

EVOLUÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS: ELEMENTOS PARA UMA ANÁLISE HISTÓRICO-INSTITUCIONAL

Evolution of technical systems and development: elements for an historical institutional analysis

Victor Manoel Pelaez Alvarez

Resumo

O objetivo desta comunicação é de sistematizar e articular elementos de análise da economia, da sociologia e da história da tecnologia, que possam contribuir para a discussão das relações existentes entre o desenvolvimento sócio-econômico e a evolução da sua base técnica de produção, ou seja, dos sistemas técnicos que dão suporte material e imaterial às economias nacionais. Partindo da abordagem sistêmica da tecnologia, sob as perspectivas histórica e sócio-econômica, e da análise estruturalista do desenvolvimento, o artigo discute as principais funções dos sistemas técnicos, na geração e na difusão dos meios de produção, ressaltando a importância atribuída às instituições políticas para a compreensão da defasagem técnico-produtiva existente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Palavras-chave: Sistemas técnicos; Desenvolvimento; Ciência; Tecnologia.

Abstract

The aim of this treatise is to marshal and interconnect elements of analysis taken from the fields of economics, sociology and history of technology, which will enable a discussion of the relations between socioeconomic development and the evolution of its technical production base. These relations give material and immaterial support to national economies. Starting from a systemic approach of technology, the treatise discusses how technical systems work to generate and disseminate the means of production, highlighting the importance given to political institutions in understanding the technical-productive gap between developed and developing countries.

Keywords: *Technical systems; Development; Science; Technology.*

Introdução

A compreensão dos fatores determinantes do progresso técnico e de seus efeitos sobre a sociedade tornou-se um desafio teórico em várias abordagens disciplinares ligadas às ciências humanas (história, sociologia, antropologia, economia, filosofia, ciência política). A identificação da ciência e da tecnologia como duas fontes diferenciadas de saber cujas relações de interdependência evoluem ao longo da história, tem sido um elemento central nesse desafio teórico de compreender como o conhecimento é gerado, apropriado e difundido na sociedade. Um dos elementos de análise comum às diferentes abordagens disciplinares é a concepção sistêmica da tecnologia, reconhecida como o resultado de um conjunto de conhecimentos, de fatos e de artefatos complementares que interagem no sentido de viabilizar o controle sobre os recursos naturais. A forma como a natureza é analisada e utilizada reflete ao mesmo tempo a forma como a sociedade coordena os diferentes elementos do(s) sistema(s) em questão, por meio de organizações e instituições que refletem os valores ou os critérios de definição, de acumulação e de distribuição da riqueza.

No caso da ciência econômica, a visão sistêmica do progresso técnico está associada ao reconhecimento da inovação tecnológica como o fator fundamental do desenvolvimento das economias nacionais, nas quais as instituições de ensino, pesquisa, planejamento, financiamento, propriedade intelectual, entre outras, exercem um papel predominante. O desenvolvimento é assim entendido como um processo de mudanças estruturais que ocorrem em função do processo de acumulação e de distribuição do excedente, por meio da utilização dos sistemas técnicos de produção oriundos da combinação de saberes técnicos e científicos.

O objetivo desta comunicação é de sistematizar e articular elementos de análise da economia, da sociologia e da história da tecnologia, que possam contribuir para a discussão das relações existentes entre o desenvolvimento sócio-econômico e a evolução da sua base técnica de produção, ou seja, dos sistemas técnicos que dão suporte material e imaterial às economias nacionais. Para tanto, esta discussão divide-se em três partes. Na primeira são apresentadas as principais contribuições

conceituais sobre a visão sistêmica da tecnologia sob uma perspectiva histórica e sócio-econômica, evidenciando as relações existentes entre a infra-estrutura (física) da tecnologia e a super-estrutura (político-social) que a legitima. A segunda parte resgata os principais elementos de análise estrutural do desenvolvimento, propostos por Celso Furtado, no sentido de fundamentar teoricamente as defasagens técnico-produtivas que se estabelecem entre os países, a partir dos nexos explicativos entre o processo de acumulação de capital e de distribuição do excedente gerado pelas economias nacionais. A terceira parte discute as principais funções dos sistemas técnicos, na geração e na difusão dos meios de produção, ressaltando a importância atribuída às instituições políticas para a compreensão da defasagem técnico-produtiva existente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Sistemas técnicos

