

ENEI2025 *Fortaleza* IX ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL

"Financiamento e Desenvolvimento Brasileiro:
oportunidades e desafios"



20-23
MAIO DE 2025



LOCAL: sede do BNB, Avenida
Dr. Silas Munguba, 5.700 –
Centro de Treinamento,
Passaré, Fortaleza (CE)

Realização:  Banco do
Nordeste

ABEIN

Associação Brasileira de
Economia Industrial e Inovação

Transição verde, mudança tecnológica e catch-up: uma análise do caso brasileiro

Mariane Santos Françoso¹

Resumo: O presente artigo tem como objetivo discutir a posição tecnológica do Brasil no contexto da transição verde. Para isso, foram empregados dados de patentes e índices de rede, comparando o desempenho brasileiro com o de países selecionados, ao longo do período que vai de 2000 a 2019. Essa análise é motivada, por um lado, pela indagação realizada por alguns autores de que a transição verde poderia abrir uma janela de oportunidade para o catch-up de países em desenvolvimento, incluindo o Brasil; e, por outro, pela evidência empírica que enfatiza a natureza complexa das tecnologias verdes, que aparentam requerer intensas interações que ocorrem em diferentes escalas espaciais para a sua geração. Os resultados indicam que é preciso cautela ao discutir as possibilidades de o Brasil aproveitar as potenciais janelas de oportunidade abertas pela transição verde. Embora o país apresente competências em algumas áreas tecnológicas verdes, os indicadores mostram que as redes locais de colaboração ainda são muito concentradas, a capacidade de absorção e a inserção em redes de conhecimento internacionais parecem limitadas. Ao mesmo tempo, o Brasil parece estar aumentando a sua distância em relação a alguns países selecionados (países que compõem o G7, Coreia do Sul, Taiwan e China) ao longo do tempo nos indicadores mencionados.

Palavras-chave: Transição verde; mudança tecnológica; janelas de oportunidade; catch-up; redes

Código JEL: O30; Q55

Área Temática: 4. Redes e sistemas urbanos, regionais e nacionais

Green transition, technological change, and catch-up: an analysis of the Brazilian case

Abstract: This paper aims to discuss Brazil's technological position within the context of the green transition. To this end, patent data and network indices were employed to compare Brazil's performance with that of selected countries over the period from 2000 to 2019. This analysis is motivated, on the one hand, by the argument put forth by some scholars that the green transition could create a window of opportunity for technological catch-up in developing countries, including Brazil; and, on the other hand, by empirical evidence highlighting the complex nature of green technologies, which appear to require intense interactions occurring at multiple spatial scales for their development. The results indicate that caution is needed when discussing Brazil's potential to capitalize on the opportunities presented by the green transition. While the country demonstrates competencies in certain green technological domains, the indicators suggest that local collaboration networks remain highly concentrated, and both absorptive capacity and integration into international knowledge networks appear to be limited. At the same

¹ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Letras, Araraquara. E-mail: mariane.francoso@unesp.br

time, Brazil seems to be increasing its technological gap relative to selected countries—including the G7 nations, South Korea, Taiwan, and China—over time, according to the analyzed indicators.

Keywords: Green transition; technological change; windows of opportunity; catch-up; networks

1. Introdução

A transição para trajetórias de desenvolvimento mais verdes requer mudanças sistêmicas, abrangendo instituições, mercados e práticas sociais. Nesse contexto, a mudança tecnológica pode desempenhar um papel crucial (MAZAHARI et al., 2024).

O processo de catch-up refere-se à redução da defasagem tecnológica entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (LEE; MALERBA, 2017; MALERBA; NELSON, 2011). Tal processo pode ser facilitado quando ocorrem mudanças no paradigma sociotécnico, abrindo as chamadas janelas de oportunidade (PEREZ; SOETE, 1988). Alguns estudiosos argumentam que a transição para trajetórias tecnológicas mais verdes pode abrir janelas de oportunidade para países em desenvolvimento (LEMA; PEREZ, 2024). Contudo, a natureza das tecnologias verdes em si já representa um desafio para esses países. As tecnologias verdes são caracterizadas por um elevado grau de novidade, envolvendo uma diversidade de componentes tecnológicos e fontes de conhecimento distintas, o que implica uma maior taxa de colaboração interorganizacional e significativas dependências intersetoriais (BARBIERI; MARZUCCHI; RIZZO, 2020; CAINELLI; DE MARCHI; GRANDINETTI, 2015; DE MARCHI, 2012; DECHEZLEPRÊTRE et al., 2017; MALHOTRA; SCHMIDT; HUENTELER, 2019). Não obstante, países em desenvolvimento são caracterizados por estruturas industriais heterogêneas, capacidade de absorção limitada, falhas de capacitação e sistemas de inovação imaturos (AROCENA; SUTZ, 2010; LEE; MALERBA, 2018).

O Estado desempenha um papel fundamental nessa transição, uma vez que políticas ambientais e tecnológicas podem ser combinadas para acelerar a transição verde e apoiar o processo de catch-up tecnológico (ALTENBURG et al., 2022; KEMP, 2010). Dada a relevância estratégica das tecnologias verdes nesse processo, torna-se fundamental compreender as posições e potencialidades de distintos países, identificando áreas tecnológicas chave, recursos locais e padrões de colaboração, a fim de embasar a formulação de políticas públicas.

Este artigo tem como objetivo investigar o posicionamento do Brasil no contexto da transição verde, enfatizando a sua capacidade de absorção, a base local de conhecimento, a capacidade de acessar conhecimento externo e a extensão e conectividade das redes locais de colaboração orientadas às tecnologias verdes. Para tanto, são utilizados dados de patentes referentes ao período entre 2000 e 2019, além de indicadores de rede. Na sequência, seguindo Montenegro et al (2021), os resultados do Brasil são comparados aos dos países do G7 e, com base nos resultados de Corrocher et al (2021), com os de países que aparentam estar realizando o catch-up em tecnologias verdes (China, Coreia do Sul e Taiwan). O Brasil representa um caso interessante, pois as evidências empíricas não são conclusivas sobre sua capacidade de avançar na transição verde e desenvolver trajetórias tecnológicas mais sustentáveis. Embora o país possua o sistema de inovação mais maduro da América do Sul e tenha aumentado seu acesso ao conhecimento global, suas competências tecnológicas ainda se mantêm aquém de outras economias emergentes (BIANCHI; GALASO; PALOMEQUE, 2023; BRITTO et al., 2021). Especificamente no que tange às tecnologias verdes, a UNCTAD posiciona o Brasil como uma das economias emergentes com melhor potencial para a transição verde (UNITED NATIONS (UNCTAD), 2023). No entanto, a literatura ainda escassa que busca caracterizar o potencial brasileiro para a incorporação e geração de tecnologias verdes indica uma capacidade tecnológica limitada em áreas chave, como energia solar e veículos elétricos (DE MELO et al., 2021; DE PAULO e PORTO, 2018; FRANÇOSO et al., 2024). Embora este artigo foque no caso brasileiro, as análises trazem evidências que dialogam com questões comuns a muitos países em desenvolvimento, como a limitada capacidade de absorção e colaboração. Dessa forma, o artigo contribui para a literatura sobre transição verde ao discutir como as características comuns aos países em desenvolvimento se manifestam em áreas tecnológicas verdes.

Os resultados indicam que é preciso cautela ao discutir as possibilidades de o Brasil aproveitar as janelas de oportunidade abertas pela transição verde. Embora o país apresente competências em algumas áreas tecnológicas verdes, os indicadores mostram que as redes locais de colaboração na área ainda são muito concentradas, a capacidade de absorção de conhecimento parece limitada, assim como a habilidade de acessar conhecimento internacional. Observa-se também que a evolução do Brasil ao longo do tempo não tem ocorrido no mesmo ritmo dos demais países analisados.

