

CONVERGÊNCIA DE RENDA, INTERDEPENDÊNCIA TECNOLÓGICA E COMPLEXIDADE ECONÔMICA: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DO BRASIL

Matheus Pereira Ribeiro[†]
Eduardo Simões de Almeida[‡]

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a associação entre a complexidade econômica (ECI) e o crescimento da renda *per capita*, sob o arcabouço de um modelo de convergência neoclássico, levando em consideração a interdependência tecnológica. Para tal, o ECI foi inserido como um fator de produção, aumentador do capital humano, conjuntamente com interdependência e externalidades tecnológicas de capital físico e humano. Este modelo foi testado para as cidades brasileiras, de 2010 a 2015, tendo como estratégia empírica procedimentos ligados a econometria espacial. Os resultados apontaram a robustez do modelo aqui proposto. Todas as estimativas mostraram evidências quanto à convergência entre as cidades brasileiras no período. Ainda, que o ECI apresentou resultado esperado. Regiões com maiores capacidades de diversificação e produção de bens raros tiveram maior crescimento no período e, também, que as cidades rodeadas por municípios mais especializados, com menor ECI, tendem a crescer mais.

Palavras-chave: Crescimento, convergência, complexidade econômica, interdependência tecnológica.

Classificação JEL: C31, L16, O18, O47, R11.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the association between economic complexity (ECI) and the per capita income growth, under the framework of a neoclassical convergence model, taking into account the technological interdependence. To this end, the ECI was inserted as a factor of production, increasing human capital together with technological interdependence and externalities of physical and human capital. This model was tested for Brazilian cities, from 2010 to 2015, having as an empirical strategy procedures related to space econometrics. The results showed the robustness of the model proposed here. All estimates showed evidence of convergence between Brazilian cities in the period. Furthermore, the ECI presented an expected result. Regions with greater capacity to diversify and produce rare goods had greater growth in the period and that cities surrounded by municipalities that are more specialized tend to grow more.

Key words: Growth, convergence, economic complexity, technological interdependence.

JEL Classification: C31, L16, O18, O47, R11.

[†] Doutorando em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG – Brasil; matheus.econ@gmail.com.

[‡] Professor Associado da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG – Brasil; edualmei@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste trabalho é analisar a relação entre a complexidade estrutural e crescimento econômico em um cenário de interdependência tecnológica. Logo, utiliza-se o modelo de Mankiw, Romer e Weil (1992) estendido por Ertur e Koch (2007), no qual, além da análise de convergência são incorporadas interações espaciais. Entretanto, aqui, propõe-se a inserção das capacidades disponíveis em uma localidade.

É bem verdade que a literatura disponível sobre crescimento econômico possui grande interesse em relação aos seus determinantes e da possibilidade de convergência. De fato, a partir do trabalho seminal de Baumol (1986) e de De Long (1988) a análise da convergência se tornou um tema controverso. Um grande número de trabalhos se concentrou nessa problemática, como Mankiw, Romer e Weil (1992), Quah (1993), Barro e Sala-i-Martin (1995), Galor (1996), Johnson e Takayama (2003), entre outros.

Diversos desses trabalhos apontaram para a possibilidade de convergência, mas havendo certo debate acerca de que tipo. Na prática, a literatura aponta três alternativas; absoluta, condicional e de clubes. Na primeira, a convergência independe de condições iniciais. A segunda implica a convergência de economias, mas com condições iniciais idênticas. Por fim, a terceira aponta que as regiões convergiriam a depender de suas zonas de atração (JOHNSON; TAKAYAMA, 2003). Porém, destaca-se que a um nível subnacional poucos trabalhos levaram em consideração a importância da estrutura produtiva como um condicionante do processo de convergência.

Hausmann e Hidalgo (2011) empregaram o fluxo de comércio internacional para criar uma medida de complexidade econômica que define a aptidão de determinada região de se diversificar e especializar ou, ainda, medir as capacidades não observáveis incorporadas na produção. Diversos trabalhos empíricos utilizaram esses conceitos para analisar sua relação com o crescimento e a riqueza a níveis nacionais (como Hausmann, Hwang e Rodrik (2007), Hausmann e Hidalgo, (2011), entre outros). A um nível subnacional, destaca-se o trabalho de Jarreau e Poncet (2012), que analisou convergência de renda, controlando a complexidade entre regiões chinesas. Para o caso brasileiro, o trabalho de Salles et al. (2018) que investigou a evolução da complexidade dos estados brasileiros. Entretanto, nenhum desses trabalhos avançou na inclusão dessa variável em um modelo de convergência de renda, principalmente levando em consideração a interdependência entre as regiões. Uma exceção é feita ao trabalho de Morais (2017) e Jarreau e Poncet (2012). Porém, os autores não desenvolveram um modelo estrutural para inferir sobre a natureza teórica entre as variáveis. Logo, o presente trabalho pretende avançar no preenchimento dessa lacuna na literatura.

