



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Euler Daltro Cesário Neto

CATCHING-UP TECNOLÓGICO NA ARQUITETURA 5G: UMA ANÁLISE BASEADA
EM DADOS DE PATENTES

Rio de Janeiro

2023

Euler Daltro Cesário Neto

CATCHING-UP TECNOLÓGICO NA ARQUITETURA 5G: UMA ANÁLISE BASEADA
EM DADOS DE PATENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Economia da Indústria e da Tecnologia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marília Bassetti Marcato

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Julia Ferreira Torracca-Chrispino

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

C421c Cesário Neto, Euler Daltro
 Catching-up tecnológico na arquitetura 5G: uma
 análise baseada em dados de patentes / Euler Daltro
 Cesário Neto. -- Rio de Janeiro, 2023.
 104 f.

 Orientadora: Marília Bassetti Marcato.
 Coorientadora: Julia Ferreira Torracca-Chrispino.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
 Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de
 Pós-Graduação em Economia, 2023.

 1. Catch-up. 2. Desenvolvimento tecnológico. 3.
 Catching-up tecnológico. 4. 5G. 5. Telecomunicações.
 I. Marcato, Marília Bassetti, orient. II. Torracca
 Chrispino, Julia Ferreira, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Euler Daltro Cesário Neto

CATCHING-UP TECNOLÓGICO NA ARQUITETURA 5G: UMA ANÁLISE BASEADA
EM DADOS DE PATENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Economia da Indústria e da Tecnologia.

Rio de Janeiro, 30 de junho de 2023.

Marília Bassetti Marcato (orientadora) (UFRJ)

Julia Ferreira Torracca-Chispino (coorientadora) (UFRJ)

Camila Cabral Pires Alves (UFRJ)

Paulo Bastos Tigre (UFRJ)

Pedro Carvalho de Miranda (IPEA)

“The empire, long divided, must unite; long united, must divide. Thus it has ever been”

Luo Guanzhong

RESUMO

As tecnologias de comunicação móvel transformaram as relações sociais, produtivas e comerciais ao longo das últimas décadas, com efeitos para o desenvolvimento tecnológico dos países e desdobramentos em termos das disputas tecnológicas entre países. Atualmente, diversos países concorrem pelo desenvolvimento e definição do padrão a ser adotado pela “arquitetura 5G” – a mais recente geração de tecnologias de comunicação móvel. Esta pesquisa tem como objetivo identificar a liderança tecnológica e a existência de países em *catching-up* tecnológico com potencial para tornarem-se competidores na posição *forging ahead* na fronteira tecnológica do 5G. Nesse sentido, utilizou-se do ferramental bibliométrico aplicado à literatura acadêmica para fundamentação teórica, para o entendimento dos componentes e características das tecnologias que compõem a chamada “arquitetura 5G” e para a construção de um dicionário de termos-chave representantes de tais tecnologias. As famílias de pedidos de patentes foram tomadas como *proxy* para o desempenho inventivo dos países e então aplicou-se a busca lexicográfica baseada no dicionário construído para a identificação das famílias relacionadas à arquitetura 5G. A partir da base de dados Patstat 2020, a pesquisa utiliza indicadores de desempenho tecnológico, vantagem tecnológica revelada, relevância enquanto base de conhecimento para a arquitetura 5G e de *capabilities* para transformação de conhecimento nativo em novas invenções para o período de 2010 a 2018. Os resultados mostram uma liderança tripartida e tecnologicamente especializada entre Coreia do Sul, Estados Unidos e China, esta última tendo completado seu *catching-up* tecnológico e competindo na posição *forging ahead*. Também se identificou um pequeno grupo de países seguidores e há indicativos de que Índia, Suécia e Finlândia estão em processo de *catching-up* tecnológico com potencial para competir futuramente na posição *forging ahead*. Ademais, Japão e Reino Unido perderam relevância no âmbito da arquitetura 5G. Os resultados desta pesquisa apontam para uma possível reconfiguração geopolítica no âmbito da arquitetura 5G, com redução da hegemonia norte-americana enquanto base de conhecimento para novos avanços tecnológicos, sendo desafiada por Coreia do Sul e China.

Palavras-chave: *Catch-up*; *Catching-up*; *Catching-up* tecnológico; Desenvolvimento tecnológico; 5G; Telecomunicações.

ABSTRACT

Mobile communication technologies have transformed social, productive, and commercial relations over the last few decades, with effects on the technological development of countries and consequences in terms of technological disputes between countries. Currently, several countries compete for the development and definition of the standard to be adopted by the “5G architecture” – the latest generation of mobile communication technologies. This research aims to identify technological leadership and the existence of countries in technological catching-up with the potential to become competitors in the forging ahead position on the technological frontier of 5G. In this sense, the bibliometric tool applied to the academic literature was used for theoretical foundation, for the understanding of the components and characteristics of the technologies that make up the so-called “5G architecture” and for the construction of a dictionary of key terms representing such technologies. The families of patent deposits were taken as a proxy for the inventive performance of the countries and a lexicographical search was applied based on the dictionary built to identify the families related to the 5G architecture. Based on the Patstat 2020 database, the research uses indicators of technological performance, revealed technological advantage, relevance as a knowledge base for 5G architecture and capabilities for transforming native knowledge into new inventions for the period from 2010 to 2018. results show a tripartite and technologically specialized leadership between South Korea, United States and China, the latter having completed its technological catching-up and competing in the forging ahead position. A small group of follower countries was also identified and there are indications that India, Sweden and Finland are in the process of technological catching-up with the potential to compete in the forging ahead position in the future. Furthermore, Japan and the United Kingdom have lost relevance in terms of 5G architecture. The results of this research point to a possible geopolitical reconfiguration within the scope of 5G architecture, with a reduction of North American hegemony as a knowledge base for new technological advances, being challenged by South Korea and China.

Keywords: Catch-up; Catching-up; Technological catch-up; Technological development; 5G; Telecommunications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de cocitação de autores	19
Figura 2 - Fluxo metodológico para a construção do dicionário de termos-chave relacionados à arquitetura 5G	40
Figura 3 - Evolução da arquitetura de redes móveis heterogêneas.....	49
Figura 4 - Distribuição do número de famílias por território dos inventores	68
Figura 5 - Número de famílias da arquitetura 5G, por triênio, dos dez países com maior número de famílias de depósitos	69
Figura 6 - Distribuição do número de pedidos de patente por território dos inventores, por triênio, dos três principais países <i>versus</i> o restante do mundo	70
Figura 7 - Distribuição do número de depósitos por território dos inventores, excetuando Coreia do Sul, Estados Unidos e China.....	71
Figura 8 - Evolução da participação relativa dos países no total de famílias de patentes associadas à arquitetura 5G, por triênio, excetuando Coreia do Sul, Estados Unidos e China	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos principais pontos de divergência entre a macroeconomia do crescimento econômico e os teóricos do <i>gap</i> tecnológico.....	32
Quadro 2 – Lista de termos relacionados à arquitetura 5G, exclusões e motivos da exclusão	53
Quadro 3 - Termos-chave radicais relacionados à arquitetura 5G	55
Quadro 4 - Quadro-resumo da análise dos pedidos de patente, da evolução dos pedidos e da Vantagem Tecnológica Revelada	78
Quadro 5 - Quadro-resumo das análises de pedidos de patente, VTR e autocitações.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência absoluta dos termos compostos mais utilizados nos campos de título, resumo, palavras-chave e keyword-plus dos artigos relacionados à arquitetura 5G	51
Tabela 2 – Grau de cobertura das informações contidas na Patstat 2020, por escritório, para informações a nível de pedido de depósito e de família.....	62
Tabela 3 - Contagem das famílias da arquitetura 5G, por ano do depósito mais antigo	67
Tabela 4 - Vantagem Tecnológica Revelada (VTR) dos 13 maiores depositantes de famílias da arquitetura 5G, por triênio (2010-2012; 2013-2015; 2016-2018).....	77
Tabela 5 - Base de conhecimento das famílias da arquitetura 5G.....	82
Tabela 6 - Coeficiente de autocitação das famílias da arquitetura 5G	83

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO 1 - UMA REVISÃO SISTÊMICA DA CORRIDA PELA LIDERANÇA	16
1.1. Introdução.....	16
1.2. Metodologia para revisão da literatura	17
1.3. Cluster 1: macroeconomia do crescimento econômico	19
1.4. Cluster 2: teóricos do <i>gap</i> tecnológico	24
1.5. Considerações parciais	32
CAPÍTULO 2 – DEFINIÇÃO TÉCNICA DA ARQUITETURA 5G E CONSTRUÇÃO DO DICIONÁRIO DE TERMOS-CHAVE.....	35
2.1. Introdução.....	35
2.2. Introdução à comunicação móvel enquanto janela para o <i>catching-up</i>	35
2.3. Metodologia.....	39
2.4. O que é a arquitetura 5G?.....	43
2.4.1. Introdução às visões.....	43
2.4.2. Motivação para a arquitetura 5G	44
2.4.3. Dimensão 1: requisitos mínimos de desempenho.....	45
2.4.4. Dimensão 2: Padrão técnico do 5G	46
2.4.4.1. Uso de bandas de alta frequência	46
2.4.4.2. Massive Multiple-Input Multiple-Output (M-MIMO)	47
2.4.4.3. Machine-to-Machine (M2M) nativo.....	48
2.4.5. Dimensão 3: Arquitetura de redes 5G	48
2.5. Termos definidores da arquitetura 5G	51
2.6. Considerações parciais	55
CAPÍTULO 3 - <i>CATCHING-UP</i> TECNOLÓGICO NA ARQUITETURA 5G	57
3.1. Introdução.....	57
3.2. Notas metodológicas e o uso de estatísticas de patente como <i>proxy</i> para desempenho tecnológico	58
3.3. Análise da evolução do desempenho inventivo na arquitetura 5G.....	66
3.4. Estudo do posicionamento dos países no desenvolvimento tecnológico	74
3.5. Análise da base de conhecimento	79
3.4. Considerações parciais	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	96

INTRODUÇÃO

As tecnologias de comunicação móvel transformaram as relações sociais, produtivas e comerciais ao longo das últimas décadas, com efeitos para o desenvolvimento tecnológico dos países e desdobramentos em termos das disputas tecnológicas e geopolíticas entre países. A relevância das tecnologias de comunicação móvel pode ser expressa nos atuais 6,2 bilhões de usuários de banda larga móvel em todo o mundo (FORGE; VU, 2020). Não por um acaso, *policymakers* de diversos países demonstram grande interesse no setor de comunicação móvel, tendo em vista que a infraestrutura de comunicação é reconhecida como uma pedra angular do desenvolvimento econômico, do crescimento da produtividade e do desenvolvimento estratégico da segurança nacional, com diversos países questionando se a infraestrutura nacional de comunicações pode depender apenas de equipamentos estrangeiros, deixando exposta a infraestrutura crítica à possibilidade de ataques cibernéticos, espionagem e falta de segurança na transmissão de dados sensíveis (LEMSTRA, 2018). Tal interesse pode ser observado na forte concorrência internacional pelo desenvolvimento das novas gerações destas tecnologias.

Desde os primeiros usos comerciais nas décadas de 1970 e 1980, as tecnologias de comunicação móvel evoluíram por aproximadamente cinco gerações, com durações comerciais médias de dez anos (FARIAS, 2021). A competição pelo desenvolvimento destas tecnologias tem sido dinâmica, com ascensões e declínios de competidores em espaços de tempo relativamente curtos (LEMSTRA, 2018). O desenvolvimento da primeira geração foi liderado pelo Japão (FARIAS, 2021), a segunda geração (2G) foi liderada por Japão, Estados Unidos e pela Comunidade Europeia, a terceira geração (3G) foi marcada pela competição entre a comunidade europeia, japoneses, norte-americanos e sul-coreanos, sendo este último o país pioneiro na implementação desta geração em base comercial (LEMSTRA, 2018), e a quarta geração (4G) foi marcada pela ascensão dos países asiáticos na corrida tecnológica, com a Coreia do Sul na liderança, seguida de perto pela China (KANG *et al.* 2014; KIM *et al.* 2020).

Atualmente, diversos países concorrem pelo desenvolvimento e definição do padrão a ser adotado pela “arquitetura 5G”¹ – a mais recente geração de tecnologias de comunicação móvel: mesmo com a liderança tecnológica sul-coreana no padrão 4G, Estados Unidos (BOARD, 2019) e União Europeia (PARLIAMENT, 2015) publicaram e implementaram planos de política industrial e tecnológica, orientados pela missão de se tornarem líderes

¹ O uso do termo “Arquitetura 5G”, ao invés de “5G”, é abordado no capítulo 2.

tecnológicos no desenvolvimento deste padrão, de modo a recuperarem sua posição *forging ahead*², enquanto a China aparece como um concorrente em ascensão (ARIAD, 2020; ROSTELECOM, 2020). Kim *et al.* (2020) sugerem que a China está saindo da posição de seguidor e indo em direção à liderança no desenvolvimento destas tecnologias.

O setor de telecomunicação foi terreno para processos históricos de *catching-up* tecnológico, como demonstrado pelo caso da Coreia do Sul, que se tornou líder no padrão 4G, e pela China, que surgiu como seguidora no 4G e aparenta estar na posição *forging ahead* na arquitetura 5G (ARIAD, 2020; ROSTELECOM, 2020). Ao considerar o potencial do setor de comunicação móvel para o *catching-up* tecnológico e a arquitetura 5G enquanto uma janela de oportunidade, esta pesquisa buscará preencher uma lacuna identificada na literatura, na qual pouco se discute sobre os países seguidores no desenvolvimento tecnológico com potencial de alcançar a liderança tecnológica futuramente.

Esta pesquisa busca responder a seguinte pergunta: “Tendo como base as solicitações de patentes de invenção relacionadas à arquitetura 5G, quais são os países que atuam como líderes e quais os países em processo de *catching-up* tecnológico?”. Para responder tal questionamento, a pesquisa orientou-se a partir da seguinte pergunta auxiliar: “No âmbito da arquitetura 5G, é possível verificar países não-líderes nas gerações tecnológicas anteriores com potencial para se aproximarem da liderança tecnológica na atual geração e em gerações tecnológicas posteriores?”.

A hipótese testada é de que não há evidências de países tecnologicamente não-líderes nos padrões tecnológicos anteriores emergindo no desenvolvimento da arquitetura 5G no período entre 2012 e 2018 e que a liderança tecnológica continua na mão dos líderes do 4G, isto é, Coreia do Sul e Estados Unidos. Tal período demarca as primeiras publicações acadêmicas relevantes sobre 5G e a disponibilidade de informações sobre pedidos de patentes. Aqui, ressalta-se a dualidade do fenômeno da cumulatividade no processo de desenvolvimento tecnológico: por um lado, a cumulatividade do conhecimento leva a crer que países tecnologicamente avançados nas gerações tecnológicas anteriores possuem maior potencial para serem os líderes na atual geração tecnológica, enquanto por outro lado a cumulatividade pode levar ao *lock-in* tecnológico, e um país líder pode perder sua posição por se prender a gerações tecnológicas anteriores. O potencial resultado pode tanto ser que países líderes

² Para esta pesquisa, utilizamos os termos *forging ahead* e *falling behind* no sentido apresentado por Abramovitz (1986), referindo-se, respectivamente, aos países que estão na liderança e que empurram a fronteira tecnológica, e aos países que estão se tornando atrasados e se distanciando da fronteira tecnológica.

seguirão liderando e não há espaço para seguidores alcançá-los, ou que países líderes experimentam *lock-in* tecnológico e os seguidores podem ultrapassá-los. Porém, essa possibilidade de ultrapassagem não está disponível a todos os países, pois ainda que a arquitetura 5G possa ter um caráter disruptivo (ANDREWS *et al.*, 2014; BOARD, 2019; LEMSTRA, 2018; PARLIAMENT, 2015), o desenvolvimento das tecnologias de comunicação móvel resulta de um processo de acumulação de conhecimento sobre tecnologias complementares, sendo necessário, portanto, uma base de conhecimento desenvolvida para poder buscar a posição *forging ahead*.

Esta pesquisa objetiva identificar países que não são líderes nas gerações tecnológicas anteriores, mas que estão em processo de *catching-up* tecnológico no âmbito da arquitetura 5G, com potencial para alcançarem a posição *forging ahead* tecnológico nas próximas gerações tecnológicas. Conclui-se que, baseado nas evidências de quantidade e evolução da participação nos pedidos de patente, especialização tecnológica (medida pelo indicador de Vantagem Tecnológica Revelada) e evolução das *capabilities* inventivas (medido pela relevância do país enquanto base de conhecimento e pelo coeficiente de autocitação), a posição *forging ahead* é ocupada pela tríade Coreia do Sul, Estados Unidos e China. Já Japão e Reino Unido foram identificados como países seguidores que sofrem perda de relevância no desenvolvimento desta geração tecnológica. Índia, Suécia e Finlândia foram identificados como países em processo de *catching-up* tecnológico no âmbito da arquitetura 5G com potencial de virem a se tornar *forging ahead* em gerações tecnológicas posteriores. Não está no escopo desta pesquisa a investigação acerca dos fatores determinantes que levaram ao *catching-up* tecnológico destes países.

Além desta introdução e das considerações finais, esta pesquisa está dividida em três capítulos. O capítulo 1 apresenta uma revisão estruturada e parametrizada da literatura sobre *catching-up* econômico, identificando as pesquisas científicas e autores centrais por meio da técnica bibliométrica. Ao delimitar os diferentes corpos teóricos existentes, buscou-se identificar o arcabouço conceitual que estabelece a relação entre a literatura sobre *catching-up* econômico e convergência, estabelecendo, em particular, a discussão sobre a relevância do componente tecnológico para o *catching-up*. Deste exercício, identificou-se a existência de dois *clusters* teóricos centrais, aqui denominados de macroeconomia do crescimento econômico, e teóricos do *gap* tecnológico, sendo este último identificado como o referencial teórico mais aderente para esta pesquisa.

A partir do referencial teórico estabelecido no capítulo 1, o capítulo 2 avança na caracterização das tecnologias que compõem a arquitetura 5G e apresenta o setor de comunicação móvel como uma janela de oportunidade para o *catching-up* tecnológico. Para tanto, este capítulo buscou definir a arquitetura 5G a partir de diferentes prismas técnicos, para então identificar os principais termos relacionados à arquitetura 5G, fundamentados pela literatura acadêmica, que foram o insumo para o estudo da ocorrência de *catching-up* no âmbito destas tecnologias. A contribuição deste capítulo é principalmente metodológica. Neste, constrói-se o entendimento sobre a arquitetura 5G a partir da aplicação da técnica bibliométrica (ARIA e CUCCURULO, 2014). Em simultâneo, este capítulo utiliza-se desta técnica para a elaboração da metodologia para a construção de um dicionário de termos-chave relacionados à arquitetura 5G por meio de métodos quantitativos aplicados à literatura especializada e validação qualitativa dos resultados, podendo ser replicada para a construção de dicionários de termos-chave relacionados a outras tecnologias.

O capítulo 3 toma como base a análise das famílias de patentes relacionadas à arquitetura 5G, identificadas por meio de busca lexicográfica por termos academicamente fundamentados apresentada no capítulo anterior, para analisar o desempenho inventivo dos países de residência dos inventores nos triênios 2010-2012, 2013-2015 e 2016-2018 e então identificar a posição dos principais países na corrida tecnológica, buscando classificá-los na dinâmica de *forging ahead*, *catching-up* e *falling behind*. Para tanto, analisou-se a participação dos principais países nos pedidos de patente, a evolução de suas participações relativas, sua especialização nestas tecnologias por meio do indicador de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR), suas importâncias enquanto base de conhecimento para a fundamentação de avanços tecnológicos no âmbito da arquitetura 5G e as suas *capabilities* internas para transformar conhecimento nativo em novas invenções tomando o indicador de autocitações como *proxy* para estas, tal como em Kang *et al.* (2014). Por último, são discutidos os resultados desta pesquisa e questões que podem ser abordadas em pesquisas posteriores, estabelecendo, por fim, uma agenda de pesquisa.

CAPÍTULO 1 - UMA REVISÃO SISTÊMICA DA CORRIDA PELA LIDERANÇA

1.1. Introdução

A discussão sobre *catching-up* econômico se insere na literatura de crescimento e desenvolvimento econômico. No geral, ela se refere à capacidade de um agente econômico “atrasado”, seja empresa ou país, auferir taxas de crescimento superiores às dos agentes econômicos “líderes” e, portanto, alcançá-los em termo de desempenho (ABRAMOVITZ, 1986). Nesta literatura, discute-se a existência e possibilidade deste fenômeno, seus condicionantes e requisitos mínimos, bem como as políticas e estratégias que podem ser adotadas para realizar um *catching-up* de sucesso.

O objetivo deste capítulo é construir um diálogo sobre *catching-up* econômico e tecnológico, estabelecendo suas correntes de pensamento, autores centrais e estrutura conceitual do debate. Para tanto, é realizada uma análise bibliométrica da literatura acadêmica, que serve de guia para a seleção de materiais para a análise qualitativa da literatura e construção da argumentação das diferentes linhas de pensamento que são mapeadas neste capítulo. O produto da análise bibliométrica é o fornecimento de *clusters* de autores que discutem este tema. A partir destes, foram selecionados os textos considerados mais importantes pela literatura, por métodos matemáticos, que discute o tema *catching-up* e analisados qualitativamente, de modo a estabelecer os conceitos centrais aos *clusters* identificados.

Dessa forma, o capítulo está estruturado em três seções, para além desta introdução e das considerações parciais. A seção 1.2 discute a metodologia utilizada para a seleção de textos, que resultou em uma *clusterização* de autores em três *clusters* e que representam abordagens relativamente distintas sobre o tema. A partir da leitura dos materiais destes autores, concluiu-se que dois dos *clusters* representam abordagens semelhantes entre si dentro de cada grupo, e que o terceiro *cluster* se trata de um resíduo do ferramental bibliométrico e que não forma um corpo sólido de abordagens e, portanto, não foi utilizado para análise. As seções 1.3 e 1.4 discutem qualitativamente a literatura de *catching-up* entendida pelos dois *clusters* restantes, denominados aqui como, respectivamente, “macroeconomia do crescimento econômico” e “teóricos do *gap* tecnológico”. São enfatizados os pontos de divergência entre os grupos, seu entendimento do processo de *catching-up* pelas vias de mercado e tecnológica, divergências no entendimento do processo e fatores que levaram à separação das abordagens. A discussão aqui realizada serve como referencial teórico para a discussão particular do fenômeno do *catching-up* no âmbito da arquitetura 5G, tendo em vista que a arquitetura 5G será investigada enquanto

janela de oportunidade para realização de *catching-up* tecnológico a partir da visão dos “teóricos do gap tecnológico”.

1.2. Metodologia para revisão da literatura

O debate sobre *catching-up* econômico e tecnológico foi estabelecido por meio da análise bibliométrica da literatura acadêmica. Tal técnica permite a revisão estruturada de literatura por meio de seleção computacional de material, permitindo observar o desenvolvimento dos conceitos centrais, temas, artigos e autores de maior relevância na literatura (ARIA; CUCCURULO, 2017). O resultado bibliométrico é interpretado como uma imagem quantitativa da estrutura qualitativa do conhecimento: o desempenho quantitativo dos documentos – medido pelo número de citações recebidas – é entendido como reflexo do desempenho qualitativo deles, enquanto o número de citações conjuntas de textos ou autores por terceiros reflete sua compatibilidade de ideias e coexistência no debate.

A análise bibliométrica é um guia para o estudo das ideias consideradas centrais de certa literatura, fundamentando a escolha de materiais para o estudo qualitativo. O uso desta técnica se justifica pela sua capacidade de reduzir o viés causado pela escolha arbitrária de documentos, e é primordialmente uma ferramenta computacional para escolha de material. As principais limitações desta técnica referem-se: (i) ao fato de haver um viés em direção a textos mais antigos, pois recebem mais citações, naturalmente; (ii) à exclusão de materiais que estão inseridos em outras áreas do conhecimento que não a principal relacionada ao objeto de estudo pois, por exemplo, textos da área de engenharia são menos citados por textos da área de economia; e (iii) e o uso exclusivo dessa metodologia de seleção impõe a exclusão do uso de outros materiais que poderiam apresentar boas sinergias com o assunto em questão.

Para esta análise, foi utilizado o banco de dados de artigos da Scopus, no qual foram selecionadas as publicações que possuem os termos “*economic*” e “*catch-up*” ou “*catching-up*”³ nos campos de título, resumo, palavras-chave ou *keyword plus*⁴ no alfabeto latino, independentemente do idioma de publicação e área temática, excetuando publicações em revistas de medicina⁵. Os dados, extraídos em novembro de 2021, resultaram em 2326

³ O termo “*technological*” e suas variantes não foram inseridos na busca pois sua inclusão resultou na exclusão de artigos centrais sobre o tema, como por exemplo Abramovitz (1986). Além disso, poderia causar a exclusão de artigos que discutem *catching-up* exclusivamente pela via de mercado.

⁴ *Keyword plus* são palavras ou frases que aparecem frequentemente nos títulos das referências de um artigo, que não necessariamente estão presentes no título ou palavras-chave do artigo em questão (GARFIELD, 1990).

⁵ Há muitos artigos em revistas médicas que utilizam esses termos em temas relacionados à obesidade e distúrbios alimentares.

documentos publicados entre 1967 e 2022⁶. Por limitações de capacidade de exportação de dados, foram selecionados os 2000 documentos mais citados, sendo que 255 destes não possuíam citações até a data de extração. Como tratado, estes 2000 artigos possuem a janela temporal de 1967 a 2022.

Para a análise foi usado o pacote *bibliometrix* para o *software* R, o qual calculou, a partir das referências listadas por estes 2000 artigos, uma matriz de cocitação⁷ de artigos pela fórmula:

$$B_{cocit} = A \times A' \quad (1)$$

onde A é uma matriz *Documento* \times *Sobrenome do Autor citado*. A matriz B_{cocit} é simétrica, cada elemento b_{ij} indica quantas cocitações existem entre os autores i e j , e a diagonal principal contém o número de citações locais do autor. Em seguida, o pacote constrói a rede de autores cocitados a partir da matriz B_{cocit} , que representa a estrutura intelectual da literatura (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Posteriormente, a rede passa por um algoritmo de *clusterização*, gerando uma imagem, no qual a cor de cada ponto de autor indica o *cluster* mais relevante para este, o tamanho do ponto indica o número total de citações, representando sua relevância para a literatura como um todo, e a distância entre dois pontos é inversamente proporcional à proximidade das ideias apresentadas por estes autores. A figura 1 apresenta os resultados desta análise bibliométrica.

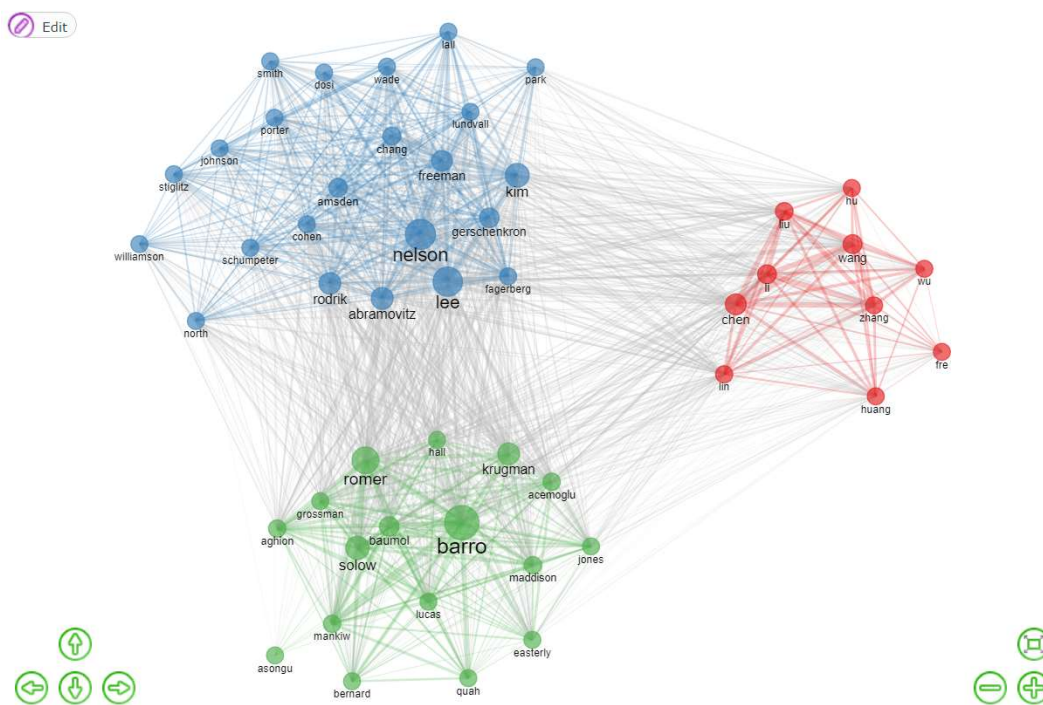
Observa-se na Figura 1 a existência de três *clusters*, representados pelas cores verde (1), azul (2) e vermelho (3). Dos 50 autores identificados como centrais na literatura (autores com maior número de citações internas à base de dados), entende-se que 17 deles pertencem ao *cluster* 1, 23 ao *cluster* 2 e 10 ao *cluster* 3. Baseado no tamanho dos pontos, os autores mais relevantes nesta discussão no *cluster* 1 são Robert Barro, Robert Solow, Paul Krugman, Paul Romer e William Baumol, que são autores comumente relacionados à teoria macroeconômica. Este *cluster* foi denominado “macroeconomistas do desenvolvimento econômico”. O segundo *cluster*, em azul, denominado aqui “teóricos do *gap* tecnológico”, tem como autores mais relevantes Alexander Gerschenkron, Christopher Freeman, Keun Lee, Moses Abramovitz e Richard Nelson, comumente relacionados à visão institucionalista e à teoria evolucionária da mudança econômica. O terceiro *cluster*, em vermelho, não pôde ser considerado um conjunto de autores com abordagens semelhantes e, portanto, não foi analisado, por causa de limitações

⁶ Ainda que a extração de dados tenha sido feita em 2021, na base da Scopus já havia informações bibliométricas sobre artigos confirmados para publicação em 2022.

