

REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E SISTEMA CENTRO-PERIFERIA

Bruno Prado Prates¹

Resumo: O objetivo deste artigo é propor um diálogo entre as elaborações sobre revoluções tecnológicas e a abordagem centro-periferia, de forma a compreender as peculiaridades da inserção periférica em novas revoluções tecnológicas. Sustentamos que a periferia exige uma tematização própria, exigindo que as estratégias adotadas para dominar as tecnologias-chave de cada nova revolução considerem as restrições impostas pela divisão internacional do trabalho. A literatura de Sistemas de Inovação e estratégias de *catch-up* nos ajudará a estabelecer esse diálogo.

Palavras-chave: Revoluções tecnológicas; centro-periferia; Catch-up; Leapfrogging; Sistemas de inovação.

Abstract: This article aims to propose a dialogue between the elaborations on technological revolutions and the center-periphery approach, in order to understand the peculiarities of peripheral insertion in new technological revolutions. We argue that the periphery requires its own thematization, demanding that the strategies adopted to master the key technologies of each new revolution take into account the restrictions imposed by the international division of labor. The literature on Innovation Systems and catch-up strategies will help us to establish this dialogue.

Keywords: Technological revolutions; Center-periphery; Catch-up; Leapfrogging; Innovation systems.

¹ Doutorando em Economia no CEDEPLAR/UFMG. Email: brunopradoprates@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Grandes transformações tecnológicas moldam as características da divisão internacional do trabalho e potencialmente transformam a divisão centro-periferia. Podemos recordar Karl Marx (1867, p. 523) que, ao relacionar a Revolução Industrial com a conquista de novos mercados, associa essa expansão à criação de “uma nova divisão internacional do trabalho”. Esta, segundo o autor, “transforma uma parte do globo terrestre em campo de produção preferencialmente agrícola voltado a suprir as necessidades de outro campo, preferencialmente industrial” (p. 523). O conceito de revoluções tecnológicas nos ajudará a compreender o estopim inicial destas transformações, além de seu tumultuoso processo de difusão e suas implicações sobre a sociedade.

O objetivo deste artigo é propor um diálogo entre as elaborações sobre revoluções tecnológicas e a abordagem centro-periferia. Nosso ponto de partida é a elaboração das “ondas longas”, de Kondratiev (1926), que inspirou desenvolvimentos subsequentes como os “ciclos de Kondratiev” (SCHUMPETER, 1939; FREEMAN & LOUÇÃ, 2001) e ciclos de *catch-up* industrial (LEE & MALERBA, 2017). Estabeleceremos um diálogo entre estas elaborações e as abordagens que tomam como base a existência de um sistema centro-periferia, ressaltando como a condição periférica se relaciona com revoluções tecnológicas na dicotomia modernização-marginalização. Este diálogo nos permite compreender as peculiaridades da inserção periférica em novas revoluções tecnológicas. Sustentamos que a periferia exige uma tematização própria, exigindo adotar estratégias para dominar as tecnologias-chave de cada nova revolução que considerem as restrições impostas pela divisão centro-periferia. A literatura de Sistemas de Inovação e estratégias de *catch-up* nos ajudará a estabelecer esse diálogo.

Além dessa introdução e uma conclusão, este artigo conta com quatro seções. Na primeira discutimos a abordagem das ondas longas e ciclos econômicos, destacando as leituras a respeito dos ciclos de Kondratiev; na segunda discutimos o conceito de grandes surtos de desenvolvimento e tecnologias de propósito geral, que reforçam o caráter turbulento das revoluções tecnológicas; na terceira apresentamos as elaborações sobre o sistema centro-periferia, buscando relacionar com a literatura discutida; na quarta completamos a discussão com as elaborações sobre sistemas de inovação e ciclos de *catch-up*, apresentando o *leapfrogging* como aspecto fundamental da estratégia a ser adotada por países periféricos. A conclusão apresenta um balanço da discussão.

1. Ondas Longas e Ciclos Econômicos

No intuito de compreender a sucessão de grandes fases da economia capitalista mundial, tomaremos como ponto de partida o esforço de periodização de Kondratiev (1926), que contribui com a abordagem das ondas longas. Ao se debruçar sobre o comportamento dos preços da Inglaterra e da França, Kondratiev (1926) percebe que “a ordem social capitalista não tem característica simples e linear, mas complexa e cíclica” (p. 105). Para além dos ciclos menores de até três anos, ou intermediários de até onze anos, o autor identifica um padrão cíclico mais abrangente, ondas longas, que duram em média cinquenta anos, divididos em uma fase ascendente e uma fase descendente (p. 105). Em sua investigação, Kondratiev (1926, p. 111) identifica três ondas da Revolução Industrial até a publicação do artigo em 1926 – Primeira: ascenso de 1780-90 a 1810-17 e descenso de 1810-17 a 1844-51; Segunda: ascenso de 1844-51 a 1870-75 e descenso de 1870-75 a 1890-96; Terceira: ascenso de 1890-96 a 1914-20 e descenso a partir de 1914-20.

A abordagem das ondas longas ressalta que os ciclos da economia mundial não se devem apenas a fenômenos frequentemente vistos como exógenos ou aleatórios, como guerras, revoluções e mudanças tecnológicas. Ao contrário, as ondas longas são inerentes à economia capitalista (p. 115) e vários destes fenômenos possuem aspectos endógenos e condicionados pelos ciclos econômicos. O autor destaca que, para haver mudanças tecnológicas, é preciso que as descobertas e invenções já tenham ocorrido e que estas sejam economicamente viáveis (p. 112). Sendo assim, apesar do caráter criativo e eventualmente acidental destas descobertas e invenções, sua viabilidade econômica, assim como a intensidade das pesquisas tecnológicas, estão fortemente relacionadas ao comportamento dos ciclos econômicos (p. 112). Segundo Kondratiev (1926, p. 111), na fase descendente das ondas longas são feitas mais descobertas e invenções tecnológicas, estas passam a ser utilizadas em larga escala na onda sucessora, em sua fase ascendente.

Também é verdadeiro o movimento contrário, particularmente importante para nossa investigação: o início de cada nova onda está associado a um agrupamento de inovações com grande potencial de afetar toda a economia. Essa relação foi estabelecida por Kondratiev (1926b), que já conferia um papel fundamental a um conjunto de tecnologias específicas para moldar o comportamento dos ciclos econômicos. Posteriormente, essa dinâmica se tornou alvo de maior atenção por parte de autores como Schumpeter (1939) e a tradição neo-schumpeteriana, que veem na inovação um momento crucial destes ciclos. Na percepção de Kondratiev (1926b), a primeira onda longa está associada às mudanças decorrentes da Revolução Industrial, destacando setores como fiação e tecelagem, indústria química e metalurgia. A segunda onda longa está associada a uma variedade de inovações como os aperfeiçoamentos do motor a vapor, invenção da turbina, descoberta da indução e desenvolvimentos da telegrafia. A terceira onda longa, por fim, está associada a diversas inovações relacionadas à

eletricidade, como o dínamo, transmissão de corrente alternada, telefone elétrico, locomotiva elétrica e ferrovia elétrica. Outros conjuntos de inovações com ampla aplicação industrial e influência na dinâmica econômica poderiam ser mencionados como possíveis determinantes das ondas longas.

Importa ressaltar que, para muito além da análise estatística, a elaboração de Kondratiev nos ajuda a compreender a amplitude dos efeitos que as inovações científicas e tecnológicas podem surtir sobre a vida econômica. Além disso, a relevância da abordagem das ondas longas está em sua contribuição para a investigação histórica. Em seu *Business cycles*, Schumpeter (1939, p. 20) reforça a importância da análise histórica para compreender grandes distúrbios dos ciclos econômicos. Segundo o autor:

General history (social, political, and cultural), economic history, and more particularly industrial history are not only indispensable but really the most important contributors to the understanding of our problem. All other materials and methods, statistical and theoretical, are only subservient to them and worse than useless without them.

