOWITZ, Z.; KRUSELL, P. Long-run implications of investment specific technological change. *The American Economic Review*, v. 87, n. 3, p. 342-362, 1997.
- HERCOWITZ, Z. The embodiment controversy: a review essay. *Journal of Monetary Economics*, v. 41, n. 1, p. 217-224, 1998.
- JORGENSON, D. The embodiment hypothesis. *Journal of Political Economy*, v. 74, n. 1, p. 1-17, 1966.
- KUPFER, D. A doença industrial brasileira. *Valor Econômico*, v. 20, n. 4857, 2019.
- MATION, L. F. Comparações internacionais de produtividade e impactos do ambiente de negócios. In: NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Org.). **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. Brasília: ABDI; Ipea, 2014. cap. 6. v. 2.

MESSA, A. Impacto dos investimentos sobre a produtividade das firmas industriais brasileiras *In: DE NEGRI, F.; CAVALCANTI, L. (Org.). **Produtividade no Brasil**: desempenho e determinantes*. Brasília: Ipea, 2015. v. 2.

MONTGOMERY, F. J. Increased productivity in the construction of liberty vessels. **Monthly Labor Review**, v. 57, n. 5, p. 861-864, 1943.

PARENTE, S. L. Technology adoption, learning-by-doing, and economic growth. **Journal of Economic Theory**, v. 63, n. 2, p. 346-369, 1994.

SOLOW R. M. Investment and technical progress. *In: ARROW, K. J.; KARLIN, S.; SUPPES, P. **Mathematical methods in the social sciences***. Redwood City, California: Stanford University Press, p. 48-93, 1960.

WRIGHT, T. P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, n. 4, p. 122-1, 1936.