Além desta introdução e das considerações finais, o artigo está estruturado em três seções adicionais. A Seção 2 discute e apresenta o referencial teórico que fundamenta a análise. A Seção 3 descreve os procedimentos metodológicos. A Seção 4 apresenta e discute os resultados descritivos e os indicadores de rede.

2. Discussão teórica

2.1 Mudança tecnológica e janelas de oportunidade

Muitos países em desenvolvimento utilizam tecnologias que não são adaptadas às suas dotações de fatores e condições específicas. Isso ocorre pois essas tecnologias foram projetadas em países desenvolvidos e, conseqüentemente, baseadas em suas condições. Desde os desenvolvimentistas latino-americanos, e ainda hoje, alguns estudiosos argumentam que esse fato é uma das razões para o crescente hiato de renda entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (FU; PIETROBELLI; SOETE, 2011). Assim, a capacidade de adaptar e gerar tecnologias é um recurso importante para o crescimento econômico (HASAN; TUCCI, 2010; ROMER, 1990; VERSPAGEN, 2006).

A literatura sobre catch-up tem enfatizado a importância do aprendizado e da construção de capacitações para reduzir o hiato entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nesse sentido, essa redução não se restringe à imitação, mas envolve a capacidade de gerar novas formas de conhecimento, produtos e tecnologias inovadoras (MALERBA; NELSON, 2011). Os países que foram bem-sucedidos nesse processo não seguiram estritamente o caminho tecnológico dos países avançados, mas pularam certas etapas ou até criaram seus próprios caminhos (LEE, 2021). A criação de novos caminhos é impulsionada por janelas de oportunidade, que surgem quando disrupções tecnológicas reduzem as restrições ao desenvolvimento de países retardatários. Essas disrupções podem facilitar o aprendizado e a entrada de novos atores, uma vez que as capacitações e ativos anteriormente exigidos para o sucesso podem mudar. Simultaneamente, empresas estabelecidas podem ficar presas às trajetórias tecnológicas anteriores (LEE; LIM; SONG, 2005; PEREZ; SOETE, 1988). Essa configuração pode colocar incumbentes e retardatários em uma posição inicial semelhante, facilitando o catch-up.

Lee e Malerba (2017) expandem a discussão sobre janelas de oportunidade, argumentando que mudanças na demanda, instituições e políticas públicas também podem gerar descontinuidades, levando a mudanças na liderança exercida por determinados países em determinadas áreas. Uma janela de demanda está relacionada a choques de demanda, como a entrada massiva de novos consumidores com novas preferências. Uma janela institucional e política pode decorrer de intervenções públicas ou mudanças institucionais. No caso das mudanças climáticas, é possível observar as três descontinuidades. O apoio institucional de diversos estados nacionais, com a criação de metas de redução de emissões de carbono e adoção de novos instrumentos de política, pode estimular um mercado para produtos, tecnologias e soluções verdes em diferentes setores, com requisitos tecnológicos específicos para atender a condições ambientalmente amigáveis.

Contudo, aproveitar essas janelas de oportunidade não é uma tarefa trivial. Apesar de os países retardatários poderem pular algumas etapas, respostas bem-sucedidas são específicas a cada setor e dependem da dotação de capacidades locais e de elevados níveis de aprendizado e capacidade de absorção. Além disso, fatores sistêmicos complementares, como insumos físicos, recursos financeiros, universidades, institutos de pesquisa, redes de colaboração, mão de obra qualificada, infraestrutura e instituições, também são determinantes para o sucesso do processo de catch-up (LEE; MALERBA, 2017).

Portanto, os sistemas nacionais e regionais de inovação são fundamentais para compreender o sucesso no processo de catch-up (LEE; MALERBA, 2018; MALERBA; NELSON, 2011). A

perspectiva do sistema de inovação entende o aprendizado e a construção de capacitações como um processo sistêmico e colaborativo, no qual diferentes atores, com conjuntos distintos de conhecimentos e capacidades, trocam informações circuncritos a uma estrutura institucional (LUNDVALL, 1992). No entanto, o conhecimento não está "no ar" e os transbordamentos e interações não são garantidos. Empresas locais podem carecer da capacidade de absorver o conhecimento gerado localmente. Universidades e organizações privadas podem não cooperar se os instrumentos institucionais adequados não estiverem presentes (GARCIA et al., 2022; RAPINI et al., 2009). Esse cenário é recorrente em países em desenvolvimento, que frequentemente enfrentam falhas de capacitações e falhas sistêmicas que dificultam o pleno desenvolvimento de seus sistemas de inovação.

Os países em desenvolvimento são caracterizados, em sua maioria, por sistemas de inovação imaturos, nos quais as empresas apresentam capacidade de absorção limitada (ALBUQUERQUE, 1999; BIANCHI; GALASO; PALOMEQUE, 2023). Nesses países, a baixa demanda por conhecimento, que resulta de um setor produtivo insuficientemente inovador, leva a um fraco compromisso com atividades internas de P&D, cruciais para identificar e assimilar conhecimentos produzidos fora dos limites da firma (AROCENA; SUTZ, 2010; COHEN; LEVINTHAL, 1989). Consequentemente, muitas empresas apresentam baixa capacidade de absorção, o que gera falhas de capacitação e, por sua vez, falhas sistêmicas, pois um ator crucial no sistema de inovação tem capacidade limitada para absorver conhecimento externo, restringindo as possibilidades de interação. Assim, ciclos virtuosos decorrentes de complementaridades entre diferentes agentes não ocorrem, deixando-os presos a trajetórias de baixa interação e aprendizado (LEE; MALERBA, 2018). Essas características são particularmente prejudiciais em um contexto de rápidas mudanças tecnológicas, no qual novos paradigmas podem emergir.

Essas características têm implicações no desempenho dos países em desenvolvimento. Ao analisar diferentes tipos de sistemas de inovação, Lee et al. (2021) argumentam que países em desenvolvimento que se destacam no processo de catch-up, como China, Coreia do Sul e Taiwan, possuem diversidade tecnológica e capacidade de gerar conhecimento em tecnologias marcadas por rápidas mudanças tecnológicas, o que contribui para reduzir barreiras à entrada. No entanto, a maioria dos países em desenvolvimento, como Brasil, Chile e África do Sul, enfrenta dificuldades para acompanhar essas rápidas mudanças e apresenta baixos níveis de geração, difusão e diversificação tecnológica.

Embora fatores internos sejam fundamentais para compreender os processos de catch-up, a interação com o ambiente externo também é relevante. O acesso a conhecimento estrangeiro e a participação em redes internacionais são fatores críticos para o aprendizado e o catch-up (MALERBA; NELSON, 2011). Nesse sentido, Binz e Truffer (2017) argumentam que a configuração espacial dos sistemas de inovação é cada vez mais complexa, marcada por interdependências internacionais e redes multiescalares. Evidências empíricas mostram que essa característica é particularmente relevante para as tecnologias verdes, devido à maior propensão à colaboração internacional nesse campo (CORROCHER; MANCUSI, 2021). Corrocher et al. (2024) demonstram que vínculos externos complementares facilitam o processo de catch-up e impactam positivamente a diversificação em tecnologias verdes. Assim, a capacidade de integrar redes globais e internacionais pode contribuir para o processo de catch-up. No entanto, essa participação depende da capacidade de absorção dos atores locais e de esforços direcionados (FU; PIETROBELLI; SOETE, 2011).