Na visão de Schumpeter (1939), o caráter cíclico da economia capitalista pode ser descrito pela sobreposição de três ciclos, sendo o ciclo observável a combinação entre os três. Assim, o autor batiza de “ciclos de Kondratiev” os ciclos de 50 anos, que se somam aos “ciclos de Kitchin” (3-5 anos) e “ciclos de Juglar” (7-11 anos). Silverberg (2007, p. 808) qualifica a visão de Schumpeter como “evolucionária” e “multisetorial”, fortemente relacionada a desequilíbrios e novas difusões de tecnologias. O autor também chama a atenção para um possível limite da abordagem das ondas longas em Kondratiev e Schumpeter, pois “*the historical obsession with finding a 50-year cycle may be blinding researchers to a much richer range of phenomena of equal or even superior theoretical interest*” (p. 805). Essa colocação é importante para nossa investigação, na medida em que evita atribuir excessiva rigidez aos ciclos de 50 anos. Em todo caso, o balanço realizado por Silverberg (2007) ilustra que a discussão sobre ondas longas possibilitou avanços da teoria econômica e do arcabouço empírico e estatístico voltado à análise histórica. Veremos como, mesmo eventualmente questionando o comportamento ondular da dinâmica econômica, as investigações subsequentes, inspiradas nos “ciclos de Kondratiev”, ofereceram importantes contribuições para a compreensão da dinâmica científica e tecnológica.

Convém assinalar que as grandes transformações da economia mundial envolvem profundas disputas políticas, culturais e ideológicas – fato que reforça a necessidade da análise histórica enfatizada por Schumpeter. Uma das abordagens que surgem em diálogo com as ondas longas de Kondratiev e Schumpeter é a que identifica ciclos sistêmicos de acumulação, constituídos por

sucessivas transições de hegemonia ao longo da existência do capitalismo (ARRIGHI, 1994). Esta leitura considera como características essenciais do capitalismo a flexibilidade e a capacidade de mudança e adaptação. A periodização proposta por Arrighi (1994) consiste em ciclos sistêmicos de acumulação de mais de um século de duração, parcialmente sobrepostos, que descrevem tanto padrões de recorrência como padrões de evolução. Por essa razão, não podemos considerá-los meros ciclos, mas “estágios em um processo evolucionário de expansão e transformação do capitalismo mundial” (ARRIGHI & MOORE, 2001, p. 66). Essas características permitem que grandes crises sistêmicas resultem, em lugar do colapso, em uma transição para um novo ciclo, e assim sucessivamente.

Outras análises surgiram a partir das ondas longas. A revista *Futures*, de 1981, reúne algumas perspectivas distintas, das quais podemos destacar a de Clark, Freeman & Soete (1981) e de Mandel (1981), que elaboram uma visão sobre ondas longas, respectivamente, pelo movimento do emprego e da taxa de lucro. Em outro contexto, Freeman & Perez (1988) associam as ondas longas a crises econômicas. Essas análises, entre outras possíveis, sugerem a capacidade analítica da abordagem das ondas longas para além do movimento dos preços analisados por Kondratiev (1926). O mais importante, nos parece, é constatar o caráter necessariamente cíclico da economia capitalista e ressaltar sua relevância para entender as recorrentes transformações na vida econômica. Além disso, as elaborações focadas na dinâmica científica e tecnológica podem se beneficiar das reflexões instigadas pela abordagem dos ciclos sistêmicos de acumulação, na medida em que reforçam a influência de aspectos extraeconômicos nas grandes transformações da economia mundial.

Para fins da nossa investigação, destacamos o volume *As time goes by*, de Freeman & Louçã (2001), que retoma o conceito de ondas longas em conjunto com as lições de Schumpeter quanto à importância da investigação histórica. Os autores argumentam por uma *reasoned history*² – “an approach to economic history including technological innovations, structural changes, and the co-evolution of economic and social movements within the framework of institutional settings and modes of regulation” (p. 123). Além disso, evitam se apoiar em um determinismo tecnológico, sustentando que sua abordagem contempla cinco “subsistemas” da sociedade: ciência; tecnologia; economia; política; e cultura geral (p. 123). A proposta de apresentar uma *reasoned history* deve, portanto, incluir a investigação histórica de todos os subsistemas.

Partindo destas considerações metodológicas, Freeman & Louçã (2001) oferecem uma ampla discussão sobre sucessivas ondas de crescimento econômico baseadas no conceito de sistemas tecnológicos – termo que pode ser definido como a interconexão entre trajetórias de diferentes

² Ver, sobre esse conceito: Nelson (2020).

tecnologias, ou uma “constelação de inovações” (pp. 139-140). Ao longo do tempo, os sistemas tecnológicos passam por mudanças de ampla repercussão econômica que explicam a existência de ondas longas, fenômeno que também é descrito pelos autores como uma sucessão de revoluções industriais. Assim, Freeman & Louçã (2001) descrevem cinco ondas (ou revoluções), partindo da Revolução Industrial e culminando na Revolução da Informação e da Comunicação.

Essa periodização reflete o longo processo de maturação, ou o ciclo de vida, de sistemas tecnológicos. Os autores reconhecem que, de fato, o ciclo de vida completo de um sistema tecnológico pode durar muito mais que um século (p. 145). Entretanto, é possível considerar o processo de maturação como dividido em seis etapas, da invenção em laboratório à maturidade, sendo o período de revolução caracterizado pelas etapas dois a cinco, ou seja, da viabilidade comercial à erosão da lucratividade, conformando um período semelhante às ondas de Kondratiev (p. 146). Apesar da ressalva quanto à metáfora de “ondas”, Freeman & Louçã (2001) justificam o termo na medida em que, de um lado, existem particularidades em cada onda que precisam ser descritas e, de outro lado, existem regularidades cíclicas, como o surgimento de “constelações de inovações” e o papel cumprido por insumos-chave; novas infraestruturas e novos métodos gerenciais (p. 151).

2. Grandes Surtos de Desenvolvimento e tecnologias de propósito geral

2.1. Grandes surtos de desenvolvimento

Mesmo com a ressalva de Freeman & Louçã (2001, p. 151), convém enfatizar que o termo “ondas longas” pode sugerir uma regularidade pouco consistente com as transformações econômicas em perspectiva histórica. Nesse sentido, podemos repensar as periodizações centradas no movimento de ascenso-descenso do crescimento econômico (PEREZ, 2015). A abordagem de Perez (2010) distingue-se tanto de Kondratiev como de Schumpeter ao propor uma periodização centrada no processo de difusão de revoluções tecnológicas, substituindo o termo “ondas” por “grandes surtos de desenvolvimento”.

Para compreender este processo de difusão, é preciso sublinhar que novas tecnologias percorrem um determinado processo de maturação em ritmo e direção variados. Inovações recentes são introduzidas em um contexto dinâmico que influencia seu potencial e que já foi previamente moldado por inovações anteriores (p. 188). Inovações radicais tendem a ser acompanhadas por inovações incrementais no decorrer de sua trajetória, isso significa o surgimento de “*new products, services and even whole industries, building upon the innovative space inaugurated by the initial radical innovation and widened by its followers*” (p. 188). Essa interconexão entre as trajetórias de diferentes tecnologias

se refere ao conceito de sistemas tecnológicos, que “*not only modify the business space, but also the institutional context and even the culture in which they occur*” (p. 188).

Diferentes sistemas tecnológicos agrupam-se, por sua vez, em revoluções tecnológicas – um “sistema de sistemas” – definidas por Perez (2010) como “*a set of interrelated radical breakthroughs, forming a major constellation of interdependent technologies*” (p. 189). O termo “revolução” é justificado pelo fato de que o impacto destas transformações ultrapassa as novas indústrias criadas e atinge a economia como um todo, elevando os níveis de produtividade, rejuvenescendo indústrias já maduras e abrindo novas trajetórias de inovação em todas as indústrias e atividades econômicas (p. 200). O processo de difusão e assimilação destas grandes mudanças precisa ocorrer como uma revolução, devido à necessidade de destruir antigas práticas e “senso comum” para introduzir novos. Este processo turbulento, segundo Perez (2010), constituiu um “grande surto de desenvolvimento”. A partir deste conceito, a autora busca compreender o “*process of diffusion of each technological revolution and on its transformative effects on all aspects of the economy and society*” (p. 190).

Cada revolução tecnológica está associada à emergência de um novo paradigma tecno-econômico, ou seja, os princípios de “senso comum”, as práticas mais eficientes e o design mais adequado que são estabelecidos no decorrer da maturação de uma revolução. A emergência de um novo paradigma tecno-econômico pode ser observada em ao menos três áreas principais (pp. 194-198). Primeiro, na dinâmica da estrutura de custos relativos – o barateamento de determinadas matérias-primas. Segundo, nos espaços de inovação – surgem novas oportunidades de negócios. Terceiro, nos critérios e princípios organizacionais – a prática indica melhores métodos e estruturas. Os paradigmas ultrapassam a esfera comercial e atingem, também, as instituições e a sociedade, de forma a se tornar “*the shared common sense for decision making in management, engineering, finance, trade and consumption*” (p. 200), além de moldar “*institutional and social organisations, expectations and behaviours*” (p. 200).