Para atender aos objetivos propostos, além da presente introdução, a pesquisa se divide em outras quatro seções. A segunda apresenta o arcabouço teórico utilizado, o modelo de convergência elaborado e, por fim, alguns trabalhos que trataram da complexidade econômica e crescimento. A terceira descreve a estratégia empírica utilizada, bem como a fonte e o tratamento dos dados. Discorre-se, ainda, na quarta

seção, acerca dos resultados encontrados. Finalmente, na quinta seção são sintetizadas as análises e agregase a ela as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A hipótese de convergência de renda

Os modelos neoclássicos tradicionais, desenvolvidos por Solow (1956) e Swan (1956), trouxeram contribuições para as inter-relações entre as regiões. Nesses trabalhos, haveria a possibilidade de convergência econômica, devido aos retornos decrescentes de escala, no qual as regiões caminhariam para uma mesma taxa de crescimento.¹

Embora haja diversas críticas a esses modelos seminais, como destacaram Mankiw, Romer e Weil (1992), o modelo traz grandes contribuições para ser ignorado. Nesse caso, o modelo vem sendo testado e estendido. Romer (1986) e Lucas (1988) já haviam apontado a possibilidade da existência de externalidades. Mankiw, Romer e Weil (1992) incorporaram ao modelo o capital humano. Galor (1996) afirmou que diferentes regiões podem convergir para diferentes estados estacionários. Ertur e Koch (2007) possibilitaram a interdependência espacial entre as regiões, dentre outros.²

Embora a literatura seja extremamente abrangente, Antonelli (2011) afirmou que ela vem falhando em demonstrar a endogeneidade dinâmica dos *spillovers* de conhecimento e importância da estrutura produtiva. De fato, espera-se que as externalidades sejam maiores em regiões com maiores capacidades e possibilidades de interação, uma vez que tais externalidades ocorrem por meio de transações. No caso, percebe-se uma lacuna quanto à discussão acerca da estrutura produtiva e externalidades de conhecimento, algo que pode ser preenchido sob a luz da recente literatura de “complexidade econômica”.

2.2 Complexidade econômica

Para que uma região seja complexa e sustentável, indivíduos capacitados devem interagir e combinar seus conhecimentos para produzir bens. Logo, a complexidade econômica pode ser expressa na composição da produção, refletindo as estruturas de combinação de conhecimento. Sendo assim, essas

¹ É necessário apontar, de antemão, que não configura um dos objetivos do presente trabalho fazer uma análise detalhada das teorias de crescimento e convergência. Para tal, ver Martin e Sunley (2000).

² Deve-se destacar que Carrington (2003) já havia modelado a convergência com heterogeneidade espacial. Ertur e Koch (2006) também contribuíram nesse tema, mas com externalidades do capital humano. Já Ertur e Koch (2011) modelaram a taxa de crescimento com interdependência espacial sob um arcabouço shumpeteriano. Fisher (2011) incorporou conjuntamente as externalidades de capital humano e físico. Por sua vez, Álvarez e Barbero (2016) desmembraram a taxa de poupança de determinada região entre pública e privada.

capacidades podem ser consideradas fatores de produção disponíveis em determinada localidade (HAUSMANN et al., 2011, p. 18).

Portanto, o processo de desenvolvimento econômico pode estar associado ao domínio de técnicas sofisticadas de produção, interação e combinação de conhecimento, que podem levar a uma maior produtividade do trabalho e, logo, maiores taxas de crescimento. Nesse caso, o desenvolvimento pode ser entendido não como um processo de contínua melhora na produção de determinados bens, mas como um processo que necessita de um conjunto complexo de capacidades que facilitam a produção de novos bens.

De fato, os produtos são feitos por meio de combinações de capacidades não comercializáveis. Como as regiões diferem em termos de número e combinação dessas capacidades elas seriam capazes de produzir somente aquilo para o qual possuem recursos. Logo, regiões com maiores capacidades são aptas a produzir um conjunto mais diversos de bens e, ainda, produtos que necessitam de maiores níveis de capacidades são produzidos por uma menor gama de regiões (HIDALGO; HAUSMANN, 2009).

Pode-se relacionar a complexidade aos efeitos de urbanização, também relacionados a variedade e diversidade de uma região. Tais ambientes permitem maior interação e combinação do conhecimento do que em regiões especializadas (JACOBS, 1969). Permitem, ainda, atrair indivíduos com maiores níveis de capital humano. Sendo assim, pode-se supor que as capacidades disponíveis em uma região configuram um importante fator de produção. Logo, há indícios de que a complexidade econômica deve ser levada em consideração no modelo de crescimento neoclássico.