2.2 A transição verde pode abrir uma janela de oportunidade?

A transição verde possui um caráter distinto em comparação às transições tecnológicas anteriores, pois é menos impulsionada por dinâmicas tecnológicas endógenas. A atual mudança para tecnologias mais verdes está mais relacionada à necessidade de mitigar os problemas causados pela mudança climática. As soluções tecnológicas resultantes não são, necessariamente, mais lucrativas e podem implicar em mudanças significativas nos processos produtivos e nos padrões de consumo. Assim, o setor privado pode não se sentir incentivado a implantá-las (DEL RÍO GONZÁLEZ, 2009; LEMA; PEREZ, 2024). Nesse contexto, o Estado assume um papel fundamental, pois instrumentos de política, como impostos pigouvianos, padrões ambientais e subsídios para P&D podem estimular a

transição verde. Dessa forma, ao combinar políticas ambientais e tecnológicas, os formuladores de políticas podem acelerar a transição verde e apoiar o processo de catch-up tecnológico (ALTENBURG; CORROCHER; MALERBA, 2022; ALTENBURG; RODRIK, 2017).

Alguns estudiosos argumentam que a transição verde pode abrir janelas de oportunidade para países em desenvolvimento reduzirem seu hiato tecnológico em relação aos países desenvolvidos (LEMA; FU; RABELLOTTI, 2020; LEMA; RABELLOTTI, 2023). No entanto, para aproveitar essa oportunidade, é necessário que condições adequadas estejam em vigor, como uma forte capacidade de absorção no setor privado, sistemas de inovação articulados que promovam a colaboração entre diferentes atores em diferentes escalas espaciais e incentivos institucionais que permitam a incorporação, o acesso, o aprendizado, a adaptação e a geração de novas tecnologias (CARAVELLA; COSTANTINI; CRESPI, 2021; LEE; MALERBA, 2018).

A natureza das tecnologias verdes representa, contudo, um desafio adicional para os países em desenvolvimento. A evidência empírica mostra que essas tecnologias são construídas a partir de conhecimentos acumulados previamente em tecnologias verdes e não verdes, sendo altamente dependentes da capacidade de inovação acumulada do país (HASCIC et al., 2010; MONTRESOR; QUATRARO, 2020). As tecnologias verdes articulam maior variedade de componentes tecnológicos, dependem de conhecimentos interdisciplinares próximos da fronteira científica, apresentam um maior grau de novidade e são mais facilmente incorporadas por setores menos maduros em comparação a tecnologias não verdes (BARBIERI; MARZUCCHI; RIZZO, 2020; CECERE et al., 2014; DAMIOLI; BIANCHINI; GHISSETTI, 2024; DECHEZLEPRÊTRE et al., 2017; FRANÇOZO; DE LIMA AVANCI; MAZONI, 2024).

Apesar de compartilharem algumas características básicas, as tecnologias verdes não são homogêneas. Algumas exigem uma reconfiguração completa do processo produtivo, enquanto outras mantêm a estrutura básica praticamente inalterada e envolvem apenas modificações menores em seus componentes (DEL RÍO GONZÁLEZ, 2009). Estudos já mostraram que o setor privado geralmente prefere ajustes tecnológicos menores – o que Vermeulen & Pyka (2024) denominam 'tech fix' – em vez de promover mudanças tecnológicas profundas. Essa mudança superficial pode retardar o ritmo das transformações tecnológicas e amenizar os impactos disruptivos da transição verde (VERMEULEN; PYKA, 2024). Esse aspecto questiona a ideia de uma potencial janela de oportunidade, em que países retardatários e líderes estariam em posições similares.

Evidências adicionais sugerem que empresas ambientalmente inovadoras tendem a cooperar mais em atividades de inovação com parceiros externos (CAINELLI; DE MARCHI; GRANDINETTI, 2015; DE MARCHI, 2012) e que as dependências intersetoriais são relevantes (MALHOTRA; SCHMIDT; HUENTELER, 2019; STEEN et al., 2024). Consequentemente, países com sistemas de inovação mais robustos têm maior probabilidade de se engajar no desenvolvimento de tecnologias verdes, enquanto apenas um número limitado de países retardatários têm conseguido alcançar posições de destaque em tecnologias verdes (CORROCHER; MALERBA; MORRISON, 2021).

3. Metodologia

3.1 Base de dados

Para realizar a análise proposta, foram coletados dados de patentes no USPTO registradas entre 2000 e 2019. Embora patentes registradas em um escritório internacional não reflitam integralmente a dotação de conhecimento local, o depósito de patentes em escritórios além do nacional geralmente está associado às expectativas de ganhos com a nova tecnologia e a aspectos estratégicos organizacionais (SCHAEFER; LIEFNER, 2017). Além disso, para comparar e posicionar distintos países em uma perspectiva global, o uso de um escritório internacional, em vez do nacional, evita vieses e fornece uma melhor aproximação comparativa. Conforme argumentam Corrocher et al. (2021) e Lee et al. (2021), utilizar o USPTO, em vez de escritórios nacionais heterogêneos, permite assegurar uma qualidade uniforme no depósito de patentes.

Cada patente possui um ou mais domínios tecnológicos que representam funcionalidades expressas pelos códigos da Classificação Cooperativa de Patentes (CPC) atribuídos a elas. Para identificar patentes relacionadas a tecnologias verdes, foi adotado o esquema Y02 da CPC, no nível de

quatro dígitos, que abrange "Tecnologias ou Aplicações para Mitigação ou Adaptação às Mudanças Climáticas". O esquema Y02 fornece uma visão abrangente das tecnologias que, devido a seus atributos técnicos, são relevantes para propósitos de economia de energia e descarbonização, cobrindo categorias como energia, edificações, captura de gases de efeito estufa, tecnologias de informação e comunicação, transporte e gestão de resíduos (CARAVELLA; COSTANTINI; CRESPI, 2021). Com essa classificação, foram selecionadas inicialmente 249.631 patentes.

As patentes foram atribuídas aos países com base na localização dos inventores e os dados foram divididos em quatro períodos: 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 e 2015-2019. Assim, é possível não apenas visualizar um panorama agregado, mas também identificar tendências e mudanças ao longo do tempo.

Em seguida, as patentes foram utilizadas para projetar redes internacionais e intranacionais. Para as redes internacionais, os países foram conectados por meio da co-invenção: os países representam os nós, e as conexões são definidas pela presença de inventores de diferentes países em um mesmo documento de patente. De forma semelhante, para as redes intranacionais, os inventores do mesmo país que aparecem juntos em uma mesma patente foram conectados. Com essas redes, é possível avaliar o acesso de diferentes países ao conhecimento internacional e as dinâmicas envolvidas na geração de conhecimento nacional.

Para avaliar a posição do Brasil, seguiu-se a abordagem de Montenegro et al. (2021) e os países do G7 foram incluídos como referência de padrões de produção de tecnologias verdes nos países mais ricos do mundo (Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Itália, Japão, França e Reino Unido). Com base no estudo de Corrocher et al. (2021) sobre países retardatários bem-sucedidos no desenvolvimento de tecnologias verdes, foram incluídos também Coreia do Sul, China e Taiwan. Após o filtro da base de dados, foram contabilizadas 223.347 patentes, aproximadamente 90% da seleção inicial baseada exclusivamente nos códigos verdes da CPC.

3.2 Análise empírica

Com esses dados, foram medidas três dimensões distintas: 1. Dotação de conhecimento; 2. Capacidade de absorção e potencial de acesso ao conhecimento internacional; 3. Extensão e conectividade das redes locais de colaboração orientadas à produção de tecnologias verdes.