A concepção de grandes surtos de desenvolvimento levou Perez (2010) a identificar, assim como Freeman & Louçã (2001), cinco revoluções tecnológicas, porém seguindo uma periodização substancialmente distinta das ondas longas. A difusão de cada revolução segue uma curva-S, de seu lento início a partir de uma inovação radical batizada de *big-bang*, passando por um processo explosivo de múltiplas inovações e, por fim, chegando à maturidade e exaustão. Ao longo dessa trajetória, dois períodos podem ser demarcados (PEREZ, 2002, pp. 36-37). O primeiro consiste na fase de instalação, quando a difusão se choca contra as já estabelecidas rotinas do velho paradigma. O segundo consiste na fase de implantação, quando o paradigma se difunde já como senso comum compartilhado. Entre os períodos, há um *turning point* marcado por crises e recessões. A percepção destes momentos distintos

permite a Perez (2007) estabelecer uma relação entre finanças e mudanças tecnológicas. Segundo a autora, o período de instalação conta com a liderança do setor financeiro, que corre para o paradigma emergente almejando lucros maiores que do já esgotado paradigma anterior. Esse processo tende a gerar bolhas financeiras, cujos efeitos são sentidos nas recessões características do *turning-point*.

Para além das cinco revoluções tecnológicas descritas por Freeman & Louçã (2001) e Perez (2010), podemos conjecturar a emergência de uma sexta revolução associada à economia digital. O relatório da UNCTAD (2019) assinala a emergência de uma Era Digital, em que “*one of the distinguishing features of recent years has been the exponential growth in the aggregation of machine-readable information, or digital data, over the Internet*” (p. 3). Segundo o relatório, o conceito de economia digital vem da década de 90, quando os debates a respeito dos impactos econômicos da internet faziam referência a uma *internet economy* (p. 4). Seguindo outro caminho, os debates mais recentes têm se concentrado nas consequências da digitalização, um fenômeno que pode ser definido como: “*the transition of businesses through the use of digital technologies*” (p. 4). A elaboração de Albuquerque (2019) sugere que o *big-bang* de uma sexta revolução tecnológica é possivelmente a invenção da World Wide Web (Web), na instituição internacional Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN), na Suíça, em 1991. De acordo com Albuquerque (2019), a invenção da Web desencadeia uma série de eventos – “inovações complementares, efeitos para a frente e para trás nas cadeias industriais e econômicas” (p. 138) – que estabelecem “uma nova estrutura na economia mundial, uma nova camada para o processo econômico” (p. 138). Nesse contexto, os três principais aspectos elencados por Perez (2010) para a construção de um paradigma tecno-econômico parecem estar presentes: i – a estrutura de custos é alterada, na medida em que uma matéria-prima central, os dados, passa a ser produzida, apropriada, e comercializada em quantidades gigantescas (HAN & KAMBER, 2006, p. 628); ii – surgem novos espaços de inovação, como mecanismos de busca, aplicativos, e a digitalização de setores tradicionais (UNCTAD, 2019); e iii – surgem novos critérios e princípios organizacionais, como as plataformas, network effects e multi-sided markets (ROCHET & TIROLE, 2003). Assim, podemos ilustrar a sucessão de revoluções tecnológicas conforme a *Tabela 1*, que, além das cinco revoluções listadas por Perez (2010), inclui a conjectura da emergência de uma sexta revolução tecnológica.

Tabela 1. Seis revoluções tecnológicas

Revolução tecnológica	Nome popular para o período	Big Bang inicial	Ano	País líder
Primeira	Revolução Industrial	Moinho de Arkwright é aberto em Cromford	1771	Grã-Bretanha
Segunda	Era do Vapor e das Ferrovias	Teste do <i>Rocket</i> , Locomotiva a Vapor na Ferrovia Liverpool, Manchester	1829	Grã-Bretanha (espalhando para Europa e EUA)
Terceira	Era do Aço, da Eletricidade e da Engenharia Pesada	Carnegie Bessemer, Fábrica de Aço abre em Pittsburgh, PA	1875	EUA e Alemanha avançam para a fronteira tecnológica, ultrapassando a Grã-Bretanha
Quarta	Era do Petróleo, do Automóvel e da Produção em Massa	Primeiro Modelo-T é inaugurado na fábrica da Ford em Detroit, MI	1908	EUA (disputando com a Alemanha a liderança tecnológica mundial), posterior difusão para a Europa
Quinta	Era da Informação e das Telecomunicações	Microprocessador da Intel é anunciado em Santa Clara, CA	1971	EUA (posterior difusão para Europa e Ásia)
Sexta (?)	Revolução Digital	Invenção da World Wide Web na instituição internacional CERN	1991	EUA (disputando com a China a liderança tecnológica mundial)

Fontes: Perez (2010) para as cinco primeiras revoluções tecnológicas. Albuquerque (2019) e UNCTAD (2019) para a conjectura de uma sexta revolução.

2.2. Tecnologias de propósito geral

O tumultuoso processo de difusão de novas tecnologias no decorrer de cada revolução, um processo que ocorre por meio de “destruições criadoras” (SCHUMPETER, 1949), permite questionar as periodizações baseadas em ciclos bem delimitados, de em média 50 anos. Este questionamento é reforçado pelo estudo preparado por Ribeiro *et al.* (2017), que analisa o comportamento da taxa de lucro nos EUA entre 1870 e 2011. Entre os resultados encontrados, destacamos duas conclusões. Primeiro, a economia capitalista se comporta como um sistema complexo, ou seja, um sistema autorregulado e constituído por várias camadas sobrepostas. Cada camada (firmas, universidades, Estado, instituições, etc.) exerce influência sobre a economia, tornando a atividade econômica ao longo do tempo pouco regular. Segundo, é possível constatar a existência de ciclos variados e sobrepostos, com particular relevância dos ciclos de 23, 20 e 35 anos, acompanhados por outros ciclos menores. Essa conclusão indica um comportamento distinto do percebido por Kondratiev e Schumpeter.

Para compreender este fenômeno, podemos utilizar o conceito de tecnologias de propósito geral, ou *general purpose technologies* (GPT). Este conceito foi assinalado por Freeman & Louçã (2001, pp. 143-144) por ressaltar o caráter pervasivo de determinadas inovações – o potencial destas de provocar

perturbações nos ciclos econômicos. Em texto pioneiro, Bresnahan & Trajtenberg (1995) utilizaram o conceito de GPT para diferenciar inovações quanto à suas aplicabilidades e seus impactos sobre o crescimento econômico. Segundo Helpman (1998): “*a drastic innovation qualifies as a GPT if it has the potential for pervasive use in a wide range of sectors in ways that drastically change their mode of operation*” (p. 3). Bresnahan (2010, p. 764) define GPT como tecnologias que: i – são amplamente utilizadas; ii – são aptas a contínuas melhorias técnicas; e iii – permitem inovações em *application sectors* (AS). A combinação de “ii” e “iii” resulta em *innovational complementarities* (IC). A relação entre inovações em GPT e AS pode assumir variadas formas: as GPT podem ser utilizadas como instrumento de trabalho; criar oportunidades tecnológicas (como na relação entre eletricidade e indústria); e criar oportunidades de mercado (caso em que o autor menciona a internet). Importa enfatizar que cada GPT terá seus limites e potenciais que devem ser analisados conforme suas particularidades (pp. 765-766).

Como exemplos clássicos de GPT, podemos citar a engenharia química (ROSENBERG, 1998); eletricidade (ROSENBERG, 2010); máquina a vapor (ROSENBERG & TRAJTENBERG, 2004); além de transistores e computadores (ROSENBERG, 2000, p. 80). Rosenberg (2000, p. 80) chama a atenção para a utilidade do conceito de GPT para a pesquisa em história das tecnologias, por ressaltar a propriedade de algumas tecnologias em promover aplicações subsequentes. Além disso, para o autor, é relevante destacar o papel das complementariedades entre tecnologias e a importância das complementariedades entre indústrias, ambos estes elementos são alvo da literatura sobre GPT (p. 116).