⁷ Número de artigos que citam os dois autores ao mesmo tempo.

da ferramenta usada. A justificativa para isso é que a *clusterização* do pacote é feita a partir da matriz Documento X Sobrenome do Autor citado, e dado a abundância de autores com estes sobrenomes neste *cluster* (Ex.: Chen, Li, Wang), diversos indivíduos foram agrupados sobre o mesmo sobrenome. Sendo assim, não é possível identificar qual o verdadeiro autor que deve ser considerado central neste *cluster* e, ademais, se separados os autores de mesmo sobrenome, não há garantias de que o formato deste *cluster* permaneça o mesmo.

Figura 1 - Rede de cocitação de autores



Fonte: Elaboração própria baseada nos dados da Scopus usando o pacote *Bibliometrix* para R.

Por hipótese da técnica bibliométrica, as ideias centrais e recorrentes extraídas deste exercício, representam parte do núcleo do pensamento acerca do *catching-up*. Esta organização de *clusters* é estudada qualitativamente nas próximas seções, visando identificar as ideias centrais. A análise qualitativa ocorre exclusivamente em função dos autores identificados, e os textos usados são pelo menos a referência mais citada de cada autor pelos 2000 documentos da amostra. Portanto, a análise é baseada em 17 textos principais do *cluster* 1 e 23 textos do *cluster* 2, complementados sob necessidade por textos dos mesmos autores considerados nos grupos.

1.3. Cluster 1: macroeconomia do crescimento econômico

Este *cluster* é formado por autores ligados à teoria neoclássica do crescimento econômico. Nesse sentido, o debate sobre *catching-up* está centrado na discussão da existência do fenômeno macroeconômico de convergência internacional nas taxas de crescimento do produto por hora de trabalho.

A discussão realizada por este *cluster* parte de Solow (1956) e seu modelo de crescimento exógeno, desenvolvido em resposta ao modelo de Harrod-Domar, conhecido por seu resultado de crescimento econômico “sob o fio de uma navalha”. O objetivo de Solow não é de providenciar uma teoria do desenvolvimento econômico, mas explicar o crescimento econômico dos Estados Unidos (LUCAS, 1988). Solow (1956) parte de uma função de produção de inspiração neoclássica, formada por capital, trabalho e uma tecnologia aumentadora de trabalho, cujo crescimento é exógeno. A função é homogênea, com retornos constantes de escala e com rendimentos marginais individualmente decrescentes. O crescimento da força de trabalho é exógeno e não há limitações ao crescimento do fator de produção capital.

Tomando a taxa de crescimento da força de trabalho e da tecnologia como constantes e exógenos, e a do capital como a diferença entre a taxa de poupança e a taxa de depreciação do capital, o capital por unidade efetiva de trabalho será maior quanto maior for a propensão a poupar e menor for a taxa de depreciação, e menor o crescimento da força de trabalho e menor o crescimento da tecnologia. Em estado estacionário, no qual não há investimento líquido positivo ou negativo, o crescimento do produto será igual a taxa de crescimento populacional acrescida da taxa de crescimento do conhecimento, enquanto o produto *per capita* crescerá apenas pelo progresso tecnológico.

A trajetória de crescimento dada por este modelo é estável e a dinâmica de convergência para a taxa de crescimento do produto por unidade efetiva de trabalho do estado estacionário é garantida pela existência de retornos marginais decrescentes. Assim, se o investimento líquido for superior que o necessário para manter o capital por unidade efetiva de trabalho estável, a taxa de investimento se reduzirá, convergindo para a taxa na qual o capital por unidade efetiva de trabalho se mantém constante (SOLOW, 1956). Dado que a taxa de crescimento do produto em estado estacionário é dada pelo crescimento da força de trabalho e do progresso técnico, mudanças na taxa de poupança não aceleram ou reduzem permanentemente a taxa de crescimento do produto, apenas alteram o nível ótimo de capital por unidade efetiva de trabalho.

A implicação deste modelo é que, dado a existência de rendimentos marginais decrescentes, países com menores níveis de produtividade e renda *per capita* possuem rendimentos marginais superiores aos dos países com maiores níveis de produtividade e renda, sendo assim, a taxa de crescimento per capita de um país tende a ser inversamente relacionada ao seu nível inicial de crescimento e renda por pessoa e, portanto, na ausência de choques, países pobres e ricos tenderiam a convergir em termos de níveis de renda *per capita* (BAUMOL, 1986). Por esta visão, tem-se que o *catching-up* é um processo “natural”, fruto dos rendimentos marginais decrescentes. Essa ideia de convergência passou a ser conhecida pelo termo *Beta-convergência* (QUAH, 1996), que ocorre quando em uma regressão *cross-section* da taxa de crescimento em relação ao nível inicial o beta é negativo, ou seja, regiões pobres crescem mais rápido. O ponto negativo é que a Beta-convergência não tem poder explicativo sobre a dinâmica da distribuição da amostra, surgindo também o conceito de *Sigma-convergência*, que representa a redução da dispersão da *cross-section* ao longo do tempo (QUAH, 1996).

Segundo Baumol (1986), a discussão a partir das circunstâncias apontadas por Solow é de convergência absoluta nos níveis de produto por hora de trabalho nos países industrializados, demonstrando haver uma forte correlação negativa entre a produtividade dos países industrializados na década de 1870 e o crescimento médio da produtividade no século que se seguiu, porém, não encontra as mesmas evidências para os países atualmente não desenvolvidos. Com isso, o autor afirma ser inegável a ideia de convergência com base na experiência histórica do mundo industrializado. A contribuição de Baumol (1986) é a construção da hipótese da existência de beta-convergência condicional ou clube de convergência entre os países atualmente ricos, além de sugerir que pode haver mais do que apenas um clube. Segundo Romer (1986), Baumol argumenta que a convergência que observa entre os países industrializados resulta de um processo de transmissão de conhecimento que ocorre entre os países industrializados, mas não se estende aos países centralmente planejados ou menos desenvolvidos. Aqui não há menções ao *catching-up* e à possibilidade de um país de baixa renda alcançar os países industrializados. Para Romer (1986), o resultado de Baumol (1986) é uma evidência de uma leve tendência à Sigma-divergência do nível de produto *per capita*.

Lucas (1988) desenvolve um modelo explicativo da mecânica do crescimento em reposta a Solow, afirmando que o modelo de Solow não é adequado para explicar o desenvolvimento econômico. Em seu modelo, com mecânicas semelhantes ao de Solow, o motor de crescimento é o capital humano, porém, este modelo admite a possibilidade de

diferenças grandes e sustentadas nas taxas de crescimento entre países, diferenças essas que não se espera que estejam sistemicamente vinculadas ao nível inicial de capital de cada país, não implicando convergência. O *catching-up* não é um processo discutido neste modelo, pois o objetivo é o entendimento das taxas médias de crescimento entre países.

No modelo de Romer (1990), o crescimento econômico aumentado pelo capital humano só é possível de ser iniciado quando o capital humano puder ser poupado de ser usado na produção de bens de consumo imediato para a produção de bens intermediários e de novo conhecimento, abrindo a possibilidade de *catching-up* por um país pobre por meio da integração comercial e pelo investimento em capital humano. Neste, a divergência é a regra, mas assume a possibilidade de reversão por meio de subsídios à acumulação de capital físico e humano.

Krugman (1991) coloca que divergência e clubes de convergência são ideias complementares e desenvolve um modelo que mostra como um país pode, endogenamente, tornar-se especializado em função de economias externas e externalidades pecuniárias, resultando na emergência de um padrão centro-periferia em função das condições iniciais dos países em termos de custo de transporte e população. Não há menção à possibilidade de *catching-up* ou à mudança da posição do país entre os grupos.

Segundo Barro (1991), a hipótese de beta-convergência absoluta aparenta ser inconsistente com as evidências das *cross-sections*, nas quais não há correlação entre o produto *per capita* de 1960 e o crescimento do produto *per capita* nos 25 anos posteriores, e que o estoque inicial de capital humano seria uma melhor variável explicativa do crescimento do que o estágio inicial da produtividade, não renunciando à possibilidade de convergência. Barro e Sala-i-Martin (1992) questionam a existência de forças automáticas que levam à convergência dos níveis de renda *per capita*, demonstrando que Beta-convergência não implica Sigma-convergência. Seus resultados para os estados dos Estados Unidos demonstram convergência condicional, porém, ressaltam que estudos internacionais – como de Barro (1991) – encontram Beta-divergência absoluta e Beta-convergência condicional. Mankiw, Romer e Weil (1992) chegam em resultados semelhantes, de que não há evidências de Beta-convergência entre países. Novamente, não há discussão sobre a possibilidade de *catching-up*.

Aghion e Howitt (1992), insatisfeitos com os modelos de crescimento baseado em acumulação de capital humano e de progresso tecnológico exógeno, buscam desenvolver um modelo de crescimento endógeno baseado no processo schumpeteriano de destruição criadora, onde uma inovação afeta o poder de monopólio do líder incumbente, e na percepção do

crescimento econômico como um processo descontínuo. Neste modelo, o crescimento resulta exclusivamente do progresso tecnológico, que por sua vez resulta da competição entre firmas no setor de pesquisa, que geram inovação, porém, não há a noção de cumulatividade: a inovação segue uma dinâmica aleatória, e não é possível definir uma dinâmica de *catching-up*.

No modelo de crescimento endógeno de Barro e Sala-i-Martin (1995) há Beta-convergência condicionada à posição do país em relação ao estado estacionário, o *catching-up* ocorre por uma dinâmica de imitação tecnológica – pois considera-se mais barato copiar do que inovar – e a taxa de crescimento de um seguidor depende da qualidade de suas instituições políticas e econômicas. No longo prazo, a taxa de crescimento é determinada pela inovação, o líder tecnológico é selecionado de acordo com a atratividade do ambiente local para produção e pesquisa, e os autores sugerem que políticas de proteção à propriedade intelectual, taxa correta e infraestrutura são os determinantes máximos da atratividade de um lugar. Hall e Jones (1999), de forma semelhante, demonstram que as diferenças no crescimento se dão pela qualidade das instituições, afirmando que um grande limitante para o crescimento dos países pobres talvez seja a falta de recursos para construir infraestruturas sociais efetivas. Nota-se uma percepção de que a convergência é um processo natural, e que pode ser acelerado pela melhoria das instituições⁸ como, por exemplo, a abertura ao livre comércio (HALL; JONES, 1999).

Berhard e Durlauf (1995) definem convergência entre países i e j se suas previsões de produto de longo prazo forem iguais para um dado período t , e tendência comum entre países i e j se suas previsões de produto de longo prazo forem proporcionais para um dado período t . Suas regressões para a OCDE rejeitam a hipótese de convergência condicional, mas encontram evidências de tendências estocásticas comuns.

Quah (1996) encontra evidências que suportam a ideia de Baumol (1986) de clubes de convergência, com países baixos convergindo entre si e ricos entre si, com a classe média desaparecendo, sem evidências da possibilidade de *catching-up* e mudança de clube. O autor demonstra algebricamente que a taxa de convergência encontrada pela literatura de 2% ao ano é resultado de uma invariância estatística dos modelos econométricos e sua magnitude não possui o significado que tentam passar. Além disso, argumenta que os modelos econométricos somente captam dinâmicas representativas e não toda a distribuição, pois estes modelos não dizem nada se os 10% mais pobres estão alcançando os 10% mais ricos. Easterly e Levine

⁸ Ressalta-se aqui a crítica de Gerschenkron (1962), o qual argumenta que não são conhecidas as condições institucionais capazes de levar um país à fronteira em produtividade e renda

(2001) defendem a visão de divergência ao invés de convergência condicional, mostrando o fato estilizado de que a renda divergiu nos últimos 30 anos e afirmando que mesmo que os países pobres não estejam ficando mais pobres, os ricos estão ficando mais ricos mais rapidamente do que os pobres. De forma semelhante, Asongu (2013) argumenta que a divergência é a regra da história econômica recente, e que uma recomendação de política para o *catching-up* é a busca por adotar características institucionais e estruturais que favoreçam o desenvolvimento do mercado acionário.

1.4. Cluster 2: teóricos do *gap* tecnológico

Nelson e Winter (1982) distinguem dois níveis de análise na teoria econômica: teoria formal e teoria apreciativa. A marca registrada da teoria formal é uma estrutura abstrata criada para permitir que se explore, encontre e verifique conexões lógicas, enquanto a marca registrada da teoria apreciativa é contar a história das relações empíricas observadas, indo além delas e estabelecendo uma interpretação causal. Enquanto a teorização apreciativa tende a ser próxima da substância empírica, a teorização formal costuma preceder a análise empírica. Enquanto a teoria ortodoxa do crescimento – expressa no *cluster* anterior – se aproxima de uma teoria formal, a literatura encontrada neste *cluster* se aproxima da descrição da teoria apreciativa.

Fagerberg (1994) denomina a literatura aqui apresentada como a abordagem do *gap* tecnológico ao crescimento econômico. Segundo o autor, o que diferencia esses corpos da literatura é o entendimento do formato e papel da tecnologia: na tradição neoclássica, quaisquer que sejam as fontes das diferenças no produto *per capita* entre países, não seria a tecnologia a responsável, pois nestes modelos assume-se que a tecnologia é um bem público. A principal contribuição da teoria neoclássica do crescimento, quando tomada pelo sentido literal, tem pouco poder para explicar por que as taxas de crescimento diferem no tempo e entre países. Além disso, esta teoria pouco oferece em termos de recomendação de política. Para o autor, a visão neoclássica não é capaz de explicar satisfatoriamente o porquê a convergência internacional não é observada, o que, para o autor, é incompatível com as hipóteses de tecnologia enquanto bem público. Segundo Fagerberg e Godinho (2005), a diferença na renda *per capita* do país mais rico e do mais pobre há 250 anos era de 5:1, enquanto hoje é de 400:1.

Já para os teóricos do *gap* tecnológico, as diferenças tecnológicas são a causa do *gap* do produto *per capita* entre países. Estes apontam que a tecnologia, entendida como o conhecimento de como fazer as coisas, está embebido em estruturas organizacionais (firmas, redes, instituições), e não é fácil difundir e mudar de uma configuração para outra (NELSON;

WINTER, 1982). A cumulatividade e o caráter *path dependent* da tecnologia é ressaltado como determinante da trajetória tecnológica de cada país (DOSI, 1988).

A tradição da teoria apreciativa do *gap* tecnológico foi iniciada por Gerschenkron (1962) (CHANG *et al.*, 2021; FAGERBERG, 1994; MALERBA; LEE, 2021), e uma das primeiras grandes análises do tema se deu por Abramovitz (1956). Apesar desta origem, o marco central levantado pela literatura é a discussão realizada em Abramovitz (1986). Abramovitz (1986) aponta um problema crucial no modelo de convergência de Solow (1956), pois o modelo pressupõe que os países atrasados irão convergir em direção ao nível de produtividade e renda do país-líder. O autor argumenta que esta convergência não é um processo automático e que o potencial de um país de realizar *catching-up* é relacionado à sua congruência tecnológica⁹ e *capabilities* sociais, enfatizando que a realização deste potencial é dependente de vários fatores. Além disso, a construção de Solow (1956) não comporta a possibilidade de o país-líder mudar, exemplificado pela mudança de liderança de renda *per capita* do Reino Unido para os Estados Unidos no século XX (FREEMAN; SOETE, 1997), ou pela possibilidade de uma mudança de liderança dos Estados Unidos para a China no século XXI.

Abramovitz (1986) possui uma percepção dinâmica interessante acerca da diferença das taxas de crescimento dos países. O autor concorda com Solow ao tomar a convergência como uma possibilidade real de longo prazo e argumenta que países atrasados têm potencial de crescimento superior aos países líderes, porém, esse potencial será concretizado somente se as *capabilities* sociais¹⁰ dos países atrasados forem suficientemente desenvolvidas para permitir a exploração das tecnologias existentes. Sua visão é centrada na percepção das mudanças de posição relativa entre países, podendo eles estarem nas posições *forging ahead*, *catching-up* ou *falling behind*. Essas posições se referem, respectivamente, aos países líderes, aos seguidores (ou em processo de emparelhamento) e aos que estão se tornando atrasados (defasados) em termos de produtividade e renda relativamente à fronteira. Para o autor, estas posições não são estáticas, porém, a mudança para uma melhor posição relativa não é um processo automático – como entendido pela teoria ortodoxa do crescimento – e é difícil de ser executado. Junto a isso, há o fato de que a liderança em um momento não implica a manutenção automática de sua

⁹ Entendida como o grau em que os países “líder” e “seguidor” são semelhantes entre si, o que facilita a assimilação de conhecimento (VARBLANE *et al.*, 2007).

¹⁰ Entendida como a competência técnica de um país e sua capacidade de adquirir as habilidades necessárias. É mais do que apenas o nível educacional e infraestrutura de negócios, abrange aspectos como seu grau de abertura, flexibilidade de entrada e saída, estrutura institucional e financeira (ABRAMOVITZ 1986).

posição de liderança (FREEMAN; SOETE, 1997). Sendo assim, o *catching-up* nos termos de Abramovitz (1986) pode ser entendido na forma de uma corrida entre países, em direção a uma fronteira móvel. Dessa forma, o objetivo do processo de *catching-up* é buscar, primeiramente, o emparelhamento à liderança, e então competir na posição *forging ahead*.

Ainda que o *catching-up* seja inicialmente uma busca pelo emparelhamento, Gerschenkron (1962) argumenta, com base em experiências históricas e tomando a visão de tecnologia enquanto um bem não público, que não é possível obter sucesso no *catching-up* por meio da imitação da estrutura econômica de um país líder. O autor se opõe à ideia de que o *catching-up* é um processo automático e argumenta que ele requer uma quantidade significativa de esforço e de construção de instituições nele, pois somente com instituições apropriadas o processo obteria sucesso. Gerschenkron apresenta evidências de que apenas seguir a trajetória dos países atualmente desenvolvidos não leva ao desenvolvimento, enfatizando a dificuldade da construção de instituições corretas. Seu argumento é reforçado por Chang (2004), para o qual o *catching-up* é dependente do contexto institucional, e não são claras as condições sob as quais “instituições boas” (as existentes nos países atualmente desenvolvidos) levariam ao sucesso, e a imposição de regras de “boa conduta” por países líderes funciona como limitador ao emparelhamento. Apesar dos problemas enfrentados pelos países atrasados, Gerschenkron (1962) afirma que eles possuem certas vantagens frente aos líderes, pois podem adquirir tecnologias modernas a custos menores, sem inferir em gastos inovativos equivalentes.

Lee e Lim (2001) propõem uma divisão entre o que seria o *catching-up* de mercado e o *catching-up* tecnológico. O primeiro representa a busca, por parte de firmas retardatárias, em aumentar sua participação de mercado, sem necessariamente aumentar suas capacidades tecnológicas, para tanto contando com tecnologia externa combinada com mão-de-obra interna. Porém, a elevação sustentada do *market-share* a longo prazo é muito difícil se não for acompanhada por aumento das suas capacidades tecnológicas. Este seria, portanto, o segundo tipo de *catching-up*, no qual as firmas passarão a produzir – ao invés de comprar – as tecnologias necessárias para manter sua participação de mercado elevada.

A partir destas definições no nível da firma, é possível construir uma analogia ao nível do país, com o *catching-up* de mercado representando a busca, por parte dos países atrasados, em aumentar sua competitividade, produtividade e renda, sem necessariamente aumentar suas capacidades tecnológicas (LEE, 2021), estando próximo ao sentido tradicional do termo (GERSCHENKRON, 1962). Já o *catching-up* tecnológico seria a busca por elevar suas

capacidades tecnológicas, de modo a sustentar o aumento da produtividade e renda no longo prazo (LEE, 2019; MALERBA; LEE, 2021). Nesses sentidos, o *catching-up* tecnológico implicaria o reforço do *catching-up* de mercado, mas o contrário não é necessariamente válido.

Para Lee e Lim (2001), é possível um agente adentrar o processo de *catching-up* (de mercado) por meio da imitação e da adoção de tecnologias advindas de fontes externas. Apesar disso, a imitação não será suficiente, sendo necessário que ele ingresse no processo inovativo para buscar uma posição *forging ahead*, ou seja, é necessário o *catching-up* tecnológico para alcançar a fronteira. Fagerberg (1988) afirma que, para alcançar os países desenvolvidos, os países em desenvolvimento não podem depender apenas da combinação de importação de tecnologia e investimentos, mas também precisam elevar suas atividades tecnológicas nacionais.

Pode-se dizer que é possível iniciar o *catching-up* pela replicação ou imitação de tecnologias, porém o *catching-up* tecnológico é uma condição necessária para alcançar a posição *forging ahead*. Além disso, essa literatura entende que este processo pressupõe a necessidade de um nível mínimo de capacitações produtivas e inovativas e o aumento do estoque delas (LEE; LIM, 2001). Segundo essa visão, há uma equivalência entre desempenho inovativo e a transição da posição *catching-up* para a *forging ahead* (LEE, 2019), porém não é a única visão existente sobre o processo de *catching-up*, existindo visões alternativas sobre o processo, versando sobre o papel da adoção, imitação e replicação de tecnologias.

Existe um nível mínimo requerido de capacidade absorptiva para adentrar no *catching-up*: o país precisa possuir pelo menos um mínimo estoque de conhecimento que o permita absorver mais conhecimento para posteriormente gerar conhecimento e inovações (LEE, 2019). Possuir mão de obra qualificada é pré-requisito para o aumento da produtividade, mas por si não leva o país ao círculo virtuoso da inovação (DOSI, 1988). Dito isso, o *catching-up* não é uma possibilidade para todos, mas apenas para quem já possui um nível mínimo de desenvolvimento tecnológico.

O *catching-up* não depende só das *capabilities* dos atrasados. Chang (2004) apresenta que os países atualmente desenvolvidos se desenvolveram usando o que hoje consideram “instituições ruins”, mas hoje impõem aos países em desenvolvimento o uso do que consideram “instituições boas”, entendidas como as instituições atualmente existentes nestes países. A discussão realizada por Gerschenkron (1962), da impossibilidade de se transplantar as condições institucionais dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento e esperar que

os últimos apresentem resultados iguais aos primeiros, é ignorada pelos países da fronteira de maneira dupla, pois ignoram tanto o fato de que não é possível transplantar instituições da fronteira para países atrasados, quanto de que a imposição de arcabouços institucionais construídas ao longo de seus processos de desenvolvimento pode ter efeito adverso por não levar em consideração o contexto institucional dos países em desenvolvimento em que desejam impor políticas.

Sob estas condições de busca por aumentar a produtividade e renda a longo prazo de maneira sustentável, Lee (2019) discorre que países não-líderes deverão descartar a imitação e devem buscar caminhos alternativos para alcançar os níveis de produtividade e renda da fronteira. Mesmo que se trate de uma corrida internacional, para Lee (2019) os países líderes não possuem vantagem absoluta: países atrasados são abençoados com algumas vantagens, porque por ainda não sofrerem *lock-in* tecnológico (DOSI, 1988) podem economizar tempo e dinheiro, aprendendo com as experiências dos precursores. Porém, sofrem com algumas desvantagens, pois a existência de liderança tecnológica impõe a preferência por ativos (por exemplo, já existe um *design* dominante e fornecedores estabelecidos), e os altos custos de transação, além do fato de que, em muitos setores, os custos de desenvolvimento de produtos são mais importantes do que as escalas na produção, o que coloca os países atrasados em posição desvantajosa (FAGERBERG; GODINHO, 2005).

O desenvolvimento da base e da capacidade de gerar conhecimento é fundamental para o *catching-up*. Lall (1992) enfatiza a importância das sinergias para o *catching-up*: se houver acumulação de capital físico sem habilidades ou conhecimentos, o país não irá se desenvolver de forma adequada. O mesmo ocorrerá se as habilidades dos trabalhadores forem cultivadas, mas não combinadas com o esforço tecnológico.

Por trás dessas visões, há o entendimento de que, ainda que o objetivo seja alcançar a fronteira, o *catching-up* não é um processo generalizado, no sentido de que não é possível uma elevação da produtividade e renda de todos os setores como um todo, pois ainda que os países líderes possuam elevados níveis de produtividade e renda, eles diferem entre si nas estruturas econômicas (FAGERBERG; GODINHO, 2005; LEE, 2019; MALERBA; LEE, 201). Ainda que exista um grupo de países economicamente líderes, tem-se que eles não são líderes generalizados em todos os setores, mas sim que cada um é especializado em uma ou mais atividades econômicas. Dessa forma, não é necessário ser ‘o melhor em tudo’ para alcançar a fronteira econômica.

Dado que (i) o *catching-up* tecnológico é necessário para garantir a sustentabilidade do *catching-up* de mercado (LEE; LIM, 2001); (ii) que este último é um processo dependente da estrutura econômica e institucional do país (ABRAMOVITZ, 1986; GERSCHENKRON, 1962); e (iii) que não é possível imitar a estrutura econômica de um país líder e esperar que o desempenho seja o mesmo (FAGERBERG; GODINHO, 2005); podemos inferir que o *catching-up* – tanto tecnológico quanto de mercado – não é um processo generalizado, pois não há uma cadeia de causalidade clara que afirme ser possível elevar a produtividade de todos os setores da economia ao mesmo tempo, gerando emparelhamento em renda. Há indicações na literatura de que o *catching-up* é um processo tipicamente setorial (FAGERBERG; GODINHO, 2005; PEREZ *et al.*, 1988) e que não é possível realizá-lo simplesmente investindo em um setor genérico e se tornar líder neste, pois o fato de ser *forging ahead* em um setor não implica liderança econômica generalizada (LEE, 2019). Recupera-se aqui a percepção evolucionária a respeito da cumulatividade e da localidade do conhecimento, características da mudança técnica. Baseado na ideia de que as firmas não exploram todo o conjunto de possibilidades de produção (DOSI; EGIDI, 1991) e que a economia é um sistema complexo em constante evolução (NELSON; WINTER, 1982), a percepção da liderança local do uso de uma técnica para determinada atividade não implica que essa técnica seja um ótimo global atemporal e que poderia ser aplicada a outras atividades produtivas. Logo, a liderança em uma atividade não implica a liderança em todas e, sendo assim, a posição *forging ahead* local não implica em *forging ahead* global.

Enquanto Chang (2004) conclui que os países líderes chutaram a escada do desenvolvimento, Lee (2019) argumenta que o *catching-up* é possível se o país ignorar a escada, desviar de trajetória e “voar por um balão”, no sentido em que não devem seguir a trajetória de desenvolvimento dos atuais líderes (condicionados ou não a seguir as políticas de instituições recomendadas pelos líderes), mas a buscar uma rota alternativa para o desenvolvimento, se utilizando de suas vantagens de *latecomers* para poder saltar estágios do desenvolvimento. Malerba e Nelson (2011), Lee (2019) e Malerba e Lee (2021) afirmam que os estágios finais do *catching-up* representam a criação de trajetórias divergentes. Se a replicação está realmente presente no início do processo de *catching-up*, o *catching-up* em estágios posteriores envolve fazer as coisas de forma diferente.

O *catching-up* tecnológico pode levar ao sucesso do *catching-up* de mercado e à posição *forging ahead*. Tomando os setores econômicos como nível de análise do processo, um país que realizasse *catching-up* tecnológico em um ou mais setores seria capaz de competir numa

posição *forging ahead* dentro destes. Segundo Perez *et al.* (1988), no *catching-up* o país deverá investir em setores-chave com objetivo de tornar-se o país líder neste setor, porém, a liderança setorial só levará à posição de liderança global se este setor possuir potencial de transbordamento para a estrutura econômica do país, pois caso este setor trabalhe isoladamente do restante da economia, os benefícios da liderança tecnológica neste setor não gerarão *spillovers* para o restante da estrutura, ou seja, não é a busca por liderança em qualquer setor que fará com que o país chegue à posição *forging ahead*.

Dessa forma, parte da literatura busca identificar características que permitam identificar setores e momentos com potencial de ser janela de oportunidade para o *catching-up*. Entendemos aqui janela de oportunidade no sentido utilizado por Lee (2019), para o qual assim como não é possível voar em um balão independente das condições meteorológicas, também não é possível realizar o *catching-up* em qualquer momento ou setor, sendo necessário um *timing* correto para adentrar neste processo (FAGERBERG; GODINHO, 2005; LEE, 2019), pois tanto o contexto institucional (GERSCHENKRON, 1962), internacional e do ciclo tecnológico (FAGERBERG; GODINHO, 2005) influenciam na possibilidade de realização de *catching-up*. Por exemplo, um contexto de maturidade e estabilidade tecnológica não é entendido como um bom momento para realização deste processo, pois as barreiras da cumulatividade do conhecimento aos países atrasados se mostram maiores do que em outros contextos e momentos (LEE, 2019).

