

Densidade, complexidade tecnológica e conexão da tecnologia:

Ascensão e queda das vantagens tecnológicas no Brasil

Mabel Diz Marques¹; Henrique Tomé da Costa Mata²; Suelene Mascarini³

Resumo: Este trabalho teve como objetivo identificar os determinantes das vantagens tecnológicas reveladas no Brasil entre 2000 e 2011. Para isso, foram mensuradas as especializações tecnológicas de cada mesorregião no Brasil e, na sequência, o efeito da densidade tecnológica, complexidade do conhecimento tecnológico e conexão externa da tecnologia nesse processo. As patentes são utilizadas como proxy da capacidade tecnológica por estas serem capazes de captar esforços em desenvolvimento tecnológico regional. Para análise empírica, usamos o modelo Probit de dados em painel com efeito aleatório. Os resultados evidenciaram que a densidade tecnológica é decisiva no desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas, especialmente nas macrorregiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste no Brasil. Adicionalmente, a expansão da sofisticação da tecnologia tende a atrair novas especializações tecnológicas regionais ($RTA_{ijt} > 1$), mais precisamente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Por sua vez, a conexão externa da tecnologia afeta de forma distinta o território brasileiro, no que tange o fomento de novas vantagens tecnológicas reveladas.

Palavras-chave: Especialização tecnológica. Vantagem tecnológica revelada. Complexidade tecnológica. Densidade tecnológica. Conexão externa da tecnologia.

Abstract: The objective of this work was to identify the determinants of Revealed technological advantages in Brazil between 2000 and 2011. For this purpose, the technological specializations of each mesoregion in Brazil were measured and, subsequently, the effect of relatedness density, knowledge complexity of technologies and technological extra-local connection in this process. The patents are used a proxy for technological capacity by these are able to capture efforts in region technological development. For empirical analysis, we used the Probit model of panel data with random effect. The results showed that the relatedness density is decisive in the development of new technological advantages, mainly in the mesoregions located in the North, Northeast and Center-West regions of Brazil. In addition, the expansion of technology sophistication tends to attract new regional technological specializations ($RTA_{ijt} > 1$), more precisely in the South and Southeast in Brazil. In turn, the technological extra-local connection affects the Brazilian territory in different ways, in terms of fostering new revealed technological advantages.

Keywords: Technological specialization. Revealed technological advantage. Knowledge complexity. Relatedness density. Technological extra-local connection.

Classificação JEL: O30, O33, R11, D83.

¹ Doutoranda em Economia pelo Programa de Pós-Graduação em Economia na Universidade Federal da Bahia (PPGE/UFBA). E-mail: mabeldizmaques@gmail.com

² Orientador e Professor Associado na Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia. E-mail: hnrmata@ufba.br

³ Coorientadora. Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: smascarini@gmail.com

Introdução

Desde a década de 1990, uma extensa literatura sobre a economia da inovação tem investigado o processo de especialização tecnológica dos países (Archibugi e Pianta, 1992; Petralia; Balland; Morrison, 2017; Picci e Savorelli, 2013), regiões (Boschma; Balland e Kogler, 2014; Montresor e Quatraro, 2017) e empresas (Patel e Pavitt, 1991) de economias desenvolvidas, bem como das economias em desenvolvimento (Albuquerque et al., 2002; Gonçalves; Matos; Araújo, 2018; Ruiz, 2013).

Entre os estudos que investigam os determinantes e surgimento de novas especializações tecnológicas regionais destaque é dado a densidade tecnológica (Balland et al., 2018), conexão externa da tecnologia e trajetória tecnológica (Dosi, 1993; Malerba; Osenigo, 1996; Patel; Pavitt, 1997). Além disso, existe um crescente entendimento e reconhecimento de que as regiões que inovam em tecnologias mais complexas, ou seja, que possuem bases tecnológicas mais diversificadas e menos ubíquas, podem desenvolver novas vantagens tecnológicas reveladas e captar uma parcela superior do valor agregado da economia, por contraste, as economias que se especializam na produção de bens e serviços de menor complexidade estão sujeitas a absorver parcelas mais restritas do valor agregado (Boschma et al., 2014; Petralia et al., 2017). Assim, é reconhecido que o avanço do desenvolvimento econômico está atrelado ao desenvolvimento tecnológico (Petralia et al., 2017).

Em razão da relevância do desenvolvimento tecnológico para o progresso econômico o presente estudo se debruça sobre a questão tecnológica brasileira. Nesses termos, partimos de dois problemas: (i) as mesorregiões tendem a desenvolver vantagem tecnológica revelada preferencialmente em domínios tecnológicos próximos? (ii) a complexidade tecnológica e conexão externa das tecnologias tende a atrair novas especializações tecnológicas no território brasileiro? Portanto, o objetivo desse estudo é investigar a probabilidade de desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas reveladas no Brasil, a partir da influência da densidade tecnológica, complexidade do conhecimento tecnológico e conexão externa da tecnologia.

Diversos estudos empíricos voltados para o caso de países desenvolvidos foram elaborados (Balland et al., 2018; Boschma et al., 2014; Petralia et al., 2017). Entretanto, para o caso brasileiro os estudos ainda são incipientes, sobretudo, na investigação da complexidade tecnológica esbarando na ausência de dados (Gonçalves; Matos; Araújo, 2018).

Deste modo, ao seguir a metodologia proposta por Petralia et al. (2017), Boschma et al. (2014) e Balland et al. (2018), contribuímos com a literatura por quatro principais aspectos: (i) fornecemos evidências sobre os fatores que influenciam o surgimento de novas tecnologias de um país em desenvolvimento (no caso, o Brasil); (ii) ampliamos o olhar sobre o território ao descer na escala de análise desde a macrorregião – unidade territorial largamente empregada nos estudos regionais brasileiros – em direção as mesorregiões que até, então, são pouco estudadas, permitindo, deste modo, a orientação mais precisa para formuladores de políticas públicas regionais; (iii) buscamos identificar se a expansão (ou restrição) da capacidade tecnológica no Brasil é moldada pela base de conhecimento preexistente, tais como nos países desenvolvidos (Balland; Rigby, 2017); (iv) produzimos resultados comparáveis com países desenvolvidos sobre a influência de variáveis tecnológicas e regionais, especialmente da densidade tecnológica, complexidade do conhecimento tecnológico e conexão externa da tecnologia no território de um país em desenvolvimento.

Utilizamos dados de patente para 129 mesorregiões no Brasil por tipo de tecnologia desagregada ao nível 2 dígitos do código IPC (*International Patent Classification*), no período de 12 anos (2000-2011). Como estratégia empírica, seguimos as proposições de Greene (2001) e Train (2003) e aplicamos o modelo Probit de dados em painel com abordagem de efeitos

aleatório para avaliar a probabilidade de uma mesorregião se especializar em um novo campo tecnológico. A variável dependente é a especialização tecnológica, como medida utiliza-se o tradicional indicador *Revealed Technology Advantage* – RTA (Balassa, 1965) que possui características dicotômicas. As principais variáveis de interesse são: (i) densidade tecnológica; (ii) complexidade do conhecimento tecnológico (Balland et al., 2018; Hidalgo; Hausmann, 2009); e (iii) conexão externa da tecnologia. Em adição, incluímos 5 variáveis de controle (ao nível tecnologia e região).

Grosso modo, os resultados encontrados a partir das 2.763 observações, apontam que a densidade tecnológica – a proximidade entre as tecnologias preexistentes – tem efeito positivo e significativo na probabilidade de uma mesorregião brasileira se especializar em novos campos tecnológicos, tal como nos países desenvolvidos (Balland et al., 2018; Boschma et al., 2014). Adicionalmente, a complexidade tecnológica apresenta efeito positivo e significativo em todos os modelos estimados, mostrando ser um fator determinante em novas especializações tecnológicas, isto é, a existência de tecnologias mais sofisticadas nas mesorregiões favorece possíveis atualizações na estrutura tecnológica no Brasil. Além disso, a conexão externa da tecnologia tende a ampliar o desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas revelada, embora de forma distinta no território brasileiro.

Além dessa seção introdutória, o presente trabalho está organizado da seguinte forma. A próxima seção apresenta a revisão da literatura sobre a produção do conhecimento tecnológico, estrutura conceitual da especialização tecnológica e seus determinantes. Seguida da seção que descreve a base aos dados e metodologia utilizada. A seção posterior discute os principais resultados dos modelos estimados. Por fim, expõe as considerações finais.