A introdução de novas GPT e seu lento processo de difusão³ também ajuda a explicar ciclos econômicos, tanto em relação a ciclos de produtividade quanto a ciclos de crescimento do PIB. Bresnahan (2010) nota que os ciclos de crescimento da produtividade podem ser explicados a partir das GPT, pois haverá flutuações se: i – houver oscilações entre períodos com agrupamentos e períodos sem agrupamentos de GPT; ii – as inovações locais e incrementais forem constantes, enquanto as inovações gerais (GPT) forem intermitentes; e iii – houver grande número de pequenas GPT em diferentes estágios de difusão, enquanto as de grande escala forem intermitentes (p. 788). Além disso, existe uma tendência de menor crescimento do PIB antes da introdução de uma GPT. Este fenômeno ocorre, segundo Bresnahan (2010), pois a emergência de uma GPT está frequentemente relacionada à busca por relaxar um impeditivo ao crescimento. Após o surgimento destes impeditivos, é necessário um

³ O processo de difusão das GPT tende a começar devagar e seguir uma “curva-S”. Além dos motivos típicos do processo de maturação de novas tecnologias, a difusão das GPT pode ser particularmente mais lenta devido à necessidade de co-invenção e por utilizar tecnologias complementares abrangentes (BRESNAHAN, 2010, p. 785).

intervalo de tempo para que as novas tecnologias estejam maduras o suficiente para relaxá-las, portanto a economia passa por um período de taxas de crescimento mais baixas. Para Bresnahan (2010): “*even under the best of circumstances in terms of general macroeconomic policy, of cultural and business norms, and of pro-innovation and progrowth policy, the lags will be long and variable*” (pp. 788-789).

Albuquerque (2021) sustenta que “a elaboração sobre as GPT constitui um importante passo para o aprimoramento das investigações das revoluções tecnológicas” (p. 68). A emergência dessa elaboração marcadamente a partir dos anos 1990 pode ser, segundo o autor, expressão de um novo fenômeno histórico: a multiplicação de fontes para inovações radicais, possivelmente modificando o antigo sequenciamento de revoluções tecnológicas. No decorrer de cada onda longa, a intensa atividade inovativa dá origem a uma multiplicidade de inovações radicais que impactam a dinâmica do sistema. Muitas dessas GPT são “temporalmente justapostas, mas espacialmente distantes, pois países e/ou setores diferentes na origem de inovações radicais podem vir a se desenvolver” (p. 68). Este fenômeno pode significar, portanto, um caráter cada vez mais global da origem de inovações radicais. A elaboração das GPT ajuda a multiplicidade destas inovações e oferece um cenário mais turbulento da dinâmica econômica de longo prazo (p. 68).

Em resumo, novas investigações a respeito dos “ciclos de Kondratiev” sugerem um movimento distinto do comportamento ondular para a dinâmica econômica. O caráter extremamente tumultuoso da atividade inovativa deve ser ressaltado, exigindo ilustrações que ultrapassem a aparente regularidade do movimento de ascenso-descenso. O conceito de GPT reforça alguns destes aspectos tumultuosos, enfatizando o caráter pervasivo de determinadas inovações, com ampla aplicação na economia, variadas possibilidades de melhorias técnicas, e o incentivo a inovações em outros setores que venham a utilizar estas novas tecnologias. Além disso, as revoluções tecnológicas podem ser compreendidas a partir da identificação de grandes surtos de desenvolvimento (que descrevem sua difusão) e de paradigmas tecno-econômicos (que se referem ao “senso comum” característico de cada revolução). Essa elaboração nos ajuda a compreender a trajetória e propagação de revoluções tecnológicas, de seu estopim radical (o *big-bang*) até a maturidade e declínio.

3. SISTEMA CENTRO-PERIFERIA

Toda a discussão realizada até aqui deve ser pensada no âmbito de um sistema econômico mundial, produzido pela característica expansiva da produção capitalista. A difusão de cada revolução tecnológica, as GPT correspondentes e os novos paradigmas criados ocorre de maneira desigual entre países, resultando em uma divisão internacional do trabalho que não equaliza o mundo em termos científicos e tecnológicos. Prebisch (1949) percebeu nessa desigualdade internacional a existência de

um sistema centro-periferia: existe um centro criador de novas tecnologias e uma periferia onde a penetração e propagação do progresso tecnológico são barradas. Essa visão nos ajuda a compreender a prevalência do subdesenvolvimento em alguns países e como superá-lo.

As razões que levam à persistência do subdesenvolvimento foram alvo de abordagens distintas, como de Myrdal (1975) e Lewis (1979), ambos ganhadores do Prêmio do Banco da Suécia para as Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel. A particular relevância da dicotomia centro-periferia para nosso estudo reside na constatação de que: “a problemática do subdesenvolvimento requer uma teorização autônoma, que subdesenvolvimento não é uma ‘etapa’ e sim uma configuração que se reproduz a distintos níveis do crescimento” (FURTADO, 1991, p. 124). É preciso, portanto, enfrentar as estruturas que produzem e reproduzem o subdesenvolvimento, ou seja, o fato de que o progresso tecnológico se inicia e permanece no centro, dificilmente sendo absorvido pela periferia (PREBISCH, 1984, p. 184).

A dinâmica de reprodução do subdesenvolvimento, segundo Prebisch (1984, p. 184), ocorre na medida em que os países da periferia tendem a imitar a cultura dos países do centro, adotando suas tecnologias, estilos de vida, ideologias e instituições. Essa dimensão cultural faz com que a periferia tenda a utilizar seus excedentes, gerados via especialização produtiva, para atender a um padrão de consumo diversificado, transplantado do centro, que não corresponde à capacidade produtiva interna (FURTADO, 1987, p. 211).

Este conflito entre progresso tecnológico no centro e especialização na periferia cria uma dicotomia entre transformações sociais e imobilismo social. No centro, as transformações decorrentes do progresso tecnológico ocorrem simultaneamente na estrutura econômica e na organização social, na medida em que os ganhos de produtividade tendem a ser acompanhados por maior organização de trabalhadores e, conseqüentemente, maiores ganhos salariais (p. 222). Na periferia, as mudanças produtivas são induzidas desde o exterior, fazendo com que ocorra apenas um reordenamento de recursos já existentes, sem grandes efeitos sobre a estrutura social (p. 222).

Podemos resumir a relação entre a dependência e o sistema centro-periferia seguindo a exposição de Furtado (1987, p. 223):

The distinguishing feature of the formation of the periphery was the impetus to modernization of demand for final goods under conditions of social immobility due to the lagging development of productive forces. What has come to be called underdevelopment is simply the manifestation of this disparity between the dynamism of demand and the lag in accumulation in the productive system. The lag is explained by the way the periphery became part of the

international division of labor, while the dynamism of demand is explained by the transplanting of the consumption patterns of the center.

O baixo progresso tecnológico e o característico imobilismo social fazem com que a periferia tenha como uma de suas características a dualidade modernização-marginalização. O processo de imitação dos países centrais que implica industrialização, mudanças na demanda e outros reflexos sobre a cultura e sociedade periféricas é também responsável pela urbanização descontrolada e o empobrecimento da população, de forma que, segundo Furtado (1987, p. 223), a estratificação social tem suas raízes na modernização. A existência dessa dualidade faz com que, frequentemente, processos de modernização que aproximam culturalmente a periferia do centro apenas reforcem o subdesenvolvimento e as mazelas que o acompanham.

A relação entre modernização e subdesenvolvimento pode ser ilustrada pela presença de transnacionais em países periféricos. Estas, de um lado, aprofundam a inserção da periferia em um sistema econômico internacional, delegando algumas de suas etapas de produção aos trabalhadores da periferia, frequentemente remunerados abaixo dos trabalhadores do centro. De outro lado, o elemento de criatividade – a capacidade de inovar e transformar a realidade a seu favor – permanece monopolizado pelas transnacionais oriundas do centro, sem consideráveis vazamentos para a periferia (FURTADO, 1978). As formações periféricas se transformam, portanto, de acordo com a interação dos agentes econômicos (domésticos e externos) e sua capacidade de moldar o ambiente em que se encontram, fazendo com que exista, na criatividade, um “elemento de poder” (p. 17).