As capacidades disponíveis em um local são expressas nos produtos, atividades econômicas e tecnologias em que ele apresenta especialização (HIDALGO et al., 2007). Assim, como *proxy* da dotação de conhecimento, foi empregada a medida de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR). Um país apresenta VTR em uma tecnologia quando ela é sobre-representada no país em relação ao padrão mundial. Esse resultado ocorre quando a participação da tecnologia i no país r é maior do que sua participação no mundo. Se o VTR for maior que 1, o país é considerado especializado na tecnologia, indicando que possui o conjunto de capacitações necessárias para adotá-la.

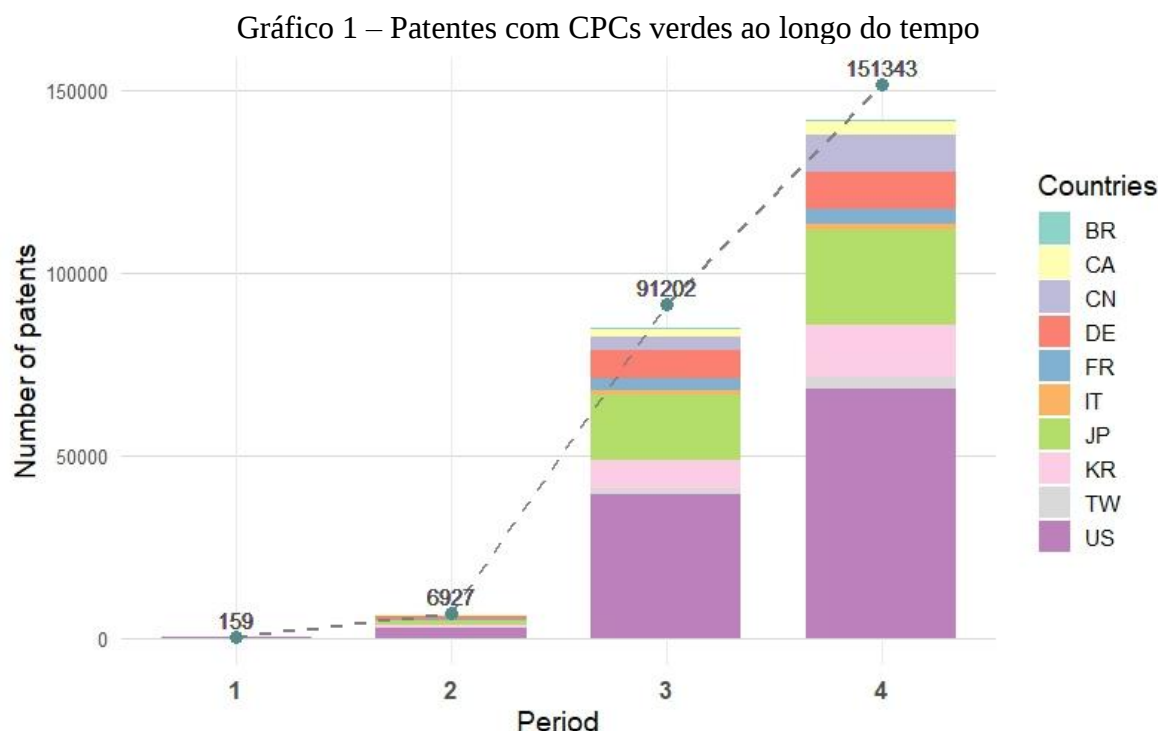
Para medir a capacidade de absorção e o potencial de acesso ao conhecimento internacional, as abordagens de Bianchi et al. (2023) e Françoso e Hiratuka (2020) foram adotadas e duas medidas de rede foram empregadas: centralidade de grau e coreness. A centralidade de grau mede o quão bem um país está diretamente conectado com os demais, sendo calculada pelo número de conexões de um nó, ponderado pelo total de nós menos 1 (JACKSON, 2010). O coreness é calculado a partir dos k -cores, definidos como o subgrafo máximo em que cada nó possui pelo menos k conexões com outros nós (ALVAREZ-HAMELIN et al., 2008). Essa medida reflete a estrutura de centro-periferia das redes e permite identificar o posicionamento do país nos fluxos globais de conhecimento.

Por fim, para avaliar a extensão e a conectividade das redes locais de colaboração, foi analisado o número de componentes e o tamanho do maior componente da rede intranacional. O tamanho do maior componente indica coesão, sendo formado por um conjunto de inventores direta ou indiretamente conectados (BIANCHI; GALASO; PALOMEQUE, 2023). Já as redes fragmentadas, com muitos componentes pequenos, podem apresentar dificuldades na difusão do conhecimento (FLEMING; KING; JUDA, 2007).

4. Resultados

4.1 Análise descritiva

O gráfico 1 mostra o crescimento de patentes com CPC verdes ao longo do tempo, enfatizando o resultado dos países selecionados para análise, como apontado na seção 3.



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do USPTO.

Primeiramente, é possível observar o aumento significativo e recente no número de patentes que incluem um código de CPC verde, especialmente nos períodos 3 e 4, o que indica a crescente importância das iniciativas tecnológicas voltadas para a sustentabilidade. Embora esse crescimento tenha ocorrido em todas as oito categorias tecnológicas verdes analisadas, duas delas se destacam como líderes no número de patentes: Y02E, relacionada a alternativas de geração, transmissão ou distribuição de energia; e Y02T, associada a alternativas de transporte. O número de países participantes das redes internacionais de tecnologias verdes também aumentou de dez no período 1, para 108 no período 4, evidenciando o caráter colaborativo da produção desse tipo de tecnologia.

No primeiro período, todos os países destacados apresentavam menos de 100 patentes verdes, enquanto, no período 4, com exceção do Brasil, que registrou 242 patentes, todos os demais países ultrapassaram o número de 1.000 patentes, com os Estados Unidos apresentando o maior valor: 68.175 patentes. Vale destacar que um viés em relação aos Estados Unidos é esperado, dado que os dados foram coletados no USPTO. Além disso, o crescimento observado não ocorreu de maneira homogênea entre os países selecionados. Enquanto o número de patentes dos países do G7 e dos países retardatários bem-sucedidos aumentou, respectivamente, 593 e 5.217 vezes entre os períodos 1 e 4, o crescimento das patentes brasileiras foi de apenas 79 vezes. Considerando que o processo de catch-up se trata de perseguir um “alvo em movimento”, realizá-lo implica apresentar um desempenho superior aos concorrentes, o que não parece estar acontecendo no caso brasileiro.

4.2 Análise dos indicadores de redes

Os índices de rede dão suporte a nossa análise sobre a posição do Brasil no cenário das tecnologias verdes. A Tabela 1 apresenta os indicadores de VTR e coreness, que medem, respectivamente, o estoque de conhecimento local e o potencial de acesso ao conhecimento gerado internacionalmente.