1. Produção do conhecimento tecnológico, especialização tecnológica e path dependence

No pensamento econômico evolucionário, a produção do conhecimento tecnológico é frequentemente retratada como cumulativa e dependente do caminho (*path dependence*). Devido às incertezas, os agentes recorrem ao conhecimento adquirido do passado que fornece oportunidades e estabelece limites para ser apreendido (Balland, 2016; Boschma et al., 2014). Neste contexto, o *path dependence* é compreendido pelas múltiplas trajetórias que podem coexistir. Mudanças contínuas e adaptação das tecnologias não pressupõe a existência de um equilíbrio único (predefinido) ou estado de equilíbrio (Boschma; Martin, 2010). Inclusive, sistema verdadeiramente evolutivo e *path dependence* tipicamente distantes do “equilíbrio”, exibe uma ordem interna e o surgimento da estrutura de uma organização. Essa distinção é crucial em relação à sistemas aprisionados (fechado), pois um sistema auto organizado evolui de forma incremental enquanto permanece auto organizado (Martin; Sunley, 2006).

Envoltos na discussão sobre a emergência de novas tecnologias, os estudos de Rigby (2015), Petralia et al. (2017) e Balland et al. (2018) mostram que o desenvolvimento de novas tecnologias é um processo altamente cumulativo, dependente do caminho e não aprisionado a um ponto específico, pois a atualização tecnológica emerge de bases de conhecimento e padrões de especialização tecnológica preexistente.

Em nível de países, Malerba e Montobbio (2003) sugerem que a especialização tecnológica internacional é influenciada persistentemente pela trajetória transitoriais do conhecimento adquirido, concentração e cooperação tecnológica. Boschma et al. (2014) mostram que a densidade tecnológica influencia positivamente no desenvolvimento de novas especializações tecnológicas. Petralia et al. (2017), concluem que os países especializam em tecnologias

relacionadas a base de conhecimento comum da cesta de tecnologias que já produzem, em razão do compartilhamento de conhecimento científico, princípios técnicos e necessidades em geral.

Esse pensamento se manifesta não apenas no nível dos países, mas também no interior do território nacional. O surgimento de novas tecnologias exige a necessidade de bases de conhecimento e padrões de especialização preexistentes (Boschma et al., 2014) e a probabilidade de surgimento de novas indústrias está relacionada com a proximidade de atividades econômicas semelhantes na sua região (Essletzbichler, 2015; Rigby, 2015).

Ao nível da empresa, observa-se que as maiores empresas do mundo inovam no curto prazo em tecnologias correlatas com o seu portfólio de produtos, embora com o passar do tempo diversifiquem em campos tecnológicos distintos do seu núcleo produtivo (Patel; Pavitt, 1997).

Nesse contexto, o processo de transição da especialização para a diversificação tecnológica é inerente às fases do desenvolvimento tecnológico. Pois, as regiões tendem a se especializar em poucas áreas técnicas, e ao atingir níveis mais altos de desenvolvimento tecnológico e uma base tecnológica mais consolidada, tendem a registrar uma expansão da diversidade de campos técnicos em que atua (Montresor; Quatraro, 2017; Urraca, 2000). Ademais, com o amadurecimento e/ou esgotamento das oportunidades técnicas é possível que haja um retorno em relação à concentração da especialização, iniciando um “novo ciclo” a partir das oportunidades tecnológicas geradas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias cada vez menos relacionadas com suas bases de conhecimento preexistente, tornando-a mais complexa, pois regiões com estruturas tecnológicas mais diversificadas e com tecnologias mais exclusivas tendem a produzir tecnologias mais sofisticadas (Petralia et al., 2017).

É importante ressaltar, que a especialização e diversificação tecnológica não devem ser consideradas concorrentes na estrutura tecnológica regional, sendo admissível a ocorrência desses processos em determinada localidade, pois regiões mais inventivas apresentam especialização em distintas tecnologias (Huallacháin; Lee, 2010).

Buscando intensificar a vantagem tecnológica regional, as conexões externas às regiões, ou mais ainda, a interconexão não local fornece acesso a ideias, conhecimento e tecnologias, que não são gerados dentro do contexto limitado da região (Bunnell; Coe, 2001). Pois, em grande medida as conexões locais não são suficientes para sustentar a inovação tecnológica, especialmente, porque os sistemas de inovação regionais estão longes de ser unidades autossustentáveis (Tödtling; Trippl, 2005).

Em relação à complexidade tecnológica e a probabilidade de uma região desenvolver uma vantagem comparativa em uma nova tecnologia, a literatura demonstra que essa relação é específica da região. Petralia et al. (2017), por exemplo, concluem que ao longo de 15 anos (1993-2007) 65 países (desenvolvidos e em desenvolvimento) seguiram padrões coerentes de especialização tecnológica, movendo para tecnologias mais complexas à medida que cresceram economicamente. Balland et al. (2018), por sua vez, ao investigar os países da União Europeia, demonstra que esse efeito é ambíguo, e o resultado pode indicar o “dilema da diversidade”, no qual o efeito da complexidade tecnológica é estimulado (efeito positivo na entrada), mas ao mesmo tempo é difícil de produzir (efeito negativo na entrada).

Além dos estudos direcionados aos países desenvolvidos, é oportuno apontar esforços da literatura da economia da inovação e da geografia econômica evolucionária para compreender os processos subjacentes à produção regional do conhecimento tecnológico, e mais especificamente o padrão da especialização tecnológica de economias em desenvolvimento, sobretudo, no Brasil.

Geralmente, estudos empíricos para os países em desenvolvimento apontam o direcionamento da especialização tecnológica em certa medida para caminhos distintos, especialmente após a década dos anos 1980. Os países latino-americanos por exemplo, exibiu uma especialização em classes tecnológicas de maior competitividade mundial durante as décadas de 1960 e 1970, já nas décadas posteriores esse padrão de especialização declinou. Os países do leste asiático, que em comparação aos países da América Latina apresentava menor especialização em classes tecnológicas de rápido crescimento até as décadas de 1960 e 1970, expandiram a especialização nas correspondentes classes nas décadas de 1980 e 1990 (Huang; Miozzo, 2004). E entre os anos 1985 a 2008, os países latino-americanos acumulou um padrão de especialização sobre tecnologias vinculadas à recursos naturais, enquanto os asiáticos relacionados ao paradigma eletrônico (Ruiz, 2013).

Petralia, Balland e Morrison (2017) apontam que a Argentina, Coréia e Alemanha, países que reconhecidamente apresentam estágios de desenvolvimento tecnológicos distintos, apresentam parcelas desiguais da produção tecnológica. Na Argentina, quase 80% da produção tecnológica está entre as 20% das tecnologias com menor complexidade tecnológica, ao passo que a Coréia e Alemanha concentram aproximadamente 45% de sua produção neste nível de tecnologia. É importante ressaltar, que essa distribuição desigual não é particular aos países com estágios de desenvolvimento econômico e tecnológicos distintos, mas é inerente a diversas regiões de um mesmo país, tal como ocorre nas cidades dos Estados Unidos (Balland e Rigby, 2017).

No Brasil, há esforços na literatura em buscar encontrar evidências empíricas da especialização tecnológica e seus determinantes no país. Ruiz (2008) ao investigar a direção da especialização tecnológica, conclui que o efeito da acumulação tecnológica nos países líderes se traduz na manutenção das competências desenvolvidas no passado, enquanto nos países seguidores, a trajetória tecnológica se revela como a dificuldade de entrar em novos campos técnicos. Gonçalves, Matos e Araújo (2018) utilizando pedidos de patentes no período de 2000 a 2011, inferem que o desenvolvimento tecnológico regional no Brasil é influenciado pela trajetória do caminho, embora esse efeito reduza com o tempo.

Diante do exposto, formulamos três hipóteses:

Hipótese 1: No Brasil, assim como nos países desenvolvidos as regiões possuem maior probabilidade em desenvolver vantagem comparativa tecnológica preferencialmente em tecnologias que possuem maior densidade tecnológica. Ou seja, a proximidade entre as tecnologias favorece o desenvolvimento de novas especializações tecnológicas regionais.