Furtado (1992) propunha como medida de enfrentamento ao subdesenvolvimento uma “distribuição primária da renda”, apoiando-se na abordagem das capacitações de Amartya Sen. Segundo Furtado (1992, p. 55), a participação na distribuição da renda social exige habilitações, como acesso a terra e moradia; domínio de tecnologias; alfabetização; e inserção qualificada no sistema produtivo. Sendo assim: “a pobreza em massa, característica do subdesenvolvimento, tem com frequência origem numa situação de privação original do acesso à terra e à moradia” (p. 55). Essa elaboração estabelece uma importante conexão entre inovação e enfrentamento do subdesenvolvimento, visto que, ainda segundo Furtado (1992, p. 56): “um dos paradoxos da economia subdesenvolvida está em que o seu sistema produtivo apresenta segmentos que operam com níveis tecnológicos diferentes, como se nela coexistissem épocas distintas”. Modernização e marginalização conformam, portanto, uma dualidade característica da condição periférica que pode ser enfrentada quando a atividade inovativa serve à concepção mais ampla de distribuição primária da renda.

A centralidade da distribuição primária da renda para enfrentar o subdesenvolvimento é bem sublinhada por Paula (2021, pp. 99-100):

Em todos os exemplos exitosos de desenvolvimento econômico capitalista à distribuição da renda e da riqueza agregaram-se outras reformas importantes no campo da educação, da saúde, havendo significativos e continuados investimentos em ciência e tecnologia, sendo esses os efetivos instrumentos promotores do desenvolvimento econômico. Para sumarizar, a qualidade e consistência do processo de desenvolvimento econômico é função direta da qualidade e universalidade do processo de “distribuição primária da renda”.

Em palestra conferida em 2002, Furtado identifica um paradoxo do contexto mundial: observava-se um grande enriquecimento da humanidade e, simultaneamente, o aumento da miséria de ampla maioria da população. Para explicar este fenômeno, Furtado (2002) recorda que, durante a Revolução Industrial, o dinamismo da economia capitalista era garantido pela interação de dois processos: de um lado, a inovação acompanhada de aumento da produtividade, de outro lado, a expansão do mercado e elevação dos salários (p. 4). Entretanto, o processo de globalização – desencadeado, nota-se, pela quinta revolução tecnológica – desarticulou esse dinamismo, beneficiando as empresas que controlam as inovações e prejudicando as massas trabalhadoras organizadas (p. 5). Assim, o aparente paradoxo daquele contexto podia ser explicado, segundo Furtado (2002), pela ideia de “metamorfoses do capitalismo”, qual seja, o fato de que revoluções tecnológicas, junto às transformações sociais que as acompanham, modificam a relação entre empresas, trabalhadores e Estados nacionais. Essa elaboração ressalta o caráter dinâmico da economia capitalista, além de apontar para uma interpretação que associa revoluções tecnológicas a transformações no sistema centro-periferia. Para Furtado (2002), só seria possível compreender os novos problemas da realidade periférica se, à luz das metamorfoses do capitalismo, considerássemos mudanças como o novo papel dos mercados de tecnologia; serviços financeiros e meios de comunicação na economia mundial.

A partir destes apontamentos, podemos propor uma abordagem que aproxime as elaborações sobre revoluções tecnológicas das considerações sobre o sistema centro-periferia. A cada novo *big-bang*, a revolução tecnológica emergente se difunde de maneira desigual pelo mundo. No centro, prevalece a criatividade, a capacidade de gerar uma multiplicidade de inovações, muitas delas GPT, que garantem ao país o domínio do progresso científico e tecnológico. Na periferia, a recepção de uma revolução tecnológica reforça a dualidade modernização-marginalização, um tipo de heterogeneidade particular que reproduz o subdesenvolvimento. A cada nova revolução, a periferia já moldada por esta dualidade passa por um remodelamento, a modernização ganha novos contornos juntamente com a

marginalização, a heterogeneidade é reforçada em novos patamares. Trata-se, portanto, de sucessivas combinações que mantêm o imobilismo social.

No plano internacional, a emergência de novas GPT recria desigualdades entre centro e periferia, pois alarga a distância entre os níveis tecnológicos entre os dois grupos de países, conseqüentemente aumentando o tamanho do salto a ser dado pelos países periféricos. Por outro lado, é possível considerar que a emergência destas GPT desestabiliza a economia mundial, abrindo novas possibilidades, “janelas de oportunidade”, para a realização de um *catch-up* pelos países periféricos. Novas GPT também oferecem novas possibilidades de combinação entre as economias centrais e periféricas, fato que possivelmente se expressa em uma dinâmica cada vez mais global da atividade inovativa, ou mesmo rudimentos do que Britto, Riberio & Albuquerque (2021) consideram um sistema global de inovação.

4. SISTEMAS DE INOVAÇÃO E CICLOS DE CATCH-UP

4.1. Sistemas de inovação

A abordagem de Friedrich List sobre o “sistema nacional de economia política”, de 1841, é precursora do conceito de sistemas de inovação que utilizaremos. List observou atentamente o desenvolvimento da Prússia e dos EUA, que ultrapassaram a Inglaterra na segunda metade do século XIX. Em sua abordagem, o autor antecipa diversas discussões contemporâneas, assinalando para a importância do “capital intelectual” para a promoção de desenvolvimento nacional, ou seja, a importância de internalizar o conhecimento gerado em outros países e criar seu próprio conhecimento (FREEMAN, 1995). A dinâmica de absorção de conhecimento em países periféricos é, portanto, fundamental para criar capacidade de inovação autóctone. Para Freeman (1995), um país só será bem sucedido em absorver tecnologia estrangeira se adotar mudanças institucionais que fortaleçam a capacidade tecnológica autônoma. Essas mudanças devem considerar, ainda, a inter-relação entre inovações técnicas e inovações organizacionais (FREEMAN, 1995, p. 18). A diversidade de fatores que se inter-relacionam para absorver conhecimento e gerar inovações nos leva à abordagem dos Sistemas de Inovação (FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993).

Podemos definir sistemas de inovação como “*all important economic, social, political, organizational, institutional, and other factors that influence the development, diffusion, and use of innovations*” (EDQUIST, 2004). Essa abordagem nos ajuda a compreender o processo de inovação para além dos limites da firma e da busca por lucratividade, enfatizando uma ampla articulação de fatores que geram e se beneficiam da atividade inovativa. Em sentido semelhante, Soete, Verspagen &

Ter Weel (2010) argumentam que a ideia central dessa abordagem é a de que “*innovation at the aggregate level is in fact the result of an interactive process that involves many actors at the micro level, and that next to market forces many of these interactions are governed by nonmarket institutions*” (p. 1163). Entender a inovação como produto de um sistema permite ultrapassar medidas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) como única fonte de inovação, enfatizando aspectos como conexões universidade-empresa, usuário-produtor, e processos de aprendizado dos indivíduos. Além disso, essa abordagem chama a atenção para a possibilidade de falhas sistêmicas em oposição a falhas de mercado, pois, dada a importância de instituições não voltadas ao mercado, é possível que uma má performance de inovação seja devida à falhas de coordenação entre partes do sistema (SOETE, VERSPAGEN, TER WEEL, 2010, p. 1168).

Edquist (2004) destaca que os principais componentes dos sistemas de inovação são organizações e instituições. As organizações devem ser entendidas, aqui, como “*formal structures that are consciously created and have an explicit purpose*” – como empresas e universidades – enquanto as instituições devem ser entendidas como “*sets of common habits, norms, routines, established practices, rules, or laws that regulated the relations and interactions between individuals, groups, and organizations*” (EDQUIST, 2004, p. 182). A compreensão dos vínculos entre organizações e instituições na atividade inovativa permite avaliar a capacidade dos agentes envolvidos em se articularem como um sistema, de forma a permitir a absorção de conhecimento e produção de inovação conjuntamente.

Os contornos dos sistemas de inovação são comumente definidos em termos nacionais, regionais ou setoriais. Mais recentemente, a literatura tem apontado para a emergência de sistemas globais de inovação, fenômeno decorrente do alto grau de conexão, a nível global, entre atores e instituições empenhados na atividade inovativa (BINZ & TRUFFER, 2017). Britto, Ribeiro & Albuquerque (2021) argumentam que o sistema global de inovação constitui uma nova camada, que não anula as esferas nacionais, regionais e setoriais. Segundo os autores, essa nova camada constitui uma fonte de oportunidade para a periferia, pois fortalece o fluxo de conhecimento entre países (BRITTO, RIBEIRO, ALBUQUERQUE, 2021).