Neste processo, o atrasado não segue a trajetória dos líderes e, frequentemente, pulam etapas ou criam seu próprio caminho (MU e LEE, 2005). Esta técnica é consistente com a tese do *leapfrogging* (PEREZ *et al.*, 1988), que é entendido como o estágio final do *catching-up*. Esta tese postula que o surgimento de um novo paradigma técnico-econômico permite que os países em desenvolvimento tenham uma vantagem inicial no seu *catching-up* (LEE e LIM, 2001). Na competição dentro do novo paradigma, tanto os líderes quanto os seguidores partem da mesma origem, e os líderes muitas vezes estão em *lock-in tecnológico*, pois se agarram às tecnologias das quais derivaram sua liderança (LEE, 2019). Já os seguidores não encontram essa barreira, pois não possuem o mesmo nível de desenvolvimento. No *leapfrogging*, os países seguidores adotam e inovam em tecnologias emergentes, ao mesmo tempo em que contornam o investimento em tecnologias do antigo paradigma, buscando ser líder na Nova Era, sem passar pelo mesmo caminho dos precursores (LEE e KI, 2017).

A necessidade de realizar *catching-up* tecnológico é empurrada pela “crise” do desenvolvimento (LEE, 2005): quando o país chega em um nível considerável de *capabilities*, capaz de ameaçar a posição dos líderes, os últimos tentarão barrar o fluxo tecnológico para os países até então adotantes de tecnologias. Os *latecomers* se veem obrigados a usar seu conhecimento acumulado e desviar, avançando por meio da engenharia reversa e buscando produzir as tecnologias que antes adquiriam.

A janela de oportunidade para o *catching-up* (pois apenas o desejo não é suficiente) é “puxada” pela mudança de paradigma técnico-econômico (LEE, 2019): todo país é iniciante quando surge um novo paradigma, tornando possível um país atrasado realizar *leapfrogging*. Dado que os equipamentos para produzir os novos bens ainda não foram desenvolvidos, máquinas genéricas podem ser usadas e a produção inicial será em pequena escala, logo as barreiras ainda são pouco relevantes. Além disso, a performance da tecnologia não é estável e nem conhecida. Logo, se o país possuir recursos humanos capazes de criar conhecimento, será mais fácil entrar em um mercado emergente do que em um mercado maduro.

Enquanto o melhor momento para realizar *leapfrogging* é em mudanças de paradigmas técnico-econômicos, o melhor lugar é em setores marcados por ciclos tecnológicos curtos, pois haverá janelas de oportunidades mais concentradas no tempo (LEE, 2021; MALERBA e LEE, 2021; LEE et al. 2021). Porém, há dois principais riscos na estratégia de adentrar em setores emergentes (LEE, 2019): o primeiro é escolher a tecnologia errada, pois mesmo que não parta de um *lock-in tecnológico*, é possível ficar preso a um design inferior caso se escolha muito cedo o caminho. O segundo é relacionado à criação de um mercado, ou seja, à dificuldade de criar e manter *market-share* e competitividade, além de proteger seus lucros.

Lee (2019) enfatiza duas especificidades dos países em desenvolvimento que tornam o *catching-up* raro. A primeira é a existência de “falhas de *capabilities*”, associada à dificuldade de construir capacidade inovativa nestes países. Para o autor, sua existência justifica o ativismo governamental para promoção do aumento das *capabilities* das firmas em países em desenvolvimento. A segunda é a “falha do tamanho”, associada à dificuldade de o país criar grandes empresas, pois elas são mais propensas a se encarregar da inovação, ao passo que firmas menores tendem a gerar apenas salários e lucros suficientes para sua subsistência.

Lall (1992) afirma que, enquanto capital físico, humano e esforços tecnológicos são necessários para o *catching-up*, a falta de incentivos adequados para a produção e investimento podem comprometer o sucesso do emparelhamento tecnológico. Para Lundvall (1992), este

processo não ocorre no vácuo. As decisões que colocam em curso o *catching-up* são tomadas no nível da firma, mas estas não são independentes do meio em que se encontram. Firmas existem como parte de sistemas, são embutidas de laços históricos, sociais e econômicos a outras unidades, sejam elas econômicas ou não, e suas decisões são afetadas pelo ambiente em que se encontram. Se as instituições e organizações são ausentes, subdesenvolvidas ou mal desenvolvidas, as firmas serão incapazes de tomar as decisões corretas. Sendo assim, o *catching-up* em perspectiva evolucionária deve ser entendido a partir da visão sistêmica da inovação (LEE, 2019; MALERBA e NELSON, 2011; MALERBA e LEE, 2021)

1.5. Considerações parciais

Do exercício bibliométrico identificou-se 3 *clusters*, do qual analisou-se dois destes, não analisando o terceiro por questões metodológicas, vide Quadro 1. O primeiro, denominado aqui como macroeconomia do crescimento econômico, discute *catching-up* se desenvolveu a partir dos modelos de crescimento de inspiração neoclássica, tendo raízes em Solow (1956). A discussão se mistura ao debate sobre a ocorrência de convergência internacional em termos de nível e taxa de crescimento do produto. Entende-se, originalmente, o *catching-up* como um processo natural e espera-se que as regiões pobres cresçam mais rapidamente do que as regiões ricas (QUAH, 1996), ideia esta que passou a ser conhecida como beta-convergência. Porém, essa não se mostrou empiricamente válida (BAUMOL, 1986; ROMER, 1986; 1990), sendo suplementada pela hipótese beta-convergência condicional ou clube de convergência (BAUMOL, 1986), tornando possível a coexistência teórica entre divergência internacional e convergência dentro de um grupo de países (KRUGMAN, 1991). Esta hipótese se tornou altamente relevante no debate nos anos que se sucederam.

Quadro 1 - Resumo dos principais pontos de divergência entre a macroeconomia do crescimento econômico e os teóricos do *gap* tecnológico

Macroeconomia do crescimento econômico	Teóricos do <i>gap</i> tecnológico
<ul style="list-style-type: none"> • Teoria formal • Origem na tradição neoclássica • Discussão centrada na busca de evidências de convergência internacional • <i>Catching-up</i> econômico enquanto processo natural, menor exploração do 	<ul style="list-style-type: none"> • Teoria apreciativa • Origem evolucionária e institucionalista • Discussão centrada em análises dos determinantes do <i>catching-up</i> de países específicos

Macroeconomia do crescimento econômico	Teóricos do <i>gap</i> tecnológico
<p>componente tecnológico, este tratado enquanto bem público</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ênfase na convergência condicional entre grupos de países, principalmente entre os países atualmente desenvolvidos • Recomendações de políticas limitadas a adoção de características institucionais favoráveis ao desenvolvimento, semelhante às dos países atualmente desenvolvidos 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Catching-up</i> econômico é resultado do desenvolvimento tecnológico e de condições institucionais • Ênfase na busca por condições que possam levar um país não-líder a uma melhor posição em termos de renda • Recomendações de políticas ativas e ponderadas pelo contexto dos países em desenvolvimento, com ênfase em não seguir a mesma trajetória dos países atualmente desenvolvidos

Fonte: Elaboração própria.

Esta literatura enfatiza a identificação da existência do processo de convergência – seja total ou condicional, porém, há pontos pouco abordados nesta. O papel da tecnologia para o crescimento econômico foi pouco explorado, pois tratava-se a inovação como um processo aleatório e a tecnologia como um bem público (AGHION e HOWITT, 1992). Não há menção à possibilidade de um país adentrar no clube de convergência formado pelos países atualmente desenvolvidos, e o debate não adentra na operacionalidade do crescimento econômico acelerado em um país em desenvolvimento e como ele poderia alcançar a liderança, com recomendações de políticas limitadas a adotar características institucionais que favoreçam o desenvolvimento (HALL e JONES, 1992; ASONGU, 2013).

O segundo *cluster*, aqui chamado de teóricos do *gap* tecnológico, mescla as perspectivas institucionalista e evolucionária do desenvolvimento econômico e se desenvolve como resposta às limitações observadas pelo primeiro *cluster*. Os teóricos do *gap* tecnológico enfatizam a cumulatividade e o caráter *path-dependent* da tecnologia, entendida como o conhecimento de como fazer as coisas, e tratam o *catching-up* como um processo não-automático (DOSI, 1988). A tecnologia está embebida em estruturas organizacionais, não é fácil mudar uma configuração institucional (NELSON; WINTER, 1982) e nem é possível transplantar dos países líderes para

os seguidores o arcabouço institucional, sendo entendidos como específicos destes países e dos contextos que os levaram ao desenvolvimento (GERSCHENKRON, 1962). Os autores deste *cluster* entendem o *catching-up* como um processo complexo, setorial, dependente das condições institucionais e do estoque de conhecimento, e de janelas de oportunidades em termos de local e momento (LEE, 2019), mas que pode ser afetado e acelerado por políticas ativas. Não há menção a uma receita genérica para o crescimento econômico, e a principal limitação desta abordagem é o fato de representarem uma teoria apreciativa da realidade.

O que foi discutido aqui não implica que não existam outras perspectivas sobre o *catching-up*. Seria possível redividir o segundo *cluster* em mais abordagens, definindo a abordagem ligada diretamente ao *gap* tecnológico da abordagem institucionalista e seu entendimento sobre a importância da estrutura produtiva. Vale alertar que os materiais aqui usados foram resultantes do recorte realizado pelo exercício bibliométrico e, neste estudo, ainda que nesta análise o terceiro *cluster* identificado tenha sido desconsiderado por questões metodológicas, sua ocorrência indica a existência de pelo menos um grupo de autores que realizam uma discussão à parte sobre este fenômeno e que há uma interpretação local asiática sobre este tema.

Sendo assim, motivado (i) pelo interesse dos *policymakers* de diversos países no setor de comunicação móvel, pois este é reconhecido como uma pedra angular do desenvolvimento econômico e do crescimento da produtividade (LEMSTRA, 2018) e (ii) pelo fato de que diversos países publicaram e implementaram planos de política industrial e tecnológica ativa, orientados pela missão de se tornarem líderes tecnológicos na arquitetura 5G (BOARD, 2019; PARLIAMENT, 2015), foi escolhida a abordagem dos teóricos do *gap* tecnológico em relação ao *catching-up* como referencial teórico para esta pesquisa. Dessa forma, argumentamos que a arquitetura 5G – a mais recente geração de tecnologias de comunicação móvel – pode representar uma janela de oportunidade em termos de momento para o *catching-up* tecnológico, enquanto o setor de comunicação móvel representa uma janela de oportunidade em termos de lugar, este último sendo justificado pelo fato de que este setor foi terreno para o *catching-up* tecnológico, nomeadamente Coreia do Sul (LEMSTRA, 2018) e China (KIM et al., 2020). A partir disto, o próximo capítulo objetiva construir um entendimento sobre o que é a arquitetura 5G para então, no capítulo 3, entender este enquanto uma janela de oportunidade para o *catching-up* tecnológico por meio da análise do desempenho inventivo dos países.

CAPÍTULO 2 – DEFINIÇÃO TÉCNICA DA ARQUITETURA 5G E CONSTRUÇÃO DO DICIONÁRIO DE TERMOS-CHAVE

2.1. Introdução

Este capítulo toma como base o pensamento dos teóricos do *gap* tecnológico e apresenta o setor de comunicação móvel (ou telecomunicação) como uma possível janela de oportunidade para o *catching-up* tecnológico. Nesse sentido, argumenta-se que a arquitetura 5G – a mais recente geração de tecnologias de comunicação móvel – pode representar uma janela de oportunidade em termos de momento para o *catching-up* tecnológico. Antes de discutir se há algum país em processo de *catching-up* tecnológico, é preciso entender o que é a arquitetura 5G. Para tanto, este capítulo busca definir a arquitetura 5G por meio da técnica bibliométrica para então identificar os principais termos-chave relacionados a esta, fundamentados pela literatura acadêmica, que servirão de insumo para a busca lexicográfica em pedidos de patentes e análise do desempenho inventivo dos países no próximo capítulo.

A contribuição deste capítulo é principalmente metodológica. Busca-se entender a arquitetura 5G a partir da técnica bibliométrica (ARIA e CUCCURULO, 2014). Em simultâneo, este capítulo utiliza desta técnica para a construção de um dicionário de termos-chave relacionados à arquitetura 5G por meio de métodos quantitativos e validados qualitativamente.

Para tanto, este capítulo está estruturado em cinco seções, para além desta introdução e das considerações parciais. A seção 2.2 faz uma breve introdução ao setor de comunicação móvel, situando-o como terreno propício ao *catching-up*. A seção 2.3 apresenta a metodologia bibliométrica de estudo referente ao 5G, enquanto a seção 2.4 é uma discussão qualitativa sobre o que é a arquitetura 5G, embasado no ferramental bibliométrico, e a seção 2.5 define bibliometricamente os principais termos-chave relacionados ao 5G, que embasam o trabalho realizado no próximo capítulo.

2.2. Introdução à comunicação móvel enquanto janela para o *catching-up*

A relevância das tecnologias de comunicação móvel é expressa nos atuais 6,2 bilhões de usuários de banda larga móvel no mundo (FORGE; VU, 2020). Os *policymakers* demonstram grande interesse no setor de comunicação móvel porque a infraestrutura de comunicação onipresente e de alta capacidade é reconhecida como uma pedra angular do desenvolvimento econômico e do crescimento da produtividade (LEMSTRA, 2018). Esse

interesse é expresso na forte concorrência internacional pelo desenvolvimento das novas gerações destas tecnologias, no qual os países desejam ser líderes na criação delas.

Desde os primeiros usos comerciais nas décadas de 1970 e 1980, as tecnologias de comunicação móvel evoluíram por aproximadamente cinco gerações, centradas em um ou mais padrões aceitos internacionalmente (FARIAS, 2021). A trajetória dessas tecnologias foi marcada pela mudança e conversão do sinal analógico para o digital, redução da latência (atraso na transferência de dados), aumento da velocidade, alcance e densidade da transmissão de dados sem fio e pela expansão da frequência de onda utilizada (BOARD, 2019).

A competição pelo desenvolvimento das tecnologias de comunicação móvel tem sido bastante dinâmica, com ascensões e declínios de diversos competidores em espaços de tempo relativamente curtos. A primeira geração foi desenvolvida pioneiramente em Tokyo, tendo o primeiro aparelho celular lançado pela *Nippon Telegraph and Telephone* (NTT) em 1979, e em 1984 já havia cobertura de sinal em todo o território japonês (FARIAS, 2021). Esta tecnologia foi levada ao território americano, no qual surgiram problemas relacionados à capacidade de cobertura, pois havia diferenças muito relevantes no tamanho dos países, evidenciando diversos problemas desta tecnologia rudimentar.

O desenvolvimento da segunda geração (2G) foi liderado por Japão, Estados Unidos e pela Comunidade Europeia (LEMSTRA, 2018), sendo introduzida no mercado em 1991 na Finlândia (FARIAS, 2021), 12 anos após a primeira geração.

A terceira geração (3G) foi lançada oficialmente em 2001, e seu desenvolvimento foi marcado pela competição entre a comunidade europeia, japoneses, norte-americanos, e adentraram neste grupo de desenvolvedores os sul-coreanos e, com menor participação, os chineses. Nesta geração, a Coreia do Sul foi o primeiro país a implementar o 3G em base comercial, 10 anos após a segunda geração (LEMSTRA, 2018).

Na década que se seguiu, melhoramentos do 3G levaram ao *Long Term Evolution* (LTE), lançado no mercado em 2009, 8 anos após a terceira geração, e conhecido comercialmente como 4G. Este período foi marcado pela ascensão dos países asiáticos na corrida tecnológica deste setor, saindo vitoriosos na definição do padrão LTE e derrotando a competição ocidental (LEMSTRA, 2018). A Coreia do Sul foi o país central no desenvolvimento deste padrão, inserindo seu produto no mercado em 2009, sendo seguida de perto pela China enquanto desenvolvedora e adotante destas tecnologias (KANG *et al.* 2014;

KIM *et al.* 2020). Nesta geração, o desenho da funcionalidade da rede de comunicação móvel sofreu grandes mudanças, pois até então, o objetivo perseguido pela terceira geração foi ter alcance e cobertura máximas. Já o objetivo do LTE/4G era elevar o potencial de velocidade de transferência de dados, contudo com alcance do sinal mais limitado do que o 3G (LEMSTRA, 2018). Do ponto de vista do investimento, o 4G representou um grande desafio para os operadores, pois sua implementação foi diferente das gerações anteriores, pois houve mudanças significativas da banda sonora de atuação e do objetivo da rede, o que implicava não apenas a troca dos chips receptores nos celulares, mas dos próprios aparelhos (FARIAS, 2021).

A quinta geração dessas tecnologias – a arquitetura 5G – pode ser considerada uma nova geração tecnológica deste setor, mas não é uma simples evolução do funcionamento do 4G, pois o desenho da rede e suas funções são distintas da geração anterior. Não podemos entender a arquitetura 5G como um conjunto de tecnologias usadas para o mesmo objetivo do 4G, mas uma nova arquitetura – arquitetura entendida no sentido de organização da transmissão do sinal e do desenho do funcionamento da rede – para um objetivo distinto da arquitetura anterior. Ainda que “arquitetura 5G” não seja um termo consolidado na literatura, trataremos assim este conjunto de tecnologias por motivo semântico, justificado por “5G” não ser definido como uma única tecnologia ou uma evolução, enquanto tecnologia, da geração tecnológica anterior. O termo arquitetura é utilizado para abarcar todas as peças, componentes e configurações de componentes relacionados ao padrão mínimo de desempenho definido para a quinta geração de tecnologias de comunicação móvel.

A “arquitetura 5G” pode ser considerada tanto evolução quanto revolução em relação à arquitetura anterior: pode ser entendida como evolução pela ótica do consumidor, pois multiplica a velocidade e densidade de conexão existentes no 4G por, no mínimo, um fator de 10, além de permitir a transmissão de dados por redes sem fio em tempo virtualmente real (ANDREWS *et al.*, 2014). E é uma revolução em dois sentidos: o primeiro é relacionado aos efeitos esperados de seu uso, pois esta geração torna possível o desenvolvimento de uma série de novas tecnologias, capazes de alterar o padrão de funcionamento de virtualmente todos os setores, com aplicações desde veículos autônomos, realidade virtual e cidades inteligentes. A arquitetura 5G tem potencial de elevar a conectividade de vários sistemas em uma rede mais ampla, melhorando a comunicação entre agentes, equipamentos e regiões, permitindo desenvolver a consciência situacional em tempo real (BOARD, 2019). Sem a arquitetura 5G, diversos avanços relacionados à “indústria 4.0” serão inviáveis (PARLIAMENT, 2015). No segundo sentido, a arquitetura 5G é uma revolução pois a oferta do serviço é drasticamente

alterada, tomando um formato organizacional distinto do existente na geração 4G (ANDREWS *et al.* 2014; DEMESTRICHAS *et al.* 2013), podendo gerar mudanças significativas na estrutura concorrencial do setor. Ainda que possa passar despercebido pelos consumidores, o serviço de transmissão de dados não se organizará da mesma maneira na nova arquitetura (BANGERTER *et al.* 2014).

Diante dessas diferenças, não devemos identificar a arquitetura 5G como um conjunto de tecnologias usadas para alcançar o mesmo objetivo do 4G, mas uma nova arquitetura que visa um objetivo distinto da arquitetura anterior, porém conectadas, pois mesmo que represente um objetivo distinto, a arquitetura 5G só existe porque antes houve o 4G. A arquitetura 5G é um passo além do 4G, mas não pode ser entendida apenas como uma evolução porque sua função-objetivo desvia da seguida até o 4G.

Atualmente, diversos países concorrem pelo desenvolvimento e definição do padrão a ser utilizado pela arquitetura 5G: mesmo com a liderança tecnológica sul-coreana no padrão 4G, Estados Unidos (BOARD, 2019) e União Europeia (PARLIAMENT, 2015) publicaram e implementaram planos de política industrial e tecnológica, orientada pela missão de se tornarem líderes tecnológicos no desenvolvimento deste novo padrão, de modo a recuperarem sua posição *forging ahead*. A China aparece como um concorrente em ascensão (ARIAD, 2020; ROSTELECOM, 2020), enquanto no 4G o país era considerado um competidor marginal. Tendo como base patentes da arquitetura 5G, Kim *et al.* (2020) sugerem que a China está saindo da posição de seguidor e indo em direção à liderança no desenvolvimento destas tecnologias.

Tendo em vista que cada geração tecnológica dominante, inserida no setor de telecomunicações, ter durado aproximadamente 10 anos (BOARD, 2019; FARIAS, 2021); cada geração ter aumentado exponencialmente a velocidade do serviço ofertado, melhorando também a qualidade/estabilidade do sinal, tornando as gerações tecnológicas anteriores obsoletas frente às demandas criadas pela oferta de velocidade pelas novas gerações tecnológicas (FORGE; VU, 2020); e as patentes essenciais das tecnologias relacionadas a este setor terem curta duração, sendo em média inferiores a 10 anos (ROSTELECOM, 2020); é possível considerar que o setor de telecomunicação representa um setor de ciclo tecnológico curto, em contraposição a setores que a mudança tecnológica ocorre de forma lenta (LEE, 2021).

Além disso, o setor de telecomunicação foi terreno para processos históricos de *catching-up* tecnológico, como demonstrado anteriormente pelo caso da Coreia do Sul, que

passou da posição de seguidora no 3G para *forging ahead* no 4G; e pela China, que surgiu como seguidora no 4G e aparenta estar na posição *forging ahead* na arquitetura 5G (ARIAD, 2020; ROSTELECOM, 2020).

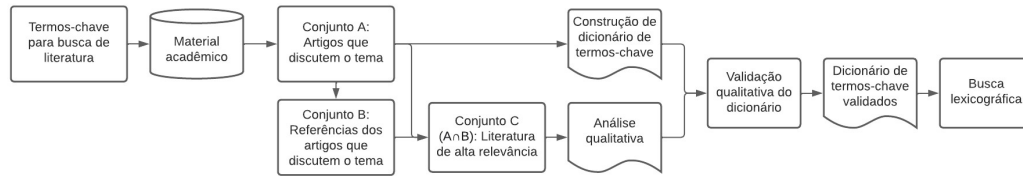
Ressalta-se aqui a importância da cumulatividade nestes processos, pois estes dois países não surgiram “do nada” nas gerações em que se tornaram líderes. Suas lideranças em seus momentos derivam de seus posicionamentos nas gerações tecnológicas anteriores, pois ambos passaram pela fase de seguidor antes de se tornarem líderes. Sendo assim, para uma possível liderança no 5G espera-se ao menos uma posição *catching-up* no 4G. Da mesma forma, uma posição *catching-up* no 5G seria indicativo da existência de potencial de liderança futura no 6G ou em gerações posteriores.

2.3. Metodologia

A execução desta parte da pesquisa é dividida em duas etapas, vide Figura 2. A primeira etapa, definição da “Arquitetura 5G”, é abordada por meio da análise bibliométrica da literatura acadêmica especializada. Tal técnica permite a revisão estruturada de literatura por meio de seleção computacional de textos, permitindo observar o desenvolvimento dos conceitos centrais, temas e autores de maior relevância (ARIA e CUCCURULO, 2017). O resultado bibliométrico é interpretado como uma imagem quantitativa da estrutura qualitativa do conhecimento: o desempenho quantitativo dos documentos, medido pelo número de citações, é entendido como reflexo do desempenho qualitativo deles.

Para construir o dicionário de termos-chave, parte-se da identificação da base de conhecimento acadêmico relevante para o tema, e esta etapa depende da escolha de termos-chave que conduzam ao material acadêmico relevante. Há espaço para se argumentar que o viés de seleção apenas muda de lugar, indo da seleção de material para a seleção de termos-chave, porém, contra-argumenta-se que esta escolha de termos-chave, ainda que seja subjetiva, é menos prejudicial, pois na proposta bibliométrica a escolha de material é ponderada por uma variável quantitativa de desempenho.

Figura 2 - Fluxo metodológico para a construção do dicionário de termos-chave relacionados à arquitetura 5G



Fonte: elaboração própria.

O fluxo inicia-se com a definição de termos-chave para escolha de material acadêmico. Tendo levantado os termos-chave realiza-se a busca em bases de dados acadêmicas de toda a literatura associada a estes termos, podendo ser limitados por condicionantes, desde que justificados (ex.: artigos publicados em revistas não-médicas limitados a um certo período). Destes, levanta-se as variáveis bibliométricas da literatura na forma de duas tabelas, sendo a primeira uma matriz *Artigo (linha) x Referência (coluna)*, cuja aplicação é explicada nesta seção, e uma planilha com as colunas *Título do Texto*, *Resumo*, *Palavras-chave* e *Keyword-plus*, que é discutido posteriormente.

A matriz *Artigo x Referência* é construída de modo que um valor 1 para uma dada combinação significa que o artigo da linha cita a referência da coluna e 0 caso não cite. Esta matriz é usada como método de seleção de textos para estudo qualitativo do tema e possui duas dimensões: a primeira é a dimensão *Artigo*, na qual os documentos contidos nela representam a literatura que discute o tema (conjunto A). A segunda é a dimensão *Referência*, na qual os documentos contidos nela formam a base de conhecimento que foi usada para formar a dimensão *Artigo* (conjunto B).

Tomando como hipótese que a importância de um artigo está diretamente relacionada com o número de citações recebidas, o fato de um artigo do conjunto A ser altamente citado pela literatura como um todo não é suficiente para afirmar que ele é central para o estudo e entendimento do assunto em questão, pois um alto número de citações globais pode ocorrer mesmo que o texto não seja considerado central dentro de sua literatura de origem, podendo ser um material genérico. Da mesma forma, um elemento do conjunto B altamente citado pela literatura como um todo não é suficiente para afirmar que ele é central para o entendimento do assunto em questão, podendo representar apenas uma base de conhecimento comum.

Já um artigo do conjunto B altamente citado pelo conjunto A pode ser entendido como a base de conhecimento relevante para a formação da literatura do conjunto A. Partindo disto, a soma em colunas da matriz *Artigo x Referência* nos dá o número de citações internas do conjunto B pelo conjunto A e este número é usado como *proxy* para a importância de cada membro do conjunto B enquanto base para a literatura do conjunto A.

Ordenando o conjunto B pelo número de citações internas, o estudo qualitativo dos mais citados internamente ainda não podem ser definidos como o núcleo do entendimento do assunto, mas sim para o entendimento da base de conhecimento que gerou esse assunto. Definiremos o conjunto C como os artigos que (i) formam a base de conhecimento relevante para a formação da literatura (pertence a B); e (ii) discutem o assunto em questão (também pertence a A). Sendo assim, os artigos que pertencem a C fazem parte da literatura relacionada a este assunto e à base de conhecimento que gerou este assunto. Esse conjunto melhor representa o núcleo da discussão sobre o tema, pois discutem o tema e fundamentam a base de conhecimento sobre este.

Tomando as citações como indicador de desempenho dos artigos, os melhores materiais em termos de citações para o estudo qualitativo sobre um determinado tema são os artigos mais citados do conjunto C. Em outros termos, os artigos mais relevantes para o estudo qualitativo são os que possuem (i) as maiores somas em linha da matriz *Textos x Referências* e que (ii) estejam listados tanto nas linhas quanto nas colunas da matriz. O estudo qualitativo destes possivelmente levará a um bom entendimento sobre o objeto de estudo e possuirá viés de seleção subjetivo reduzido se comparado à escolha manual de textos.

A partir deste *ranking* de textos relevantes para o entendimento desta literatura, escolhe-se certo número de textos para o estudo qualitativo da literatura sobre esta tecnologia. Mesmo que o pesquisador possua pouco ou nenhum conhecimento do tema, espera-se que este exercício bibliométrico seja um bom indicador dos textos relevantes para o entendimento sobre o assunto.

O objetivo da construção da planilha com as colunas *Título do Texto*, *Resumo*, *Palavras-chave* e *Keyword-plus* é a construção do dicionário de termos-chave centrais relacionados ao tema. A partir desta, computa-se a frequência absoluta dos n-gramas nestes campos textuais. Ao ordenar a frequência absoluta de aparecimento dos n-gramas nos campos bibliométricos desta literatura, por hipótese temos que os mais bem colocados no *ranking* são os termos-chave centrais desta literatura e são relevantes para a caracterização do tema. Tomando como base a seleção de textos da seção anterior e a análise qualitativa deles o pesquisador terá condições de validar a relevância dos n-gramas para o entendimento sobre esta tecnologia. Para tanto, após

a análise qualitativa da literatura a lista de n-gramas precisa passar por transformações de (i) separação de n-gramas em formas inferiores (unigramas, bigramas e trigramas), de modo a simplificar a construção do dicionário, pois a separação de n-gramas em formas inferiores reduz o número de sequências definidas de n-gramas na busca lexicográfica, melhorando o tempo de busca; e (ii) transformação e agrupamento dos n-gramas em radicais, por exemplo, *communications*, *communication* e *telecommunication* possuem o mesmo radical e, portanto, a busca lexicográfica de *communication* já seria suficiente para retornar as diferentes variações deste radical.