Partindo de seu trabalho seminal sobre a história da evolução das redes de energia elétrica nos EUAⁱ, Thomas Hughes (1989) define sistemas técnicos como um agregado complexo de componentes nos quais ele inclui artefatos materiais (equipamentos, infra-estrutura) e imateriais (legislação) envolvendo conhecimento científico e tecnológico. Os sistemas são também compostos por organizações, como empresas industriais e grupos financeiros, que contribuem para a criação e a articulação de todos esses elementos. Na medida em que relações entre os elementos do sistema são socialmente construídas, qualquer alteração em alguma dessas relações implica em mudanças em outros componentes do sistema e da própria sociedade que o utiliza. Já os atores que atuam na configuração dos artefatos e das relações entre eles (inventores, cientistas, engenheiros, administradores, operários) são também considerados componentes, mas não artefatos, na medida em que possuem certa liberdade de ação sobre o sistema. O papel fundamental que Hughes atribui a esses atores, além de suas funções básicas de invenção, desenvolvimento e operação do conjunto de artefatos, é o de garantir o *feedback* entre o desempenho do sistema e os seus objetivos, de forma a manter a sua coerência e a coesão das partes. Ao garantir a coerência e a coesão das partes torna-se possível identificar os limites do sistema em função dos limites de controle exercido pelos atores que o compõem.

Para Hughes (1989), a evolução dos sistemas técnicos pode ser identificada a partir de certos padrões associados à predominância de determinadas atividades em diferentes momentos históricos como a invenção, o desenvolvimento, a inovação (viabilidade comercial da tecnologia), a transferência dos sistemas para outras regiões ou países, além da expansão e a consolidação. Na medida em que um sistema técnico se expande ele tende a gerar uma série de problemas técnicos inesperados de reajuste de escala entre os seus artefatos. E a solução continuada desses problemas desencadeia trajetória(s) tecnológica(s) que refletem os interesses sócio-econômicos dos atores envolvidos, seja na preservação de seu *status-quo*, seja na irreversibilidade dos custos fixos envolvidos. Nessas condições os sistemas técnicos tendem a consolidar-se *vis-à-vis* as alternativas tecnológicas que surgem e coexistem com o modelo adotado.

Segundo Karl Weber (2002) o grande desafio teórico-metodológico na abordagem analítica de sistemas técnicos é o seu caráter dinâmico, cujos padrões de interação entre os seus componentes tendem a mudar ao longo tempo, alterando tanto a sua estrutura interna quanto as suas fronteiras externas. Nesses casos ocorrem desde reconfigurações internas, quanto decomposições e/ou integrações de elementos exógenos ao sistema. Mudanças essas que dependerão das especificidades empíricas de cada caso estudado. É nesse sentido que Weber propõe um referencial de análise geral que leva em consideração a interação existente entre a micro-perspectiva dos atores e de suas interações e a macro-perspectiva das transformações estruturais. As estruturas sendo classificadas em quatro níveis fundamentais: as econômicas, determinadas pelas estruturas de mercado; as políticas, determinadas pelos processos de negociação que resultam em estratégias de governo e medidas regulatórias; as informacionais que envolvem as atividades de geração, apropriação e difusão de tecnologias; e as técnicas que englobam a infra-estrutura física por meio da qual as novas tecnologias se difundem. Sendo o resultado de um processo histórico de mudança, essas estruturas evoluem como consequência das decisões tomadas pelos atores ao longo do tempo. E tais decisões de ordem técnica, econômica e política constituem-se enfim nos meios pelos quais as novas tecnologias são geradas e disseminadas entre os diferentes atores.

Desenvolvimento econômico

Partindo de uma corrente histórico-estruturalista do desenvolvimento econômico, Celso Furtado (2000) refere-se ao desenvolvimento como um processo de transformação das estruturas produtivas de um país no sentido de um aumento do fluxo da renda, o qual se expressa a partir da combinação de três variáveis-chave: a acumulação de capital; a expansão do mercado interno; e a inserção no mercado externo. Os modelos de desenvolvimento dos países dependerão fundamentalmente de como o excedente gerado é aplicado na reprodução das forças produtivas, podendo reduzir, ampliar ou preservar as desigualdades sociais. A distribuição desse fluxo de renda tem uma implicação direta na ampliação e na diversificação da base de consumo interno o que gera, por sua vez, oportunidades de expansão e de diversificação da base técnica de produção da sociedade. A inovação tecnológica assume assim um papel central nesse processo de reprodução das forças produtivas, na medida em que este permite estabelecer novas oportunidades produtivas determinadas fundamentalmente pelas expectativas de lucro do empresário.