A pesquisa em Sistemas de Inovação largamente reconhece a relevância do contexto socioeconômico de países e/ou regiões para moldar inovações (COZZENS & KAPLINSKY, 2009, p. 57). Sendo assim, é preciso considerar, de um lado, grandes transformações de paradigma da economia mundial (FREEMAN & LOUÇÃ, 2001), de outro, particularidades locais que, no caso de países periféricos, frequentemente exigem a conexão entre sistemas de inovação e a resolução de problemas como pobreza e desigualdade (COZZENS & KAPLINSKY, 2009, p. 57). A preocupação em vincular a

literatura dos Sistemas de Inovação com problemas característicos do subdesenvolvimento é compartilhada por Lundvall (2016, p. 251), que considera uma linha de pesquisa promissora conectar elaborações a respeito do bem-estar e desigualdade à abordagem dos Sistemas de Inovação. Em diálogo com a elaboração das capacitações de Amartya Sen, de maneira semelhante a Furtado (1992), Lundvall (2016, p. 251) e Lundvall *et al.* (2009) constatam que uma das capacitações mais importantes é o aprendizado, pois “esta capacitação é fundamental para todas as outras e é aquela que molda as dinâmicas de bem-estar” (Lundvall *et al.*, 2009). Sendo assim, “desenvolvimento econômico diz respeito à criação de capacitações e de oportunidades de aprendizado” (pp. 18-19), enquanto a pobreza pode ser entendida como a ausência de capacitações básicas, para além de simplesmente uma renda baixa (LUNDVALL, 2016, p. 250). O aprendizado, por sua vez, depende de instituições e organizações apropriadas. Como atividades centrais dos sistemas de inovação a esse respeito, podemos destacar a construção de competências como educação e treinamento profissional (EDQUIST, 2004); a construção de capacidades de absorção de conhecimento externo (COHEN & LEVINTHAL, 1990); e a promoção de aprendizado interativo, que conecta o aprendizado de indivíduos e de organizações dentro do processo de inovação (SOETE, VERSPAGEN, TER WEEL, 2010).

Cozzens & Kaplinsky (2009) chamam a atenção, ainda, para o fato de que a inovação pode se relacionar com a marginalização em diferentes direções (p. 60). É possível, por exemplo, que a inovação contribua para o aumento da pobreza e desigualdade por meio da eliminação de empregos associada a maior intensidade de capital; por outro lado, a inovação pode reduzir a marginalização por meio de mudanças econômicas, como a fabricação de novos remédios e a oferta de computadores a baixos custos (p. 75). Como agenda de pesquisa, os autores sugerem o estudo sobre a construção de capacidades de absorção em países periféricos, de forma a permitir que estes países possam criar firmas internacionalmente competitivas e atrair investimentos, auxiliando no combate à pobreza e desigualdade (pp. 76-77).

A estratégia de *catch-up* adequada para um país da periferia pode ser compreendida à luz da abordagem dos sistemas de inovação, visto que é necessário identificar, ou mesmo criar, atores e instituições capazes de promover o desenvolvimento de setores estratégicos. Soete, Verspagen & Ter Weel (2010) destacam que a seleção destes setores por vezes não é justificada na perspectiva de eficiência estática e alocativa, mas pode ser justificada “*from a dynamic, innovation system perspective in terms of long-term output and productivity growth*” (p. 1171). Veremos que o fortalecimento de sistemas de inovação cumpre um papel fundamental na capacidade dos países em absorver conhecimento, gerar inovação e, assim, engajar em uma estratégia de *catch-up*.

4.2. Ciclos de *catch-up*

Entre os séculos XV e XVIII, a liderança da economia mundial passou da China para a Europa Ocidental (MADDISON, 2007). Essa transição de liderança econômica pode ser entendida como um *catch-up* (emparelhamento tecnológico) do Ocidente em relação ao Oriente, que culmina no *forging ahead* (ultrapassagem) do último pelo primeiro. Na esteira do capitalismo industrial surgido na Inglaterra, outros países adentraram em processos de *catch-up* que os projetaram à dianteira do desenvolvimento tecnológico mundial. É o caso da Alemanha e dos EUA, ainda no século XIX, e do Japão, Coreia do Sul e Taiwan, durante o século XX – casos em que os países retardatários superaram os incumbentes em uma variedade de indústrias. Podemos atestar, portanto, a existência de ciclos de *catch-up* (LEE & MALERBA, 2017), nos quais os países periféricos devem buscar se inserir.

Segundo Lee & Malerba (2017), as mudanças na liderança industrial são baseadas na evolução dos sistemas de inovação, em particular em sua esfera setorial. A interação entre os vários componentes de um sistema evolui e passa por mudanças ao longo do tempo, cujo caráter pode ser incremental ou radical. Neste caso, as mudanças representam descontinuidades referidas como “janelas de oportunidade” – a emergência de um novo paradigma tecno-econômico que pode ser fonte de vantagem para países retardatários, na medida em que as barreiras à entrada retrocedem (PEREZ & SOETE, 1988). O fortalecimento dos sistemas de inovação permite que países emergentes ou retardatários respondam adequadamente às janelas de oportunidade, possivelmente resultando em um processo de *catch-up*. Em contrapartida, países na liderança industrial podem não adaptar seus sistemas de inovação ao novo paradigma tecno-econômico – de fato, firmas incumbentes têm incentivos a permanecer no paradigma que já dominam – fazendo com que as respostas à nova janela sejam inadequadas ou insuficientes (falhas de sistema em vez de falhas de mercado). A combinação da abertura de janelas de oportunidade com várias possíveis respostas dos países retardatários e incumbentes determinará os ciclos de *catch-up* (LEE & MALERBA, 2017).

A abordagem dos sistemas de inovação e dos ciclos de *catch-up* indica, portanto, a possibilidade de que países retardatários (ou periféricos) ultrapassem países incumbentes (ou centrais) na liderança industrial. Em geral, essa ultrapassagem ocorre por meio de forte participação governamental na política industrial, selecionando setores estratégicos e articulando atores e instituições para fins de inovação. Por outro lado, Keun Lee (2019b) identifica a existência de um “paradoxo do catching-up”, que consiste no fato de que países retardatários não conseguem fazer *catch-up* (no sentido de ultrapassagem industrial) se continuarem apenas empreendendo *catching-up* (no

sentido de aprendizado tecnológico e imitação). O tópico seguinte discute esse problema, apontando o *leapfrogging* (salto tecnológico) como possível estratégia.

4.3. *Leapfrogging*

A discussão sobre a possibilidade de *leapfrogging* remete, em geral, à ideia de “vantagens do atraso” abordada por Gerschenkron (1962). Talvez possamos buscar a origem desse conceito ainda mais atrás, remetendo à discussão de Marx (2013) sobre a possibilidade de que as comunas rurais da Rússia saltassem a etapa de industrialização, apoderando-se diretamente da tecnologia já produzida nos países industrializados. Na literatura recente, *leapfrogging* significa saltar estágios de uma trajetória tecnológica ou criar uma trajetória alternativa, distinta da trilhada pelos países líderes, ainda que o aprendizado e a imitação possam ser componentes importantes no período inicial de *catch-up* (LEE, 2019b).

Na abordagem de Lee (2019b) os países retardatários podem seguir três estratégias de desenvolvimento tecnológico: *path-following*, *stage-skipping* e *path-creating*, sendo as duas últimas estratégias de *leapfrogging*. No primeiro caso, as firmas adotam tecnologias já ultrapassadas, pagando preços baixos. Essa estratégia se beneficia de uma transferência tecnológica mais fácil, mas, dado o baixo nível de produtividade das tecnologias adotadas, as firmas retardatárias não conseguem competir com as incumbentes no mesmo mercado, tornando improvável uma ultrapassagem industrial. Os limites dessa estratégia justificam a adoção de estratégias de *stage-skipping* e *path-creating*. A primeira consiste em seguir a mesma trajetória das firmas incumbentes, porém saltando sobre velhas gerações de tecnologia diretamente para a geração atualizada. A segunda consiste em perseguir uma nova trajetória, baseada em uma tecnologia emergente ou de uma geração à frente das incumbentes. A estratégia de *path-creating* possui a vantagem de evitar tanto as disputas de DPI, por seguir uma trajetória distinta, quanto o “paradoxo do *catching-up*”, por adotar tecnologias com alto e duradouro potencial. Por outro lado, essa estratégia envolve o risco de que os resultados esperados não se realizem, além do fato de que novas tecnologias tendem a apresentar, em seus primeiros estágios, custos elevados e baixa produtividade (LEE, 2019b).