Hipótese 2: A complexidade tecnológica influencia positivamente na probabilidade de uma região desenvolver vantagem revelada em uma nova tecnologia, sobretudo, nas regiões mais dinâmicas economicamente, tais como o Sul e Sudeste do Brasil.

Hipótese 3: Regiões que possuem maior conexão externa da tecnologia, expressa pela coívenção das patentes no Brasil possuem uma maior probabilidade em desenvolver novas especializações tecnológicas com vantagem tecnológica revelada.

2. Metodologia

2.1 Base de dados e descrição das variáveis

A base de dados utilizada neste estudo foi construída a partir da combinação de diferentes fontes, tais como: (i) patentes do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI); (ii) emprego formal da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério da Economia; (iii) população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e (iv) Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes do IPEADATA, referentes aos anos 2000 a 2011.

O recorte territorial (desde as macrorregiões em direção às mesorregiões geográficas) deve-se ao fato da possibilidade em direcionar políticas de desenvolvimento regional no Brasil. Além disso, a utilização de informações em níveis mais desagregados poderia comprometer a construção das variáveis investigadas. Contudo, a unidade de análise adotada representa um avanço no sentido de explorar a dimensão temporal e regional da atividade tecnológica no Brasil.

Para medir a especialização tecnológica das mesorregiões no Brasil foram utilizados dados de pedidos patentes provenientes do INPI. As patentes são concebidas neste estudo como *proxy* da capacidade tecnológica. Uma patente representa uma tecnologia e estratégia de apropriação baseada em ativos imateriais (Musskopf e Luz, 2015). Cada patente tem atributos que pode pertencer a diferentes áreas tecnológicas. Essas áreas são representadas por códigos IPC (*International Patent Classification*).

As patentes ainda que apresente limitações, permitem identificar informações do inventor e conhecimento tecnológico. Essa medida fornece informações adequadas as necessidades de estudos de caráter regional e tecnológico (Boschma et al., 2014; Jaffe; Trajtenberg; Henderson, 1993; Petralia et al., 2017).

O critério para definir a localização no território brasileiro foi que os pedidos de patentes possuísse inventor(es) com residência no Brasil. Nos casos em que há mais de um inventor, seguindo Jaffe et al (1993), a patente é fracionada com base no número de inventor. Por exemplo, se uma patente tiver dois inventores é atribuída 50% da patente para cada mesorregião do inventor. Por esse motivo, o somatório de inventores na mesorregião pode ser um número não inteiro. Além disso, os códigos de classificação das patentes são ajustados à seção de patentes ao nível de 2 dígitos da IPC, e a frequência do código IPC é a informação usada, com distribuição igualmente atribuída a patente a que pertence.

A variável dependente mede a entrada de novas especializações tecnológicas nas mesorregiões no Brasil. Para tal, utilizamos o tradicional indicador Balassa (Balassa, 1965) de Vantagem Tecnológica Revelada (*revealed technology advantage* - RTA), tal como em Boschma et al. (2014), Petralia et al. (2017) e Balland et al. (2019).

$$RTA_{rjt} = \frac{Patente_{rjt} / \sum_j Patente_{rjt}}{\sum_r Patente_{rjt} / \sum_r Patente_{rjt}} \quad (01)$$

$$S_{rjt} = I[RTA_{rjt} > 1] \quad (02)$$

Em que r é a mesorregião, j a seção tecnológica, t o período de tempo (2000-2011; agrupados em 4 intervalos de 3 anos cada) e I é o indicador da função.

A medida S_{rjt} assume características dicotômicas, e quando $S_{rjt}=1$ entende-se que trata de uma seção tecnológica j onde uma mesorregião r tem alta taxa de patenteamento quando comparado

a média nacional (especializado; $RTA_{rjt} > 1$), ou seja, possui vantagem tecnológica revelada regional; e 0 caso contrário.

Para investigar como a densidade tecnológica influencia a mudança da estrutura tecnológica no território brasileiro, construímos a variável no nível tecnologia-mesorregião que indica quão próxima uma tecnologia está no portfólio tecnológico existente de uma determinada mesorregião. Essa ideia é operacionalizada pelo índice de densidade tecnológica (Hidalgo et al., 2007 e Boschma et al., 2014). Formalmente, a medida consiste na padronização da frequência em que duas seções do código IPC aparecem juntas na mesma patente em um determinado período de tempo, ou seja,

$$Densidade_Tecnologica_{rjt} = \frac{\sum_i Ri_{jt} \cdot X_{rit}}{\sum_i Ri_{jt}} \quad (03)$$

Em que,

$$R_{ijt} = \frac{C_{ijt}}{\sqrt{S_{it} S_{jt}}} \quad (04)$$

$Densidade_Tecnologica_{rjt}$ é a densidade tecnológica da mesorregião r na tecnologia j no período t ; R_{ijt} é o grau de relação entre as tecnologias i e j ; C_{ijt} indica a coocorrências das tecnologias i e j ; S_i e S_j representam a soma da ocorrências da tecnologia i e j no período t ; X_{cit} assume valor 1 se a mesorregião r tem um $RTA_{rit} > 1$ na tecnologia i no tempo t , e 0 caso contrário.

O indicador da densidade tecnológica assume valores entre 0 e 1. Uma densidade no nível de tecnologia-mesorregião igual a 0 indica que não há tecnologias relacionadas à tecnologia i na mesorregião r , enquanto o valor igual a 1 indica que todas as tecnologias são relacionadas e pertencem ao portfólio tecnológico preexistente da mesorregião r . A distância é identificada em termos da proximidade dentro do espaço tecnológico que constitui uma representação da rede da produção da tecnologia (Petralia et al., 2017).

Para mensurar a complexidade do conhecimento tecnológico seguimos Hidalgo e Hausmann (2009) e Balland e Rigby (2017). A ideia principal de uma estrutura tecnológica complexa de uma mesorregião é que ela produz tecnologias em diversos domínios tecnológicos e ao mesmo tempo produz tecnologias que exige capacidades encontradas em poucas mesorregiões. Assim, a construção do indicador requer a combinação de informações sobre a distribuição da diversidade tecnológica e não-ubiquidade da tecnologia (Petralia et al., 2017).

Nesses termos, o ponto de partida é a construção da rede binária que conecta as mesorregiões a área do conhecimento tecnológico, descritos nos códigos IPC da patente, sendo representado por uma matriz adjacente binária (M). A matriz (M) tem dimensão $n=129$ mesorregiões por $k=8$ seções de patente, e assume valor igual a 1 se a mesorregião r é produtora significativa da tecnologia j , e 0 caso contrário. Consideramos uma mesorregião r produtora significativa na tecnologia j se ela exibe $RTA_{rjt} > 1$, tal como em Petralia et al. (2017).

Seguindo o cálculo do indicador da complexidade do conhecimento tecnológico, a linha da matriz (M) e sua transporta (M^T) são padronizadas. O produto da matriz (B) = ($M^T * M$) é uma matriz quadrada com dimensão igual ao número de seções da patente (8). O índice da complexidade do conhecimento tecnológico para cada uma dessas seções de patente é dado pelos elementos do segundo maior autovetor \vec{Q} da matriz (B). Esses elementos são padronizados, tais como em Balland et al. (2018).

$$Complexidade_Tecnologica_j = \frac{\bar{q} - \langle \bar{q} \rangle}{Desvio_Padr\tilde{a}o(Q)} \quad (05)$$

Vale ressaltar que o indicador da complexidade do conhecimento tecnol3gico 3 construido a partir do m3todo reflexivo e iterativo (Hidalgo e Hausmann, 2009). Em que, cada etapa adicional incorpora efeito *feedback* produzindo estimativas mais precisas do indicador (Petralia et al, 2017). As itera33es s3o interrompidas quando o *ranking* das mesorregi3es e tecnologias 3 estabilizada de uma etapa para outra, ou seja, nenhuma informa33o adicional pode ser extraida da estrutura mesorregi3o-tecnologia. M3tricas adicionais derivadas dessa formula33o matem3tica s3o descritas em Tacchella et al. (2012) e Hidalgo e Hausmann (2009).