Tabela 1 – VTR e coreness ao longo do tempo para os países selecionados

País	Período	Coreness	N. de CPCs com VTR
BR	1	2	2
CA	1	2	2
CN	1	1	1
DE	1	4	4
FR	1	3	3
GB	1	2	2
IT	1	1	1
JP	1	2	2
KR	1	1	1
US	1	1	1
BR	2	4	4
CA	2	5	5
CN	2	2	2
DE	2	5	5
FR	2	1	1
GB	2	6	6
IT	2	2	2
JP	2	3	3
KR	2	2	2
TW	2	2	2
US	2	4	4
BR	3	4	4
CA	3	6	6
CN	3	4	4
DE	3	3	3
FR	3	6	6
GB	3	6	6
IT	3	6	6
JP	3	4	4
KR	3	2	2
TW	3	2	2
US	3	7	7
BR	4	3	3
CA	4	6	6
CN	4	2	2
DE	4	3	3
FR	4	6	6
GB	4	7	7
IT	4	3	3
JP	4	2	2
KR	4	2	2
TW	4	2	2
US	4	6	6

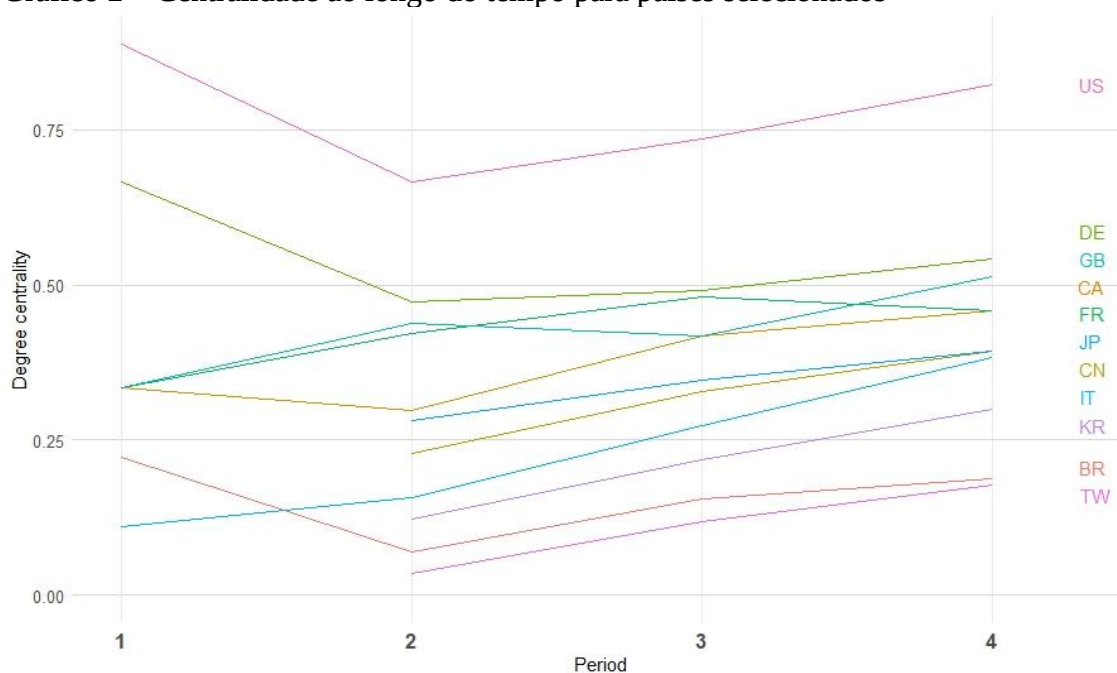
Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do USPTO.

Em relação ao estoque de conhecimento local, os resultados indicam que o Brasil tem acumulado

capacitações em algumas tecnologias verdes. Esse processo é evidenciado pelo número de códigos verdes da CPC nos quais o país apresenta VTR. Das oito categorias verdes da CPC, ao longo do período analisado, o Brasil manteve uma posição relativamente estável, com valores próximos aos observados nos países em processo de catch-up (Coreia do Sul, China e Taiwan). Embora, de maneira geral, o crescimento das patentes verdes brasileiras tenha sido inferior ao observado nos países em catching-up, como evidenciado no gráfico 1, o crescimento relativo foi significativo, dado que a proporção de patentes com códigos verdes é elevada em algumas áreas. Isso demonstra a existência de capacitações relevantes em áreas tecnológicas verdes no Brasil, especialmente naquelas relacionadas à produção ou processamento de bens e ao tratamento de água e gestão de resíduos. Entretanto, essas áreas não compõem as tecnologias que têm liderado a transição tecnológica, já que, conforme discutido na seção anterior, as patentes associadas a energia e transporte apresentam os maiores números. Essa evidência sugere a presença de nichos tecnológicos nos quais o Brasil poderia se inserir em nível global.

Ao observar a rede internacional, nota-se que o número de camadas que representam a estrutura centro-periferia aumentou de quatro no período 1 para sete no período 4, refletindo o crescimento no número de países participantes e os distintos padrões de interação entre eles. O Brasil tem ocupado uma posição intermediária ao longo do tempo: não está no centro, onde ocorrem os principais fluxos de conhecimento, mas também não está na periferia. A posição brasileira é semelhante à posição dos países em catching-up, embora significativamente distante da maioria dos países do G7, que, em geral, apresentam posições centrais.

Gráfico 2 – Centralidade ao longo do tempo para países selecionados



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do USPTO.

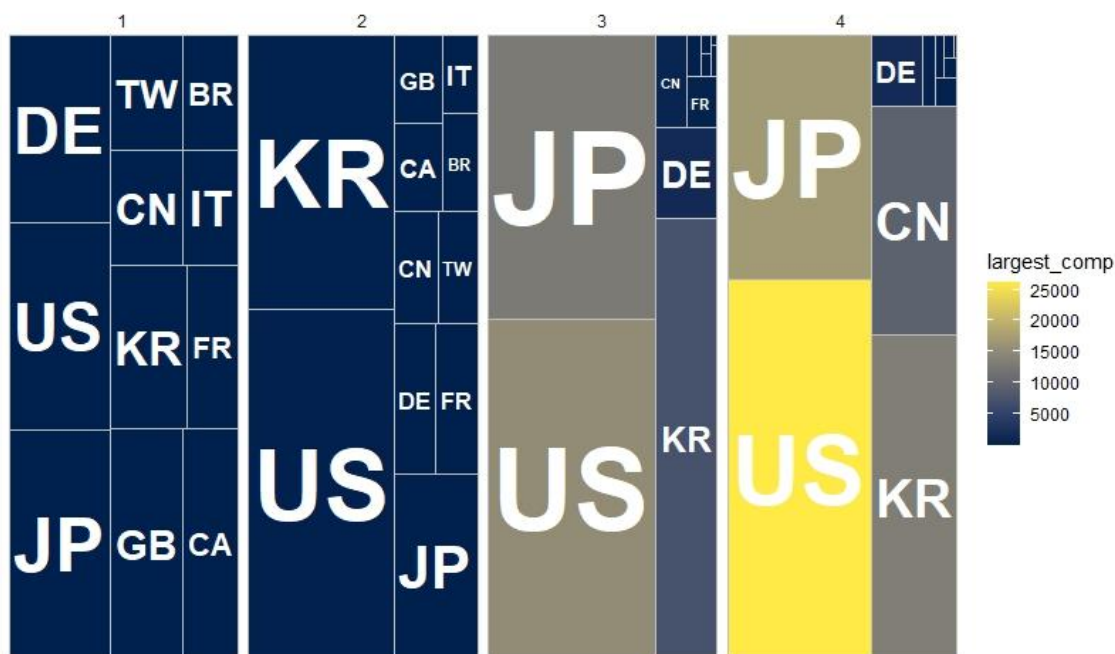
O gráfico 2 mostra os valores para a centralidade. A análise do índice de centralidade revela que todos os países aumentaram sua centralidade entre os períodos 2 e 4, embora o crescimento da França e da Grã-Bretanha tenha sido menos expressivo. Apesar desse aumento, o Brasil juntamente com Taiwan ocupam as últimas posições no ranking. A centralidade brasileira permanece consideravelmente inferior à dos demais países, incluindo os retardatários bem-sucedidos, como China e Coreia do Sul, o que indica uma limitada capacidade de absorção. Durante o período analisado, o Brasil não conseguiu se aproximar de outros países, mas, ao contrário, distanciou-se ainda mais de economias como Coreia do Sul, Itália, Japão e China, enquanto Taiwan se aproximou da posição brasileira. Isso sugere que o crescimento da capacidade de absorção brasileira não tem acompanhado o ritmo observado nos demais países.