A transformação da base técnica voltada a atender as expectativas de reprodução do capital, depende, por sua vez, das possibilidades de investimento do excedente gerado pela sociedade. O retorno desse investimento é condicionado pelo sistema de valores da sociedade, o qual legitima, em última instância, os sistemas de dominação social. As possibilidades técnicas de reprodução das forças produtivas estão assim diretamente ligadas às instituições (hábitos, valores, normas) capazes de garantir a difusão do progresso técnico no âmbito da sociedade. Essa difusão pode-se dar tanto ao nível nacional quanto internacional. Nesse último caso, a difusão da tecnologia vincula-se à transferência de padrões de consumo determinadas pelas sociedades com maior grau de industrialização a partir do modelo centro-periferia. A divisão internacional do trabalho estabelecida por esse modelo reflete duas dimensões de desigualdade: a desigualdade sincrônica que permite identificar a discrepância nos níveis de renda e nos padrões de consumo entre os países e as classes sociais de cada país; e a desigualdade diacrônica que reflete a transferência da defasagem das classes sociais e dos padrões de consumo dos países ao longo do tempo. Neste caso, o excedente imobilizado no presente, em função das expectativas dos atores, terá conseqüências futuras ao concluir-se o ciclo de reprodução do capital. Nesta dimensão temporal, privilegia-se sobretudo a

manutenção dos *status quo* das economias mais avançadas que preservam uma posição de vantagem nos termos de troca. Vantagem esta que é determinada sobretudo pela superioridade de sua base técnica, ou sistemas técnicos, de produção (Idem).

Considerações finais: ciência, tecnologia e política como vetores de desenvolvimento

A consolidação da ciência e da tecnologia como forças produtivas fundamentais ao desenvolvimento ocorreu com a Segunda Revolução Industrial (final do século XIX) na qual a interação dessas duas formas de conhecimento gerou importantes efeitos sinérgicos no processo de inovação tecnológica. A partir desse período, os países que se industrializaram foram capazes de implantar sistemas técnicos, notadamente nas áreas de comunicações, siderurgia, eletricidade, transportes e síntese química (SZMRECSÁNYI, 2000). Os produtos e serviços oriundos desses sistemas, ao serem disponibilizados em larga escala, permitiram reduzir custos operacionais, diversificar os padrões de consumo, além de elevar a produtividade do trabalho e intensificar a reprodução e a combinação dos capitais industrial, agrícola, comercial e financeiro.

Nas sociedades que se industrializaram nesse período, os padrões de desenvolvimento fundamentaram-se numa combinação mais ou menos equilibrada entre a acumulação de capital, a inserção no mercado externo via exportação de produtos industriais, e a expansão e diversificação do mercado interno. Nessas sociedades, ditas desenvolvidas, a acumulação de capital foi acompanhada pela criação e o aperfeiçoamento de instituições democráticas capazes de reduzir a concentração social do excedente. No bojo dessas transformações institucionais, os conflitos de interesse, baseados fundamentalmente na relação capital-trabalho, têm-se tornado mais complexos ao incorporarem novas variáveis de conflito, sobretudo no que tange ao uso sustentável dos recursos naturais e à participação mais direta dos cidadãos nas decisões de alocação e distribuição do excedente.