Por fim, a conex3o externa da tecnologia identifica o desenvolvimento das capacidades tecnol3gicas realizadas em duas ou mais mesorregi3es. O fato da complementariedade do conhecimento tecnol3gico em distintas regi3es pode influenciar o desenvolvimento de uma vantagem comparativa em uma nova tecnologia, pois essas tecnologias podem emergir de diferentes regi3es altamente especializadas que compartilham o conhecimento comum. Dessa maneira, a medida da conex3o externa da tecnologia 3 descrita a partir do somat3rio de coinven33o da patente descrita pelos c3digos IPC entre duas ou mais mesorregi3es distintas.

2.2 Modelo emp3rico

Utilizamos o modelo Probit para dados em painel de efeito aleat3rio para avaliar a probabilidade de uma mesorregi3o se especializar em um novo campo tecnol3gico.

A equa33o b3sica do modelo estimado segue abaixo:

$$S_{rjt} (Entrar) = \theta_1 Densidade_tecnologica_{rjt-1} + \theta_2 Complexidade_tecnologica_{rjt-1} + \theta_3 Conex\tilde{a}o_tecnologicaExterna_{rjt-1} + \theta'_1 Tecnologia'_{jt-1} + \theta'_1 Mesorregiao'_{rt-1} + \varepsilon_{rjt} \quad (06)$$

Em que, $S_{rjt} (Entrar)$ 3 a vari3vel dependente dicot3mica (0 e 1) e representa a probabilidade de uma mesorregi3o desenvolver um novo RTA_{ij}>1 em uma determinada tecnologia.

As principais vari3veis de interesse s3o: (i) $Densidade_tecnologica_{rjt-1}$, que indica a proximidade do desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas ao conjunto de capacidades tecnol3gicas preexistente; (ii) $Complexidade_tecnologica_{rjt-1}$ como proxy de poss3veis atualiza33es da estrutura tecnol3gica iii) $Conex\tilde{a}o_tecnologicaExterna_{rjt-1}$ que expressa a capacidade das mesorregi3es em desenvolver tecnologias a partir da coinven33o tecnol3gica por duas ou mais mesorregi3es.

$Tecnologia'_{jt-1}$ 3 o vetor de vari3veis controle que sumariza as caracter3sticas da tecnologia.

Para tal, inclu3mos: (i) tamanho tecnol3gico (n3mero de dom3nios tecnol3gicos presentes em uma patente) e (ii) concentra33o da tecnologia que pode conduzir a diversidade relacionada da tecnologia (Boschma et al., 2014), construida a partir do 3ndice Herfindahl (HHI).

$Mesorregiao'_{rt-1}$ 3 o vetor de vari3veis controle que incluem caracter3sticas da mesorregi3o, tais como: (i) PIB per capita utilizado como proxy do crescimento econ3mico e expressa um importante fator no aumento da diversidade tecnol3gica (Petralia et al., 2017) e (ii) share na manufatura (participa33o do emprego industrial formal no emprego total da economia) que representa poss3veis efeitos favor3veis que o setor industrial pode exercer em termos da din3mica da diversidade tecnol3gica.

ε_{ijt} é o termo de erro composto do modelo (variação entre indivíduos e variação geral entre observações).

Para atenuar possíveis problemas de endogeneidade, todas as variáveis independentes são defasadas em um intervalo de tempo, tais como em Balland et al. (2018) e descritas por t-1. Esperamos que o coeficiente da variável densidade tecnológica (*Hipótese 1*), complexidade do conhecimento tecnológica (*Hipótese 2*) e conexão externa das tecnologias (*Hipótese 3*) sejam positivas e significativas no modelo estimado.

Após a combinação das informações em nível tecnologia-mesorregião, finalizamos com uma amostra de 2.763 observações⁴. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas e a matriz de correlação das variáveis investigadas.

Tabela 1 - Estatística descritiva e matriz de correlação das variáveis do modelo

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Min	Max
Especialização tecnológica	0.3335	0.4715	0	1
Densidade Tecnológica	0.0092	0.0324	0	0.4190
Complexidade do conhec. tecnológico	0.3527	0.9412	-3.3401	1,9766
ln(Conexão externa da tecnológica)	-12.2313	8.4412	-18.4206	3.8177
ln(Tamanho da tecnologia)	2.8972	1.7741	-1.6094	8.0103
Concentração da tecnologia	0.9414	0.1134	0.8067	1.0848
ln(PIB per capita)	2.2027	0.5977	0.7830	4.4782
Share manufatura	0.1856	0.1022	0.2000	0.4811

Matriz de correlação								
Especialização tecnológica	1.0000							
Densidade Tecnológica	0.1412	1.0000						
Complexidade do conhec. tecnológico	0.0922	0.1319	1.0000					
ln(Conexão externa da tecnológica)	0.1715	0.3677	0.1561	1.0000				
ln(Tamanho da tecnologia)	0.1731	-0.0007	-0.0004	0.2435	1.0000			
Concentração da tecnologia	0.0461	0.0075	0.0193	-0.1099	-0.0875	1.0000		
ln(PIB per capita)	0.0593	0.2761	0.1417	0.4199	0.0371	-0.4305	1.0000	
Share manufatura	0.0758	0.0472	0.0213	0.1873	-0.0000	-0.0004	0.2262	1.0000

Número de mesorregiões: 129

Número de tecnologias: 8

Cobertura: 2000-2011 (4 intervalos de 3 anos cada)

Nota: Especialização igual a 1 id, uma mesorregião ganha uma nova tecnologia com $RTA_{ijt} > 1$

Fonte: Elaboração própria com base no programa Stata 16.0

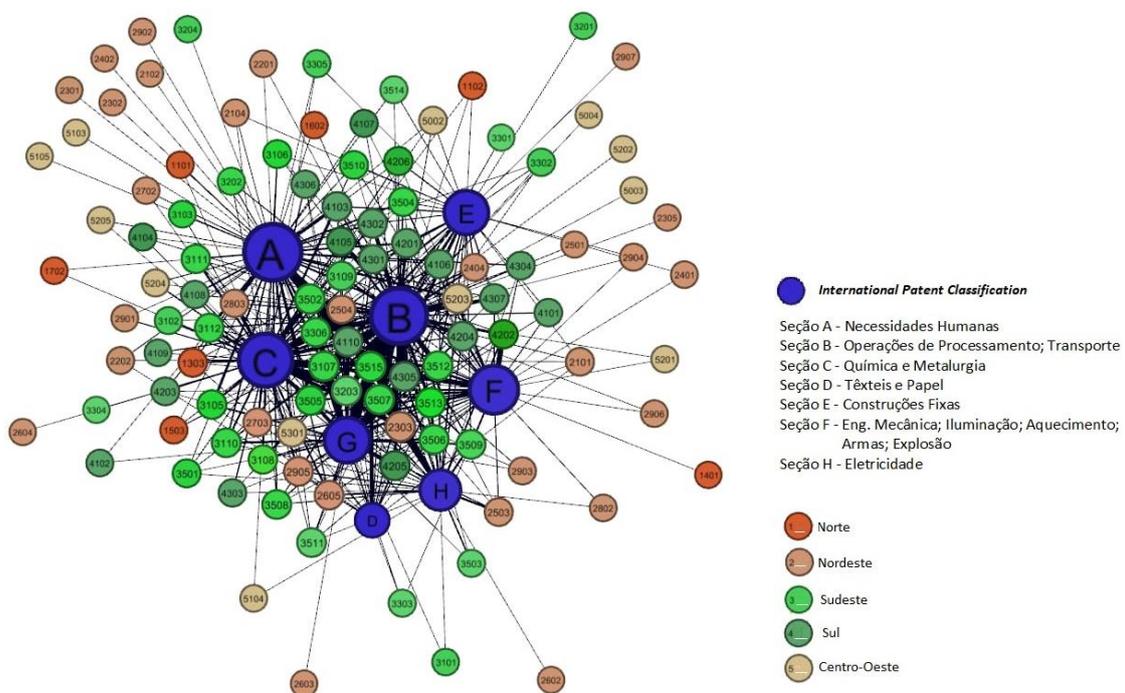
⁴ As variáveis independentes são defasadas no período de tempo em t-1, resultando uma regressão com 2.608 observações.

3. Resultados e discussões

O resumo da rede tecnologia– mesorregião no Brasil pode ser observada através da Figura 1. O que se pretende apresentar é a área do conhecimento tecnológico em que as mesorregiões no Brasil exibem vantagem tecnológica revelada no período de 2009 a 2011. Assim como em Balland e Rigby (2017) para uma melhor visualização da rede, a Figura 1 não expõe a estrutura da rede 2-mode completa, mas sim um resumo, por meio do algoritmo ForceAtlas2 com repulsão de grau⁵.