Desta nova lista são removidos manualmente, (i) termos sem valor semântico; (ii) termos que, ainda que no contexto do tema, possam não se referir exclusivamente ao objeto de estudo, ou que mesmo em conjunto com o nome do objeto de estudo ainda possam se referir a uma tecnologia distinta e não-relacionada ao objeto; e (iii) termos genéricos, que podem estar relacionados a diversas outras tecnologias. Para estes passos de limpeza, utilizou-se o conhecimento adquirido com o estudo qualitativo dos materiais acadêmicos mais relevantes e tomou-se como pergunta auxiliar para a limpeza “*numa busca de patentes em que tenha, exclusivamente, o nome da tecnologia e este n-grama em questão, seria possível que a busca selecionasse muitas patentes que não tenham relação real com esta tecnologia? Se sim, quais tipos de tecnologias?*”.

Para esta etapa, foi utilizado o banco de dados da Scopus. Neste, foram selecionadas as publicações acadêmicas que possuem os termos “5G” e “IEEE” (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) nos campos título, resumo, palavras-chave ou *keyword-plus*, independentemente do idioma de publicação. O uso destes termos é justificado pela importância desta organização na publicação de conhecimento científico na área de engenharia e na definição de padrões internacionalmente aceitos em diversas áreas. No caso da arquitetura 5G, o padrão IMT-2020, que representa a classificação e requisitos mínimos da “arquitetura 5G”, foi definido pela *International Telecommunication Union* (ITU) em conjunto com o IEEE (ANDREWS et al., 2014).

A seleção, realizada em 18 de março de 2022, contém 1524 documentos publicados entre 1961 e 2022. Aplicando-se a metodologia derivada da matriz *Artigo x Referência*, por meio da *library bibliometrix* para o *software* R, construímos o Conjunto C e ordenamos os textos mais citados internamente e que pertencem à base de conhecimento. O *ranking* de textos mais citados internamente e que pertencem à amostra foi construído a partir desta seleção. Em

seguida, selecionamos as 30 primeiras posições no *ranking* para estudo qualitativo, servindo como alicerce para o entendimento do que compõe a arquitetura 5G, estudados na seção 2.4. Esta seção é uma derivação direta da aplicação do método bibliométrico, na qual o entendimento sobre a arquitetura 5G é construído exclusivamente a partir dos 30 textos mais relevantes localizados.

A etapa quantitativa de seleção de termos foi realizada com a aplicação da *library bibliometrix*, desenvolvido por Aria e Cuccurullo (2017) para o *software* R, descrita na seção 3.2. Nesta *library* há um algoritmo de identificação da frequência absoluta dos n-gramas nos campos bibliográficos, retornando os 50 termos mais citados, sejam eles unigramas ou n-gramas, que passaram pela limpeza manual segundo as condições levantadas na seção anterior. Feitas as exclusões, foi levantada a lista de termos que fundamenta a busca lexicográfica de patentes relacionadas ao 5G.

2.4. O que é a arquitetura 5G?

2.4.1. Introdução às visões

As tecnologias de comunicação móvel podem ser definidas como um conjunto de equipamentos utilizados para envio e recebimento de dados por meio de ondas fora do espectro audível e visível. É possível caracterizar e diferenciar as várias gerações tecnológicas (1G/2G/3G/4G/5G) pelas óticas dos (i) requisitos mínimos de desempenho, (ii) padrões de técnicas e (iii) arquiteturas de rede utilizadas.

Por requisito mínimo de desempenho entende-se o conjunto formado por: (i) velocidade *edge* (velocidade mínima da conexão, disponibilizada a 95% dos usuários a todo momento), (ii) velocidade *pico* (mínimo de velocidade máxima disponibilizada numa situação "perfeita"), (iii) latência (tempo máximo aceitável para transmitir um pacote de dados entre um transmissor e um receptor no meio sem fio, pois quanto menor a latência, mais próximo de uma transmissão em tempo virtualmente real o sistema está (ANWAR; FRANCHI; FETTWEIS, 2019)), (iv) *jitter* (variação da latência. Quanto menor o jitter, mais estável a latência será), e (v) capacidade de conexão (número de dispositivos conectados por célula transmissora) (NASRALLAH *et al.*, 2019). Esses requisitos mínimos são definidos e padronizados internacionalmente pela *International Telecommunication Union* (ITU) com base em estudos do IEEE (OSSEIRAN *et al.*, 2014).

Por padrão de técnicas entende-se o conjunto de técnicas acordadas e utilizadas de forma generalizada no sistema para transmissão de dados, englobando as bandas de onda utilizadas, técnicas para localização, triangulação de sinal, e transmissão de dados entre dispositivos (ANDREWS *et al.*, 2014).

Por arquitetura entende-se o conjunto de peças, componentes e configurações sistêmicas do funcionamento dos dispositivos de transmissão de dados, ou seja, a hierarquia de funções dentro do sistema e como as diferentes camadas de equipamentos com distintas funções se interligam. Ainda que para cada geração tecnológica exista um padrão do desempenho mínimo das conexões, as arquiteturas de funcionamento de cada geração são heterogêneas entre si, pois cada geração foi desenvolvida de modo a resolver um problema diferente (BANGERTER *et al.*, 2014).

Ressalta-se que as distintas gerações tecnológicas possuem a mesma função-objetivo, que é de permitir a comunicação móvel. Sendo assim, há sobreposição de objetivos e de tecnologias utilizadas em cada padrão, o que inviabiliza a delimitação exata das fronteiras entre gerações.

2.4.2. Motivação para a arquitetura 5G

A rede 5G foi projetada a partir dos desafios das redes móveis existentes: há uma crescente demanda por parte dos consumidores por melhor desempenho da rede, ou seja, por velocidades de conexão cada vez mais elevadas, melhor estabilidade do sinal (menor *jitter*), melhor cobertura (disponibilização de sinal em mais lugares, e disponibilização de sinal suficiente em áreas densamente povoadas) e redução no atraso de comunicação (menor latência) (CAVALCANTI *et al.*, 2019; PIRINEN, 2014). Do lado dos operadores, há uma demanda por redução do desperdício energético e do custo de transmissão (de um lado pois um transmissor ligado consome energia mesmo não estando transmitindo dados, e de outro lado ele dissipa parte da energia na forma de calor) (ANDREWS *et al.*, 2014). Do lado da oferta, há uma escassez global de bandas disponíveis para as operadoras de comunicação móvel (RAPPAPORT *et al.*, 2013). As bandas disponíveis para uso são um recurso escasso, pois há poucas frequências que podem ser utilizadas para a comunicação móvel por não sofrerem com problemas de interferência do ar e da chuva (GHOSH *et al.*, 2014).

Da mesma forma que o padrão 4G não foi pensado para substituir o 3G, a arquitetura 5G não vem para eliminar o 4G, mas sim para ser um impulsionador da capacidade de

comunicação. Além disso, as diferentes gerações tecnológicas continuarão coexistindo. Tomando a geração anterior, se um equipamento compatível com 4G não consegue se conectar à rede 4G (seja pela indisponibilidade de sinal ou do congestionamento da rede), ele não ficará desconectado da rede de comunicação móvel, pois ainda será capaz de se conectar à rede 3G. Ainda que o 3G seja tecnicamente inferior ao 4G em termos de desempenho, pois permite velocidades inferiores com maior latência, o 3G não foi removido da infraestrutura de comunicação quando o 4G foi implementado, pois não é plausível fornecer um serviço superior que exclua todos os equipamentos que se comunicam nos sistemas antigos (BANGERTER *et al.*, 2014).

Não há uma definição única do que é e o compõe a arquitetura 5G, sendo uma literatura multifacetada, caracterizando-a a partir de perspectivas diferentes (ANDREWS *et al.*, 2014), conforme as três dimensões, apresentadas anteriormente. Um consenso se formou em torno da ideia de que a arquitetura 5G é a integração de várias técnicas existentes ao invés da invenção de uma nova tecnologia de acesso por rádio (ANDREWS *et al.*, 2014; PIRINEN, 2014).

O sistema 5G pode ser entendido como a adaptação e evolução da arquitetura 4G para responder à demanda por transmissão de dados com alta velocidade, alta capacidade de transmissão e baixa latência, para regiões com redes congestionadas (CHEN; ZHAO, 2014; OSSEIRAN *et al.*, 2014), por meio da incorporação de bandas de altas frequências de curto alcance (AZAR *et al.*, 2013; BOCCARDI *et al.*, 2014; RAPPAPORT *et al.*, 2012; ROH *et al.*, 2014), técnicas de localização e direcionamento do sinal (CHIH-LIN *et al.*, 2014; DEMESTRICHAS *et al.*, 2013; WEILER *et al.*, 2014) e comunicação multiponto (BHUSHAN *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2014). Ressalta-se que nenhum dos componentes da arquitetura 5G é uma tecnologia nova (PIRINEN, 2014): ela é uma combinação de técnicas utilizadas para diferentes propósitos em diferentes cenários, combinados visando responder a novas demandas.

2.4.3. Dimensão 1: requisitos mínimos de desempenho

Do lado do consumidor, espera-se que a arquitetura 5G forneça uma velocidade *edge* (velocidade mínima a 95% dos usuários) pelo menos 100 megabits por segundo (Mbps), podendo chegar a 1 gigabit por segundo (Gbps) (ANDREWS *et al.*, 2014), sendo 100x superior ao requisito mínimo do padrão 4G; taxas *pico* (mínimo de velocidade máxima) superiores a 10Gbps (RAPPAPORT *et al.*, 2013); capacidade por área (quantidade de dados que uma rede pode servir), medida em bits por segundo por unidade de área, 1000x superior à capacidade do 4G, gerando uma maior capacidade de conexão (ANDREWS *et al.*, 2014); deve suportar taxas

de tráfego (quantidade de dados demandados a ser transportados por segundo) 1000x maiores do que os níveis de tráfego de 2010, latência (atraso) inferior a 1 milissegundo (ms) para redes locais, contra a meta de 15ms do 4G (RAPPAPORT *et al.*, 2013) e redução do *jitter* (variação do atraso) ao mínimo possível¹¹ (NASRALLAH *et al.*, 2019).

Do lado do ofertante do sinal, espera-se que o aumento da capacidade da rede não seja acompanhado por aumento do custo energético por unidade de dado transmitido, e há um potencial teórico de redução no consumo energético de 10-100x para cada bit/s transmitido (ANDREWS *et al.*, 2014).

2.4.4. Dimensão 2: Padrão técnico do 5G

2.4.4.1. Uso de bandas de alta frequência

Até o 4G, os operadores trabalhavam na banda entre 700MHz e 2,6GHz, que são divididas com outros operadores e atividades por acordos regulados a nível nacional para cada país (RAPPAPORT *et al.*, 2013). Estas bandas comumente já se encontram congestionadas em horários de pico em diversos lugares, causando gargalos nas conexões móveis onde há várias pessoas conectadas ao mesmo tempo (BOCCARDI *et al.*, 2014). Para remover essa limitação, há três principais formas de expandir a capacidade da rede: (i) melhorar a eficiência espectral, ou seja, dado que a comunicação entre dois dispositivos se dá em uma certa largura de banda, melhorar a eficiência significaria aprimorar as técnicas existentes para transmitir mais pacotes de informações por unidade de tempo, com a mesma largura de banda disponível, o que é um caminho limitado dado o estágio de desenvolvimento do 4G (BANGERTER *et al.*, 2014); (ii) reformar o espectro disponível, ou seja, redividir as frequências utilizadas pelas diferentes atividades (por exemplo, realocar o sinal da TV aberta, da comunicação militar, e da transmissão de rádio para outras frequências), de modo a disponibilizar mais largura de banda para a comunicação móvel, porém o alto custo – seja financeiro ou jurídico dessa operação – inviabiliza esta opção (BOCCARDI *et al.*, 2014); (iii) obter mais espectro utilizável, ou seja, incluir mais bandas de frequências – atualmente não utilizadas – na lista de frequências utilizáveis para a comunicação móvel.

¹¹ Em termos de redução de latência e *jitter*, o público-alvo da arquitetura 5G não é prioritariamente o consumidor final de comunicação móvel, pois estas não são aplicações críticas em termos de necessidade de atraso do sinal ou segurança, mas sim o setor industrial (LU *et al.*, 2019) e as cidades inteligentes (CAVALCANTI *et al.*, 2019). Sendo assim, a baixa latência e *jitter* são importantes para garantir a qualidade da comunicação *machine-to-machine* (M2M) e a comunicação *vehicle-to-everything* (V2X), pois assim será possível garantir a viabilidade do desenvolvimento e implementação de veículos autônomos, que com o sistema 5G serão capazes de tomar decisões de segurança em tempo real (ANWAR; FRANCHI; FETTWEIS, 2019).

Por motivos físicos (interferência do ar, que afeta a qualidade e o alcance do sinal), há atualmente 6 bandas que não são utilizadas, mas com potencial de uso: A sub-6GHz (5-6GHz) e as cinco no espectro chamado de milimétrico ou espectro *mamãe* pela literatura: 28, 38, 57-64, 71-76 e 92-95GHz (GHOSH *et al.*, 2014). Todas estas frequências apresentam baixa interferência do ar, e pelo seu menor comprimento de onda, apresentam uma capacidade de transmissão de dados por unidade de tempo superior às utilizadas até a geração 4G (LI *et al.*, 2014). Destas opções, a sub-6GHz e a 28-38GHz foram as que melhor responderam às necessidades atuais e estão sendo alocadas para o padrão 5G (AZAR *et al.*, 2013; GHOSH *et al.*, 2014; MACCARTNEY *et al.*, 2013; RAPPAPORT *et al.*, 2013; SAMIMI *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2013).

No padrão 5G, o foco de desenvolvimento é na melhora da velocidade renunciando ao alcance. Há um *trade-off* no uso das bandas para comunicação móvel: quanto maior a frequência da banda, maior será a velocidade potencial de transmissão, porém maior será a perda de sinal pela distância, e menor será a capacidade de a onda contornar objetos sólidos, resultado da baixa reflexividade das ondas de alta frequência (ANDREWS *et al.*, 2014). As novas frequências utilizadas possuem alcance reduzido, inferior a 200 metros em linha de visão, contrastando com a capacidade de alguns km das frequências usadas no 4G. Sendo assim, a arquitetura 5G levará à construção de redes mais densas, ou seja, mais transmissores por unidade de área (AZAR *et al.*, 2013; BHUSHAN *et al.*, 2014). A principal desvantagem dessas bandas é que paredes sólidas são praticamente impenetráveis por elas, sendo necessário uma alta densificação da rede para contrabalancear as barreiras visuais ao sinal (WEILER *et al.*, 2014).

2.4.4.2. Massive Multiple-Input Multiple-Output (M-MIMO)

Os sistemas de *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) tradicionais consistem em várias antenas instaladas no transmissor e no receptor, normalmente de duas a quatro antenas por receptor (WANG *et al.*, 2014) e até oito por transmissor (ANDREWS *et al.*, 2014). Quanto maior o número de antenas em ambos, maior o grau de liberdade para transmitir dados, podendo acomodar mais informações simultâneas. As antenas de rádio básicas (utilizadas atualmente) podem realizar apenas uma única tarefa por vez: transmitir ou receber informações (CHEN; ZHAO, 2014). A ideia do novo sistema é permitir a transmissão simultânea de informações entre transmissor e receptor, sem realizar apenas uma função por vez. Para isso, em sistemas de MIMO massivo (M-MIMO) será elevado drasticamente o número de transmissores e receptores

por aparelho e tornar os transmissores imensamente mais equipados com antenas que os receptores, permitindo a transmissão simultânea em ambas as direções (*upload e download*) em um único fluxo (BOCCARDI *et al.*, 2014).

2.4.4.3. Machine-to-Machine (M2M) nativo

Nas gerações anteriores, era implicitamente aceito que duas partes que desejam estabelecer uma conexão não estariam próximas, porém, na era dos dados essa premissa não é válida, pois é comum que vários dispositivos próximos desejem interagir e compartilhar conteúdo sem fio, sendo conhecido como comunicação *Machine-to-Machine* (M2M) (BOCCARDI *et al.*, 2014). Pelas redes existentes, ainda que os dispositivos estejam fisicamente próximos, são necessários vários saltos para atingir esse objetivo (ex.: da máquina 1 para a microcélula, para a macrocélula, para outra microcélula, para a máquina 2), que poderia muito bem requerer um único salto (máquina 1 para máquina 2), logo há um desperdício enorme de recursos energéticos e de sinalização, bem como uma latência elevada (pois o sinal está percorrendo um grande caminho).

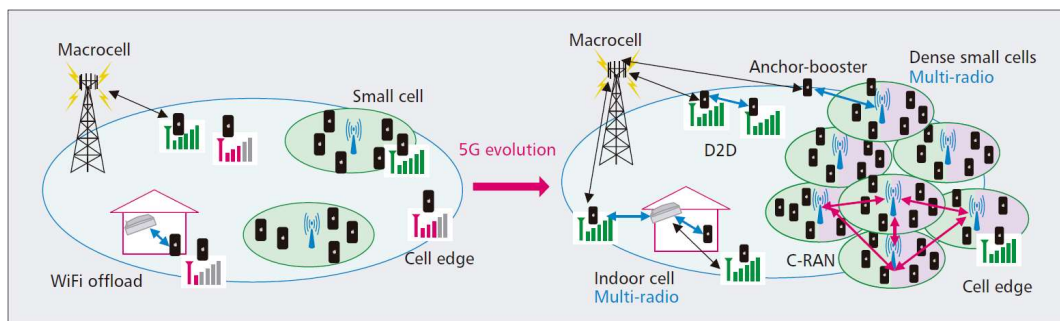
Nesse cenário crescente de M2M, o número de dispositivos envolvidos pode ser muito grande e a latência aceitável muito pequena (CAVALCANTI *et al.*, 2019; LU *et al.*, 2019). Será mais sensato se os dispositivos puderem se comunicar diretamente, porém nas redes 4G não há provisões para isso, uma vez que todas as comunicações ocorrem a partir da célula de transmissão, o que é extremamente ineficiente para comunicações M2M. No espectro não-licenciado essa forma de comunicação local já existe, dispositivos se comunicam usando tecnologias como *Bluetooth* ou protocolos de *Local Area Network* (LAN) (CHIN *et al.*, 2014). No entanto, essas conexões são suscetíveis a interferências, pois não há formas de garantir que equipamentos de LANs próximas não utilizem a mesma frequência e/ou frequências não-ortogonais.

A comunicação nativa M2M confere benefícios como o aumento da eficiência, entendido pela cobertura aprimorada, latência reduzida e consumo energético reduzido (BANGERTER *et al.*, 2014). A utilização de espectro licenciado garantirá um certo nível de qualidade de serviço e segurança para o M2M, pois gerenciando a conexão de maneira adequada as interferências serão reduzidas (CHIN *et al.*, 2014).

2.4.5. Dimensão 3: Arquitetura de redes 5G

A arquitetura tradicional das redes de comunicação móvel é marcada pela divisão do território geográfico em setores sob o alcance de uma macrocélula transmissora (torre de sinal). Ela é a torre regional de transmissão e está conectada à central de operação e aos outros setores por fibra óptica, permitindo a comunicação para fora do setor, enquanto as “pontas” da comunicação (entre a torre e o aparelho móvel) ocorrem por meio sonoro (ANDREWS *et al.*, 2014). A arquitetura 4G é macro-dominada (CHEN *et al.*, 2014), nela a macrocélula é a transmissora do sinal móvel para todos os equipamentos presentes no setor (Figura 2). Caso haja necessidade de disponibilizar mais sinal ou reforçar o sinal em subsetores com fraca receptividade e/ou acesso móvel congestionado, são instaladas microcélulas locais, que funcionam como repetidores, reforçando a capacidade do sinal da macrocélula (BANGERTER *et al.*, 2014).

Figura 3 - Evolução da arquitetura de redes móveis heterogêneas



Fonte: BANGERTER *et al.* (2014, p.92).

Para enfrentar o desafio do congestionamento, que leva à instalação das microcélulas locais, a rede 5G adota uma arquitetura que foge ao modelo utilizado pelo 4G de macrodominação, sendo substituído pelo sistema de coexistência macro-local coordenado (CHEN; ZHAO, 2014). A arquitetura deste novo sistema é composta por macro-, micro-, pico- e femtocélulas, que atendem usuários de distintos serviços. Essa arquitetura está dividida em duas camadas principais (Figura 2): a hospedeira e a de reforço (DEMESTRICHAS *et al.*, 2013). A camada hospedeira consiste em macrocélulas e sua função é garantir o serviço de localização onipresente no setor, operando em larguras de banda que possuem grande alcance e baixa capacidade de transmissão de dados (BANGERTER *et al.*, 2014). A camada de reforço consiste em microcélulas que operam em bandas de alta frequência (sub-6GHz e *mmWave*), que possuem curto alcance e uma maior densidade e capacidade de conexão, sendo capazes de

transmitir até 1000x mais dados/s/unidade de área em relação ao 4G, e sua função é fornecer a melhor conexão possível aos aparelhos próximos (ANDREWS *et al.*, 2014).

Nesta arquitetura, as microcélulas não funcionam mais como repetidoras, mas como transmissores próprios, descongestionando o tráfego de dados das macrocélulas que antes eram usadas para transmitir dados (ANDREWS *et al.*, 2014). Diferentemente do 4G, onde os equipamentos mantêm conexão com apenas uma estação (macrocélula), nessa nova configuração os equipamentos mantêm conexão simultânea com duas estações diferentes: uma macro e uma micro. A macrocélula manterá a conectividade ampla e a localização dos equipamentos, enquanto a microcélula fornecerá transporte de dados com alto rendimento. O equipamento trocará somente dados de localização com a macrocélula, e ela direcionará o equipamento à microcélula mais próxima para tráfego de dados (CHEN *et al.*; 2014; CHIN *et al.*, 2014).

Como a interferência do ar na *mmWave* é elevado, uma técnica arquitetural aplicada ao 5G é o *beamforming*, que é a concentração do sinal na direção em que se encontra o dispositivo conectado, de modo a reduzir o desperdício energético que teria ao transmitir sinal a todas as direções, sendo que esta busca apenas alcançar o dispositivo que está conectado na banda de frequência específica (ANDREWS *et al.*, 2014). Essa solução está refletida no conceito de arranjos modulares de antenas (WEILER *et al.*, 2014), no qual o arranjo de antenas nas células transmissoras – sejam macro ou micro – é formado por módulos de arranjos menores, cada um com sua capacidade de transmissão direcionada.

Esta nova arquitetura permite o surgimento da função de micro-operador (μ O) na camada mais baixa (ANDREWS *et al.*, 2014): eles são operadores de rede móvel de pequena escala que não possuem espectro licenciado, mas que firmam contratos com operadores para acessar seu espectro. μ Os podem ofertar serviços altamente especializados. Pelas limitações de reflexividade e de transpor objetos, as frequências *mmWave* funcionam melhor em espaços abertos (GHOSH *et al.*, 2014). μ Os possuem um nicho de mercado potencial em espaços fechados. Podem atuar com pico- e femtocélulas na camada de reforço mais baixa, transportando o sinal para dentro de prédios.

Células de transmissão não comunicam entre si apenas por ondas, e mesmo que o M2M nativo seja um dos princípios básicos do 5G, para longas distâncias a comunicação por cabeamento ótico é indiscutivelmente superior (CHIN *et al.*, 2014). Segundo Andrews *et al.* (2014), é necessário continuar regulando o *backhaul* (ligações macro-micro) e o *backbone*

(ligações macro-macro) das transmissoras, garantindo a qualidade do serviço de longo alcance. O funcionamento do sistema 5G depende dos mesmos, e pelo fato de o sistema se tornar hierarquizado, sem uma regulação da construção e da manutenção do serviço óptico, a arquitetura 5G estará propícia a restrições de oferta causadas pela falta de infraestrutura.

2.5. Termos definidores da arquitetura 5G

Buscou-se identificar os principais termos-chave relacionados à arquitetura 5G, de modo a utilizá-los como base para a busca lexicográfica do capítulo três. A partir do conjunto de artigos relacionados à arquitetura 5G, computou-se a frequência absoluta dos termos compostos mais utilizados nos campos de *Título, resumo, palavras-chave e keyword-plus*, para então selecionar os 50 termos mais utilizados, vide Tabela 1.

Observa-se alguns problemas nesta lista: (i) o termo composto “*5g mobile communication systems*” aparece 489 vezes, contra 173 ocorrências de “*mobile telecommunication systems*” e 43 vezes de “*5g*” em isolamento; (ii) os termos “*wireless telecommunication systems*” e “*wireless communications*” aparecem de forma separada, mesmo possuindo o mesmo radical. O uso destes termos compostos poderá trazer uma complexidade combinatória à busca lexicográfica, restringindo a lista de termos relacionados ao 5G a uma sequência definida de palavras.

Tabela 1 - Frequência absoluta dos termos compostos mais utilizados nos campos de título, resumo, palavras-chave e keyword-plus dos artigos relacionados à arquitetura 5G

Posição	Termo	Frequência absoluta
1	5g mobile communication systems	489
2	ieee standards	346
3	mobile telecommunication systems	173
4	wireless telecommunication systems	157
5	millimeter waves	155
6	wireless local area networks (wlan)	150
7	wireless networks	92
8	wi-fi	88
9	quality of service	84
10	solar cells	69
11	bandwidth	68
12	mimo systems	67
13	network architecture	65

Posição	Termo	Frequência absoluta
14	wireless communications	64
15	internet of things	62
16	microwave antennas	57
17	standards	56
18	mobile communications	54
19	heterogeneous networks	52
20	energy efficiency	51
21	vehicles	50
22	orthogonal frequency division multiplexing	48
23	vehicle to vehicle communications	46
24	5g	43
25	signal processing	42
26	beamforming	40
27	cellular network	40
28	radio access networks	40
29	wimax	38
30	conversion efficiency	36
31	millimeter waves (mmwave)	36
32	network layers	36
33	antennas	35
34	intelligent vehicle highway systems	35
35	queueing networks	35
36	internet protocols	34
37	long term evolution (lte)	34
38	radio	34
39	internet	33
40	telecommunication networks	33
41	intelligent systems	32
42	medium access control	32
43	computer simulation	31
44	optimization	31
45	wireless communication system	31
46	wireless technologies	31
47	efficiency	30
48	radio communication	30
49	photovoltaic effects	29
50	vehicular ad hoc networks	29

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Scopus.

Como forma de contornar este problema, os termos compostos foram separados em termos simples – salvo em situações que eles constituem uma tecnologia de nome composto, por exemplo “*internet of things*”, “*orthogonal frequency division multiplexing*” e “*vehicle to vehicle*”, vide Quadro 2. Baseado na análise qualitativa da literatura, os termos foram combinados com o termo 5G para então analisar se, exclusivamente em conjunto com o termo 5G, ajudariam na caracterização e seleção de tecnologias 5G, excluindo do quadro termos que, em conjunto com 5G, não representariam as tecnologias 5G ou que não são necessários para se definir o que é esta tecnologia. Neste último conjunto, foram considerados como não-necessários termos que representam aplicações do 5G, mas que não estão presentes nas definições presentes na análise qualitativa da literatura, realizada anteriormente. Feitas as exclusões, o Quadro 3 exibe os principais termos-chave relacionados ao 5G selecionados a partir da literatura acadêmica, apresentando quais termos foram excluídos e os motivos para exclusão.

Quadro 2 – Lista de termos relacionados à arquitetura 5G, exclusões e motivos da exclusão

TERMO-CHAVE	AÇÃO TOMADA	MOTIVO DA EXCLUSÃO
5G	Inclusão	
mobile	Inclusão	
communication	Inclusão	
systems	Exclusão	Pode se referir a qualquer tipo de sistema de quinta geração (ex.: processadores de computador)
ieee	Inclusão	
standards	Exclusão	
telecommunication	Exclusão	Radical já está incluso na busca
wireless	Inclusão	
millimeter waves	Inclusão	
mmwave	Inclusão	
local area	Exclusão	Generalidade, uma vez que pode se referir à rede local de 5GHz, que é o Wi-Fi 5G, e não à arquitetura 5G
network	Inclusão	
networks	Exclusão	Radical já está incluso na busca
wi-fi	Exclusão	Wi-Fi 5G não é a mesma coisa que 5G
quality of service	Exclusão	Alta generalidade do termo
solar cells	Exclusão	Pode se referir à quinta geração de painéis solares
bandwidth	Inclusão	
mimo	Inclusão	
architecture	Exclusão	Alta generalidade do termo

TERMO-CHAVE	AÇÃO TOMADA	MOTIVO DA EXCLUSÃO
internet	Inclusão	
internet of things	Exclusão	Internet of Things pode se beneficiar do 5G, mas não é uma tecnologia definidora do 5G
microwave	Exclusão	Pode se referir a colocar 5 gramas de algo no micro-ondas
antennas	Exclusão	Alta generalidade do termo
heterogeneous	Exclusão	Alta generalidade do termo
energy	Exclusão	Pode se referir a energia gravitacional
efficiency	Exclusão	Alta generalidade do termo
vehicles	Exclusão	Pode se referir à força da gravidade afetando veículos
orthogonal frequency division multiplexing	Inclusão	
vehicle to vehicle	Exclusão	Comunicação vehicle to vehicle pode se beneficiar do 5G, mas a arquitetura 5G não é definida em função desta
signal processing	Exclusão	Pode se referir à velocidade de processamento de computadores
beamforming	Inclusão	
cellular	Inclusão	
radio	Inclusão	
access	Exclusão	Um ponto de acesso 5G pode estar referenciando o Wi-Fi 5G
wimax	Exclusão	WiMax refere-se a banda larga de alta velocidade, o que não é 5G
conversion	Exclusão	Alta generalidade do termo
layers	Exclusão	Alta generalidade do termo
intelligent vehicle highway	Exclusão	É uma aplicação do 5G, mas a arquitetura 5G não é definida em função desta aplicação
queueing	Exclusão	Pode se referir a quaisquer processos de fila de processamento de dados
protocols	Exclusão	Pode se referir a normas dentro de qualquer padrão (ex.: protocolos sanitários)
long term evolution	Exclusão	Trata-se do nome do projeto do 4G
intelligent	Exclusão	Alta generalidade do termo
medium access control	Exclusão	Um controle de acesso 5G pode estar referenciando o Wi-Fi 5G
computer	Exclusão	Pode se referir à velocidade de um processador
simulation	Exclusão	Pode se referir à simulação gravitacional
optimization	Exclusão	Alta generalidade do termo
technologies	Exclusão	Pode se referir a qualquer tipo de tecnologia de quinta geração (ex.: processadores de computador)
phorovoltaic	Exclusão	Alta generalidade do termo
vehicular	Exclusão	Pode se referir à força da gravidade afetando veículos

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Scopus.