A combinação dos resultados de coreness e centralidade mostra que o Brasil, assim como os

outros países em catching-up, tem ampliado sua capacidade de absorção, ainda que em ritmos distintos. Contudo, esses países ainda não ocupam o centro das redes internacionais, o que provavelmente reflete o fato de que, embora participem das redes, não apresentam níveis de conexão comparáveis aos dos países do G7. Essa limitada capacidade de inserção de países em desenvolvimento nas redes internacionais de tecnologias verdes também foi destacada por Corrocher e Mancusi (2021).

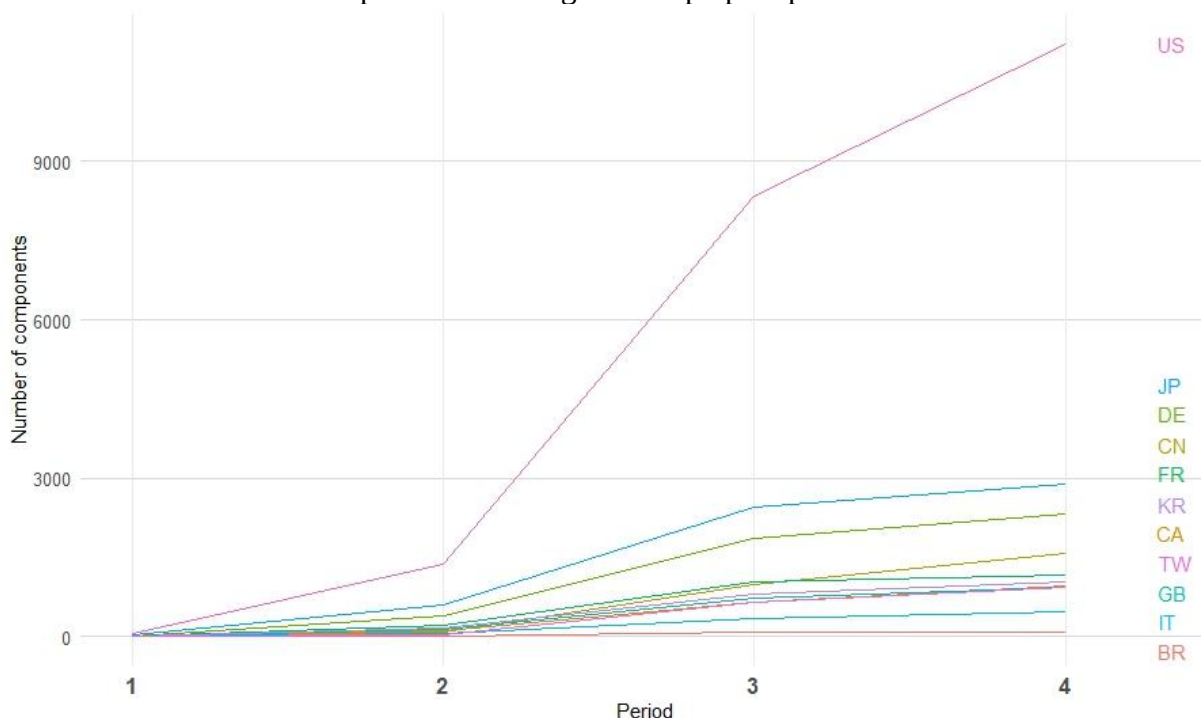
No que se refere às redes intranacionais, é possível observar aspectos relativos à extensão e conectividade das redes de inovação verde.

Gráfico 3 – Tamanho do maior componente ao longo do tempo para países selecionados



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do USPTO.

Gráfico 4 – Número de componentes ao longo do tempo para países selecionados



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do USPTO.

O gráfico 3 ilustra a facilidade com que o conhecimento é difundido com base nas conexões

entre inventores. Enquanto outros países ampliaram o tamanho do maior componente de suas redes, tornando-as mais conectadas e facilitando a difusão de conhecimento, o Brasil seguiu uma trajetória oposta. Comparando os períodos analisados, percebe-se que, no período 1, o Brasil estava mais próximo do padrão global do que no período 4, no qual os países asiáticos, além dos Estados Unidos, se destacaram com os maiores componentes. Isso sugere uma limitação na transmissão de conhecimento no Brasil, dado que o maior componente da rede é relativamente pequeno.

A análise da extensão das redes locais de colaboração também pode ser feita pelo número de componentes, como mostrado no gráfico 4. O Brasil apresenta o menor número de componentes entre os países analisados, sugerindo uma rede coesa e não fragmentada. Esse padrão difere de países como Estados Unidos, Japão e Alemanha, que apresentam vários componentes. Além disso, países retardatários bem-sucedidos, como China e Coreia do Sul, também apresentam um número elevado de componentes e uma trajetória crescente, enquanto o Brasil mantém uma trajetória praticamente constante ao longo do tempo.

Ao analisar os dois índices associados às redes locais de colaboração, percebe-se que o Brasil não acompanha o ritmo de estruturação de redes internas de colaboração observado em outros países. A literatura aponta que grandes e poucos componentes indicam uma estrutura coesa, em que há facilidade na difusão do conhecimento e grande conectividade. Inicialmente, uma estrutura coesa pode contribuir para a produtividade inventiva e aprendizagem, pois os fluxos de informação são facilitados e a capacidade de comunicação é alta. Depois de algum tempo, se novos componentes não forem adicionados à estrutura, há um risco de estagnação, pois o acesso a informações não redundantes é limitado. Portanto, momentos de maior coesão devem ser alternados com momentos de baixa coesão. Ademais, uma estrutura coesa deve estar alinhada com o acesso ao conhecimento externo para evitar o lock-in (BATHELT; MALMBERG; MASKELL, 2004).

No caso brasileiro, a coesão apresentada pelo pequeno número de componentes parece estar mais associada a redes com poucos componentes do que a um fluxo intenso, o que pode prejudicar o contínuo processo de aprendizado e acumulação de novas capacitações. Essa configuração interna pode também dificultar a inserção brasileira nas redes internacionais no longo prazo, uma vez que as condições internas necessárias para o desenvolvimento da capacidade de absorção parecem insuficientemente desenvolvidas.

5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo discutir a posição tecnológica do Brasil no contexto da transição verde, com foco em seu estoque de conhecimento, capacidade de absorção, potencial de acesso ao conhecimento gerado internacionalmente e extensão e conectividade das redes locais de colaboração orientadas às tecnologias verdes. Para isso, foram empregados dados de patentes e índices de rede, comparando o desempenho brasileiro com o de países selecionados. Essa análise é motivada, por um lado, pela indagação realizada por alguns autores de que a transição verde poderia abrir uma janela de oportunidade para catch-up de países em desenvolvimento, incluindo o Brasil (LEMA; PEREZ, 2024); e, por outro, pela evidência empírica que enfatiza a complexidade das tecnologias verdes, que aparentam requerer intensas interações que ocorrem em diferentes escalas espaciais para a sua geração (BARBIERI; MARZUCCHI; RIZZO, 2020; ; BINZ; TRUFFER, 2017; DAMIOLI; BIANCHINI; GHISSETTI, 2024)

Em termos de estoque de conhecimento, o Brasil tem acumulado de forma crescente capacitações em algumas tecnologias verdes, principalmente aquelas relacionadas à produção ou processamento de bens e ao tratamento de águas residuais e gestão de resíduos. Isso pode indicar nichos para a inserção global brasileira, uma vez que essas áreas tecnológicas não estão entre as principais da transição verde, apresentando números menores de patentes quando comparadas às tecnologias de energia e transporte.