A rede é composta por 116 nós, sendo 108 mesorregiões e 8 áreas do conhecimento tecnológico (código IPC de 2 dígitos); 439 arestas (número de conexões entre os nós). O tamanho dos nós refletem o grau de conexões. 100% dos nós são conectados. As cores e rótulos refletem os códigos IPC e da mesorregião. No caso de redes bipartite (2mode), as conexões entre nós do mesmo modo, isto é, vínculos mesorregiões-mesorregiões ou tecnologia-tecnologia, não são consideradas (Balland; Rigby, 2017).

Figura 1 - Resumo da rede Tecnologia-Mesorregião no Brasil – 2mode (2009-2011)



Fonte: Elaboração própria a partir do software Gephi 0.9.2

As principais conexões são entre a tecnologia B (Operações de Processamento e Transporte) e as mesorregiões 3115 (Mesorregião Metropolitana de São Paulo) e 4305 (Metropolitana de Porto Alegre). Os códigos mais frequentes são B (Operações de Processamento e Transporte), C (Química e Metalurgia) e A (Necessidades Humanas). As mesorregiões localizadas nas macrorregiões Sudeste e Sul ocupam majoritariamente o centro do espaço do conhecimento tecnológico no Brasil. Ademais, as economias de aglomeração e urbanização parecem exercer papel relevante na produção ou, ao menos, concentração de conhecimento tecnológico, em que os vínculos entre os nós de tecnologia são particularmente densos e há forte possibilidade de

⁵ Para maiores detalhes do algoritmo ver Jacomy et al. (2014).

recombinação tecnológica, pois as competências existentes podem ser prontamente reimplantadas. Por outro lado, as mesorregiões localizadas nas macrorregiões do Norte, Nordeste e Centro-Oeste (com exceção de suas mesorregiões metropolitanas) são posicionadas à margem do espaço do conhecimento tecnológico, incorporando em grande medida poucas vantagens tecnológicas reveladas.

Embora a Figura 1 forneça informações sobre a estrutura da rede do conhecimento tecnologia-mesorregião no Brasil, sua representação visual é limitada pelo número de nós e os vínculos que podem ser identificados. Ademais, essas informações preliminares não permite diagnosticar os determinantes de novas especializações tecnológicas regionais, conforme destacado por Balland e Rigby (2017). A possível verificação é exposta a seguir.

A Tabela 2 apresenta os resultados das cinco especificações do modelo estimado. Inicialmente, os Modelos 1 ao 3 constam as regressões sem as variáveis de controle em nível tecnologia e mesorregião. Em seguida, estende-se a regressão com as variáveis de controle (Modelo 4), que busca captar o efeito da heterogeneidade das tecnologias e das mesorregiões que podem influenciar a mudança tecnológica expressa pelo desenvolvimento de novas especializações tecnológicas no Brasil. Por fim, o Modelo 5 apresenta a regressão com todas as variáveis de interesse incluindo as variáveis de controle.

Tabela 2 - Desenvolvimento de novas especializações tecnologias nas mesorregiões do Brasil (2000-2011)

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Variáveis	Base	Complexidade Tecnológica	Conexão Externa Tec.	Controle (Tec e Meso)	Completo
Densidade Tecnológica	6.981*** (1.780)	6.507*** (1.727)	4.661*** (1.618)		5.041*** (1.714)
Complexidade do conhec. tecnológico		0.104*** (0.033)	0.094*** (0.033)		0.098*** (0.033)
ln(Conexão externa da tecnológica)			0.017*** (0.004)		0.010** (0.005)
ln(Tamanho da tecnologia)				0.393*** (0.050)	0.361*** (0.050)
Concentração da tecnologia				1.439*** (0.299)	1.047*** (0.294)
ln(PIB per capita)				0.228*** (0.073)	0.034 (0.073)
Share manufatura				0.964** (0.387)	0.933** (0.375)
Constante	-0.604*** (0.041)	-0.602*** (0.040)	-0.352*** (0.075)	-5.278*** (0.550)	-4.162*** (0.568)
Observações	2,608	2,608	2,608	2,608	2,608
Número de IDMI	944	944	944	944	944
rho	0.349	0.341	0.311	0.329	0.290
sigma_u	0.732	0.719	0.672	0.700	0.639
chi2_c	102.7	97.31	77.56	89.08	66.48
ll_c	-1635	-1628	-1609	-1599	-1567

Em parênteses são os erros robustos

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fonte: Elaboração própria a partir do software Stata 16.0

Conforme exposto na Tabela 2, para todos os modelos estimados o coeficiente da densidade tecnológica tem efeito positivo e significativo, sugerindo que nas mesorregiões que possui tecnologias mais densas há maior probabilidade em desenvolver vantagem comparativa em uma

nova tecnologia ($RTA_{rjt} > 1$). Nesse sentido, as mesorregiões que exibem proximidade entre as tecnologias fomentam a inovação tecnológica regional. Esses achados confirmam a *Hipótese 1* levantada neste estudo, e está em linha com Balland (2016), Balland et al. (2018) e Rigby (2015), porém para países desenvolvidos.

Nossos resultados nos permite dizer que mesmo em países em desenvolvimento como o Brasil, em que as regiões tendem a apresentar pouca proximidade entre tecnologias, a densidade tecnológica se mostra um fator importante na geração de transbordamentos de conhecimento entre os diversos campos tecnológicos que serão traduzidos em capacidades tecnológicas, e que pode trazer vantagem comparativa às regiões. Portanto, as mesorregiões tendem a se especializar em tecnologias relacionadas a uma base de conhecimento comum da cesta de tecnologias que já produzem, em razão do compartilhamento de conhecimento científico, princípios técnicos e necessidades que são mais propensas a exibirem vantagens comparativas tecnológicas frente as que não fazem (Petralia et al., 2017).

Em todos os modelos estimados encontramos uma relação positiva e significativa entre a complexidade do conhecimento tecnológico e entrada de novas especializações tecnológicas no Brasil (Tabela 2). Grosso modo, esses resultados sugerem que as mesorregiões do Brasil com estruturas tecnológicas mais sofisticadas possuem uma maior probabilidade em desenvolver novas especializações tecnológicas com vantagem comparativa. Estas observações estão alinhadas com estudos de natureza semelhante identificadas, principalmente em países desenvolvidos, em que verificou efeito positivo e significativo da complexidade tecnológica com a entrada de novas especializações tecnológicas regionais (Balland et al, 2018). Ademais, a literatura indica que regiões que possui estruturas tecnológicas mais sofisticadas são capazes de diversificar seu portfólio tecnológico ao mesmo tempo que produzem tecnologias com baixa ubiquidade, pois apenas poucas regiões tem a capacidade tecnológica em desenvolver tecnologias mais sofisticadas.

A conexão externa das tecnologias também exibe coeficiente positivo e significativo na probabilidade de desenvolvimento de novas especializações tecnológicas no Brasil. Portanto, mesorregiões que experimentam um aumento da rede de co-invenções das patentes no país, principalmente pela articulação entre diferentes mesorregiões tendem a ampliar a probabilidade em desenvolver novas especializações tecnológicas regionais ($RTA_{rjt} > 1$), resultado que confirma a *Hipótese 3* desse estudo. De fato, descobrimos que a associação positiva e significativa entre as conexões externas das tecnológicas e o surgimento de novas especializações tecnológicas é mantida mesmo com a inclusão de variáveis controle em nível tecnologia e mesorregião. Isso mostra que essa variável é um importante fator para que as mesorregiões criem novas vantagens comparativas tecnológicas, mesmo ao controlar outras variáveis agregadas, como o tamanho da tecnologia, concentração tecnológica, crescimento econômico e participação de empregados na manufatura.

Em seguida, ao ponderar que no Brasil a capacidade tecnológica regional é caracterizada por ser espacialmente concentrada nas macrorregiões Sudeste e Sul do país (Albuquerque et al., 2002; Montenegro, Gonçalves e Almeida, 2011), resultado que favorece um regime de polarização tecnológica do tipo Norte-Sul (Gonçalves, 2007), inserimos a variável dummy por macrorregião no modelo estimado (descrito na Equação (06)). Atribuí 1 se a mesorregião está inserida na macrorregião Sul e Sudeste do Brasil (Grupo I) e 0 caso contrário (Grupo II).