Os termos selecionados estão alinhados com os termos usados por Ariad (2020) em seu estudo sobre a criação de tecnologias relacionadas ao 5G, contemplando todos os termos

levantados por este. A partir destes termos, o próximo capítulo contém um estudo quantitativo dos pedidos de patente de invenções relacionadas ao 5G, com ênfase na busca por países em estágio de *catching-up* tecnológico.

Quadro 3 - Termos-chave radicais relacionados à arquitetura 5G

TERMOS-CHAVE
5G
mobile
communication
ieee
wireless
milimeter wave
mmwave
network
bandwidth
mimo
internet
orthogonal frequency division multiplexing
ofdm
beamform
cellular
celular
radio

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Scopus.

2.6. Considerações parciais

A arquitetura 5G possui uma função-objetivo distinta das gerações tecnológicas anteriores, sendo motivada pelos desafios das redes móveis existentes: há uma crescente demanda por parte dos consumidores por um melhor desempenho da rede em termos de velocidade e estabilidade, não enfrentando o mesmo desafio das gerações tecnológicas anteriores, que eram principalmente de cobertura de rede.

Não há uma definição única do que é e o que compõe a arquitetura 5G, sendo uma literatura multifacetada, mas há um consenso em torno da ideia de que ela é a integração de várias técnicas existentes ao invés de uma nova tecnologia de acesso por rádio. Aqui, entendemos tal arquitetura como a adaptação e evolução do 4G por meio da incorporação de bandas de alta frequência, técnicas de localização e direcionamento do sinal. Não há tecnologias

novas na arquitetura 5G, mas uma combinação de técnicas usadas para diferentes propósitos em diferentes cenários.

A arquitetura 5G possui um caráter habilitador de avanços em diversas áreas, principalmente as da chamada quarta revolução industrial (PARLIAMENT, 2015), porém sozinha não é capaz de proporcionar o avanço tecnológico. Não será apenas desenvolvendo as tecnologias da arquitetura 5G que um país se tornará *forging ahead*, porém o desenvolvimento de tecnologias relacionadas a essa arquitetura permitirá que um país reduza as barreiras ao seu desenvolvimento, pois poderá levar a desenvolvimentos em etapas posteriores das cadeias produtivas utilizando-se de sinergias com a arquitetura 5G. Além disso, o fato de ser uma geração tecnológica em desenvolvimento, mas ao mesmo tempo não ser um conjunto de tecnologias novas, permite que países que já possuam experiência no desenvolvimento de algum componente desta possam utilizá-los para acelerar o desenvolvimento nesta e em outras tecnologias.

Sendo assim, ao entender o funcionamento desta geração tecnológica, esta análise reforça o argumento de que a arquitetura 5G pode ser uma janela de oportunidade para o *catching-up* tecnológico para países que já tenham capacidade inventiva desenvolvida no setor de comunicação móvel. Justamente por tratar-se de algo novo, não-maduro, inserido em um setor de ciclo tecnológico curto e possuir uma função-objetivo distinta das gerações anteriores, o que possibilita uma trajetória tecnológica distinta das seguidas pelos líderes nas gerações anteriores.

O próximo capítulo buscará analisar o desempenho inventivo dos principais países desenvolvedores de invenções da arquitetura 5G com base em estatísticas de pedidos de patentes, buscando entender a dinâmica entre os países líderes e seguidores no desenvolvimento destas e identificando se existem países com potencial de *catching-up* tecnológico no âmbito da arquitetura 5G e que possuam potencial para competirem no desenvolvimento das gerações tecnológicas posteriores.

CAPÍTULO 3 - *CATCHING-UP* TECNOLÓGICO NA ARQUITETURA 5G

3.1. Introdução

Por se tratar de um tema amplo, o *catching-up* tecnológico pode ser estudado de diferentes formas. Uma delas é por meio da teoria apreciativa (NELSON; WINTER, 1982), que conta a história das relações empíricas observadas, mas não é viável para esta pesquisa, podendo ser bem aplicada em um estudo de caso do *catching-up* tecnológico de um país. Tendo em vista o objetivo de identificar países em *catching-up* tecnológico, a análise deve ser feita a partir de indicadores de desempenho tecnológico.

Há diversas formas de se medir o desempenho tecnológico, por exemplo, o investimento em P&D (CHANG *et al.*, 2021; SILVA, 2019). No entanto, essa variável é mais bem indicada para uma análise ampla do desempenho tecnológico, pois não há dados disponíveis para gastos em P&D em tecnologias específicas para diferentes países, além disso, não é simples controlar adequadamente os efeitos setoriais em uma amostra de gastos com P&D, uma vez que a maioria das empresas maiores são agregações de unidades de negócios envolvidas em uma variedade de indústrias (COHEN, 2010). Outras formas incluem a análise por meio de variáveis de produtividade e de qualidade das instituições (MANCA, 2009), porém estas refletem melhor a adoção de tecnologias com alta produtividade e não o desempenho inventivo; e pesquisas de inovação (CARIA JUNIOR, 2015), porém esta é limitada pela dificuldade de comparação entre países e tecnologias específicas.

A forma aqui escolhida é a análise do desempenho inventivo a partir de estatísticas de pedidos de patentes (LEE e LIM, 2001; MARTINEZ BUITRAGO; 2019; MIRANDA, 2014). Segundo Macedo e Barbosa (2000), mais de 70% da informação tecnológica disponível em todo o mundo somente pode ser encontrada nos documentos de patentes e há inúmeras razões para que as informações tecnológicas contidas em documentos de patentes sejam superiores a outros sistemas de informação: (i) tecnologia por excelência: os documentos de patentes armazenam conhecimentos tecnológicos destinados à produção de mercadorias, enquanto que outros sistemas podem armazenar informações provenientes de campos científicos; (ii) classificação tecnológica: é o único sistema configurado para ordenar as informações técnicas por áreas do conhecimento; (iii) complementaridade: os documentos de patente contém levantamento do estado da técnica até o momento da invenção que descreve, com informações granulares que permitem a identificação das pessoas responsáveis pelos inventos; (iv) padronização e uniformidade: os acervos têm informação uniforme e padronizada,

disponibilizando informações sistematizadas para longos períodos de tempo e com custo relativamente baixo, permitindo a análise comparativa; e (v) quebra da barreira linguística, na forma em que a informação está disponibilizada de forma padronizada e codificada, facilitando a busca de informações e a tradução, porém, ainda pode ser um problema em situações em que o idioma do documento em questão seja pouco utilizado ou conhecido.

3.2. Notas metodológicas e o uso de estatísticas de patente como *proxy* para desempenho tecnológico

Segundo Barbosa (2010, p. 295), uma patente pode ser definida como:

Uma patente, na sua formulação clássica, é um direito, conferido pelo Estado, que dá ao seu titular a exclusividade da exploração de uma tecnologia. Como contrapartida pelo acesso do público ao conhecimento dos pontos essenciais do invento, a lei dá ao titular da patente um direito limitado no tempo, no pressuposto de que é socialmente mais produtiva em tais condições a troca da exclusividade de fato (a do segredo da tecnologia) pela exclusividade temporária de direito (BARBOSA, 2010, p. 295).

A concessão destes direitos, sendo uma prerrogativa do Estado, tem sua validade restrita à região abrangida pelo escritório de patentes que forneceu este direito. Para obter direitos de propriedade em diferentes territórios, o pedido de patente deve ser depositado nos escritórios nacionais destes territórios ou validada por um escritório internacional com abrangência sobre os territórios de interesse, de modo que o pedido de proteção abranja todos os territórios que compõem este escritório internacional. Após o primeiro depósito de pedido de patente, denominado *prioritário*, o depositante tem até 12 meses para solicitar a proteção da mesma invenção em outro escritório (OCDE, 2009). O conjunto dos depósitos que cobrem a mesma invenção ou invenções similares são agrupadas em *famílias*. Cada família possui um ou mais depósitos como membros, e cada depósito pertence a exatamente uma família (EPO, 2020).

Segundo a OCDE (2009), a concessão do direito de propriedade intelectual tem como pré-requisitos: (i) a novidade, que a tecnologia não seja pública até o momento; (ii) a atividade inventiva, que a tecnologia não seja resultado óbvio do estado da técnica, e (iii) a utilidade industrial ou a capacidade da tecnologia de modificar a natureza. A delimitação do limite da reivindicação de direito tem como fundamento um relatório descritivo, contido no documento de depósito. Este contém a caracterização do estado da técnica, feita por meio de citações a patentes já concedidas e a artigos científicos. Deve conter também o avanço em relação ao Estado da Arte feito pela invenção a que se solicita o direito de propriedade. Utilizando-se destas citações, é possível estabelecer ligações entre a atividade inventiva, materializada na

solicitação de patente, e o conhecimento considerado como a base relevante para o desenvolvimento desta invenção, este materializado nos documentos citados.

Nos documentos apresentados no momento do depósito do pedido de patente, estão identificados os nomes e endereços de residência dos depositantes e dos inventores, que são informações relevantes para se discutir a dimensão territorial da atividade inventiva. Há três possibilidades para análise da dimensão territorial das patentes: (i) a partir da região abrangida pelos escritórios (EPO, 2020), que permite uma análise sobre as regiões em que os depositantes desejam obter proteção jurídica sobre seus inventos; (ii) a partir do país de residência do requerente/depositante (CHIARINI e CALLARI, 2019), que reflete a propriedade das invenções e permite discussões sobre quem – firma ou país – se apropria dos ganhos econômicos das invenções patenteadas; e (iii) a partir do país de residência dos inventores (DE RASSENFOSSÉ *et al.*, 2014). Partindo da hipótese de que os inventores residem no mesmo país em que trabalham, o endereço do inventor serve como indicador da localização da atividade tecnológica que resultou na invenção patentada e podemos usar esta informação para entender quais países detêm a capacidade tecnológica que gerou estas invenções patenteadas.

Ademais, todas as solicitações de depósitos são classificadas segundo áreas do conhecimento. A principal classificação de áreas do conhecimento, usada internacionalmente, é a *International Patent Classification* (IPC) (OCDE, 2009), que atribui símbolos de forma hierárquica às áreas do conhecimento, sendo o primeiro dígito o mais genérico, e o último o mais específico. Nas solicitações de depósito, são atribuídos pelo menos um símbolo a cada depósito, com símbolos adicionais de detalhamento do conteúdo deste depósito, segundo classificações internacionais.

Apesar das vantagens em usar estatísticas de pedidos de depósitos, esta não é uma fonte de informações perfeita sobre o desempenho inventivo. É preciso também considerar que nem todos os esforços tecnológicos resultam em patentes. Duas são as razões para isso: (a) por não resultarem em algo patenteável; ou (b) pela própria decisão estratégica da firma ao se considerar os custos e os benefícios advindos do patenteamento (MIRANDA, 2014).

[...]a patente está associada à atividade inventiva, que constitui importante insumo dos processos de inovação. No entanto, é importante ressaltar que: (i) patentes representam não apenas atividades tecnológicas relacionadas com processos formais de P&D; (ii) nem todos os esforços envolvidos em processos de mudança tecnológica, sejam eles por meio de atividades formais de P&D ou não, resultam em patentes; (iii) as patentes representam conhecimentos novos cuja importância tecnológica diferem de forma significativa. Essas ressalvas implicam cuidados na utilização e interpretação das estatísticas de patentes como proxy para atividade tecnológica (MIRANDA, 2014, p. 84).

Ainda que o desempenho em patentes – medido pelo número de depósitos de pedidos – não reflita perfeitamente os esforços tecnológicos e, por consequência, o desempenho das atividades tecnológicas, o pedido de patente pode ser entendido como uma *proxy* das atividades tecnológicas por representar bem grande parte do esforço tecnológico realizado pelos agentes (MACEDO e BARBOSA, 2000).

Para esta pesquisa, foram utilizados os pedidos de patentes depositados em todos os escritórios do mundo no período 2010-2018, cujos dados foram extraídos por meio da edição de abril de 2020 da *Worldwide Patent Statistical Database* (Patstat 2020). A escolha de todos os escritórios listados na Patstat 2020 se apresenta pela sua representatividade máxima à alternativa de escolha de patentes depositadas em um único escritório, além de reduzir o viés de conteúdo nacional causado pela escolha de um ou alguns escritórios. Foram considerados os pedidos de patentes depositados, e não apenas as patentes concedidas, pois esta opção permite incluir os anos mais recentes, uma vez que o processo de publicação e concessão pode se estender por até 10 anos (MIRANDA, 2014).

Dada a estrutura das bases de dados de pedidos de patente, há duas principais formas de seleção de pedidos relevantes a um determinado tema. O primeiro é a escolha dos pedidos que estejam circunscritos em determinadas áreas do conhecimento ou IPCs, e a segunda é a busca lexicográfica por meio de termos-chave. Dada a complexidade tecnológica da tecnologia em questão, não há símbolos da IPC capazes de circunscrever apenas a arquitetura 5G e, portanto, a seleção de pedidos de patente por meio das IPCs enviesaria os dados selecionados. Sob esta condição de inexistência do conjunto de IPCs que representem tal tecnologia, o uso da busca lexicográfica para seleção de depósitos é uma possibilidade para seleção de pedidos, pois na base de dados há dois casos que ocorrem em simultâneo: (i) as tecnologias podem estar relacionadas a mais de uma classe de conhecimento e serem desconhecidas todas as classes que a tecnologia se relaciona, sendo assim, a escolha de classes do conhecimento pode tanto superestimar quanto subestimar o conjunto de depósitos relacionados à tecnologia em questão; e (ii) as classes de conhecimento podem estar relacionadas a mais de uma tecnologia e, portanto, uma classe não contém apenas conhecimento relacionado a uma tecnologia, mas a mais de uma e, portanto, se selecionarmos classes como representativas daquela tecnologia, possivelmente superestimaríamos o número de invenções relacionadas àquela tecnologia.

A busca lexicográfica é usada para minimizar os vieses causados pelas duas condições anteriores. Porém, a busca lexicográfica também impõe seus próprios vieses: (i) o dicionário de

termos-chave para a busca lexicográfica pode tanto subestimar quanto superestimar o número de depósitos relacionados a alguma tecnologia, seja pela escolha de termos muito amplos, que fazem com que a busca lexicográfica retorne depósitos não-relacionados à tecnologia que se deseja estudar, ou de termos muito restritos, que implicam o retorno de menos depósitos do que o total verdadeiro de depósitos relacionados à tecnologia em questão; (ii) a escolha de termos é afetada pelo conhecimento prévio do cientista e, portanto, pode estar viesado pelas suas crenças de quais termos constituem um bom dicionário de termos-chave; e (iii) viés de idioma, no qual a busca dos termos-chave em menos do que todos os idiomas existentes poderia subestimar o número de depósitos, pois é possível que existam pedidos em idiomas que não os usados na busca. Para combater os dois primeiros tipos de vieses, o dicionário de termos-chave foi construído baseado em métodos bibliométricos, fundamentados pela literatura acadêmica relacionada à tecnologia em questão.

Já o viés de idioma é um problema mais complexo de se abordar. Em primeiro lugar, mesmo que a base de dados informe o idioma de cadastro de cada campo de texto, seria necessário construir o dicionário de termos-chave em todos os idiomas listados, a partir disso, seria necessário realizar a busca lexicográfica dos termos em cada idioma em cada depósito, o que impõe um tempo de processamento elevado. Em segundo lugar, não há informações sobre o tipo de codificação binária dos campos de texto dos depósitos. Ainda que o tipo de codificação binária pouco afete buscas feitas em Unicode, ASC-II e UTF-8, que são os principais padrões de codificação usados pelos idiomas que usam o sistema de escrita do alfabeto latino, eles não seriam capazes de localizar depósitos escritos em logogramas. Sendo assim, para resolver por completo o viés de idioma, seria necessário ter o dicionário perfeitamente traduzido em todos os idiomas, com todas as variações de codificação binária, para todos os tipos de sistemas de escrita. Mesmo que isso seja feito, ainda restaria o problema de que não há garantia de que a Patstat tenha carregado corretamente as codificações dos logogramas. Como estratégia para superar este obstáculo, estimamos o grau de cobertura dos pedidos de patente por escritório caso fosse realizada a busca lexicográfica apenas em inglês, para depósitos realizados entre 2010 e 2018, vide resultados na Tabela 2. Não foi localizado artigos na literatura sobre *catching-up* que realizasse este tipo de exercício para a Patstat.

Tabela 2 – Grau de cobertura das informações contidas na Patstat 2020, por escritório, para informações a nível de pedido de depósito e de família

Escritório	Resumo em inglês	Resumo em inglês na família	Possui IPC	Possui IPC na família	Possui inventores	Possui inventores na família
China	98%	98%	99%	99%	98%	98%
USPTO	72%	73%	72%	72%	78%	78%
Japão	67%	82%	85%	85%	71%	83%
WIPO	99%	99%	99%	99%	99%	99%
Coréia	68%	86%	95%	95%	88%	90%
EPO	43%	91%	94%	94%	94%	94%
Alemanha	11%	59%	94%	94%	75%	81%
Taiwan	68%	71%	99%	99%	98%	98%
Rússia	60%	67%	99%	99%	61%	69%
Canadá	95%	99%	86%	86%	86%	95%
Australia	88%	89%	76%	76%	76%	82%
Reino Unido	48%	65%	49%	65%	48%	65%
Brasil	0%	72%	96%	96%	100%	100%
França	14%	71%	98%	98%	98%	98%
Espanha	0%	73%	99%	99%	98%	99%
México	100%	100%	99%	100%	100%	100%
Ucrânia	57%	60%	99%	99%	60%	63%
Itália	0%	34%	26%	48%	82%	83%
Polônia	0%	52%	99%	100%	100%	100%
Singapura	32%	94%	60%	93%	96%	96%
Índia	47%	48%	47%	47%	48%	48%
Itália	0%	88%	94%	97%	23%	91%
Dinamarca	7%	81%	86%	86%	86%	87%
Hong-Kong	1%	91%	98%	98%	93%	97%
Turquia	1%	29%	83%	84%	87%	87%
África do Sul	0%	73%	27%	77%	82%	83%
Argentina	0%	75%	90%	96%	65%	92%
EM	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Chile	0%	77%	82%	85%	99%	99%
Eurásia	43%	92%	100%	100%	47%	93%
Portugal	0%	84%	93%	96%	95%	96%
Total	82%	90%	93%	93%	90%	92%

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Observa-se que 82% do total de pedidos de depósitos possui resumo¹² em inglês¹³. Já 98% dos depósitos feitos no escritório chinês possuem resumo em inglês, 99% no caso da WIPO e 100% no escritório mexicano. Nestes casos, a busca lexicográfica em inglês é capaz de encontrar quase todos os depósitos corretamente. Porém, isso não se observa no USPTO (72% dos depósitos possuem resumo em inglês¹⁴), Coreia do Sul (68%) e Rússia (60%). Este resultado possivelmente mostra subestimação do número de depósitos se realizada a busca lexicográfica. Há também casos extremos: no escritório francês 14% dos depósitos possuem resumo em inglês, 11% no alemão, e 0% nos escritórios brasileiro, espanhol, italiano, sul-africano, dentre outros. Sendo assim, a seleção por busca lexicográfica subestima a participação destes países no total de depósitos relacionados ao dicionário de termos-chave.

Como alternativa à construção de um dicionário em todos os idiomas possíveis, calculamos a participação do total de depósitos de cada escritório que possui algum membro da família com resumo em inglês (Tabela 2). Nesta situação, temos uma queda significativa na ausência de cobertura para a maioria dos escritórios: enquanto 11% dos depósitos no escritório alemão possuem resumo em inglês, 59% dos depósitos no escritório alemão possuem algum membro com resumo em inglês. O mesmo pode ser observado para a Coreia do Sul (68% para 86%), Brasil (0% para 73%), Argentina (0% para 75%), França (14% para 71%), dentre outros países. Desta forma, ao considerar os membros da família, a cobertura da base aumenta de 82% para 90%.

Porém, ainda observamos baixa cobertura em diversos escritórios, principalmente da Alemanha (59%), Rússia (67%), Reino Unido (65%), Ucrânia (60%), Itália (34%), Polônia (52%), Índia (48%) e Turquia (29%). Dessa forma, seguimos com a busca lexicográfica em inglês, tendo conhecimento do tamanho da ausência de cobertura. Ressalta-se que devemos ter cuidado ao interpretar os resultados destes escritórios, pois possivelmente os dados destes estarão subestimados. Porém, dada a melhora da cobertura ao observarmos que grande parte dos depósitos possuem pelo menos algum membro da família em inglês, e que os depósitos de uma família se referem a uma mesma invenção, a busca lexicográfica segue sendo uma estratégia viável e que, mesmo que algum escritório não possua depósitos em inglês,

¹² Um teste preliminar revelou que a combinatória de título e resumo é altamente significativa para a seleção de depósitos quando comparado à busca apenas em título, selecionando 927% a mais de depósitos pela combinatória do que apenas por títulos.

¹³ Via de regra, não é obrigatório ter resumo na solicitação de depósito de uma patente. No caso de escritórios que solicitam resumo, não há obrigatoriedade de que estes resumos estejam em inglês, podendo estar no idioma local.

¹⁴ Neste caso em específico, observamos que os 28% depósitos restantes não possuem resumo, porém, em outros escritórios parte dos depósitos possuem resumo em outros idiomas.

provavelmente iremos localizar depósitos da mesma família em outros escritórios com resumo em inglês.

Para o objetivo final desta pesquisa, as informações necessárias dos depósitos são (i) ano de aplicação, que delimita a dimensão temporal da criação de invenções patenteáveis; (ii) as Símbolos de classificação (IPCs), que delimitam as áreas de classificação do conhecimento em que as invenções se encontram; e (iii) os territórios de localização dos inventores, que delimitam a dimensão geográfica da origem do conhecimento que gerou as invenções.

Da mesma forma, calculamos o grau de cobertura da Patstat 2020 nas informações de cadastro dos IPCs e inventores nos pedidos de patente, assim como a cobertura em pelo menos um membro da família (Tabela 2). Este cálculo é justificado pelo fato de que, caso seja inexistente IPC listado na família, isso resultaria em uma menor participação dos países originais destes escritórios no total de invenções relacionadas a cada área do conhecimento. Encontramos melhorias na ausência de cobertura ao considerar toda a família, mas encontramos problemas persistentes nas famílias com depósitos feitos nos escritórios do Reino Unido (65% de ocorrência de cadastro de IPC na família), Itália (48%) e Índia (47%), e os resultados em termos de IPC para estes países devem ser interpretados com cautela.

Por último, observamos movimento semelhante à existência de cadastro dos inventores listados na família *versus* inventores listados no depósito. A importância deste dado de cadastro se dá pela necessidade de definir o território de origem do conhecimento relacionado ao depósito ou à família em função do território de localização dos inventores. Para este caso, novamente observamos uma baixa cobertura para o escritório da Rússia (69% das famílias possuem algum inventor associado), Reino Unido (65%) e Índia (48%).

Sendo assim, ainda que tenhamos melhorias no nível de cobertura ao analisar a família, precisamos ter cuidado especial ao analisar os depósitos feitos nos países em que observamos alguma forma de subestimação, primeiramente pela incapacidade de selecionar todas as invenções relevantes ao tema (pelo viés de inexistência de resumo em inglês na família), pela incapacidade de classificar as áreas do conhecimento (pelo viés da inexistência de IPC), e pela incapacidade de contabilizar corretamente o território de origem do inventor (entendido como *proxy* para a dimensão geográfica do conhecimento que gerou a invenção, causado pela falta de cadastro dos inventores nas famílias).

Feitas estas considerações, continuou-se com a busca lexicográfica em inglês com o dicionário construído no capítulo anterior. Por causa da estrutura de dados da Patstat, a busca lexicográfica foi realizada a partir da combinação dos campos de título e resumo de todos os depósitos existentes na base. Para evitar dupla contagem, utilizamos o conceito de família, definida anteriormente, como unidade de análise. Desta base de dados, selecionou-se o conjunto de aplicações de patentes relacionadas ao 5G por meio da busca lexicográfica combinatória do termo “5G”, “5-G”, “5 G” ou “fifth gen” com cada um dos termos-chave radicais do Quadro 3, na combinação dos campos de Título e Resumo dos depósitos, independentemente da ordem de aparecimento dos termos, do lugar (título ou resumo), da distância entre os termos e da presença de sufixos e prefixos, sem diferenciação entre maiúsculas e minúsculas. A busca resultou em 16.661 depósitos, das quais foram filtrados os depósitos de tipo ‘A’ (*Direct filing*) e ‘W’ (*PCT application*) e que contivessem pelo menos um IPC na seção H (*Electricity*). Destas, buscou-se as famílias restritas equivalentes aos 16.661 depósitos, e todos os depósitos relacionados a cada família, filtrando as famílias restritas que possuíssem o depósito mais antigo entre 2010¹⁵ e 2018¹⁶, resultando em 5.219 famílias restritas relacionadas à arquitetura 5G.

O status de prioridade dos documentos de patentes é uma informação importante. A contagem de depósitos pode levar à múltipla contagem de invenções e a contagem de invenções únicas envolve a contagem apenas de patentes prioritárias (DE RASSENFOSSÉ et al., 2013). Cogitou-se usar as características do depósito prioritário como caracterizador da família, porém, dado que a Patstat é uma base de dados formada por informações de diversos escritórios, com distintos graus de completude das informações, observamos que grande parte dos depósitos não possuem cadastro completo. Ou seja, muitas vezes faltam informações de IPC, inventores, descritivos dos inventores, resumo e até mesmo data do depósito. Em outros casos, há famílias que apontam para mais de um depósito prioritário, com descritivos diferentes entre si. Dessa forma, optamos por caracterizar a família de patentes baseado nas características de todos os depósitos dela. Nesse sentido, o ano de preenchimento da família é dado pelo ano de preenchimento do depósito mais antigo da família. Já os IPCs da família são dados pelo empilhamento dos distintos IPCs a 8 dígitos dos depósitos desta família. E, por sua vez, o território de origem do conhecimento da família é dado pela média da contagem fracionada dos territórios de origem do conhecimento dos depósitos da família.

¹⁵ Ano definido pelas primeiras aplicações comerciais do 4G e do início das publicações acadêmicas sobre 5G.

¹⁶ Ano definido por limitações da base de dados, que se estende até 2019, porém, o ano de 2019 não possui informações completas e, portanto, foi descartado.

Ao nível de depósito, a contagem fracionada de território é definida da seguinte forma: para cada depósito, para cada território de localização dos inventores, divide-se o total de inventores daquele país naquele depósito pelo total de inventores naquele depósito. O objetivo deste cálculo é aplicar uma ponderação do número de inventores ao conhecimento necessário para se obter essa invenção. Por exemplo, se um depósito possui 9 inventores localizados na China e 1 localizado na Alemanha, considerou-se que a China possui maior importância relativa na geração desta invenção e, portanto, classificamos este depósito como 90% originário de conhecimento chinês e 10% alemão.

Para agregar estes valores ao nível de família, tomamos como pressuposto que, se todos os depósitos de uma família se referem a uma mesma invenção, então devem possuir os mesmos inventores listados em todos os depósitos e, conseqüentemente, a média da contagem fracionada dos países por depósito deverá ser igual à contagem fracionada individual de cada depósito. Porém, tendo em vista a possibilidade de cadastrar diferentes inventores em diferentes depósitos na família, seja por questões políticas, burocráticas ou de erro de cadastro, a média da contagem fracionada divergirá do resultado individual. Neste caso, a média da contagem fracionada ponderará os territórios de origem dos depósitos. Por exemplo, numa família com 2 depósitos, sendo o depósito 1 – 50% chinês e 50% alemão, e o depósito 2 – 75% chinês e 25% alemão, há divergência da contagem fracionada. Aplicando a média da contagem fracionada, a família será $(50\% + 75\%) / 2 = 62,5\%$ chinesa e $(50\% + 25\%) / 2 = 37,5\%$ alemã. Para limitar a ocorrência de erros, a média da contagem fracionada só considerou depósitos que possuem cadastro completo de todos os inventores com seus respectivos territórios de origem.