2.3 Modelo de convergência condicional, interdependência e complexidade econômica

Nessa seção, desenvolveu-se um modelo de convergência de renda utilizando como base os trabalhos de Mankiw, Romer e Weil (1992), Ertur e Koch (2007) e Fisher (2011), mas estendendo ao incorporar a presença da complexidade econômica. A função de produção, aqui sugerida, possui neutralidade de Harrod. Entretanto, assume que mesmo a tecnologia sendo aumentadora de trabalho e capital, a produção possui uma elasticidade ligado a ela. Especificamente, a renda Y_i no país i advém da seguinte função de produção:

$$Y_i = A_i^\beta K_i^\alpha H_i^{1-\alpha-\beta}, \alpha \in [0,1] \quad (1)$$

em que K_i , H_i e A_i denotam, respectivamente, o estoque de capital físico, o montante de trabalho aumentado pelo capital humano e a produtividade aumentadora de capital físico e humano. Assume-se, aqui, que o trabalho (L_i) é homogêneo dentro de uma mesma região e que cada unidade de trabalho passa por um

processo de aprendizado, captado por h_i , e, ainda, é aumentado por meio de um processo de interação e combinação de conhecimento, dado por c_i ³, ou seja:

$$H_i = L_i e^{\delta t D_i + \vartheta t ECI_i}, \text{ onde } h_i = e^{\delta t D_i}, c_i = e^{\vartheta t ECI_i} \quad (2)^4$$

$$H_i = L_i h_i c_i$$

Ainda em concordância com Ertur e Koch (2007), mas incorporando a extensão de Fisher (2011), o nível de produtividade A_i em uma região i é dado por:

$$A_i = \Omega K_i^\varphi H_i^{1-\varphi-\gamma \sum w_{ij}} \prod_{j \neq i}^N A_j^{\gamma w_{ij}} \quad (3)$$

onde Ω é a produtividade autônoma, ou seja, $\Omega = \Omega_0 e^{gt}$ em que g é a taxa de crescimento exógena da produtividade. Ainda, supõe-se que a produtividade aumente com o nível agregado de capital físico e humano.⁵ Por fim, não há razões para que essas externalidades se limitem à fronteira física de uma região, logo, supõe-se que o conhecimento de uma região i depende positivamente do estoque de conhecimento de outras regiões $j = 1, \dots, N$, para $j \neq i$. Jacobs (1969, p. 101) já afirmava que cidades pequenas normalmente têm alta interação com grandes cidades, seja no fornecimento de insumo para as exportações daquela ou importando para suprir o mercado interno. Esse processo de interdependência é capturado por w_{ij} que mostra a conectividade entre as regiões i e j .⁶ Inserindo as equações (3) e (2) na eq. (1) o produto por trabalhador eficiente se torna:

$$\bar{y}_i = \Omega^{\frac{\beta}{1-\gamma}} \bar{k}_i^{u_i} \prod_{j \neq i}^N \bar{k}_j^{u_j} \quad (4)^7$$

Essa é a equação da renda por trabalhador eficiente com interdependência tecnológica entre as regiões. A mesma mostra a heterogeneidade nos parâmetros da função de produção. Note que se não houver externalidades do capital físico ($\varphi = 0$), então $u_i = \alpha$ e $u_j = 0$. Por sua vez, a equação fundamental do

³ Em relação a associação entre capital humano e complexidade, Jacobs (1969, p. 98) afirmou que novos setores (valor adicionado) são criados nas cidades. Esses novos postos multiplicam e diversificam o trabalho existente nesses locais. Ainda, que as capacidades necessárias para diversificar a produção são maiores que as necessárias para replicar e especializar. Ademais, cidades menos complexas, voltados à produção interna e menos diversificadas, provavelmente possuem menos capacidades que cidades maiores, diversificadas e voltadas ao mercado externo, que conseguem atrair um maior número de mão de obra qualificada.

⁴ Note que se $\delta = \vartheta = 0$ então $H_i = L_i$, e o modelo se volta ao do livro texto de Solow (1956).

⁵ Um destaque deve ser dado ao papel do capital, físico e humano. Cada unidade de investimento em capital físico, melhora do processo de aprendizado dos trabalhadores (D_i) ou aumento da capacidade de produzir bens raros e diversificados (ECI_i), das empresas aumenta não só o capital físico e humano da própria empresa, mas gera externalidades de conhecimento que aumentam o nível de produtividade de todas as empresas da região.

⁶ Esses termos são não negativos, não aleatórios e finitos, onde $0 \leq w_{ij} \leq 1$, $w_{ij} = 0$ se $i = j$ e $\sum_{j \neq i}^N w_{ij} = 1$.