Adicionalmente, ao reconhecer que a trajetória tecnológica regional recente pode influenciar a entrada de novas especializações tecnológicas no país, incluímos a variável dependente defasada no tempo como variável explicativa no conjunto dos grupos das macrorregiões selecionadas (Grupo I e II).

A Tabela 3 descreve os resultados das quatro especificações estendida do modelo estimado (Equação 06). O Modelo 1 e 2 verifica o efeito do desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas reveladas nas mesorregiões inseridas no Grupo I e II, respectivamente. Já os Modelos 3 e 4 é inclusa a variável dependente defasada em um período de tempo como variável explicativa para os Grupos (I e II) das macrorregiões no Brasil.

Tabela 3 - Desenvolvimento de novas especializações tecnológicas nas macrorregiões selecionadas (2000-2011)

Variáveis	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
	Completo GI: (S e SE)	Completo GII: (N, NE e CO)	Completo GI: (S e SE)	Completo GII: (N, NE e CO)
Densidade Tecnológica	4.821*** (1.766)	26.358*** (8.447)	3.490** (1.360)	24.973*** (8.303)
Complexidade do conhec. tecnológico	0.124** (0.052)	0.072* (0.041)	0.091** (0.045)	0.071* (0.040)
ln(Conexão externa da tecnológica)	0.014** (0.006)	0.003 (0.008)	0.011** (0.005)	0.003 (0.008)
ln(Tamanho da tecnologia)	0.259*** (0.072)	0.466*** (0.066)	0.189*** (0.056)	0.434*** (0.073)
Concentração da tecnologia	0.315 (0.437)	1.505*** (0.408)	0.225 (0.362)	1.441*** (0.395)
ln(PIB per capita)	-0.068 (0.126)	-0.005 (0.093)	-0.041 (0.093)	-0.013 (0.089)
Share manufatura	0.909 (0.557)	0.636 (0.541)	0.587 (0.423)	0.603 (0.512)
S_{ijt} (entrar) t-1			0.596*** (0.133)	0.125 (0.148)
Constante	-2.478*** (0.868)	-5.321*** (0.770)	-2.084*** (0.672)	-5.042*** (0.797)
Observações	1,408	1,200	1,408	1,200
Número de IDMI	480	464	480	464
Rho	0.392	0.122	0.109	0.0639
sigma_u	0.803	0.373	0.349	0.261
chi2_c	71.25	4.792	1.856	0.608
ll_c	-883.4	-672.8	-837.3	-670.2

Em parênteses são os erros robustos

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fonte: Elaboração própria a partir do software Stata 16.0

A densidade tecnológica mantém relação positiva e estatisticamente significativa no aumento da probabilidade nos Grupos (I e II) em desenvolver novas especialização tecnológica regionais. No caso do Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Grupo II), os resultados mostram ao nível de 1% de significância que a probabilidade da entrada de novas especializações tecnológicas é maior quando comparada as regiões Sul e Sudeste (Modelo 2 e 4, da Tabela 3). Ou seja, a proximidade entre tecnologias dentro do portfólio tecnológico preexistente no Norte, Nordeste e Centro-Oeste possui poder explicativo superior na probabilidade de desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas reveladas quando comparada as demais regiões no país.

Tal resultado pode ser justificado com o auxílio dos achados de Tödting e Trippl (2005) para regiões periféricas da União Europeia (UE). Segundo os autores, geralmente os instrumentos de ciência, tecnologia e inovação são pouco desenvolvidos em regiões periféricas (da UE), pois há uma falta de clusters dinâmicos e de organizações de apoio (o que os autores denominam de escassez organizacional). As atividades de inovação na periferia estão frequentemente em um

nível mais baixo em comparação com regiões mais centrais e aglomeradas. Parcela disso, é explicado pela presença predominante de micro e pequenas empresas e de empresas filiais. Via de regra, isso não exclui a presença de firmas inovadoras nas regiões, mas muitas vezes a massa crítica para um desenvolvimento de cluster dinâmico não é alcançada. Geralmente, isso ocorre quando o cluster está ligado às indústrias tradicionais com poucas atividades de P&D e inovação, onde a ênfase está na inovação incremental e nas inovações de processo.

No caso brasileiro é evidente que o crescimento industrial no Norte, Nordeste e Centro-Oeste se deu fortemente pela indústria de alimentos, vestuário e montadoras de automóveis (que são firma estrangeiras enquadradas como filiais e/ou subsidiárias). Sendo estas, caracterizadas por ser indústrias tradicionais e intensivas em escala (Monteiro Neto; Silva, 2018), em que o progresso tecnológico tende a ser incremental, ao passo que nas diferenciadas e baseadas em ciência são mais disruptivas (Marques; Roselino; Mascarini, 2019). O que em certa medida pode explicar a importância da similaridade entre as tecnologias para que essas mesorregiões desenvolvam novas especializações tecnológicas com vantagem comparativa.

Novamente, em todos os modelos estimados (Modelos 1 ao 4, da Tabela 3) a complexidade do conhecimento tecnológico é um preditor positivo e significativo no surgimento de novas especializações tecnológicas regionais (Grupos I e II). Contudo, há de observar que o coeficiente da complexidade do conhecimento tecnológico é superior nas mesorregiões localizadas nas macrorregiões Sul e Sudeste. Isso implica que um aumento na complexidade do conhecimento tecnológico tem efeito superior na probabilidade de desenvolvimento de novas especializações tecnológicas nessas macrorregiões, o que é consistente com a nossa proposição teórica (*Hipótese 2*).

Uma observação relacionada, que é importante, mas que está além do escopo deste artigo, é que essas tecnologias mais sofisticadas também tendem a estar localizadas em regiões que exibem uma rede de trabalhadores mais qualificados, concentração de universidades e institutos de ensino técnico e superior, instituições inclusivas, indústrias relacionadas e intensivas em tecnologias, nas quais favorece o desenvolvimento competitivo de tecnologias baseada no conhecimento.

Este argumento pode ser ancorado em estudos antecessores, como em Santos (2015). Segundo a autora em 2011, as macrorregiões Sul e Sudeste concentraram 65,37% das instituições de educação superior no Brasil. Neste mesmo ano, 77,8% dos postos de trabalho formal e 79,4% do Valor da Transformação Industrial – VTI ocorreram no Grupo I (IBGE, 2011). Gonçalves (2007) identifica ainda, que as macrorregiões Sul e Sudeste apresentavam maior participação no padrão espacial das inovações entre os anos 1999 a 2001, magnitude ampliada pelas economias de aglomeração que explicam, em grosso modo, a alta atividade tecnológica presente nessas regiões. Para além das mesorregiões metropolitanas do Brasil, é nessas macrorregiões que estão sediadas os segmentos mais produtivo e dinâmicos da economia (Diniz; Vieira, 2015).

Portanto, nossas evidências empíricas sobre a importância da complexidade tecnológica no processo de desenvolvimento de novas capacidades tecnológicas estão alinhadas com os resultados encontrados para países desenvolvidos, e contribui pioneiramente para o caso brasileiro. Uma vez que, regiões que possuem estruturas tecnológicas mais sofisticadas, robustas e com progressão na capacidade de desenvolvimento tecnológico tendem a ampliar a entrada de novas especializações tecnológicas regionais com vantagem comparativa.

A conexão externa da tecnologia (medida de coinvenção da patente entre diferentes mesorregiões no Brasil) possui efeito positivo para ambos os Grupos (I e II), embora seja estatisticamente significativa apenas para o Grupo I (Sul e Sudeste). Esse resultado implica que o conhecimento tecnológico construído por meio de uma rede de inventores de patentes nas

macrorregiões Sul e Sudeste desempenha papel importante no desencadeamento de novas tecnologias, distintamente do que ocorre no Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Essas evidências mostram que as macrorregiões Sul e Sudeste, que expressam estruturas produtivas e tecnológicas mais desenvolvidas do que a média do Brasil (Casali; Silva; Carvalho, 2010) tem maior possibilidade em ampliar a entrada de novas especializações tecnológicas com vantagem comparativa revelada, quanto maior for a sua capacidade de desenvolver novas redes do conhecimento tecnológico com outras regiões no país.