Nesse contexto sócio-político, os efeitos adversos da tecnologia passaram a ganhar espaço tanto na agenda política, quanto nas estratégias de inovação tecnológica adotadas pelas empresas, na busca de uma legitimação social para os novos valores de sustentabilidade ambiental. Face

a esses conflitos, que se expressam sobretudo em instituições regulamentadoras voltadas à análise e gestão do risco tecnológico, a ciência adquire um duplo papel. Por um lado, ela proporciona a base de conhecimento necessário ao controle e à manipulação mais eficaz dos recursos naturais. Por outro lado, a ciência torna-se o componente legitimador da tecnologia no sentido de desqualificar ou minimizar as incertezas inerentes aos efeitos adversos do progresso técnico. Isto ocorre na medida em que os governos, via seus organismos regulamentadores, utilizam-se da ciência como árbitro mediador de conflitos de interesses (apropriação x preservação ambiental), baseados na suposta neutralidade deste tipo de conhecimento (PELAEZ, 2004).

Nos países ditos desenvolvidos esse papel legitimador da ciência começa a ser questionado, na medida em que as instituições políticas tendem a evoluir de um modelo de democracia representativa para uma democracia participativa. No primeiro modelo ocorre uma dupla delegação de poderes, na qual o cidadão delega as decisões às autoridades públicas que, por sua vez, baseiam-se no saber determinado pelos especialistas. Estabelece-se aí uma polarização de papéis, entre o público leigo, desqualificado *a priori* da compreensão do formalismo acadêmico, e os especialistas que se auto-qualificam na sua posição de saber. Nesse modelo, a resistência dos consumidores a determinadas tecnologias é considerada como uma mera falta de informação do público leigo. Já na democracia participativa, o consumidor torna-se um cidadão capaz de participar do processo de tomada de decisão da alocação do excedente gerado pela sociedade. E é justamente na construção desse processo participativo que o leigo se qualifica e que a pretensa neutralidade da ciência e da técnica se revela como o resultado de saberes que podem ser construídos, não pelo consenso de uma minoria, mas a partir da diversidade de interesses (CALLON, 1993).

A evolução de sistemas técnicos reflete assim o resultado da interação entre uma dimensão produtiva, que constitui a base técnica de produção, e uma dimensão institucional, que incorpora os valores e os mecanismos pelos quais a sociedade é capaz de questionar ou de legitimar os modelos de desenvolvimento propostos ou impostos por uma minoria. Entender como a ciência e a tecnologia evoluem como forças produtivas, em suas dimensões sócio-econômicas, técnicas e políticas, torna-se um importante desafio teórico-metodológico nas ciências sociais, especialmente nos países ditos

em desenvolvimento, nos quais a defasagem do conhecimento científico e tecnológico acentua-se pela coexistência de um modelo ainda precário de democracia representativa. A nossa hipótese de trabalho é de que esse hiato político, entre modelos de democracia representativa e participativa, tende a acentuar ainda mais a desigualdade diacrônica entre os chamados países do centro e da periferia, na medida em que a inércia institucional determina em última instância o ritmo, a direção e as formas de apropriação e distribuição do progresso técnico de cada sociedade.

Notas

ⁱ HUGHES, Thomas. **Networks of power**. Baltimore: Johns Hopkins U.P., 1983.

Referências

CALLON, Michel. The increasing involvement of concerned groups in R&D policies: what lessons for public powers? In: GEUNA, A.; SALTER, A.; STEINMULLER, W. (eds.) **Science and innovation**. London: Edward Elgar, 2003. p. 30-68.

FURTADO, Celso. **Teoria e política do desenvolvimento econômico**. 10.ed. São Paulo: Paz e Terra, 2000.

HUGHES, Thomas. The evolution of large technological systems. In: BIJKER, Wiebe; HUGHES, Thomas; PINCH, Trevor. (eds.) **The social construction of technological systems**. Massachusetts: MIT Press, 1989. p. 51-82.

PELAEZ, Victor. Biopoder & regulação da tecnologia: o caráter normativo da análise de risco dos OGM. **Ambiente & Sociedade**, vol. VII, n. 2, jul.-dez. 2004. p. 145-158.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Esboços de História Econômica da Ciência e da Tecnologia. In: SOARES, Luiz Carlos. (org.) **Da revolução científica à big (business) science**. São Paulo: Hucitec/Eduff, 2000. p. 155-200.

WEBER, K. The political control of large socio-technical systems: new concepts and empirical applications from a multi-disciplinary perspective. In: SORENSEN, Knut.; WILLIAMS, Robin. (eds.) **Shaping technology, guiding policy: concepts, spaces & tools**. Massachusetts: Edward Elgar, 2002. p. 325-358.