3.3. Análise da evolução do desempenho inventivo na arquitetura 5G

A Tabela 3 apresenta o número de famílias da arquitetura 5G por ano de depósito. Dada a existência de informações incompletas nos depósitos de patentes, as 5.219 famílias encontradas pela busca lexicográfica foram reduzidas a 3.628 famílias possíveis de serem analisadas, segundo as regras anteriormente definidas. Tem-se uma forte concentração de depósitos entre os anos de 2015 e 2018, correspondendo a 86% da amostra. Tem-se que o triênio 2010-2012 responde por 3% dos depósitos, o triênio 2013-2015 por 23%, e o triênio 2016-2018 por 74% dos depósitos. Observa-se também o aumento da participação dos pedidos de patente da arquitetura 5G no patenteamento total, apontando que o crescimento no número de pedidos de depósito não é resultado de um aumento generalizado do patenteamento, mas sim da

propensão ao patenteamento nestas tecnologias. Houve, portanto, um forte aumento do número de depósitos de famílias relacionadas à arquitetura 5G neste período.

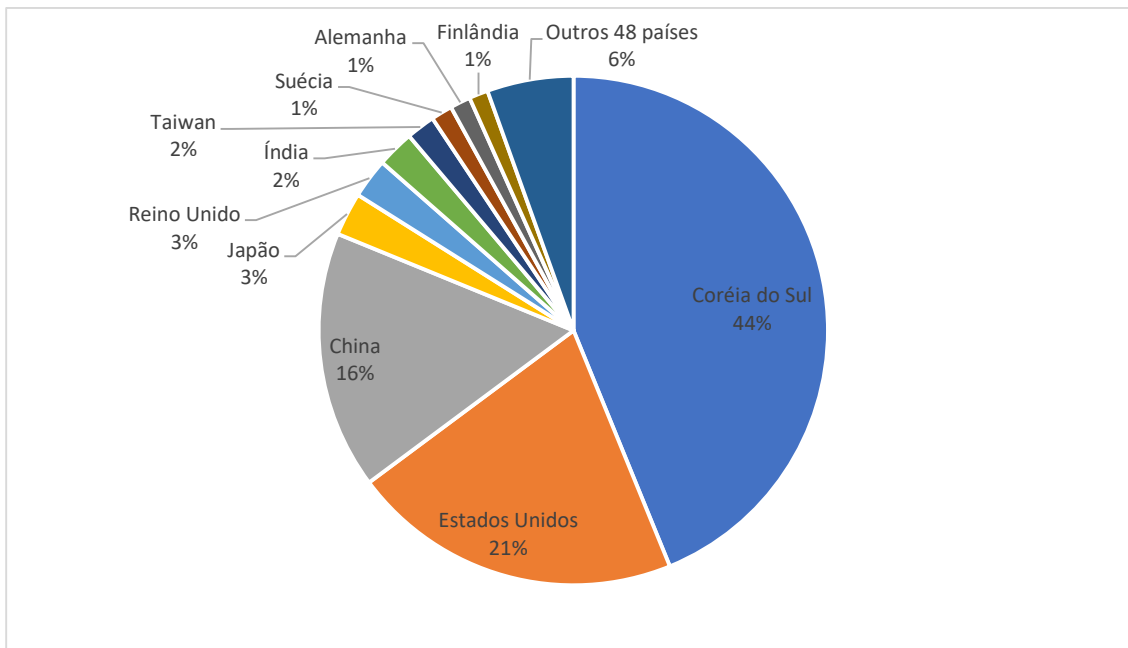
Tabela 3 - Contagem das famílias da arquitetura 5G, por ano do depósito mais antigo

Ano	Número de famílias	Share	Participação no patenteamento total
2010	44	1,21%	0,01%
2011	53	1,46%	0,01%
2012	44	1,21%	0,01%
2013	84	2,32%	0,01%
2014	276	7,61%	0,04%
2015	455	12,54%	0,07%
2016	808	22,27%	0,12%
2017	1.212	33,41%	0,19%
2018	652	17,97%	0,18%
Total	3.628	100,00%	0,07%

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Na Figura 4 observa-se a distribuição do território de origem das famílias de depósitos, baseada na contagem fracionada do território de origem dos inventores. 44% das famílias são originárias da Coreia do Sul, 21% dos Estados Unidos e 16% da China, totalizando em conjunto 81% das famílias da arquitetura 5G. Por serem os três principais países no desenvolvimento do 4G, reforça-se o fenômeno da cumulatividade do conhecimento. Os sete países em seguida em importância relativa – Japão, Reino Unido (subestimado), Índia (subestimado), Taiwan, Suécia, Alemanha e Finlândia totalizam em conjunto 13%, e o restante do mundo (48 países com alguma participação em algum depósito) responde por 6% das famílias. Sendo assim, temos clara a liderança sul-coreana, norte-americana e chinesa no desenvolvimento da arquitetura 5G.

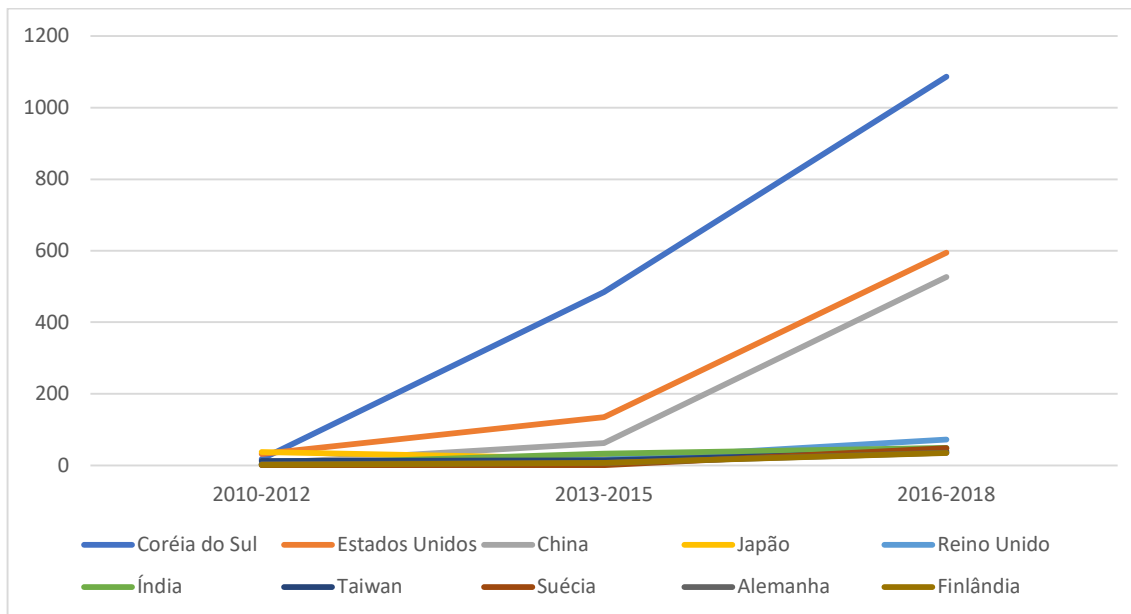
Figura 4 - Distribuição do número de famílias por território dos inventores



Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Comparando a distribuição do território de origem das famílias por triênio para os dez países com o maior número de famílias no período total, vide Figura 5, há, no primeiro triênio, pouca clareza sobre a liderança na arquitetura 5G. Já para o segundo triênio é possível observar a liderança da Coréia do Sul, posição que se repete no terceiro triênio. Neste último, observa-se forte participação dos Estados Unidos e da China nos pedidos de patente relacionados à arquitetura 5G. Sendo assim, temos evidências de que Estados Unidos e China ganharam relevância no desenvolvimento do 5G apenas a partir do terceiro triênio.

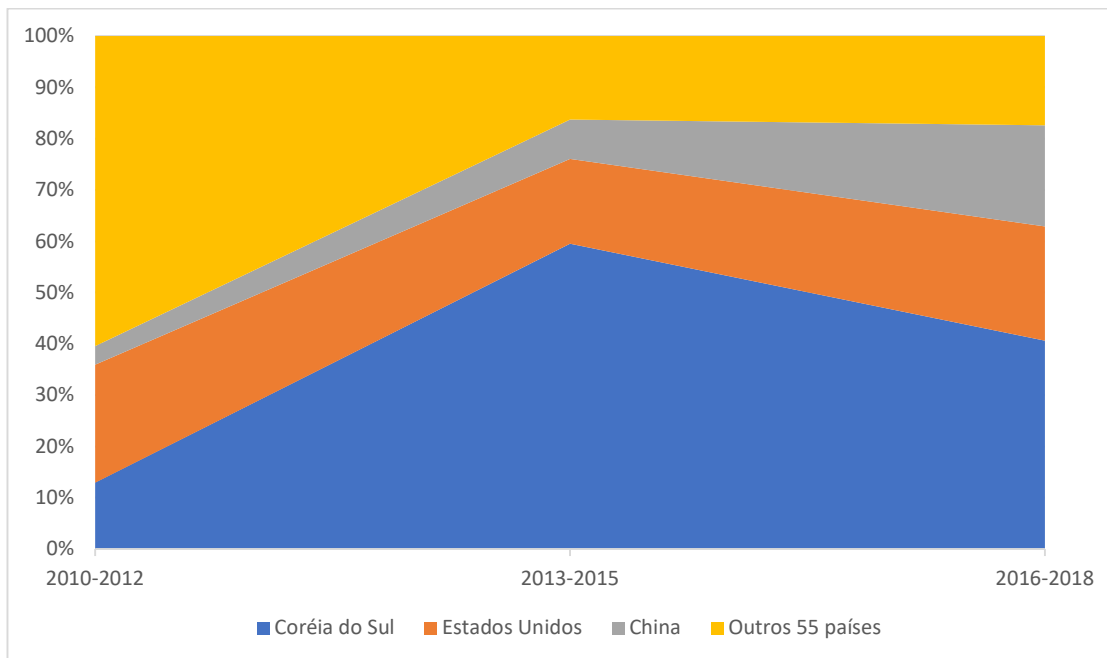
Figura 5 - Número de famílias da arquitetura 5G, por triênio, dos dez países com maior número de famílias de depósitos



Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Comparando a distribuição relativa das famílias dos três países líderes contra o restante do mundo, vide Figura 6, há uma grande participação do restante do mundo no primeiro triênio (60%), condizente com a baixa clareza da liderança observada na Figura 5. Porém este período equivale a 3% dos depósitos. Disso é possível deduzir que a arquitetura 5G ainda não estava tecnologicamente bem definida neste período e que a liderança tecnológica nesta arquitetura ainda não estava clara. No segundo triênio a liderança tecnológica da Coreia do Sul surge, sendo este país responsável por mais de 50% das famílias. A Coreia do Sul é então seguida pelos Estados Unidos, com aproximadamente 20%, e pela China, com estes três países representando em conjunto 80% das famílias neste triênio. No terceiro triênio a liderança destes três países se mantém incontestável, com a manutenção da participação total na faixa dos 80%, porém podemos observar o crescimento da importância relativa da China em detrimento da Coreia do Sul, que perdeu participação total, e a estabilidade da participação norte-americana, demonstrando que a liderança não é tripartida igualmente e que a China está se tornando mais importante.

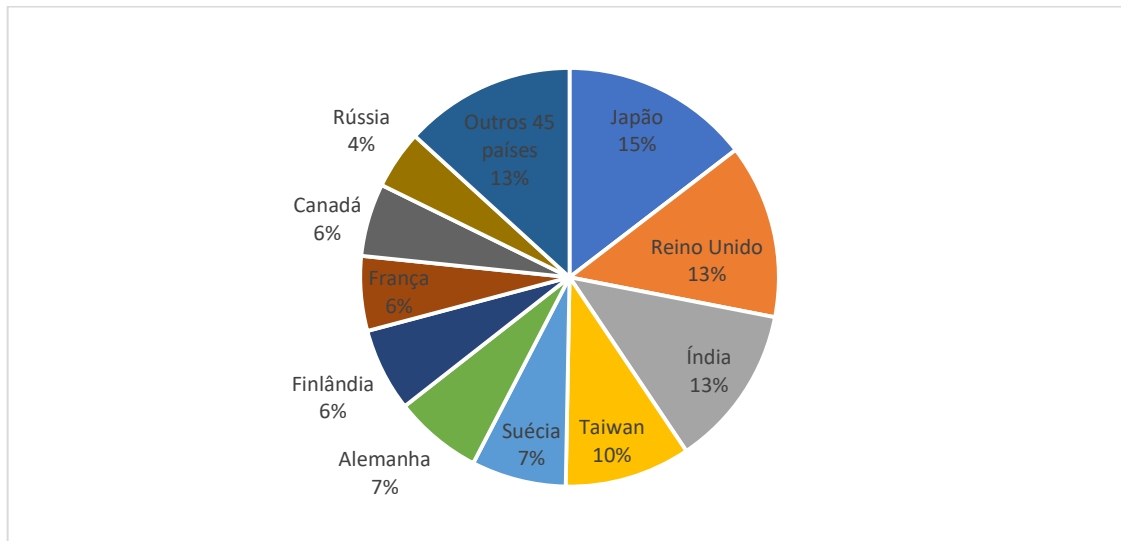
Figura 6 - Distribuição do número de pedidos de patente por território dos inventores, por triênio, dos três principais países *versus* o restante do mundo



Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Para analisar a posição de seguidor, foi realizada a distribuição do território de origem das famílias de depósitos, excetuando os três países líderes, vide Figura 7. Nestes, temos que dos 55 países restantes, 4 (7% do total de países com participação na arquitetura 5G) países respondem por 51% dos depósitos restantes, sendo eles Japão, Reino Unido, Índia e Taiwan; 10 países (18%) respondem por 87% dos depósitos restantes, adicionando ao grupo anterior Suécia, Dinamarca, Finlândia, França, Canadá e Rússia. Enquanto isso, os 45 países restantes (82%) respondem por 13% dos depósitos restantes. Tendo em vista que estes 45 países não possuem participação relevante frente aos três líderes identificados, tomamos por hipótese inicial que estes dez países constituem o bloco dos seguidores no desenvolvimento da arquitetura 5G, enquanto os 45 países restantes foram considerados o grupo *falling behind* ou pouco relevantes na arquitetura 5G.

Figura 7 - Distribuição do número de depósitos por território dos inventores, excetuando Coreia do Sul, Estados Unidos e China



Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Construiu-se a evolução da participação relativa destes dez países ao longo do tempo no depósito de famílias ligadas à arquitetura 5G (Figura 8). Observa-se um movimento de queda na participação relativa do Japão e do restante do mundo (*falling behind*). No caso do Japão, sua queda de participação relativa não indica que este está se tornando defasado frente ao resto do mundo, pois este país segue na posição de liderança entre os seguidores. Este movimento apenas reforça a ideia de que a manutenção de uma posição de liderança não ocorre de forma automática e, futuramente, é possível que o Japão recue ainda mais em seu posicionamento inovativo nesta arquitetura e em arquiteturas futuras caso não consiga aplicar novas estratégias para fomentar seu desenvolvimento tecnológico. De fato, segundo Lopez (2022) o Japão buscou parcerias com o Reino Unido para diversificar a tecnologia usada nas telecomunicações de ambos os países. Eles concordaram em iniciativas conjuntas para apoiar os esforços para reduzir a dependência global de um pequeno número de fornecedores para construir e manter suas redes de telecomunicações, de modo a fugir do oligopólio formado pelos Estados Unidos e Coreia do Sul, e do recém-chegado competidor chinês.

Observa-se também o aumento da participação relativa do Reino Unido em todos os períodos. Tendo em vista os resultados encontrados a respeito da cobertura da Patstat, ilustrados na Tabela 2, é provável que o resultado do Reino Unido esteja subestimado, pois a busca lexicográfica ocorreu em cima de uma base amostral reduzida, já que apenas 59% dos depósitos

no escritório do Reino Unido possuem algum membro da família com resumo em inglês¹⁷. Dessa forma, o desempenho inventivo do Reino Unido – já em crescimento – possivelmente seria ainda maior caso houvéssimos informações completas para este país. Estas são evidências que corroboram com Lopez (2022) e a busca por parcerias com o Japão para recuperarem suas relevâncias no setor de telecomunicações.

A Índia surge como competidor relevante, porém há sinais mistos sobre seu desempenho ao longo do tempo dado a ascensão entre os dois primeiros triênios e queda entre os dois últimos. No triênio 2013-2015, seu desempenho inventivo é superior ao restante do grupo dos seguidores, patenteando mais invenções do que Japão e Reino Unido e estando aproximadamente ao par destes países no triênio 2016-2018. Disso, já é possível considerar a Índia como um competidor relevante dentre os países seguidores no âmbito da arquitetura 5G, porém, seu resultado ainda está possivelmente subestimado, pois o escritório indiano conta com 48% dos depósitos com algum membro da família com resumo em inglês (Tabela 2), contra 59% do Reino Unido e 82% do Japão. Tomando por hipótese que a ausência de resumo na Patstat esteja uniformemente distribuída em todas as áreas do conhecimento¹⁸, o desempenho inventivo da Índia seria ainda maior caso houvéssimos informações completas para o escritório deste país, sendo possível que este, em 2016-2018, seja o maior depositante de invenções relacionadas à arquitetura 5G dentro do grupo dos seguidores.

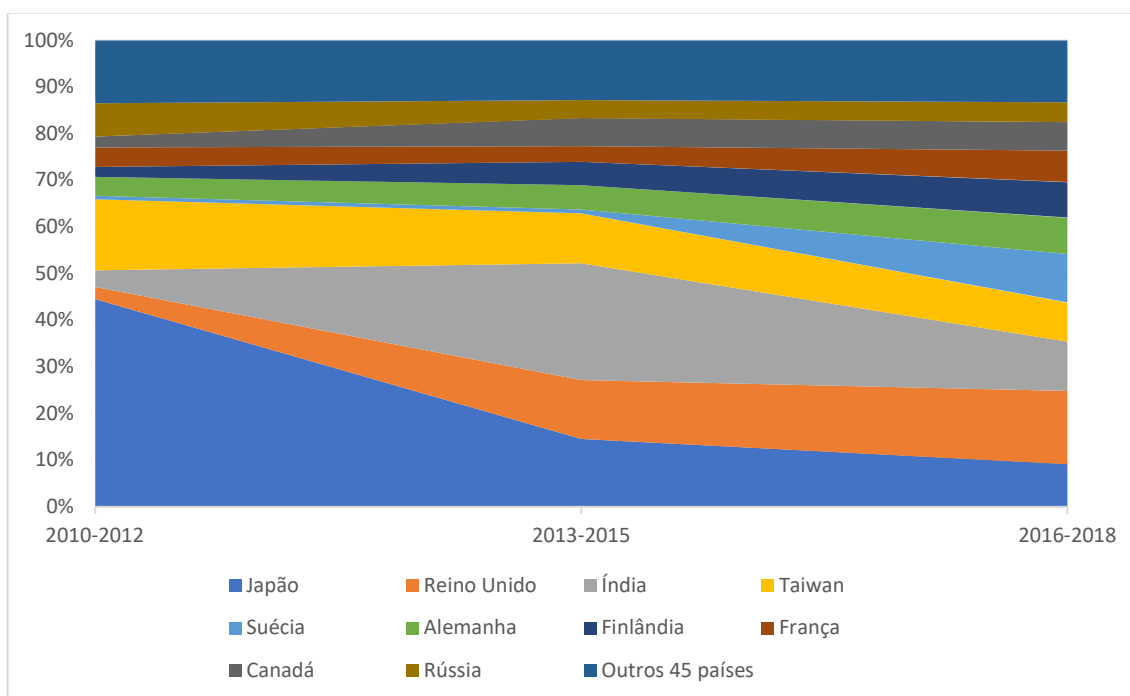
Outro país que surge enquanto competidor relevante em 2016-2018 é a Suécia, que possuía baixa participação nos triênios anteriores. Sua importância neste grupo já era esperada dada a relevância das suecas Telia e Ericsson no ecossistema internacional das telecomunicações (ANDONIAN *et al.*, 2018). Taiwan – quarto maior desempenho inventivo no grupo dos potenciais seguidores – aparece em queda neste período, porém, seu viés de subestimação (71%) é relevante, e este país não deve ser desconsiderado como um potencial seguidor, pois sua participação é superior à dos cinco países restantes – Alemanha, Finlândia, França, Canadá e Rússia – que não apresentam participação relativa alta no período se

¹⁷ Não foi encontrada justificativa dentro da Patstat, nem de seu manual (EPO, 2020) para o alto número de depósitos sem resumos em inglês na família para os depósitos neste escritório e em demais outros, como o indiano. É possível que o campo resumo não seja obrigatório na solicitação de depósito nestes escritórios, assim como é possível que seja um problema derivado da agregação das informações destes escritórios pela Patstat.

¹⁸ Seria possível realizar um exercício validador na Patstat sobre quais IPCs possuem mais depósitos sem resumos em inglês na família para um dado escritório, porém, dado que foi feita a definição das famílias de depósitos relacionados à arquitetura 5G por meio da busca lexicográfica, este exercício não implicou na definição de quais os IPCs que representam exclusivamente a arquitetura 5G. Dessa forma, validação ou negação da hipótese levantada só seria possível se houvesse uma definição exata de quais os IPCs que se referem exclusivamente à arquitetura 5G.

comparado com os principais seguidores – Japão, Reino Unido e Índia – nem sinais de evolução relevante em sua participação relativa, além disso, dada a subestimação dos dados, seu desempenho real pode ser superior ao que esta análise indica. Já a manutenção da participação do grupo *falling behind* indica que o *catching-up* não é um processo automático e que sinaliza também não haver uma tendência à igualização do desempenho inovativo de todos os países na arquitetura 5G.

Figura 8 - Evolução da participação relativa dos países no total de famílias de patentes associadas à arquitetura 5G, por triênio, excetuando Coréia do Sul, Estados Unidos e China



Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Esta análise permite afirmar que: (i) Coréia do Sul, Estados Unidos e China são os líderes no âmbito da arquitetura 5G; (ii) Japão, Reino Unido, Índia e Taiwan são os principais seguidores e, considerando a existência de subestimação dos dados, podem ser ainda mais relevantes do que esta análise sugere; (iii) Suécia pode estar crescendo enquanto competidor na arquitetura 5G, impulsionado pelas suas grandes empresas já estabelecidas no setor de telecomunicações; (iv) Reino Unido, Índia, Taiwan e Suécia são os principais países com potencial para se tornarem *forging ahead* por serem os mais avançados entre os seguidores tecnológicos; (v) o Japão apresenta-se como um país marcado pela perda de protagonismo – ainda que altamente relevante – e que está buscando oportunidades junto ao Reino Unido –

segundo país no *ranking* dos seguidores – para reviver sua relevância nas telecomunicações; e (vi) não é possível negar a relevância de Alemanha, Finlândia, França, Canadá e Rússia no desenvolvimento de invenções ligadas à arquitetura 5G, porém a análise não permite observar evidências de que estes cinco países possuem potencial para tornarem-se *forging ahead*.

Sendo assim, esta pesquisa apresentou: (i) Coreia do Sul, Estados Unidos e China como o grupo *forging ahead*; (ii) Japão, Reino Unido, Índia, Taiwan e Suécia como o grupo dos países seguidores com potencial de alcançar a liderança tecnológica futuramente; (iii) Alemanha, Finlândia, França, Canadá e Rússia como o grupo dos países seguidores no desenvolvimento sem evidências de potencial de se tornarem líderes tecnológicos; e (iv) o restante do mundo como *falling behind*. É importante ressaltar a relevância da subestimação dos dados dentro dos grupos (ii) e (iii), com Reino Unido, Índia, Alemanha, França e Rússia exibindo as maiores subestimações dentre os países seguidores.

3.4. Estudo do posicionamento dos países no desenvolvimento tecnológico

Após identificar a liderança tecnológica da Coreia do Sul, Estados Unidos e China nos pedidos de patente de invenções relacionadas à arquitetura 5G e identificar os grupos dos países seguidores com potencial de *catching-up* e dos seguidores sem evidências de potencial de *catching-up*, buscou-se analisar os fatores que condicionam tais posições desses países nesta corrida tecnológica. Para tanto, discriminamos se o posicionamento destes três grupos é oriundo apenas do fato de estes países patentarem mais invenções do que o restante do mundo, pois é possível que, por exemplo, a Coreia do Sul se apresente como líder nos pedidos de patente relacionados à arquitetura 5G pelo simples fato de que este país patenteia mais do que os outros países, independente da área de conhecimento.

Na literatura dos teóricos do *gap* tecnológico, entende-se o *catching-up* como um processo tipicamente setorial (FAGERBERG; GODINHO, 2005; PEREZ *et al.*, 1988), no qual o país busca se tornar líder em um determinado setor, trazendo benefícios da liderança tecnológica e buscando a geração de *spillovers* para o restante da estrutura econômica. Partindo desta percepção, podemos correlacionar – sem definir direção de causalidade – a especialização tecnológica em um setor de um determinado país à busca pela liderança tecnológica neste setor. Neste sentido, o processo de especialização pode contribuir para o *catching-up* tecnológico, mas a especialização não implica neste resultado. Dessa forma, tomamos como base o indicador de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR) (GUELLEC e DE LA POTTERIE, 2001), seguindo o cálculo abaixo:

$$VTR_{ij} = \frac{\left(\frac{X_{ij}}{X_j}\right)}{\left(\frac{Y_{ij}}{Y_j}\right)} \quad (2)$$

Em que:

X_{ij} = número de famílias do país i , no período j , na arquitetura 5G;

X_j = número de famílias de todos os países, no período j , na arquitetura 5G;

Y_{ij} = número de famílias do país i , no período j , em todas as áreas do conhecimento;

Y_j = número de famílias de todos os países, no período j , em todas as áreas do conhecimento.

Desta forma, a importância relativa do país no patenteamento de famílias da arquitetura 5G é ponderada pela importância relativa deste país no patenteamento total e um VTR superior à unidade indica vantagem tecnológica revelada deste país no patenteamento destas tecnologias. Por exemplo, se um país é responsável por 5% do patenteamento na arquitetura 5G, mas ao mesmo tempo responde por 2% do patenteamento global em todas as áreas do conhecimento, terá um VTR de 2,5. Sendo assim, este país possui uma capacidade de desenvolvimento de invenções patenteáveis na arquitetura 5G superior à sua capacidade geral de patenteamento e possui vantagem tecnológica ao desenvolver estas tecnologias, o que reflete uma especialização relativa no desenvolvimento destas tecnologias.

É importante enfatizar o efeito matemático do viés de seleção causado pela cobertura assimétrica da Patstat entre escritórios e países. A menos que exista um único país depositando patentes na arquitetura 5G, temos que $X_{ij} < X_j$ e a expressão $\frac{X_{ij}}{X_j}$ é crescente para valores de X_{ij} . Sendo assim, se um país i possui informações subestimadas de número de famílias da arquitetura 5G, e denominando X_{ij}^* como o valor de X_{ij} caso as informações estivessem completas, e dado que valores de X_{ij} não afetam valores de Y_{ij} , temos que $\frac{X_{ij}}{X_j} < \frac{X_{ij}^*}{X_j^*}$ e $VTR_{ij} < VTR_{ij}^*$, e o efeito contrário sobre o VTR ocorrerá para os demais países que não possuem subestimação de informações.

Foi calculado o VTR por país, dos três grupos (*forging ahead*, seguidores com potencial de *catching-up* e seguidores sem evidências de potencial), por triênio (Tabela 4). Observamos

que, no triênio 2010-2012, nenhum dos treze países possui vantagem tecnológica no desenvolvimento da arquitetura 5G (VTR superior à unidade), o que é esperado, pois foi o período de início do desenvolvimento destas tecnologias.

No triênio 2013-2015, dentre os *forging ahead*, apenas a Coreia do Sul apresenta VTR superior à unidade (1,24), enquanto Estados Unidos e China apresentam VTR inferior à unidade (0,30 e 0,57, respectivamente). Disto, é possível deduzir que, para este período, a superior participação relativa dos Estados Unidos e da China no desenvolvimento do 5G pode advir de suas fortes participações no patenteamento geral ou de uma maior propensão a patentear ampla, e não de uma especialização nestas tecnologias, enquanto a liderança da Coreia do Sul pode advir de uma liderança tecnológica especializada.

Para o grupo dos seguidores com potencial de *catching-up*, apenas a Índia (terceiro maior depositante do grupo na arquitetura 5G) possui VTR superior à unidade (1,54), demonstrando uma especialização do país nestas tecnologias. Este resultado é bastante significativo dado que o país apresenta subestimação (Tabela 2), ou seja, o VTR da Índia já é superior ao da Coreia do Sul neste período e caso houvesse a informação completa sobre os depósitos da Índia, seu VTR seria ainda mais elevado e apresentaria uma especialização tecnológica ainda mais forte. Dentre os outros países seguidores com potencial de *catching-up*, nenhum dos quatro (Japão, Reino Unido, Taiwan e Suécia), possui VTR superior à unidade e não é possível dizer se, caso não houvesse subestimação dos dados para Japão, Reino Unido e Taiwan, se o VTR seria superior à unidade. Dentre os seguidores sem evidências de potencial de *catching-up*, Alemanha, França e Rússia possuem VTR baixo e, mesmo que apresentem subestimação, o nível do VTR encontrado torna improvável que o VTR sem subestimação de dados seja elevado o suficiente para acusar vantagem tecnológica. Já Finlândia e Canadá não apresentam VTR alto nem indicações de subestimação e, portanto, não podem ser considerados países especializados em 5G neste período.