Quanto à capacidade de absorção e à habilidade de acessar conhecimento gerado externamente, os resultados sugerem que, embora o Brasil tenha aumentado a sua capacidade de absorção ao longo do tempo, o país ainda ocupa uma posição intermediária na estrutura da rede internacional. Embora os inventores brasileiros tenham produzido consistentemente novas patentes em tecnologias verdes desde

os anos 2000, o país ainda apresenta uma capacidade de absorção limitada nessa área, o que é evidenciado pela sua centralidade. Esse aspecto é condicionado por redes locais de colaboração pouco densas, compostas por poucos e pequenos grupos, o que resulta em uma elevada coesão. Essa alta coesão não foi observada na mesma proporção nos demais países investigados. Esse resultado, aliado à fraca posição nas redes internacionais, pode indicar um risco de lock-in, dificultando a possibilidade de catch-up.

Além da posição em geral distante em comparação a outros países, o Brasil também se destaca pela evolução temporal. O país parece seguir um ritmo mais lento em relação aos demais, tanto os do G7 quanto os países em catching-up. Embora a transição verde possa abrir janelas de oportunidade, o hiato entre o Brasil e os demais países nessas tecnologias parece estar aumentando. Esse aspecto pode dificultar potenciais processos de catching-up, uma vez que os arranjos institucionais e de aprendizado associados a um bom desempenho nessas tecnologias não parecem estar adequadamente desenvolvidos no país.

Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, E. National systems of innovation and non-OECD countries: notes about a rudimentary and tentative. **Brazilian Journal of Political Economy**, vol. 19, no. 4, 1999. .
- ALTENBURG, T.; CORROCHER, N.; MALERBA, F. China's leapfrogging in electromobility. A story of green transformation driving catch-up and competitive advantage. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 183, p. 121914, Oct. 2022. DOI 10.1016/j.techfore.2022.121914. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004016252200436X>.
- ALTENBURG, T.; RODRIK, D. Green Industrial Policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. In: ALTENBURG, T.; ASSMANN, C. (eds.). **Green Industrial Policy: Concept, Policies, Country Experiences**. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), 2017.
- ALVAREZ-HAMELIN, J. I.; DALL'ASTA, L.; BARRAT, A.; VESPIGNANI, A. K-core decomposition of internet graphs: Hierarchies, self-similarity and measurement biases. **Networks and Heterogeneous Media**, vol. 3, no. 2, 2008. <https://doi.org/10.3934/nhm.2008.3.371>.
- AROCENA, R.; SUTZ, J. Weak knowledge demand in the South: Learning divides and innovation policies. **Science and Public Policy**, vol. 37, no. 8, 2010. <https://doi.org/10.3152/030234210X12767691861137>.
- BARBIERI, N.; MARZUCCHI, A.; RIZZO, U. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones? **Research Policy**, vol. 49, no. 2, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103901>.
- BATHELT, H.; MALMBERG, A.; MASKELL, P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. **Progress in Human Geography**, vol. 28, no. 1, 2004. <https://doi.org/10.1191/0309132504ph469oa>.
- BIANCHI, C.; GALASO, P.; PALOMEQUE, S. Absorptive capacities and external openness in underdeveloped innovation systems: a patent network analysis for Latin American countries 1970–2017. **Cambridge Journal of Economics**, 18 Sep. 2023. DOI 10.1093/cje/bead034. Available at: <https://academic.oup.com/cje/advance-article/doi/10.1093/cje/bead034/7276319>.
- BINZ, C.; TRUFFER, B. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. **Research Policy**, vol. 46, no. 7, p. 1284–1298, Sep. 2017. DOI 10.1016/j.respol.2017.05.012. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733317300951>.
- BRITTO, J. N. de P.; RIBEIRO, L. C.; ARAÚJO, L. T.; ALBUQUERQUE, E. da M. e. Patent citations, knowledge flows, and catching-up: Evidences of different national experiences for the period 1982–2006. **Science and Public Policy**, vol. 47, no. 6, 2021. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa041>.
- CAINELLI, G.; DE MARCHI, V.; GRANDINETTI, R. Does the development of environmental innovation require different resources? Evidence from Spanish manufacturing firms. **Journal of Cleaner Production**, vol. 94, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.008>.
- CARAVELLA, S.; COSTANTINI, V.; CRESPI, F. Mission-Oriented Policies and Technological

Sovereignty: The Case of Climate Mitigation Technologies. **Energies**, vol. 14, no. 20, p. 6854, 19 Oct. 2021. DOI 10.3390/en14206854. Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/20/6854>.

CECERE, G.; CORROCHER, N.; GOSSART, C.; OZMAN, M. Technological pervasiveness and variety of innovators in Green ICT: A patent-based analysis. **Research Policy**, vol. 43, no. 10, p. 1827–1839, Dec. 2014. DOI 10.1016/j.respol.2014.06.004. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733314001085>.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R & D. **The Economic Journal**, v. 99, n. 397, p. 569–596, 1989.

CORROCHER, N.; GRABNER, S. M.; MORRISON, A. Green technological diversification: The role of international linkages in leaders, followers and catching-up countries. **Research Policy**, vol. 53, no. 4, p. 104972, May 2024. DOI 10.1016/j.respol.2024.104972. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733324000210>.

CORROCHER, N.; MALERBA, F.; MORRISON, A. Technological regimes, patent growth, and catching-up in green technologies. **Industrial and Corporate Change**, vol. 30, no. 4, p. 1084–1107, 25 Nov. 2021. DOI 10.1093/icc/dtab025. Available at: <https://academic.oup.com/icc/article/30/4/1084/6273103>.

CORROCHER, N.; MANCUSI, M. L. International collaborations in green energy technologies: What is the role of distance in environmental policy stringency? **Energy Policy**, vol. 156, p. 112470, Sep. 2021. DOI 10.1016/j.enpol.2021.112470. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421521003402>.

DAMIOLI, G.; BIANCHINI, S.; GHISSETTI, C. The emergence of a ‘twin transition’ scientific knowledge base in the European regions. **Regional Studies**, , p. 1–17, 12 Jun. 2024. DOI 10.1080/00343404.2024.2355998. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00343404.2024.2355998>.

DE MARCHI, V. Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. **Research Policy**, vol. 41, no. 3, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.10.002>.

DE MELO, C. A.; DA SILVA, M. P.; DA SILVA BENEDITO, R. Renewable energy technologies: patent counts and considerations for energy and climate policy in Brazil. **Climate and Development**, vol. 13, no. 7, p. 630–643, 9 Aug. 2021. DOI 10.1080/17565529.2020.1848778. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17565529.2020.1848778>.

DE PAULO, A. F.; PORTO, G. S. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies. **Journal of Cleaner Production**, vol. 204, p. 310–320, Dec. 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.344. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618327057>.

DECHEZLEPRÊTRE, A.; MARTIN, R.; MOHNEN, M.; DODA, B.; EIS, J.; FISCHER, C.; GOESCHL, T.; HEMOUS, D.; MCCORMICK, C.; POPP, D.; SMULDERS, S.; WÖLFING, N. Knowledge spillovers from clean and dirty technologies. **Centre for Climate Change Economics and Policy**, 2017. .

DEL RÍO GONZÁLEZ, P. The empirical analysis of the determinants for environmental technological change: A research agenda. **Ecological Economics**, vol. 68, no. 3, p. 861–878, Jan. 2009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2008.07.004. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800908003030>.

FLEMING, L.; KING, C.; JUDA, A. I. Small Worlds and Regional Innovation. **Organization Science**, vol. 18, no. 6, p. 938–954, Dec. 2007. DOI 10.1287/orsc.1070.0289. Available at: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/orsc.1070.0289>.

FLEMING, L.; SORENSON, O. Technology as a complex adaptive system: Evidence from patent data. **Research Policy**, vol. 30, no. 7, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00135-9).

FRANÇOSO, M. S.; HIRATUKA, C. Rio de Janeiro’s insertion in the offshore oil knowledge network. **Revista Brasileira de Inovação**, vol. 19, 2020. <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658380>.