Há, entretanto, uma pré-condição para o *leapfrogging*: construir capacidades tecnológicas (ou capacidades de inovação). Lee (2019b) sugere que os países retardatários, para realizar essa pré-condição, realizem três desvios iniciais com relação à trajetória dos países líderes. O primeiro desvio consiste em promover inovações imitativas, beneficiando-se de regimes de propriedade intelectual mais frouxos. O segundo desvio consiste em avançar nas cadeias globais de valor de maneira não-linear, primeiro adentrando em segmentos de baixo valor agregado, depois priorizando as cadeias de valor

domésticas para, então, reentrar nas cadeias globais em segmentos de valor agregado mais alto. O terceiro desvio consiste em se especializar primeiramente em tecnologias de ciclos curtos – nas quais o conhecimento precisa ser renovado em pouco tempo e, por isso, possuem menores barreiras à entrada – apenas posteriormente especializando em tecnologias de ciclos longos – nas quais o conhecimento previamente obtido permanece útil por longos períodos de tempo.

Além da pré-condição, Lee (2019b) identifica duas características do *leapfrogging* que envolvem alto risco: é preciso escolher a tecnologia apropriada dentre várias tecnologias emergentes e, após a escolha, é preciso criar um mercado inicial para a nova tecnologia. A participação do Governo e de instituições públicas é fundamental em ambos os casos. Para mitigar o primeiro risco, o Governo e as instituições públicas podem fornecer informações às firmas e reduzir a “incerteza tecnológica”, medida bem sucedida na experiência da Coréia do Sul no setor de telecomunicações. Quanto ao segundo risco, o Governo pode atuar estabelecendo padrões e buscando colaboração com competidores e ofertantes de produtos complementares. Segundo Lee (2019a, p. 15), “*the size of the market determines the success or failure of one standard over another*”. Nota-se, portanto, a importância da formação de um mercado interno para o sucesso da estratégia.

Para ser bem sucedida, uma estratégia de *catch-up* deve, portanto, incluir o *leapfrogging* em sua formulação. Tal medida é necessária para que os países emergentes possam ultrapassar industrialmente os países líderes, evitando principalmente o “paradoxo do *catching-up*” e as disputas de DPI. Essa estratégia tem como pré-condição a construção de capacidades tecnológicas e envolve riscos como a correta seleção de setores e a criação de um mercado inicial.

Em resumo, países da periferia precisam lidar com a difícil tarefa de competir com países com maior produção de conhecimento científico e tecnológico, ou seja, que dominam a criatividade necessária para a constante produção de inovações. A construção de sistemas de inovação é fundamental para que os países periféricos possam absorver o conhecimento externo já existente e produzir inovação internamente. Essa abordagem propõe a conexão entre grande variedade de atores envolvidos na atividade inovativa, com destaque para organizações e instituições, visando promover a inovação conjunta, como sistema (que possui dimensões setoriais, regionais, nacionais e, por vezes, globais). A elaboração voltada a propor estratégias de *catch-up* propõe que os sistemas de inovação sejam fortalecidos como forma de alcançar a liderança industrial em setores específicos. O *leapfrogging* deve acontecer como etapa final da estratégia industrial, de forma a evitar o “paradoxo do *catching-up*” e permitir que os países retardatários disputem com os já consolidados no mesmo mercado. Essa estratégia, entretanto, conta com riscos diversos que devem ser alvo de atenção da política industrial para evitar que países permaneçam trancados na condição periférica.

CONCLUSÃO

Muito foi discutido sobre o caráter cíclico da economia capitalista e seu vínculo com revoluções tecnológicas (KONDRATIEV, 1926; SCHUMPETER, 1939). Podemos destacar, para além das tradicionais “ondas longas” de Kondratiev, as elaborações sobre Revoluções Industriais ou “Ciclos de Kondratiev” (FREEMAN & LOUÇÃ, 2001) e ciclos de *catch-up* industrial (LEE & MALERBA, 2017). Todas essas abordagens confirmam a existência de metamorfoses do capitalismo (FURTADO, 2002), qual seja, a ocorrência no longo prazo de transformações na divisão internacional do trabalho, motivadas por revoluções tecnológicas, que modificam o sistema centro-periferia (PREBISCH, 1984; FURTADO, 1987).

Buscamos enfatizar o caráter turbulento das revoluções tecnológicas. Cada revolução está associada à emergência de diversas GPT justapostas, cada uma com impactos variados na atividade econômica. Dessa forma, compreender o processo de difusão de cada revolução como um grande surto de desenvolvimento – ressaltando a turbulência da trajetória de maturação dos sistemas tecnológicos – nos parece adequado. No decorrer dessa trajetória, o paradigma tecno-econômico já estabelecido entra em conflito com novos paradigmas, bolhas financeiras são geradas, crises sinalizam grandes mudanças de paradigma, e períodos de prosperidade demarcam a consolidação da nova revolução, momento no qual as novas GPT conseguem exercer adequadamente seu potencial de ganhos de produtividade.

Na periferia, as revoluções tecnológicas são recebidas a partir da dualidade modernização-marginalização. Essa característica reproduz o subdesenvolvimento em níveis tecnológicos distintos, na medida em que o país se atualiza com as grandes transformações em curso no sistema econômico mundial, mas mantém sua inserção particular, periférica, na divisão internacional do trabalho. Utilizar novas tecnologias não implica, portanto, o domínio de sua produção. Para tal, é necessário adotar medidas de absorção de conhecimento externo, que permitam a criação de inovação autóctone.

A abordagem dos Sistemas de Inovação auxilia na identificação da diversidade de atores que se inter-relacionam para absorver conhecimento e gerar inovações internamente. Em particular, organizações (como firmas, universidades e Governo) e instituições (hábitos, leis, cultura) são componentes centrais para a construção de sistemas de inovação. A literatura analisada sugere que as mudanças na liderança industrial entre países – ciclos de *catch-up* – são baseadas na evolução dos sistemas de inovação. É possível, portanto, que países periféricos ultrapassem países centrais na liderança industrial. Como parte integrante de uma estratégia de *catch-up*, o *leapfrogging* auxilia no enfrentamento de uma das limitações impostas pela condição periférica, a saber: o fato de que não é possível alcançar o desenvolvimento trilhando o mesmo caminho já percorrido pelos países centrais. É

preciso, portanto, saltar etapas ou percorrer novos caminhos, de forma a permitir a competição com países detentores de maior conhecimento científico e tecnológico.

Este artigo contribui, portanto, para compreendermos a dinâmica de revoluções tecnológicas em meio a uma divisão internacional do trabalho marcada pelo sistema centro-periferia. Ao investigar a recepção de uma revolução tecnológica em países periféricos, devemos nos atentar à maneira particular com que as novas tecnologias interagem com a economia, conferindo, portanto, uma tematização autônoma à periferia. É relevante, ainda, destacar as características de cada revolução em curso, de forma que os esforços de modernização do país analisado sejam historicamente determinados – é determinante para a estratégia de *catch-up* identificar tecnologias com amplo potencial frente às tendências globais. Essa reflexão sugere a necessidade de assumir riscos na concorrência internacional, buscando atuar na fronteira da produção científica e tecnológica, mesmo para países que ainda não dominam a criatividade necessária para liderar inovações em âmbito mundial. Do contrário, a simples recepção de uma nova revolução tecnológica tende a reproduzir o subdesenvolvimento e seus males associados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. M. Capitalismo pós-www: uma discussão introdutória sobre uma nova fase na economia global. *Cadernos do Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, vol. 14, n. 24, p. 131-154, jan.-jun. 2019.

ALBUQUERQUE, E. M. Revoluções tecnológicas e general purpose technologies: mudança técnica, dinâmica e transformações do capitalismo. In: RAPINI, M.; RUFFONI, J.; SILVA, L. A.; ALBUQUERQUE, E. M. *Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global*, 2021.

ARRIGHI, G. *The long twentieth century*. London/NY: Verso, [2010]1994.