Já no triênio 2016-2018, podemos observar um crescimento do indicador de VTR da Coreia do Sul e da Índia, que já eram especializados no triênio anterior. Para a Índia, este resultado é bem significativo, pois, como já mencionado, o dado deste país possivelmente está subestimado. Dentre os líderes, os Estados Unidos desenvolveram VTR de 1,01, estando muito próximo à unidade e, portanto, pouco indica especialização tecnológica em 5G, enquanto a China desenvolveu um VTR de 2,07, demonstrando um forte salto na especialização

tecnológica em 5G, concretizando sua posição de líder especializado no desenvolvimento destas tecnologias.

Dentre os seguidores com potencial de *catching-up*, Reino Unido e Suécia tornaram-se especializados nestas tecnologias, unindo-se à Índia no grupo de seguidores especializados. Nota-se que provavelmente o dado do Reino Unido pode estar subestimado e o país seja ainda mais especializado nestas tecnologias. Já os outros seguidores com potencial de *catching-up* (Japão e Taiwan) não apresentaram VTR superior à unidade. Um caso curioso que merece ser citado é o japonês, que apresenta a menor VTR neste grupo ao mesmo tempo que é o maior do grupo em patenteamento em 5G (vide Figura 5), e foi o principal país no desenvolvimento dos padrões 1G e 2G.

Dentre os seguidores sem evidências de potencial, a Finlândia foi o único país a desenvolver VTR superior à unidade neste período, demonstrando especialização nestas tecnologias, enquanto os outros países deste grupo (Alemanha, França, Canadá e Rússia) mantém sua posição em participação de pedidos de patente principalmente por sua capacidade geral de patenteamento.

Tabela 4 - Vantagem Tecnológica Revelada (VTR) dos 13 maiores depositantes de famílias da arquitetura 5G, por triênio (2010-2012; 2013-2015; 2016-2018)

País/Triênio	2010-2012	2013-2015	2016-2018
Coréia do Sul	0,07	1,24	2,30
Estados Unidos	0,12	0,30	1,01
China	0,10	0,57	2,07
Japão	0,26	0,09	0,13
Reino Unido	0,09	0,46	1,47
Índia	0,32	1,54	1,74
Taiwan	0,13	0,11	0,22
Suécia	0,08	0,08	2,59
Alemanha	0,03	0,05	0,16
Finlândia	0,27	0,81	3,19
França	0,10	0,09	0,43
Canadá	0,11	0,31	0,82
Rússia	0,13	0,08	0,24

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Sendo assim, até este momento, podemos definir que, para o triênio 2016-2018, na arquitetura 5G, vide Quadro 4, que (i) Coréia do Sul e China são *forging ahead* especializados, (ii) Estados Unidos é *forging ahead* fracamente especializado, (iii) Japão é um país seguidor, não-especializado e com posição no *ranking* contestada (iv) Índia e Reino Unido são seguidores com potencial de *catching-up* tecnologicamente especializados e potencialmente subestimados pela análise realizada, com potencial de contestar a posição japonesa; (v) Suécia é um seguidor especializado em ascensão, podendo ser incluído junto a Índia e Reino Unido no grupo dos países com potencial de *catching-up* tecnológico; (vi) Taiwan é um país seguidor não-especializado; e (vii) Alemanha, França, Canadá e Rússia são seguidores não-especializados e de relevância inferior aos outros países analisados.

Quadro 4 - Quadro-resumo da análise dos pedidos de patente, da evolução dos pedidos e da Vantagem Tecnológica Revelada

País	Pedidos de patente (Figuras 4 e 7)	Evolução (Figuras 5, 6 e 8)	VTR (Tabela 4)
Coréia do Sul	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> contestado	<i>Forging Ahead</i> especializado no segundo triênio
Estados Unidos	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> mantenedor	<i>Forging Ahead</i> fracamente especializado no terceiro triênio
China	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> em ascensão	<i>Forging Ahead</i> especializado no terceiro triênio
Japão	Potencial seguidor	Seguidor contestado	Seguidor contestado, não-especializado
Reino Unido	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão, subestimado	Seguidor em ascensão, subestimado e especializado no terceiro triênio
Índia	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão, subestimado	Seguidor em ascensão, subestimado e especializado no segundo triênio
Taiwan	Potencial seguidor	Seguidor contestado, subestimado	Seguidor não-especializado
Suécia	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão	Seguidor em ascensão, não-subestimado e especializado no terceiro triênio
Alemanha	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado
Finlândia	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, especializado no terceiro triênio

País	Pedidos de patente (Figuras 4 e 7)	Evolução (Figuras 5, 6 e 8)	VTR (Tabela 4)
França	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado
Canadá	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado
Rússia	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado
Restante do mundo	<i>Falling behind</i>	<i>Falling behind</i>	-

Legenda: Ao comparar os países dentro das categorias: Azul - destaque muito positivo; Azul claro - destaque positivo; Branco - neutro; Vermelho - destaque negativo.

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

3.5. Análise da base de conhecimento

Esta seção busca analisar os países de origem do conhecimento que levou às invenções relacionadas à arquitetura 5G por meio do estudo dos países de residência dos inventores citados pelas famílias de pedidos de patente. De forma semelhante a Kang *et al.* (2014), este exercício visa compreender a relevância dos diferentes países enquanto base de conhecimento para os avanços nestas tecnologias – entendido como um reflexo da internacionalização do conhecimento – e a relevância do conhecimento nativo para desenvolvimentos tecnológicos posteriores – entendido como reflexo da cumulatividade e da capacidade de transformar conhecimento interno em avanços tecnológicos. Esta seção é motivada pelo questionamento de se estes países são capazes de utilizar sua própria capacidade tecnológica ou se necessitam de conhecimento externo para desenvolver suas invenções.

Entendendo os depósitos citados por cada família de pedidos de patente da arquitetura 5G como o conjunto de invenções e conhecimentos relevantes para o desenvolvimento da família em questão, podemos sugerir que os países de residência dos inventores de cada pedido citado representam o território de origem da base de conhecimento que levou às famílias da arquitetura 5G. Tomando um exemplo, se um pedido com território de origem alemão cita apenas depósitos cujos inventores residem na China, podemos supor que o conhecimento oriundo da China é a base de conhecimento que embasou o desenvolvimento da família em questão. Da mesma forma que foi feita nos exercícios anteriores, buscou-se a nacionalidade

fracionada das distintas¹⁹ famílias citadas pelas publicações²⁰ dos pedidos de cada uma das 3.628 famílias da arquitetura 5G.

A partir da nacionalidade fracionada das distintas famílias citadas, calculou-se a proporção de cada país enquanto base de conhecimento para as famílias depositadas, por triênio do primeiro depósito pela família citante, vide Tabela 5. Para as famílias cujo primeiro depósito ocorreu no triênio 2010-2012, temos que 50% das famílias citadas nas referências tem nacionalidade norte-americana, ou seja, para este período, o conhecimento norte-americano é 50% da base de conhecimento para estas invenções. O conhecimento japonês também se mostrou altamente relevante, sendo o segundo maior, com 15% da base de conhecimento, sendo explicado pelo fato de este país ter sido *forging ahead* durante as gerações 1 a 3G (FARIAS, 2021), o que o torna base de conhecimento padronizado para os desenvolvimentos feitos em telecomunicações. E em terceiro lugar está o conhecimento sul-coreano, respondendo por 9% da base. Ainda que este país tenha sido *forging ahead* no 4G (KIM *et al.*, 2020), a baixa participação deste enquanto base de conhecimento neste período pode ser resultante do baixo estágio mundial de conhecimento sobre esta arquitetura neste período, sendo assim, os primeiros desenvolvimentos nesta arquitetura podem ter sido fundamentados por uma base de conhecimento mais genérica norte-americana e japonesa em detrimento da alta especialização da Coreia do Sul no 4G. Parte da base de conhecimento da arquitetura 5G deve derivar-se do 4G e das gerações tecnológicas anteriores e, dado a alta relevância destes três países no desenvolvimento das gerações anteriores, este resultado condiz com as expectativas, com destaque para a relevância da base de conhecimento japonesa para o desenvolvimento destas invenções sendo o país originário das tecnologias de comunicação móvel, refletindo a cumulatividade do conhecimento e demonstrando a relevância do conhecimento originário para novas tecnologias.

No triênio 2013-2015 há uma queda da participação norte-americana (50% para 41%) e japonesa (15% para 7%) na base de conhecimento, perdendo participação total de 65% para 48%. Ao mesmo tempo, a base sul-coreana se eleva de 9% para 21% e a chinesa de 3% para 7%. Este resultado demonstra que China e Coreia do Sul estão se tornando bases de

¹⁹ Caso uma família referencie vários depósitos de uma única família, considerou-se apenas os territórios das distintas famílias para evitar a dupla contagem. Isso não impede que duas ou mais famílias cite a mesma família e, neste caso, a família será contada duas vezes, sendo base de conhecimento para ambas as famílias.

²⁰ Uma limitação da Patstat 2020 é que na base estão listadas apenas as referências das aplicações que já foram publicadas.

conhecimento mais relevantes para o desenvolvimento da arquitetura 5G em detrimento do conhecimento originário dos Estados Unidos e do Japão.

No triênio 2016-2018 há um aprofundamento deste movimento. Neste triênio, a participação norte-americana na base de conhecimento se reduz de 41% para 35%, com uma perda total de 15 p.p. entre o primeiro e o último triênio. Da mesma forma, o Japão se mantém em trajetória de queda de sua importância enquanto base de conhecimento para a arquitetura 5G, com perda total de 9 p.p.. Já Coreia do Sul e China elevam sua importância enquanto base de conhecimento, com um ganho total de, respectivamente, 13 p.p. e 9 p.p.. Ressalta-se que, entre o primeiro e o terceiro triênio, a participação conjunta de Coreia do Sul e China se eleva de 12% para 34%, enquanto a participação conjunta de Estados Unidos e Japão se reduz de 65% para 41%. Estes novos níveis apontam para uma perda da hegemonia norte-americana enquanto base de conhecimento e uma possível multipolarização da base de conhecimento centrada no crescimento da relevância da Coreia do Sul e da China no cenário global.

Dentre os países seguidores especializados (Reino Unido, Índia, Suécia e Finlândia), observamos que nenhum destes países possui, em nenhum triênio, participação relevante e destacada enquanto base de conhecimento. Há um leve crescimento da participação da Índia entre os triênios de 1 p.p., porém sua relevância enquanto base de conhecimento é baixa, representando 2%. Há um crescimento um pouco maior da Suécia enquanto base de conhecimento, tendo crescido 3 p.p. e alcançado 5% da base de conhecimento no triênio 2016-2018, sendo a quarta base de conhecimento mais importante. Já o Reino Unido e a Finlândia apresentam participações baixas (2% cada) e sem crescimento. Os resultados destes quatro países indicam uma dificuldade real para se tornarem líderes tecnológicos. Mesmo que a análise tenha demonstrado que Reino Unido, Índia e Suécia estejam em ascensão no patenteamento (vide Figura 8 e Quadro 4), suas invenções ainda são pouco relevantes frente aos países líderes para embasar novos avanços dentro da arquitetura 5G.

Dentre os países seguidores não-especializados (Taiwan, Alemanha, França, Canadá e Rússia), não há indícios de aumento de sua relevância enquanto grupo para a base de conhecimento. Por último, o restante do mundo, classificados como *falling behind* em número e evolução do patenteamento, recua 3 p.p. de participação enquanto base de conhecimento entre os triênios, indicando também uma posição *falling behind* enquanto base de conhecimento.

Tabela 5 - Base de conhecimento das famílias da arquitetura 5G

País/Triênio	2010-2012	2013-2015	2016-2018	Variação 2010-2018
Coréia do Sul	9%	21%	22%	+13 p.p.
Estados Unidos	50%	41%	35%	-15 p.p.
China	3%	7%	12%	+9 p.p.
Japão	15%	7%	6%	-9 p.p.
Reino Unido	2%	2%	2%	0
Índia	1%	1%	2%	+1 p.p.
Taiwan	3%	2%	2%	-1 p.p.
Suécia	2%	4%	5%	+3 p.p.
Alemanha	3%	3%	3%	0
Finlândia	2%	3%	2%	0
França	1%	1%	1%	0
Canadá	3%	4%	5%	+2 p.p.
Rússia	1%	0%	0%	-1 p.p.
Outros 45 países	7%	5%	4%	-3 p.p.
Total	100%	100%	100%	0

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Além da importância de cada país destes grupos para a base de conhecimento mundial, buscou-se entender a importância do conhecimento nativo de cada país para o desenvolvimento tecnológico nesta arquitetura. Para tanto foi construído um **indicador de autocitações**, ou seja, para as famílias de depósitos de cada país, relacionado à arquitetura 5G, qual a participação do mesmo país na nacionalidade das famílias citadas nas referências, por triênio de depósito das famílias 5G. Entendemos este coeficiente como uma possível *proxy* para as *capabilities* internas (KANG *et al.*, 2020), no sentido em que um alto coeficiente de autocitação significa que o país possui mais conhecimento acumulado nas tecnologias correlatas e é capaz de criar conhecimento a partir de conhecimento passado próprio, dependendo menos de conhecimento por fontes externas, enquanto que um baixo coeficiente de autocitação demonstra que o país é dependente de conhecimento externo para criar suas invenções patenteáveis. Por exemplo, um determinado país pode ter coeficiente de autocitação de 80%, indicando que a base de conhecimento para o desenvolvimento de suas invenções é 80% oriunda do próprio país, e outro país pode ter coeficiente de autocitação de 0%, indicando que este país depende exclusivamente de conhecimentos externos para o desenvolvimento de suas invenções.

Na Tabela 6, temos o coeficiente de autocitação por país, por triênio, para as famílias da arquitetura 5G. Para a Coréia do Sul, podemos observar um coeficiente de autocitações de 36% em 2010-2012 e uma queda no coeficiente entre 2010-2012 e 2013-2015, porém recuperado em 2016-2018, com um resultado líquido de -1 p.p.. Em todos os períodos, o

coeficiente deste país está em linha com o apresentado pelos outros três maiores depositantes de patentes (Estados Unidos, China e Japão), ficando acima dos valores observados para o restante do mundo. A perda de autocitação entre os dois primeiros triênios pode estar relacionada com o estágio inicial de desenvolvimento do 5G no primeiro triênio, no qual possivelmente a Coreia do Sul se utilizou de seu conhecimento do 4G para desenvolver suas invenções. Para o segundo triênio, a perda de base interna pode estar relacionada ao crescimento dos principais competidores (Estados Unidos e China), trazendo novos conhecimentos que a Coreia do Sul usou para desenvolver suas invenções, também podendo ser explicada pelo aprofundamento da cooperação internacional para o desenvolvimento do 5G. Estabelecidas as bases do 5G, a importância do conhecimento interno sul-coreano volta a crescer no terceiro triênio.

Tabela 6 - Coeficiente de autocitação das famílias da arquitetura 5G

País/Triênio	2010-2012	2013-2015	2016-2018
Coreia do Sul (KR)	36%	29%	35%
Estados Unidos (US)	66%	59%	46%
China (CN)	18%	16%	34%
Japão (JP)	37%	49%	38%
Reino Unido (GB)	4%	12%	5%
Índia (IN)	0%	2%	4%
Taiwan (TW)	25%	11%	4%
Suécia (SE)	0%	0%	10%
Alemanha (DE)	5%	3%	10%
Finlândia (FI)	11%	8%	14%
França (FR)	7%	9%	5%
Canadá (CA)	16%	11%	16%
Rússia (RU)	26%	0%	15%

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Podemos observar um elevado coeficiente de autocitação para os Estados Unidos em todos os períodos quando comparado ao restante dos países, demonstrando que este país embasa as invenções relacionadas à arquitetura 5G principalmente por conhecimento interno. Porém, observamos uma queda, indo de 66% em 2010-2012 para 59% em 2013-2015 e 46% em 2016-2018, demonstrando que o país está se tornando mais dependente de conhecimento advindo de fontes externas.

Já a China teve uma pequena queda no coeficiente entre os dois primeiros triênios, indo de 18% para 16%, porém, recuperou seu coeficiente de autocitação no terceiro triênio, elevando-o para 34%. Este país praticamente duplicou a participação do conhecimento interno na fundamentação de suas invenções neste período. Ou seja, a China está se desenvolvendo baseado cada vez mais em uma base de conhecimento própria. Esta é uma possível evidência a favor do sucesso das iniciativas atuais e anteriores da China para o seu desenvolvimento, em especial a iniciativa *Made in China 2025*, um ambicioso plano para a modernização industrial da China e diminuir sua dependência de tecnologia importada, no qual a China busca fechar seu *gap* tecnológico e promover uma modernização em larga escala. Este plano é orientado pelo entendimento de que o cerne da força competitiva de um país é sua capacidade inovativa (MARCATO, 2022). Não obstante, empresas chinesas buscam adquirir conhecimento por meio de fusões e aquisições, fundação de *startups* e criação de centros de pesquisa e desenvolvimento (STATE COUNCIL, 2015 *apud* MARCATO, 2022), adquirindo conhecimento externo por meio de investimentos no exterior e que são apoiados pela intervenção estatal. Para tanto, empresas chinesas se engajam em estratégias de internacionalização dupla (de dentro para fora e de fora para dentro), indo ao exterior para aumentar sua competitividade, e competindo em casa ao mesmo tempo com estrangeiros (PRANGE; BRUVAKA, 2016).

Dentre os seguidores, o Japão possui um elevado indicador de autocitações nos três períodos, sendo superior à Coreia do Sul – líder tecnológico em 5G – em todos os períodos, demonstrando sua alta capacidade de transformar conhecimento interno em invenções patenteáveis. Porém, na Tabela 5, temos que o Japão neste mesmo período perdeu participação enquanto base de conhecimento para o desenvolvimento da arquitetura 5G e, na Tabela 4, temos que ele não possui VTR em 5G. A propensão do Japão para a inovação doméstica pode estar impedindo-o de manter sua posição *forging ahead* do passado. Segundo Andonian *et al.* (2018), ao ser pioneiro em seus próprios padrões ao invés de colaborar internacionalmente, o Japão criou um ecossistema um tanto frágil, colocando-o em um *lock-in* tecnológico que se reflete em uma velocidade média do 4G inferior à média do mundo desenvolvido e, atualmente, o Japão mostra-se *forging ahead* em adoção e disponibilidade do sinal. Além disso, segundo Arai (2019), as condições geográficas do Japão, por serem distantes e distintas das regiões centrais do mundo, afetaram seu processo de desenvolvimento das telecomunicações, e as redes de telecomunicação do Japão foram construídas e são operadas por uma empresa substancialmente monopolista, com baixa penetração de empresas internacionais, o que mantém a infraestrutura de telecomunicações do país consideravelmente inalterada.

O Reino Unido, seguidor especializado, apresenta um coeficiente de autocitações sem movimento claro entre os períodos, apresentando em todos os períodos um coeficiente abaixo dos coeficientes dos quatro países líderes enquanto base de conhecimento, estando próximo dos coeficientes dos outros países seguidores. A Índia, seguidora especializada, possui o menor coeficiente de autocitação em dois dos três triênios dentre os seguidores, mas tem uma alta contínua neste, mostrando o desenvolvimento de sua capacidade de utilizar conhecimento interno para gerar novo conhecimento. A Suécia, seguidora especializada, apresentou coeficiente de autocitação nulo nos dois primeiros triênios, mas um valor mediano entre os seguidores no terceiro triênio, indicando ausência de especialização passada nas tecnologias da arquitetura 5G, porém, isto não impede que o país possa ter especialização no 4G, o que é reforçado pela existência de suas gigantes Telia e Ericsson (ANDONIAN *et al.*, 2018). A Finlândia apresenta um coeficiente de autocitação mediano entre os seguidores neste período, sem indicação clara de tendência de alta ou de queda. Taiwan apresentou forte queda na autocitação neste período, demonstrando que está dependendo cada vez mais de conhecimento não-nativo para seus desenvolvimentos. Para os demais seguidores, também não foram identificados padrões de evolução do coeficiente de autocitação.

3.4. Considerações parciais

A análise demonstra que os principais países responsáveis pelas invenções relacionadas à arquitetura 5G possuem desempenhos inventivos diferentes, vide Quadro 5. A Coreia do Sul está na posição *forging ahead* tecnológico: o país é líder indiscutível em patenteamento de invenções, junto com a Índia foi um dos primeiros países a apresentar VTR, tem participação crescente na base de conhecimento que embasa as novas invenções e possui elevado e sustentado coeficiente de autocitações, o que indica a importância da cumulatividade do conhecimento interno para o desenvolvimento de novas invenções patenteáveis.

Quadro 5 - Quadro-resumo das análises de pedidos de patente, VTR e autocitações

País	Patentes (Figuras 4 e 7)	Evolução (Figuras 5, 6 e 8)	VTR (Tabela 4)	Base de conhecimento (Tabela 5)	Autocitações (Tabela 6)
Coreia do Sul	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> contestado	<i>Forging Ahead</i> especializado no segundo triênio	De alta relevância e importância crescente	Elevadas e estáveis

País	Patentes (Figuras 4 e 7)	Evolução (Figuras 5, 6 e 8)	VTR (Tabela 4)	Base de conhecimento (Tabela 5)	Autocitações (Tabela 6)
Estados Unidos	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> mantenedor	<i>Forging Ahead</i> fracamente especializado no terceiro triênio	De alta relevância e importância decrescente	Elevadas e em queda
China	<i>Forging Ahead</i>	<i>Forging Ahead</i> em ascensão	<i>Forging Ahead</i> especializado no terceiro triênio	De alta relevância e importância crescente	Elevadas e em ascensão
Japão	Potencial seguidor	Seguidor contestado	Seguidor contestado, não-especializado	Importância decrescente e atualmente de menor relevância	Elevadas e estáveis
Reino Unido	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão, subestimado	Seguidor em ascensão, subestimado e especializado no terceiro triênio	De baixa relevância e importância estável	Em média com os seguidores, sem movimento
Índia	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão, subestimado	Seguidor em ascensão, subestimado e especializado no segundo triênio	De baixa relevância e importância crescente	Baixa e em ascensão
Taiwan	Potencial seguidor	Seguidor contestado, subestimado	Seguidor não-especializado	De baixa relevância e importância decrescente	Em queda
Suécia	Potencial seguidor	Potencial seguidor em ascensão	Seguidor em ascensão, não-subestimado e especializado no terceiro triênio	De baixa relevância e importância crescente	Em média com os seguidores no último triênio
Alemanha	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado	De baixa relevância e importância estável	Sem padrão identificado
Finlândia	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, especializado no terceiro triênio	De baixa relevância e importância estável	Em média com os seguidores, sem tendência
França	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado	De baixa relevância e importância estável	Sem padrão identificado

País	Patentes (Figuras 4 e 7)	Evolução (Figuras 5, 6 e 8)	VTR (Tabela 4)	Base de conhecimento (Tabela 5)	Autocitações (Tabela 6)
Canadá	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado	De baixa relevância e importância crescente	Sem padrão identificado
Rússia	Potencial seguidor	Seguidor mantenedor, de menor relevância	Seguidor de menor relevância, não-especializado	De baixa relevância e importância decrescente	Sem padrão identificado
Restante do mundo	<i>Falling behind</i>	<i>Falling behind</i>	-	-	Não analisado

Legenda: Ao comparar os países dentro das categorias: Azul - destaque muito positivo; Azul claro - destaque positivo; Branco - neutro; Vermelho - destaque negativo.

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da Patstat 2020.

Os Estados Unidos, apesar de também estarem na posição *forging ahead*, possuem uma liderança mais fraca do que a Coreia do Sul. O país mantém sua posição de competidor central em patenteamento, porém desenvolveu mais lentamente sua VTR, estando no triênio 2016-2018 com uma VTR de 1,01, o que indica fraca especialização em tecnologias da arquitetura 5G. Além disso, sua base de conhecimento vem sendo contestada, tanto externamente pela redução de sua importância enquanto base de conhecimento quanto internamente pela redução do coeficiente de autocitações. Portanto, pode-se dizer que o país vem perdendo hegemonia do conhecimento interno em direção ao conhecimento da Coreia do Sul e da China.

A China, terceira colocada no patenteamento, deve ser entendida como um país que conseguiu realizar o *catching-up* tecnológico e agora compete com força crescente na posição *forging ahead*. O país possui relevância crescente no patenteamento, apresenta forte VTR, desenvolvida de forma mais forte que os Estados Unidos, porém foi mais lenta que a Coreia do Sul a obter VTR. Como reflexo de suas políticas (STATE COUNCIL, 2015 *apud* MARCATO, 2022), o país tornou-se relevante enquanto base de conhecimento para o desenvolvimento do 5G no mundo e está elevando rapidamente seu coeficiente de autocitações, demonstrando que é capaz de usar seu conhecimento acumulado para gerar novas invenções ligadas ao 5G, desafiando a hegemonia norte-americana enquanto base de conhecimento para novos desenvolvimentos tecnológicos

O Japão, ainda que possua muita capacidade de transformar conhecimento interno em invenções patenteáveis, mensurada a partir das autocitações, sofre no âmbito internacional, pois a base de conhecimento japonesa é cada vez menos usada pelo restante do mundo como base

relevante no desenvolvimento da arquitetura 5G. Ao mesmo tempo em que perde sua relevância, o Japão ainda é o quarto maior patenteador de invenções ligadas à arquitetura 5G, porém, dado a inexistência de VTR superior à unidade, entende-se que esta relevância para a arquitetura 5G pode resultar mais de sua capacidade inovativa geral e propensão a patentear, e não de uma especialização tecnológica. Dessa maneira, consideramos que o Japão, ainda que seja um país com alto desempenho inovativo, não está na posição *forging ahead* nem em processo de *catching-up*, mas sim em uma posição propensa a se tornar *falling behind* a partir de sua posição *forging ahead* do passado, pois a análise indica que o país está perdendo seu fôlego e relevância internacional. Ressalta-se que essa posição *falling behind* refere-se apenas à arquitetura 5G comparativamente à sua posição passada na telecomunicação e não significa que o país está como um todo nesta posição.

O Reino Unido possui desempenho inovativo invejável, sendo o quinto maior patenteador na arquitetura 5G e possui trajetória de crescimento de sua participação relativa entre os países seguidores. Mesmo com dados possivelmente subestimados, os resultados apontam que este país foi capaz de desenvolver forte VTR nestas tecnologias, adentrando no triênio 2016-2018 para o grupo dos países especializados. Porém, o conhecimento advindo deste país é pouco relevante na base de conhecimento. Além disso, não há evidências de que sua relevância enquanto base de conhecimento está aumentando, tampouco eleva-se o uso de conhecimento interno como motor do desenvolvimento de novas invenções. Sendo assim, mesmo dadas as evidências acerca de seu desempenho inventivo, não seria possível classificar o Reino Unido enquanto um país com potencial para *catching-up* tecnológico pois este país já foi uma grande potência econômica e tecnológica (FREEMAN; SOETE, 1997) e não há indicações que a base de conhecimento do Reino Unido seja relevante para desenvolvimentos na arquitetura 5G. Dessa maneira, opta-se por classificá-lo junto ao Japão como um país que está perdendo relevância internacional.

A Índia está em uma situação peculiar: é o sexto país com maior participação no patenteamento de invenções. Junto com a Coreia do Sul, foi um dos primeiros países a desenvolver VTR nestas tecnologias, possuindo ainda mais especialização relativa do que a Coreia do Sul já no triênio 2012-2015. No entanto, a Índia não foi capaz de acompanhar os três países líderes no aprofundamento da VTR, elevando seu indicador menos do que o feito pelos líderes. Este resultado deve ser ponderado pelo fato de que, dado o viés de seleção causado pelo uso de busca lexicográfica na Patstat em inglês, o resultado da Índia possivelmente está subestimado. Supondo que a ausência de cobertura da busca lexicográfica esteja uniformemente

distribuído entre todas as tecnologias, isso significaria que a análise aqui feita estaria captando aproximadamente metade dos depósitos feitos neste escritório e, dado que normalmente uma invenção patenteável feita em um país busca proteção intelectual em seu território original, o resultado real da Índia possivelmente seria superior ao encontrado, e na realidade o país seria bem mais relevante no 5G do que esta análise aponta.

Por outro lado, a Índia não foi base de conhecimento relevante para o desenvolvimento do 5G nos três períodos, com uma leve tendência de alta no indicador. Ao mesmo tempo, o país não utiliza conhecimento interno no desenvolvimento de suas invenções patenteáveis, possuindo um dos menores coeficientes de autocitação entre os países analisados. Este indicador também apresentou uma tendência de alta, mas ainda está em um patamar bastante tímido. É provável que a Índia esteja agindo como um executor no desenvolvimento de tecnologias da arquitetura 5G, utilizando-se de conhecimentos quase exclusivamente externos para suas invenções, pois possui *capabilities* fortes o suficiente para permitir o desenvolvimento de novas tecnologias, porém, estas tecnologias são desenvolvidas com pouca participação de conhecimento interno, mas que aos poucos está mudando este cenário. Sendo assim, classifica-se a Índia como um país que está no estágio de *catching-up* tecnológico no âmbito do 5G, mas que ainda possui um grande caminho a percorrer na construção de sua base de conhecimento interno e na reputação externa, de modo que o restante do mundo passe a usar mais as invenções feitas na Índia como base de conhecimento para desenvolver novas invenções.