FRANÇOSO, M. S.; DE LIMA AVANCI, V.; MAZONI, A. F. Green technologies in the knowledge space: Insertion and the moderating role of industry knowledge bases. **Journal of Evolutionary Economics**, 28 Aug. 2024. DOI 10.1007/s00191-024-00871-9. Available at:

<https://link.springer.com/10.1007/s00191-024-00871-9>.

FU, X.; PIETROBELLI, C.; SOETE, L. The Role of Foreign Technology and Indigenous Innovation in the Emerging Economies: Technological Change and Catching-up. **World Development**, vol. 39, no. 7, p. 1204–1212, Jul. 2011. DOI 10.1016/j.worlddev.2010.05.009. Available at:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X11000647>.

GARCIA, R. de C.; SERRA, M. de A.; MASCARINI, S.; BASTOS, L. da S.; MACEDO, R. Revisitando os Sistemas Regionais de Inovação: teoria, prática, políticas e agenda para o Brasil. **Nova Economia**, vol. 32, no. 3, p. 617–645, Sep. 2022. DOI 10.1590/0103-6351/6932. Available at:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512022000300617&tlng=pt.

HASAN, I.; TUCCI, C. L. The innovation–economic growth nexus: Global evidence. **Research Policy**, vol. 39, no. 10, p. 1264–1276, Dec. 2010. DOI 10.1016/j.respol.2010.07.005. Available at:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733310001605>.

HASCIC, I.; WATSON, F.; JOHNSTONE, N.; KAMINKER, C. **Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results**. [S. l.: s. n.], 2010. <https://doi.org/10.1787/5km33bnggcd0-en>.

HIDALGO, C. A.; WINGER, B.; BARABÁSI, A. L.; HAUSMANN, R. The product space conditions the development of nations. **Science**, vol. 317, no. 5837, 2007.

<https://doi.org/10.1126/science.1144581>.

JACKSON, M. O. **Social and Economic Networks**. [S. l.: s. n.], 2010.

<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199591756.003.0019>.

KEMP, R. Eco-innovation: Definition, measurement and open research issues. **Economia Politica**, vol. 27, no. 3, 2010. .

LEE, K. **China's Technological Leapfrogging and Economic Catch-up**. [S. l.]: Oxford University Press, 2021. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192847560.001.0001>.

LEE, K.; LEE, J.; LEE, J. Variety of national innovation systems (NIS) and alternative pathways to growth beyond the middle-income stage: Balanced, imbalanced, catching-up, and trapped NIS. **World Development**, vol. 144, p. 105472, Aug. 2021. DOI 10.1016/j.worlddev.2021.105472. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305750X2100084X>.

LEE, K.; LIM, C.; SONG, W. Emerging digital technology as a window of opportunity and technological leapfrogging: catch-up in digital TV by the Korean firms. **International Journal of Technology Management**, vol. 29, no. 1/2, p. 40, 2005. DOI 10.1504/IJTM.2005.006004. Available at: <http://www.inderscience.com/link.php?id=6004>.

LEE, K.; MALERBA, F. Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems. **Research Policy**, vol. 46, no. 2, p. 338–351, Mar. 2017. DOI 10.1016/j.respol.2016.09.006. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733316301408>.

LEE, K.; MALERBA, F. Economic Catch-up by Latecomers as an Evolutionary Process. **Modern Evolutionary Economics: An Overview**. [S. l.: s. n.], 2018. <https://doi.org/10.1017/9781108661928.006>.

LEMA, R.; FU, X.; RABELLOTTI, R. Green windows of opportunity: Latecomer development in the age of transformation toward sustainability. **Industrial and Corporate Change**, vol. 29, no. 5, 2020. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa044>.

LEMA, R.; PEREZ, C. **The green transformation as a new direction for techno_economic development**, n. #2024-001. Maastricht: [s. n.], 2024.

LEMA, R.; RABELLOTTI, R. **Green Windows of Opportunity in the Global South**. UNCTAD United Nations Conference on Trade and Development. [S. l.: s. n.], 2023.

LUNDVALL, B.-Å. **National systems of innovation towards a theory of innovation and interactive learning. Towards a theory of innovation and interactive learning** . [S. l.: s. n.], 1992.

MALERBA, F.; NELSON, R. Learning and catching up in different sectoral systems: evidence from six industries. **Industrial and Corporate Change**, vol. 20, no. 6, p. 1645–1675, 1 Dec. 2011. DOI 10.1093/icc/dtr062. Available at: <https://academic.oup.com/icc/article-lookup/doi/10.1093/icc/dtr062>.

MALHOTRA, A.; SCHMIDT, T. S.; HUENTELER, J. The role of inter-sectoral learning in knowledge development and diffusion: Case studies on three clean energy technologies.

Technological Forecasting and Social Change, vol. 146, p. 464–487, Sep. 2019. DOI 10.1016/j.techfore.2019.04.018. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162518309788>.

MAZAHERI, M.; BONNIN ROCA, J.; MARKUS, A.; TUR, E. M.; WALRAVE, B. Maturity assessment of green patent clusters: Methodological implications. **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 209, p. 123813, Dec. 2024. DOI 10.1016/j.techfore.2024.123813. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162524006115>.

MONTENEGRO, R. L. G.; RIBEIRO, L. C.; BRITTO, G. The effects of environmental technologies: Evidences of different national innovation systems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 284, p. 124742, Feb. 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.124742. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620347867>.

MONTRESOR, S.; QUATRARO, F. Green technologies and Smart Specialisation Strategies: a European patent-based analysis of the intertwining of technological relatedness and key enabling technologies. **Regional Studies**, vol. 54, no. 10, 2020. <https://doi.org/10.1080/00343404.2019.1648784>.

PEREZ, C.; SOETE, L. Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R. R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (eds.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988. p. 458–479.

RAPINI, M. S.; DA MOTTA E ALBERQUERQUE, E.; CHAVE, C. V.; SILVA, L. A.; DE SOUZA, S. G. A.; RIGHI, H. M.; DA CRUZ, W. M. S. University-industry interactions in an immature system of innovation: Evidence from Minas Gerais, Brazil. **Science and Public Policy**, vol. 36, no. 5, 2009. <https://doi.org/10.3152/030234209X442016>.

ROMER, P. M. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, vol. 98, no. 5, 1990. <https://doi.org/10.3386/w3210>.

SCHAEFER, K. J.; LIEFNER, I. Offshore versus domestic: Can EM MNCs reach higher R&D quality abroad? **Scientometrics**, vol. 113, no. 3, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2533-5>.

STEEN, M.; MÄKITIE, T.; HANSON, J.; NORMANN, H. E. Developing the industrial capacity for energy transitions: Resource formation for offshore wind in Europe. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, vol. 53, p. 100925, Dec. 2024. DOI 10.1016/j.eist.2024.100925. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210422424001151>.

UNITED NATIONS (UNCTAD). **Technology and Innovation Report 2023 – opening green windows. Technological opportunities for a low-carbon world**. New York: [s. n.], 2023. Available at: unctad.org/system/files/official-document/tir2023_en.pdf.

VERMEULEN, B.; PYKA, A. The Twin Digital and Green Transition: Paradigm Shift or Tech Fix? **Journal of Innovation Economics & Management**, vol. N° 45, no. 3, p. 1–29, 4 Oct. 2024. DOI 10.3917/jie.045.0001. Available at: https://shs.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2024-3-page-1?site_lang=fr.

VERSPAGEN, B. **Innovation and Economic Growth**. [S. l.]: Oxford University Press, 2006. DOI 10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0018. Available at: <https://academic.oup.com/edited-volume/38667/chapter/335807350>.