Por outro lado, a falta de significância estatística para as macrorregiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, pode ser explicado pelo baixo dinamismo das redes de conhecimento tecnológico e da fragilidade dos sistemas regionais de inovação, em particular da articulação com fornecedores do conhecimento especializado, como universidades e organizações de pesquisa (Tödtling; Trippel, 2005). Logo, pode-se presumir que buscar ampliar a rede da tecnologia externa nas macrorregiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste não surtiria grandes efeitos para o processo de geração de novas vantagens tecnológicas nessas regiões, pelo menos no curto prazo.

Além disso, conforme exposto na Tabela 3 (Modelo 3) o fato das macrorregiões Sul e Sudeste já exibir vantagem tecnológica revelada, ou seja, apresentar especialização tecnológica regional em um passado recente, constitui um fator importante na probabilidade de desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas regionais, pois $S_{rjt(Entrar)_{t-1}}$ é positivamente associada a $S_{rjt(Entrar)}$. Esse resultado representa que essas macrorregiões são atraídas a desenvolver novas vantagens comparativas tecnológicas dada a sua trajetória tecnológica preestabelecida recente.

Essa relação positiva pode ser explicada como um processo de dependência do caminho, em que a especialização tecnológica em períodos anteriores contribuiu positivamente para ganhos adicionais no mesmo campo tecnológico. Contudo, a capacidade de fazê-lo persistente é improvável, pois com o processo dinâmico, as oportunidades de desenvolver novas especializações tecnológicas se esgotam ao longo do tempo, impedindo um crescimento contínuo e exponencial. Ademais, tal resultado contribui para diversificação tecnológica, embora esteja relacionada as suas atividades e bases de conhecimento preexistente. Montenegro et al. (2011) encontraram um padrão da trajetória tecnológica da produção de patentes com características dependente do caminho para as microrregiões de São Paulo. Gonçalves et al. (2018) identificaram que as microrregiões do Brasil possuem uma trajetória tecnológica determinada pela experiência obtida do passado, embora este efeito diminua com o tempo. Portanto, nossos resultados reforçam as evidências anteriores para as macrorregiões Sul e Sudeste no Brasil.

Em suma, os resultados encontrados neste trabalho fornecem evidências que podem auxiliar na política tecnológica no Brasil, em que a densidade tecnológica, complexidade do conhecimento tecnológico e conexões externas da tecnologia podem ser variáveis impulsionadoras na reestruturação tecnológica regional, apoiando o desenvolvimento de tecnologias intimamente relacionada à base de conhecimento comum, sobretudo, as mais sofisticadas. Caso contrário, a política tecnológica poderá ser menos eficiente em relação à busca de novas vantagens tecnológicas reveladas. Contudo, faz necessário ponderar a heterogeneidade do território brasileiro, incorporando as especificidades das distintas regiões, como fatores relacionados à tecnologia e a produção, pois a implementação de uma única política tecnológica não atingirá objetivo para as distintas regiões no país.

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo identificar os fatores determinantes no surgimento de novas vantagens tecnológicas reveladas no território brasileiro. Inicialmente, mensurou-se a especialização tecnológica das mesorregiões no Brasil por meio do indicador de vantagem tecnológica revelada (número de áreas do conhecimento tecnológico descrito por código IPC da patente que uma mesorregião apresenta $RTA_{ijt} > 1$) durante o período de 12 anos (2000-2011).

Em seguida, objetivou-se identificar os determinantes desse processo, por meio da estimação do modelo Probit utilizando dados em painel com efeito aleatório. Os determinantes investigados foram fundamentados na literatura internacional, sobretudo, da abordagem da economia evolucionária e geografia econômica evolucionária, descrita nos achados para países desenvolvidos e citados neste artigo. Destaque é dado a: (i) densidade tecnológica; (ii) complexidade do conhecimento tecnológico; e (iii) conexão externa da tecnologia.

Nossos resultados ilustram que a densidade tecnológica tende a ampliar a probabilidade de desenvolvimento de novas especializações tecnológicas em regiões de um país em desenvolvimento, no nosso caso, o Brasil. Assim, a proximidade entre as tecnologias que estão presentes no portfólio tecnológico regional contribui positivamente para o aumento de novas vantagens tecnológicas. Além disso, mostramos que aumento na complexidade do conhecimento tecnológico e conexão externa da tecnologia tendem a contribuir para o processo de possíveis atualizações na estrutura tecnológica no Brasil, mesmo após controlar o efeito do tamanho da tecnologia, concentração tecnológica, crescimento econômico e share na manufatura. Isso implica que regiões com tecnologias mais sofisticadas e que possuem a capacidade em desenvolver tecnologias em parceria com outras regiões no país, exibem uma maior probabilidade em desenvolver novas vantagens tecnológicas reveladas no território nacional ($RTA_{ijt} > 1$).

Adicionalmente, descobrimos que a densidade tecnológica nas mesorregiões localizadas no Grupo II (macrorregião: Norte, Nordeste e Centro-Oeste) tem coeficientes positivos e significativos superiores ao encontrado nas demais regiões do país, sugerindo que a densidade tecnológica tem potencial para ser um bom indicador para revelar novas especializações tecnológicas nessas regiões.

Nossos resultados indicam que embora a complexidade tecnológica tenha efeito positivo e significativo para todas as macrorregiões no Brasil (Grupo I e II), é no Sul e Sudeste do país que a sofisticação tecnológica tem maior probabilidade em influenciar possíveis mudanças na estrutura tecnológica. Além disso, as conexões externas da tecnologia e trajetória tecnológica recente expressam significância estatística apenas para as macrorregiões Sul e Sudeste. Resultado que pode ser reflexo dos clusters industriais e sistema regional de inovação mais dinâmicos e maduros nesses territórios.

Nesses termos, este estudo pode auxiliar os formuladores de políticas regionais a entender melhor como as regiões no Brasil constroem suas capacidades tecnológicas, e o que os governantes nacionais e regionais podem realizar para promover o desenvolvimento de novas vantagens tecnológicas impulsionando e fortalecendo a reestruturação tecnológica.

Assim, podemos apontar quatro implicações desta pesquisa: (i) os resultados apontam que existem movimentos distintos dos fatores determinantes de novas especializações tecnológicas, e com isso, não se pode pensar em uma política tecnológica de tamanho e formato único. Pois, cada região possui especificidades de sua estrutura produtiva e organizacional que devem ser levadas em conta na formulação da política, reprimindo os problemas e superando os gargalos; (ii) As estratégias de criação de vantagens tecnológicas reveladas devem considerar a relevância

da proximidade entre as tecnologias, sobretudo, no Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país; (iii) As políticas regionais precisam levar em consideração a importância da sofisticação das tecnologias no Brasil, especialmente, no Sul e Sudeste na busca de desenvolvimento de novas especializações tecnológicas regionais; (iv) Faz necessário estimular novas especializações tecnológicas relacionadas à estrutura tecnológica preexistente, para além de tecnologias radicais. Esta indicação, não significa dizer que as estruturas tecnológicas serão mais especializadas (ou seja, menos diversificada), mas alavancar os pontos fortes existentes nas quais as regiões podem criar vantagem comparativa em atividades de alto valor agregado. Essas ideias são promovidas pela especialização inteligente - RIS3 (*Regional Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation*) (Barca, Mccann e Rodríguez-Pose, 2012; Foray, 2013, 2015; Mccann e Ortega-Argilés, 2015), e constitui a primeira etapa do guia da RIS3, que têm sido o foco da formulação de políticas de desenvolvimento regional pela Comissão Europeia, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e do Banco Mundial. Além do RIS3, outros casos de regiões prósperas que buscaram fomentar a inovação tecnológica em bases preexistentes e avançar em tecnologias sofisticadas, podem ser evidenciado, tais como o País Basco (Cooke e Morgan, 1998), que atualmente é enaltecido pela OCDE como uma história de sucesso de transformação regional (Morgan, 2016).

Por fim, a lacuna que se coloca consiste na capacidade do estado em governar de forma eficaz as políticas tecnológicas para um país com múltiplas especificidades.