A Suécia surge como competidor na arquitetura 5G apenas no terceiro triênio, porém já surge com VTR, demonstrando uma rápida especialização em 5G. É possível que esta rápida especialização seja resultado de uma especialização passada em 4G (ANDONIAN *et al.*, 2018) e que apenas em 2016-2018 que as tecnologias patenteadas por este país entraram na categoria 5G. A participação deste país na base de conhecimento global é um pouco mais relevante e crescente do que de seus pares seguidores, sendo 5% da base de conhecimento mundial em 2016-2018 contra um valor modal de 2% dentre seus pares. Dado que o país não patenteava na arquitetura 5G nos dois primeiros triênios, o indicador de autocitação dela foi nulo, porém está em um patamar alinhado a média dos outros países seguidores no terceiro triênio. Ainda que a Suécia possua um desempenho inventivo inferior ao da Índia, coloca-se que este país também está em processo de *catching-up* tecnológico, com argumento fundamentado pela sua relevância enquanto base de conhecimento.

A Finlândia aparece com um crescimento leve de sua participação no patenteamento global na arquitetura 5G, sendo um país especializado no terceiro triênio, mas já quase especializado no segundo triênio, com VTR de 0,81. A participação deste país na base de conhecimento é discreta, sem crescimento no período, e possui um indicador de autocitação estável. Sendo assim, a Finlândia pode ser considerada um país seguidor na arquitetura 5G, porém as evidências são mais fracas de que este país está em *catching-up*, uma vez que não é possível afirmar que este país está se aproximando do desempenho tecnológico da fronteira e nem construindo base de conhecimento relevante para o desenvolvimento de novas tecnologias, seja esta base para uso externo ou interno.

Já o restante do mundo não apresenta participação e crescimento relevante no patenteamento ligado à arquitetura 5G, vantagem tecnológica ou relevância enquanto base de conhecimento. Portanto, a partir do retrato do último triênio, parece implausível que exista algum outro país em processo de *catching-up* tecnológico no âmbito do 5G com potencial de se tornar *forging ahead* em gerações tecnológicas posteriores.

Sendo assim, esta análise identifica que Coreia do Sul, Estados Unidos e China competem na posição *forging ahead* no âmbito da arquitetura 5G, Japão e Reino Unido como países em uma dinâmica de *falling behind* a partir de suas posições de liderança no passado, Índia, Suécia e Finlândia como países seguidores, potencialmente em processo de *catching-up* com potencial para se tornarem *forging ahead* em gerações tecnológicas posteriores, e não se encontram evidências de outros países nesta mesma dinâmica no âmbito da arquitetura 5G.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A famosa abertura do Romance dos Três Reinos, atribuída a Luo Guanzhong, evoca o ritmo contínuo da sucessão de figuras importantes na história: “*O império, há muito dividido, deve se unir; há muito unido, deve se dividir. Tem sempre sido desse modo*”. Há 18 séculos a China vivenciou a queda da dinastia Han – processo que durou quarenta anos – seguido por um período de conflito e pela divisão tripartite da China entre os reinos de Cao Wei, Shu-Han e Wu Oriental. Após um século de conflitos, os três reinos foram unificados sob a dinastia Jin, que posteriormente também caiu.

Esta pesquisa contribuiu para a literatura ao ajudar na construção e uso de uma metodologia para mapeamento da estrutura qualitativa da literatura, fundamentada pelo desempenho quantitativo destes; seleção de literatura de alta relevância para estudo qualitativo; construção fundamentada de dicionário de termos-chave relacionados a um tema; reconhecimento do problema do viés de idioma na seleção de informações sobre pedidos de patente de invenções e o uso da análise a nível de família de depósitos de pedidos de patente como estratégia de combate ao problema do idioma na busca lexicográfica. Ressalta-se o potencial de replicação desta metodologia para o estudo do desempenho inventivo relacionado a outras tecnologias ou setores, podendo ajudar na busca por setores em que um determinado país possua potencial para passar da posição de *catching-up* para *forging ahead*.

Esta pesquisa identificou um conjunto de evidências, a partir dos dados de patentes, que aparentam repetir este movimento no âmbito das tecnologias de comunicação móvel: O Japão, país que liderou o desenvolvimento tecnológico das gerações 1G e 2G e que se manteve relevante nas gerações posteriores (LEMSTRA, 2018), está perdendo seu fôlego na arquitetura 5G, evidenciado pela sua posição de seguidor e queda na sua participação relativa no patenteamento; não possui VTR nestas tecnologias e é usado cada vez menos enquanto base de conhecimento para o desenvolvimento de invenções nesta arquitetura. Sua base de conhecimento nativo fundamenta grande parte de seu desempenho inventivo, porém o país possui um ecossistema frágil dado sua preferência em definir seus próprios padrões ao invés de colaborar internacionalmente (ANDONIAN *et al.*, 2018) e busca parcerias para recuperar sua relevância nas telecomunicações (LOPEZ, 2022).

Do outro lado, identificou-se que a liderança tecnológica na arquitetura 5G já se encontra definida. Ou seja, não há, neste momento, países capazes de rivalizar com a tríade

Coréia do Sul, Estados Unidos e China no desenvolvimento destas tecnologias que compõem a fronteira das telecomunicações.

A Coréia do Sul é o líder indiscutível em patenteamento de invenções nesta arquitetura, foi um dos primeiros países a apresentar especialização nestas tecnologias e tem participação crescente enquanto base de conhecimento para novas invenções, além de uma alta capacidade de transformar conhecimento interno em novas invenções, fruto de sua trajetória de liderança tecnológica no 4G (LEMSTRA, 2018).

Os Estados Unidos, apesar de também estarem na posição *forging ahead*, possuem uma liderança mais fraca do que a Coréia do Sul. O país mantém sua posição de competidor central, porém com menor especialização tecnológica, e sua relevância enquanto base de conhecimento vem sendo contestada, tanto para transformação de conhecimento interno em novas invenções quanto para fundamentação das invenções por inventores residentes em outros países. Junto ao Japão, os Estados Unidos vêm perdendo sua hegemonia enquanto base de conhecimento para novos desenvolvimentos tecnológicos. Ainda que existam evidências deste movimento, o país ainda é o segundo maior depositante de famílias da arquitetura. Não é simples desbancar uma potência econômica e tecnológica, ainda que Coréia do Sul e China estejam contestando sua hegemonia.

O terceiro trono da liderança tecnológica é ocupado pela China, que é vista como um país que conseguiu realizar o *catching-up* tecnológico nas telecomunicações e agora compete na posição *forging ahead*. Este país possui relevância crescente no patenteamento, apresenta forte VTR – superior à dos Estados Unidos – e como reflexo de suas políticas o país tornou-se relevante enquanto base de conhecimento, além de demonstrar a relevância de seu conhecimento nativo para a geração de novas invenções nesta arquitetura, desafiando a hegemonia norte-americana enquanto base de conhecimento mundial para novos desenvolvimentos tecnológicos.

É possível observar uma mudança no contorno geopolítico internacional, pois o desenvolvimento destas tecnologias está sendo marcado pela multipolarização. Encontrou-se também evidências da existência de alta cumulatividade do conhecimento técnico no âmbito das telecomunicações, com os países líderes nas gerações tecnológicas anteriores tendo alta relevância enquanto base de conhecimento para o desenvolvimento do 5G e, tendo em vista o referencial teórico delimitado, argumenta-se que é provável que o desenvolvimento futuro da arquitetura 5G continue nas mãos dos atuais líderes.

Isto não significa que a dinâmica inventiva internacional no setor de telecomunicações encontra-se engessada a ponto de não permitir movimentações entre agentes. Nesse sentido, esta pesquisa apresentou um conjunto de evidências que sinalizam fortes movimentos entre os países seguidores, com destaque especial para Reino Unido, Índia, Suécia e Finlândia, especializados na arquitetura 5G.

O Reino Unido, enquanto velha potência, possui relevância no desempenho inventivo e vantagem tecnológica, porém, não foram observadas evidências de que este país seja relevante enquanto base de conhecimento para desenvolvimentos na arquitetura 5G. Para que um país seja *forging ahead* não é necessário apenas ter um bom desempenho inventivo, mas também é necessário que o desempenho inventivo deste país exerça influência e que consiga afetar o desenvolvimento tecnológico do restante do mundo, contribuindo para a definição da trajetória tecnológica e dos padrões de desempenho esperados. Nesse sentido, ao possuir baixa relevância enquanto base de conhecimento, o Reino Unido se encontra hoje em uma situação semelhante ao Japão e é entendido como um império que está perdendo suas forças.

Dadas as evidências, entende-se que Índia e Suécia são países em processo de *catching-up* tecnológico com potencial de se tornarem *forging ahead* em gerações tecnológicas posteriores, podendo vir a destituir os Três Reinos, porém estes países possuem dinâmicas distintas: A Índia apresentou uma especialização precoce, possui o sexto melhor desempenho inventivo e uma importância crescente porém tímida enquanto base de conhecimento e, portanto, ainda influencia pouco a trajetória tecnológica da arquitetura 5G. Já a Suécia, sede da Telia e da Ericsson, apresentou uma especialização tardia nestas tecnologias – possivelmente por um *lock-in* nas tecnologias do 4G – e se apresenta como base de conhecimento mais relevante do que Índia e Reino Unido. Por outro lado, possui um desempenho inventivo inferior a estes rivais, sendo a oitava maior patenteadora. Sendo assim, enquanto o desafio da Índia para se tornar *forging ahead* em gerações posteriores está mais relacionado ao melhoramento de suas *capabilities* internas, o desafio da Suécia está mais relacionado à melhoria de seu desempenho inventivo, já tendo superado a barreira da “falha do tamanho” (LEE, 2019).

Por fim, temos a Finlândia fortemente especializada nestas tecnologias, porém com um desempenho inventivo reduzido, sendo a décima no *ranking*, e baixa relevância enquanto base de conhecimento, colocando-a como um país seguidor na arquitetura 5G sem evidências de que está em processo de *catching-up* com potencial de se tornar *forging ahead* em gerações posteriores.

Dentre estes quatro países seguidores especializados, observa-se que nenhum possui em nenhum triênio participação relevante e destacada enquanto base de conhecimento, sinalizando uma real dificuldade para se tornar líder tecnológico. As evidências encontradas nesta análise também indicam que o fenômeno da cumulatividade (DOSI, 1988) é relevante para o *catching-up* e que um pré-requisito para adentrar neste processo é a existência de um nível mínimo de capacitações produtivas e inovativas (LEE; LIM, 2001). A identificação do conjunto de países *forging ahead* e de países seguidores corrobora com o entendimento de que o *catching-up* não é uma possibilidade para todos, mas apenas para quem já possui um nível mínimo de desenvolvimento tecnológico. Da mesma forma, a identificação de um elevado número de países compondo o grupo *falling behind* e que em conjunto não elevam sua importância relativa no desenvolvimento destas tecnologias é um indício de que o *catching-up* não ocorre de forma automática e requer uma quantidade significativa de esforço para sua realização (ABRAMOVITZ, 1986; GERSCHENKRON, 1962).

Dos resultados desta análise, abre-se o questionamento de quais foram as condições históricas e as condutas que levaram – e levam – os países *forging ahead* e os países em *catching-up* com potencial de se tornarem *forging ahead* futuramente a se aproximar da fronteira tecnológica na arquitetura 5G e conseqüentemente de parte relevante das telecomunicações. Esta pesquisa foi capaz de observar seus desempenhos inventivos superiores, porém, a investigação dos determinantes de seus desempenhos inventivos não está no escopo desta, mas que se abre como tema a ser desenvolvido. Especialmente para os casos da Índia, Suécia e Finlândia, é de suma importância entender os condicionantes da sua trajetória de evolução enquanto competidores na arquitetura 5G, de que forma suas empresas atuam, quais políticas públicas foram implementadas e com quais objetivos, seus condicionantes históricos e institucionais e o que podemos aprender com as experiências destes países que possam servir de exemplo e serem adaptadas para países mais distantes da fronteira tecnológica, podendo auxiliar na definição de planos para o desenvolvimento tecnológico e, conseqüentemente, econômico.

Ao mesmo tempo, observou-se que os países identificados como seguidores – seja com potencial de se tornar *forging ahead* ou não – apresentam situações distintas entre si na corrida tecnológica, podendo representar distintos estágios ou estratégias de desenvolvimento tecnológico. É possível apreciar, em pesquisas posteriores, o que diferencia estes países em termos de políticas voltadas para a arquitetura 5G e em termos da forma de atuação das empresas deste setor e como isso reflete no desempenho tecnológico destes países. É possível

questionar, também, em termos de condições institucionais, o que diferencia os atuais países líderes dos seguidores e o que pode faltar aos últimos para se tornarem líderes futuramente ou acelerar seu processo de *catching-up* tecnológico.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVITZ, Moses. Resource and output trends in the United States since 1870. **NBER**, 1956. p. 1-23, 1956.

ABRAMOVITZ, Moses. Catching up, forging ahead, and falling behind. **Journal of Economic History**, p. 385-406, 1986.

AGHION, Philippe; HOWITT, Peter. A model of growth through creative destruction. 1990.

ANDONIAN, André; KARLSSON, Axel; NONAKA, Kenji. Japan at a Crossroads: The 4G to 5G (R) evolution. **McKinsey & Company**, 2018.

ANDREWS, Jeffrey G. et al. What will 5G be?. **IEEE Journal on selected areas in communications**, v. 32, n. 6, p. 1065-1082, 2014.

ANWAR, Waqar; FRANCHI, Norman; FETTWEIS, Gerhard. Physical layer evaluation of V2X communications technologies: 5G NR-V2X, LTE-V2X, IEEE 802.11 bd, and IEEE 802.11 p. In: **2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)**. IEEE, 2019. p. 1-7.

ARAI, Yoshio. History of the development of telecommunications infrastructure in Japan. **Netcom. Réseaux, communication et territoires**, n. 33-3/4, 2019.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ARIAD Asset Management. **The battle for 5G sovereignty – a qualitative patent portfolio analysis**. 2020.

ASONGU, Simplicé A. African stock market performance dynamics: a multidimensional convergence assessment. **Journal of African Business**, v. 14, n. 3, p. 186-201, 2013.

AZAR, Yaniv et al. 28 GHz propagation measurements for outdoor cellular communications using steerable beam antennas in New York City. In: **2013 IEEE international conference on communications (ICC)**. IEEE, 2013. p. 5143-5147.

BANGERTER, Boyd et al. Networks and devices for the 5G era. **IEEE Communications Magazine**, v. 52, n. 2, p. 90-96, 2014.

BARBOSA, Denis Borges. **Tratado da propriedade intelectual: Uma introdução à propriedade intelectual, bases constitucionais da propriedade intelectual, a doutrina da concorrência, a propriedade intelectual como um direito de cunho internacional, propriedade intelectual e tutela da concorrência.** Ed. Lumen Juris, 2010.

BARRO, Robert J. Economic growth in a cross section of countries. **The quarterly journal of economics**, v. 106, n. 2, p. 407-443, 1991.

BARRO, Robert J. SALA-I-MARTIN, Xavier, **Economic Growth.** 1995.

BARRO, Robert J.; SALA-I-MARTIN, Xavier. Convergence. **Journal of political Economy**, v. 100, n. 2, p. 223-251, 1992.

BAUMOL, William J. Productivity growth, convergence, and welfare: what the long-run data show. **The american economic review**, p. 1072-1085, 1986.

BERNARD, Andrew B.; DURLAUF, Steven N. Convergence in international output. **Journal of applied econometrics**, v. 10, n. 2, p. 97-108, 1995.

BHUSHAN, Naga et al. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G. **IEEE Communications Magazine**, v. 52, n. 2, p. 82-89, 2014.

BOARD, Defense Innovation. The 5G Ecosystem: Risks & Opportunities for DoD. **defense.gov. April**, v. 4, p. 2019, 2019.

BOCCARDI, Federico et al. Five disruptive technology directions for 5G. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 2, p. 74-80, 2014.

BUCKLEY, Peter J.; CLEGG, Jeremy; WANG, Chengqi. The impact of inward FDI on the performance of Chinese manufacturing firms. **Journal of international business studies**, v. 33, n. 4, p. 637-655, 2002.

CARIA JUNIOR, Sidnei de. Hiato tecnológico e catching-up: uma abordagem a partir da inovação. 2015.

CAVALCANTI, Dave et al. Extending accurate time distribution and timeliness capabilities over the air to enable future wireless industrial automation systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 107, n. 6, p. 1132-1152, 2019.

CHANG, Ha-Joon. **Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica.** Unesp, 2004.

CHANG, Sungyong et al. Dynamics of Imitation versus Innovation in Technological Leadership Change: Latecomers' Catch-up Strategies in Diverse Technological Regimes. **Available at SSRN 3871232**, 2021.

CHEN, Shanzhi; ZHAO, Jian. The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 5, p. 36-43, 2014.

CHIARINI, Tulio; CALIARI, Thiago. **A economia política do patenteamento na América Latina: tecnologia e inovação a favor do desenvolvimento**. Paco e Littera, 2019.

CHIH-LIN, I. et al. Toward green and soft: A 5G perspective. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 2, p. 66-73, 2014.

CHIN, Woon Hau; FAN, Zhong; HAINES, Russell. Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 21, n. 2, p. 106-112, 2014.

DE RASSENFOSSE, Gaétan; DERNIS, Hélène; BOEDT, Geert. An introduction to the Patstat database with example queries. **Australian economic review**, v. 47, n. 3, p. 395-408, 2014.

DE RASSENFOSSE, Gaétan, *et al.* The worldwide count of priority patents: A new indicator of inventive activity. **Research Policy**, 42.3, 720-737, 2013.

DEMESTICHAS, Panagiotis et al. 5G on the horizon: Key challenges for the radio-access network. **IEEE vehicular technology magazine**, v. 8, n. 3, p. 47-53, 2013.

DOSI, Giovanni. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of economic literature**, p. 1120-1171, 1988.

DOSI, Giovanni; EGIDI, Massimo. Substantive and procedural uncertainty. **Journal of evolutionary economics**, v. 1, n. 2, p. 145-168, 1991.

EASTERLY, William; LEVINE, Ross. What have we learned from a decade of empirical research on growth? It's Not Factor Accumulation: Stylized Facts and Growth Models. **The world bank economic review**, v. 15, n. 2, p. 177-219, 2001.

EUROPEAN PATENT OFFICE (EPO). Data Catalog for PATSTAT Global. Version 5.15. Viena: European Patent Office, 2020.

- FAGERBERG, Jan. Why growth rates differ. **Technical change and economic theory**, p. 432-457, 1988.
- FAGERBERG, Jan. Technology and international differences in growth rates. **Journal of Economic Literature**, v. 32, n. 3, p. 1147-1175, 1994.
- FAGERBERG, Jan; GODINHO, M.M. Innovation and catching up. In: **The Oxford handbook of innovation**, 514–542. J. Fagerberg, D. Mowery, and R. Nelson, eds. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- FÄRE, Rolf et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. **The American economic review**, p. 66-83, 1994.
- FARIAS, Rafael Brito de. Análise da necessidade de mudança regulatória para a implantação do 5G no Brasil. 2021. Dissertação de Mestrado.
- FENG, Chao et al. Sources of economic growth in China from 2000–2013 and its further sustainable growth path: A three-hierarchy meta-frontier data envelopment analysis. **Economic Modelling**, v. 64, p. 334-348, 2017.
- FORGE, Simon; VU, Khuong. Forming a 5G strategy for developing countries: A note for policy makers. **Telecommunications Policy**, v. 44, n. 7, p. 101975, 2020.
- FREEMAN, Chris; SOETE, Luc. The economics of industrial innovation. **London and Washington Pinter**, 1997.
- GERSCHENKRON, Alexander. Economic Backwardness in Historical Perspective. **The Political Economy Reader: Markets as Institutions**, p. 211-228, 1962.
- GHOSH, Amitava et al. Millimeter-wave enhanced local area systems: A high-data-rate approach for future wireless networks. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 32, n. 6, p. 1152-1163, 2014.
- GUAN, Jiancheng; CHEN, Kaihua. Modeling the relative efficiency of national innovation systems. **Research policy**, v. 41, n. 1, p. 102-115, 2012.
- GUANZHONG, Luo. **The romance of the three kingdoms**. sec XIV.
- GUELLEC, Dominique; DE LA POTTERIE, Bruno van Pottelsberghe. The internationalisation of technology analysed with patent data. **Research Policy**, v. 30, n. 8, p. 1253-1266, 2001.

- HALL, Robert E.; JONES, Charles I. Why do some countries produce so much more output per worker than others?. **The quarterly journal of economics**, v. 114, n. 1, p. 83-116, 1999.
- HU, Albert GZ; JAFFE, Adam B. Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan. **International journal of industrial organization**, v. 21, n. 6, p. 849-880, 2003.
- KANG, Byeongwoo; HUO, Dong; MOTOHASHI, Kazuyuki. Comparison of Chinese and Korean companies in ICT global standardization: Essential patent analysis. **Telecommunications Policy**, v. 38, n. 10, p. 902-913, 2014.
- KIM, Mi-jin; LEE, Heejin; KWAK, Jooyoung. The changing patterns of China's international standardization in ICT under techno-nationalism: A reflection through 5G standardization. **International Journal of Information Management**, v. 54, p. 102145, 2020.
- KRUGMAN, Paul. Increasing returns and economic geography. **Journal of political economy**, v. 99, n. 3, p. 483-499, 1991.
- LALL, Sanjaya. Technological capabilities and industrialization. **World development**, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.
- LEE, Keun. Economics of technological leapfrogging. **The Challenges of Technology and Economic Catch-up in Emerging Economies**, p. 123, 2021.
- LEE, Keun. The art of economic catch-up: Barriers, detours and leapfrogging in innovation systems. **Cambridge University Press**, 2019.
- LEE, Keun; KI, Jee-hoon. Rise of latecomers and catch-up cycles in the world steel industry. **Research Policy**, v. 46, n. 2, p. 365-375, 2017.
- LEE, Keun. Making a Technological Catch-up: Barriers and opportunities. **Asian Journal of Technology Innovation**, v. 13, n. 2, p. 97-131, 2005.
- LEE, Keun; LIM, Chaisung. Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries. **Research policy**, v. 30, n. 3, p. 459-483, 2001.
- LEMSTRA, Wolter. Leadership with 5G in Europe: Two contrasting images of the future, with policy and regulatory implications. **Telecommunications Policy**, v. 42, n. 8, p. 587-611, 2018.
- LI, Qing; PAPELL, David. Convergence of international output time series evidence for 16 OECD countries. **International review of economics & finance**, v. 8, n. 3, p. 267-280, 1999.

- LI, Yi; WU, Fulong. The transformation of regional governance in China: The rescaling of statehood. **Progress in Planning**, v. 78, n. 2, p. 55-99, 2012.
- LIU, Xielin; WHITE, Steven. Comparing innovation systems: a framework and application to China's transitional context. **Research policy**, v. 30, n. 7, p. 1091-1114, 2001.
- LOPEZ, Julia. UK and Japan frge closer links on telecoms. mar. 2022. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/news/uk-and-japan-forge-closer-links-on-telecoms>. Acesso em: 15 de maio de 2023.
- LU, Xi et al. 5G-U: Conceptualizing integrated utilization of licensed and unlicensed spectrum for future IoT. **IEEE Communications Magazine**, v. 57, n. 7, p. 92-98, 2019.
- LUCAS JR, Robert E. On the mechanics of economic development. **Journal of monetary economics**, v. 22, n. 1, p. 3-42, 1988.
- LUNDEVALL, Bengt-Ake et al. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. 1992.
- MACCARTNEY, George R. et al. Path loss models for 5G millimeter wave propagation channels in urban microcells. In: **2013 IEEE global communications conference (GLOBECOM)**. IEEE, 2013. p. 3948-3953.
- MACCARTNEY, George R.; RAPPAPORT, Theodore S. 73 GHz millimeter wave propagation measurements for outdoor urban mobile and backhaul communications in New York City. In: **2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)**. IEEE, 2014. p. 4862-4867.
- MACEDO, Maria Fernanda Gonçalves; BARBOSA, A. L. Patentes, pesquisa & desenvolvimento: um manual de propriedade industrial. In: **Patentes, pesquisa & desenvolvimento: um manual de propriedade industrial**. 2000. p. 164-164.
- MALERBA, Franco; LEE, Keun. An evolutionary perspective on economic catch-up by latecomers. **Industrial and Corporate Change**, 2021.
- MALERBA, Franco; NELSON, Richard. Learning and catching up in different sectoral systems: evidence from six industries. **Industrial and corporate change**, v. 20, n. 6, p. 1645-1675, 2011.

MANCA, Fabio. Technology Catching-up and the Role of Institutions. **IREA–Working Papers, 2009**, IR09/12, 2009.

MANKIW, N. Gregory; ROMER, David; WEIL, David N. A contribution to the empirics of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 107, n. 2, p. 407-437, 1992.

MARCATO, Marilia Bassetti. The Made in China 2025 amid hyperglobalization: upgrading, intangible assets, and internationalization strategies. **Economia e Sociedade**, v. 31, p. 355-384, 2022.

MARTINEZ BUITRAGO, Jenyfeer Andrea, Estrategias de catching-up en la industria solar fotovoltaica : perspectivas para el caso brasileiro – Campinas, SP [s.n.], 2019.

MIRANDA, Pedro C. “**A internacionalização das atividades tecnológicas e a inserção dos países em desenvolvimento: uma análise baseada em dados de patentes**”. Tese de Doutorado. IE/UNICAMP, 2014.

MU, Qing; LEE, Keun. Knowledge diffusion, market segmentation and technological catch-up: The case of the telecommunication industry in China. **Research policy**, v. 34, n. 6, p. 759-783, 2005.

NASRALLAH, Ahmed et al. Ultra-low latency (ULL) networks: The IEEE TSN and IETF DetNet standards and related 5G ULL research. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 1, p. 88-145, 2018.

NELSON, Richard, WINTER, Sidney. An evolutionary theory of economic change, **Belknap Press**, Cambridge, 1982.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Patent statistics manual. 2009.

OSSEIRAN, Afif et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 5, p. 26-35, 2014.

PARLIAMENT, E. U. Industry 4.0. Digitalisation for productivity and growth. **European Parliament Think Tank Briefing**, 2015.

PATRICIELLO, Natale et al. NR-U and IEEE 802.11 technologies coexistence in unlicensed mmWave spectrum: Models and evaluation. **IEEE access**, v. 8, p. 71254-71271, 2020.

PEREZ, Carlota et al. Technical change and economic theory. **Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies: Pisa, Italy**, 1988.

PIRINEN, Pekka. A brief overview of 5G research activities. In: **1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity**. IEEE, 2014. p. 17-22.

PRANGE, Christiane; BRUYAKA, Olga. Better at home, abroad, or both? How Chinese firms use ambidextrous internationalization strategies to drive innovation. **Cross Cultural & Strategic Management**, 2016.

QUAH, Danny T. Empirics for economic growth and convergence. **European economic review**, v. 40, n. 6, p. 1353-1375, 1996.

RAPPAPORT, Theodore S. et al. Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications. **IEEE transactions on antennas and propagation**, v. 61, n. 4, p. 1850-1859, 2012.

RAPPAPORT, Theodore S. et al. Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!. **IEEE access**, v. 1, p. 335-349, 2013.

REGO, Elba Cristina Lima. How technological catching up matters to economic development today.. **Tese de Doutorado**. Tese (Doutorado em Políticas Públicas e Estratégias de Desenvolvimento). UFRJ, Rio de Janeiro, 167 p. 2014.

ROH, Wonil et al. Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: Theoretical feasibility and prototype results. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 2, p. 106-113, 2014.

ROMER, Paul M. Endogenous technological change. **Journal of political Economy**, v. 98, n. 5, Part 2, p. S71-S102, 1990.

ROMER, Paul M. Increasing returns and long-run growth. **Journal of political economy**, v. 94, n. 5, p. 1002-1037, 1986.

ROSTELECOM. **5G networks and the evolution to 6G**. Federal Institute of Industrial Property (FIPS) Project Office. 2020.

SAMIMI, Mathew et al. 28 GHz angle of arrival and angle of departure analysis for outdoor cellular communications using steerable beam antennas in New York City. In: **2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**. IEEE, 2013. p. 1-6.

SILVA, S. **A tecnologia como vetor e bússola no processo de desenvolvimento chinês**. 2019. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Economia)–Instituto de Economia, Universidade de Campinas, Campinas.

SOLOW, Robert M. A contribution to the theory of economic growth. **The quarterly journal of economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

STATE COUNCIL. Anúncio do Conselho de Estado sobre a Disseminação 'Made in China 2025'. 8 de maio de 2015. Disponível em: www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm. Acesso em 16 de maio de 2023.

VARBLANE, Urmaz; DYKER, David.; TAMM, Dorell. How to improve the national innovation systems of catching-up economies? **TRAMES: A Journal of the Humanities & Social Sciences**, v. 11, n. 2, 2007.

WANG, Cheng-Xiang et al. Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. **IEEE communications magazine**, v. 52, n. 2, p. 122-130, 2014.

WEILER, Richard J. et al. Enabling 5G backhaul and access with millimeter-waves. In: **2014 European conference on networks and communications (EuCNC)**. IEEE, 2014. p. 1-5.

WUNDER, Gerhard et al. 5GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications. **IEEE Communications Magazine**, v. 52, n. 2, p. 97-105, 2014.

ZHAO, Hang et al. 28 GHz millimeter wave cellular communication measurements for reflection and penetration loss in and around buildings in New York city. In: **2013 IEEE international conference on communications (ICC)**. IEEE, 2013. p. 5163-5167.