ARRIGHI, G.; MOORE, J. W. Capitalist development in world historical perspective. In: *Phases of Capitalist Development*, pp. 56-75. Palgrave Macmillan, London, 2001.

BINZ, C.; TRUFFER, B. Global innovation systems - a conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. *Research Policy*, v. 46, pp. 1284-1298, 2017.

BRESNAHAN, T. "General purpose technologies". In: HALL, B. & ROSENBERG, N. (eds.) *Handbook of the economics of innovation*. Volume II. Amsterdam: North Holland, pp. 761-791, 2010.

BRESNAHAN, T.; TRAJTENBERG, M. General purpose technologies 'Engines of growth'?. *Journal of econometrics*, 65(1), pp.83-108, 1995.

BRITTO, J.N.P.; RIBEIRO, L.C.; ALBUQUERQUE, E. M.. Global systems of innovation: introductory notes on a new layer and a new hierarchy in innovation systems. *Innovation and Development*, pp.1-21, 2021.

- CLARK, J.; FREEMAN, C.; SOETE, L. Long waves, inventions and innovations. *Futures*, 1981.
- COHEN, W.; LEVINTHAL, D. A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation, *Administrative Science Quarterly*, 35, pp. 128-152, 1990.
- COZZENS, S. E.; KAPLINSKY, R. “Innovation, poverty and inequality: cause, coincidence, or co-evolution?”. In: LUNDEVALL, B. et al. *Handbook of innovation systems and developing countries*. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar, 2009.
- EDQUIST, C. “Systems of innovation: perspectives and challenges”. In: *The Oxford Handbook of Innovation*, chapter 7, 2004.
- FREEMAN, C. & LOUÇÃ, F. *As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution*. Oxford: Oxford University, 2001.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. London: Pinter, 1987.
- FREEMAN, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-2, 1995.
- FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. *Technology, Organizations and Innovation: Theories, concepts and paradigms*, pp. 38-66, 1988.
- FURTADO, C. “Underdevelopment: to conform or reform”, In: MEIER, G. (ed.) *Pioneers in development*. Second Series. Oxford: Oxford University/World Bank, 1987.
- FURTADO, C. *Brasil: a construção interrompida*. São Paulo: Paz e Terra, 1992.
- FURTADO, C. *Criatividade e dependência na civilização industrial*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978.
- FURTADO, C. *Metamorfoses do capitalismo*. Rio de Janeiro: Discurso na Universidade Federal do Rio de Janeiro no recebimento do título de Doutor Honoris Causa. 2002. Disponível em: . Acesso em: 11 set. 2021.
- FURTADO, C. *Os ares do mundo (memórias)*. São Paulo: Paz e Terra, 1991.
- GERSCHENKRON, A. Economic backwardness in historical perspective (1962). *The Political Economy Reader: Markets as Institutions* (1962): 211-228.
- HAN, J.; KAMBER, M. *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2006.
- HELPMAN, E. *General Purpose Technologies and Economic Growth*. MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- KONDRATIEV, N. D. Long cycles of economic conjuncture. In: MAKASHEVA, N.; SAMUELS, W. & BARNETT, V. (eds.) *The works of Nikolai D. Kondratiev*. London: Pickering and Chato, [1998]1926b.
- KONDRATIEV, N. D. The long waves in economic life. *Review of Economic Statistics*, v. 17, n. 35, pp. 105-115, [1935]1926a.
- LEE, K. Economics of technological leapfrogging. *UNIDO, Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series WP 17*, 2019a.

- LEE, K. *The art of economic catch-up: barriers, detours and leapfrogging in innovation systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019b.
- LEE, K.; MALERBA, F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems. *Research Policy*, vol. 46, pp. 338-351, 2017.
- LEWIS, A. The Slowing Down of the Engine of Growth. *Lecture to the memory of Alfred Nobel*, December 8, 1979. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/economicosciences/1979/lewis/lecture/>>. Acesso em: 09 set. 2021.
- LUNDEVALL, B. (ed.). *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter, 1992.
- LUNDEVALL, B. et al. “Innovation system research and developing countries”. In: LUNDEVALL, B. et al. *Handbook of innovation systems and developing countries*. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar, 2009
- LUNDEVALL, B. *The learning economy and the economics of hope*. Anthem Press, 2016.
- MADDISON, A. *Chinese economic performance in the long run*. Paris: OECD Publishing, 2007.
- MANDEL, E. Explaining long waves of capitalist development. *Futures*, 1981.
- MARX, K. Lutas de classes na Rússia. Org. Michael Löwy, São Paulo: Boitempo, 2013.
- MARX, K. O capital: crítica da economia política, Livro I. São Paulo: Boitempo, [2013]1867.
- MYRDAL, G. the equality issue in world development. *Lecture to the memory of Alfred Nobel*, March 17, 1975. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/economicosciences/1974/myrdal/lecture/>>. Acesso em: 09 set. 2021.
- NELSON, R. R. (ed.). *National systems of innovation: a comparative study*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- NELSON, R. R. On “reasoned history”. *Industrial and Corporate Change*, Volume 29, Issue 4, pp. 1035–1036, 2020.
- PAULA, J. A. *O capitalismo no Brasil*. Curitiba: Kotter Editorial, 2021.
- PEREZ, C. ‘From “long waves” to “great surges”’: continuing in the direction of Chris Freeman’s 1997 lecture on Schumpeter’s business cycles,’ *European Journal of Economic and Social Systems*, 27, 69–79, 2015.
- PEREZ, C. Finance and technical change: a long-term view. In: HANUSCH, H.; PYKA, A (Eds.). *Elgar companion to neo-Schumpeterian economics*. Edward Elgar Publishing, 2007.
- PEREZ, C. *Technological revolutions and financial capital: the dynamics of bubbles and golden ages*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2002.
- PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms, *Cambridge Journal of Economics*, v. 34, n. 1, pp. 185-202, 2010.

PEREZ, C.; SOETE, L. “Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity” In: DOSI, G.; FREEMAN, C. & NELSON, R. et al. (eds.). *Technical change and economic theory*. London: Pinter, pp. 458-479, 1988.

PREBISCH, R. “Five stages in my thinking on development”, In: MEIER, G. M. (ed.) *Pioneers in development*. Oxford: Oxford University/World Bank, 1984.

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

RIBEIRO, L. C.; DEUS, L. G.; LOUREIRO, P. M. & ALBUQUERQUE, E. M. Profits and fractal properties: notes on Marx, countertendencies and simulation models, *Review of Political Economy*, v. 29, n. 2, pp. 282-306, 2017.

ROCHET, J.; TIROLE, J. Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*, vol. 1, n. 4, p. 990-1.029, 2003.

ROSENBERG, N. Chemical engineering as a general purpose technology. In: HELPMAN, E. *General purpose technologies and economic growth*. Cambridge, MA; London: The MIT Press, 1998. p. 167-192.

ROSENBERG, N. *Schumpeter and the endogeneity of technology: some American perspectives*. London: Routledge, 2000.

ROSENBERG, N. The role of electricity in industrial development. In: ROSENBERG, N. *Studies on science and the innovation process: selected works by Nathan Rosenberg*. New Jersey/London: World Scientific, 2010. p. 137-151.

ROSENBERG, N.; TRAJTENBERG, M. A general purpose technology at work: the Corliss steam engine in the late-nineteenth-century United States. 2004. In: ROSENBERG, N. *Studies on science and the innovation process: selected works by Nathan Rosenberg*. New Jersey; London: World Scientific, [2010]2004. p. 97-136.

SCHUMPETER, J. A. *Business cycle*. New York/ London: McGraw-Hill Book Company, 1939.

SCHUMPETER, J. A. *Capitalism, socialism and democracy*. Routledge, [2010]1949.

SILVERBERG, G. Long waves: conceptual, empirical and modelling issues. In: HANUSCH, H.; PYKA, A. (Ed.). *Elgar companion to neo-schumpeterian economics*. Cheltenham: Edward Elgar, 2007.

SOETE, L.; VERSPAGEN, B.; WEEL, B. “Systems of innovation”. In: HALL, B.; ROSENBERG, N. (Eds.). *Handbook of the economics of innovation*. Volume II. Amsterdam: North Holland, 2010.

UNCTAD. *Digital economy report 2019, value creation and capture: implications for developing countries*. United Nations publication issued by the United Nations Conference on Trade and Development, 2019.