Referências

- ALBUQUERQUE, E. DA M. E et al. A Distribuição espacial da produção científica e tecnológica brasileira: uma descrição de estatísticas de produção local de patentes e artigos científicos. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 2, p. 225–251, 2002.
- ARCHIBUGI, D.; PIANTA, M. Specialization and size of technological activities in industrial countries: The analysis of patent data. **Research Policy**, v. 21, n. 1, p. 79–93, 1992.
- BALASSA, B. Trade Liberalisation and “Revealed” Comparative Advantage. **The Manchester School**, v. 33, n. 2, p. 99–123, maio 1965.
- BALLAND, P.-A. Relatedness and the geography of innovation. In: SHEARMU, R.; CARRINCAZEUX, C.; DOLOREUX, D. (Eds.). **Handbook on the Geographies of Innovation**. Edward Elgar Publishing, 2016. p. 127–141.
- BALLAND, P. A. et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. **Regional Studies**, v. 53, n. 9, p. 1252–1268, 2018.
- BALLAND, P. A.; RIGBY, D. The Geography of Complex Knowledge. **Economic Geography**, v. 93, n. 1, p. 1–23, 2017.
- BARCA, F.; MCCANN, P.; RODRÍGUEZ-POSE, A. The case for regional development intervention: Place-based versus place-neutral approaches. **Journal of Regional Science**, v. 52, n. 1, p. 134–152, 2012.
- BOSCHMA, R.; BALLAND, P.; KOGLER, D. F. Relatedness and technological change in cities: the rise and fall of technological knowledge in US metropolitan areas from 1981 to 2010. **Industrial and Corporate Change**, v. 24, n. 1, p. 223–250, 2014.
- BOSCHMA, R.; MARTIN, R. The aims and scope of evolutionary economic geography. In: BOSCHMA, R.; MARTIN, R. (Eds.). **The Handbook of Evolutionary Economic Geography**. Cheltenham, UK/ Northampton, USA: Edward Elgar. p. 3–43.
- BUNNELL, T. G.; COE, N. M. Spaces and scales of innovation. **Progress in Human Geography**, v. 25, n. 4, p. 569–589, 2001.
- CASALI, G. F. R.; SILVA, O. M. DA; CARVALHO, F. M. A. SISTEMA REGIONAL DE

- INOVAÇÃO: ESTUDO DAS REGIÕES BRASILEIRAS. **Economia contemporânea**, v. 14, n. 3, p. 515–550, 2010.
- COOKE, P.; MORGAN, K. **The Associational Economy**. [s.l.] Oxford University Press, 1998.
- DINIZ, C. C.; VIEIRA, D. J. Ensino Superior e Desigualdades Regionais: notas sobre a experiência recente do Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 36, n. 129, p. 99–115, 2015.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. **Research Policy**, v. 22, n. 2, p. 102–103, 1993.
- ESSLETZBICHLER, J. Relatedness, Industrial Branching and Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas. **Regional Studies**, v. 49, n. 5, p. 752–766, 2015.
- FORAY, D. Smart specialisation and the New Industrial Policy agenda. **Policy Brief**, v. 8, p. 1–15, 2013.
- FORAY, D. **Smart Specialisation: Opportunities and Challenges for Regional Innovation Policy**. London: Routledge/Regional Studies Association, 2015.
- GONÇALVES, E. O Padrão Espacial da Atividade Inovadora Brasileira: **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 37, n. 2, p. 405–433, 2007.
- GONÇALVES, E.; DE MATOS, C. M.; DE ARAÚJO, I. F. Path-Dependent Dynamics and Technological Spillovers in the Brazilian Regions. **Applied Spatial Analysis and Policy**, v. 12, n. 3, p. 605–629, 2018.
- GREENE, W. **Fixed and Random Effects in Nonlinear Models** New York. New York: [s.n.]. Disponível em: <<http://people.stern.nyu.edu/wgreene/panel.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- HIDALGO, C. et al. The Product Space Conditions the Development of Nations. **Science**, v. 317, n. 5837, p. 482–487, 2007.
- HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 26, p. 10570–10575, 2009.
- HUANG, H.; MIOZZO, M. Patterns of technological specialisation in Latin American and East Asian countries: an analysis of patents and trade flows. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 14, n. 7, p. 615–653, 2004.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PIA EMPRESA - 2011**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?edicao=17128&t=downloads>>. Acesso em: 25 fev. 2020.
- JACOMY, M. et al. ForceAtlas2 , a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. **PLoS ONE**, v. 9, n. 6, p. 1–12, 2014.
- JAFFE, A.; TRAJTENBERG, M.; HENDERSON, R. Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 108, n. 3, p. 578–598, 1993.
- MALERBA, F.; MONTOBIBIO, F. Exploring factors affecting international technological specialization: the role of knowledge flows and the structure of innovative activity. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 13, p. 411–434, 2003.
- MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. **Research Policy**, v. 25, n. 3, p. 451–478, 1996.
- MARQUES, M. D.; ROSELINO, J. E.; MASCARINI, S. Taxonomias tecnológicas e setoriais da indústria de transformação brasileira. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 18, n. 2, p. 417–448, 2019.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. Path dependence and regional economic evolution. **Journal of Economic Geography**, v. 6, n. 4, p. 395–437, 2006.
- MCCANN, P.; ORTEGA-ARGILÉS, R. Smart Specialization, Regional Growth and Applications to European Union Cohesion Policy. **Regional Studies**, v. 49, n. 8, p. 1291–

1302, 2015.

- MONTEIRO NETO, A.; SILVA, R. D. O. **Desconcentração territorial e reestruturação regressiva da indústria no Brasil: Padrões e ritmos**. Brasi: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/211353/1/102991267X.pdf>>.
- MONTENEGRO, R. L.; GONÇALVES, E.; ALMEIDA, E. Dinâmica Espacial e Temporal da Inovação no Estado de São Paulo : Uma Análise das Externalidades de Diversificação e Especialização. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 41, n. 4, p. 743–776, 2011.
- MONTRESOR, S.; QUATRARO, F. Regional Branching and Key Enabling Data Regional Branching and Key Enabling Patent Data. **Economic Geography**, v. 93, n. 4, p. 367–396, 2017.
- MORGAN, K. Collective entrepreneurship: the Basque model of innovation. **European Planning Studies**, v. 24, n. 8, p. 1544–1560, 2 ago. 2016.
- MUSSKOPF, D. B.; LUZ, M. C. V. DA. Evidências a partir do portfólio de patentes. **Radar**, v. 41, p. 19–32, 2015.
- PATEL, P.; PAVITT, K. Large Firms in the Production of the World’s Technology: An Important Case of “Non-Globalisation”. **Journal of International Business Studies**, v. 22, n. 1, p. 1–21, 1991.
- PATEL, P.; PAVITT, K. The technological competencies of the world’s largest firms: Complex and path-dependent, but not much variety. **Research Policy**, v. 26, n. 2, p. 141–156, 1997.
- PETRALIA, S.; BALLAND, P. A.; MORRISON, A. Climbing the ladder of technological development. **Research Policy**, v. 46, n. 5, p. 956–969, 2017.
- PICCI, L.; SAVORELLI, L. **The Technological Specialization of Countries: An Analysis of Patent Data**. St. Andrews: [s.n.]. Disponível em: <<https://research-repository.st-andrews.ac.uk/bitstream/handle/10023/4099/1301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 mar. 2020.
- RIGBY, D. L. Technological Relatedness and Knowledge Space: Entry and Exit of US Cities from Patent Classes Technological. **Regional Studies**, v. 49, n. 11, p. 1922–1937, 2015.
- RUIZ, A. U. Persistência versus mudança estrutural da especialização tecnológica do Brasil. **Economia e Sociedade**, v. 17, n. 3, p. 403–427, 2008.
- RUIZ, A. U. Especialización tecnológica, captura y formación de competencias bajo integración de mercados: comparación entre Asia y América Latina. **Economia e Sociedade**, v. 22, n. 3, p. 641–673, 2013.
- SANTOS, S. M. **O desempenho das universidades brasileiras nos rankings internacionais: áreas de destaque da produção científica brasileira**. 2015. 344 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- TACCHHELLA, A. et al. A New Metrics for Countries’ Fitness and Products’ Complexity. **Scientific Reports**, v. 2, n. 1, p. 723, 10 dez. 2012.
- TÖDTLING, F.; TRIPPL, M. One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach. **Research Policy**, v. 34, n. 8, p. 1203–1219, 2005.
- TRAIN, K. E. **Discrete choice methods with simulation**. Second ed. California: Cambridge University Press, 2003.