⁷ Em que $u_i = \alpha + \beta\varphi(1 + \gamma \sum w_{ij})$ e $u_j = \beta\varphi\gamma \sum w_{ij}$.

modelo de Solow é dada por $\dot{k}_i = s_i y_i - (n_i + \delta + g)k_i$. Simplificando, e substituindo a função de produção por trabalhador eficiente na eq., log-linearizando a mesma, a equação de movimento de capital se torna:

$$\frac{\dot{k}_i}{k_i} = s_i \Omega^{\frac{\beta}{1-\gamma}} e^{-(1-u_i) \ln \bar{k}_i} \prod_{j \neq i}^N e^{u_j \Sigma \ln \bar{k}_j} - (n_i + \delta + g) \quad (5)$$

Por meio da aproximação de Taylor do capital por trabalhador eficiente no estado estacionário e sabendo que $\frac{\dot{y}_i}{y_i} = \frac{g}{1-\gamma} + u_i \frac{\dot{k}_i}{k_i} + \sum_{j \neq i}^N u_j \frac{\dot{k}_j}{k_j}$, então o crescimento da renda *per capita* é dada por $\frac{\dot{y}_i}{y_i} = \frac{g}{1-\gamma} + \lambda(\ln y_i - \ln y_i^*)$ ⁸. Logo, a velocidade de convergência da renda em torno do estado estacionário é dada por:

$$\lambda = \frac{\partial \dot{y}_i / y_i}{\partial \ln y_i} = (n_i + \delta + g) \left(u_i - \frac{u_i}{u_i + \sum_{j \neq i}^N u_j \frac{1}{\theta_j}} \right) + \sum_{j \neq i}^N (n_j + \delta + g) \left(\frac{u_j}{\theta_j} - \frac{u_j \frac{1}{\theta_j}}{u_i + \sum_{j \neq i}^N u_j \frac{1}{\theta_j}} \right) \quad (6)$$

Note que se não houver externalidades do capital físico ($\varphi = 0$) então $\lambda = (\alpha - 1)(n_i + \delta + g)$, ficando claro que o modelo retorna à configuração do livro texto de Solow. Ainda, como equações diferenciais lineares possuem soluções fechadas, a equação de crescimento é dada por:

$$\ln y_{it} - \ln y_{i0} = -(1 - e^{-\lambda t}) \frac{g}{1-\gamma} \frac{1}{\lambda} - (1 - e^{-\lambda t}) \ln y_{i0} + (1 - e^{-\lambda t}) \ln y_i^* \quad (7)$$

Já a renda de equilíbrio do estado estacionário, após a manipulação da eq. (4), é dada por:

$$\ln y_i = \beta \ln \Omega + (\alpha + \beta \varphi) \ln k_i + (1 - \alpha - \beta \varphi) \ln h_i + (1 - \alpha - \beta \varphi) \ln c_i - \alpha \gamma \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln k_j - (1 - \alpha) \gamma \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln h_j - (1 - \alpha) \gamma \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln c_j + \gamma \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln y_j \quad (8)$$

Ainda, da equação de acumulação de capital, no estado estacionário $\dot{k}_i = 0$, tem-se que $\ln k_i = \ln s_i - \ln(n_i + \delta + g) + \ln y_i$ e inserindo tal eq., para $\ln k_i$ e $\ln k_j$, em (8), tem-se:

$$\begin{aligned} \ln y_i^* &= \frac{\beta}{1-\alpha-\beta\varphi} \ln \Omega + \frac{\alpha+\beta\varphi}{1-\alpha-\beta\varphi} [\ln s_i - \ln(n_i + \delta + g)] + \ln h_i + \ln c_i - \\ &\frac{\alpha\gamma}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq i}^N w_{ij} [\ln s_j - \ln(n_j + \delta + g)] - \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln h_j - \\ &\frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln c_j + \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \ln y_j \end{aligned} \quad (9)$$

Substituindo (9) em (7), após algumas manipulações, é possível obter a eq. de crescimento da renda *per capita* estimável para a região i :

⁸ Assume-se que tanto capital *per capita* quanto a renda *per capita* guardam uma relação com o *gap* dos países em relação ao seu próprio estado estacionário, ou seja: $(\ln y_i - \ln y_i^*) = \varnothing_j (\ln y_j - \ln y_j^*)$ e $(\ln k_i - \ln k_i^*) = \theta_j (\ln k_j - \ln k_j^*)$. Essas hipóteses mostram que a diferença da região i em relação ao seu próprio estado estacionário é proporcional à diferença da região j . Portanto, se $\varnothing_j = 1$, os países tem a mesma distância de seus estados estacionários. Se $\varnothing_j > 1$, a região i está mais distante de seu próprio estado estacionário do que a j .

$$\begin{aligned}
\ln y_{it} - \ln y_{i0} = & \Delta_i - (1 - e^{-\lambda_i t}) \ln y_{i0} + (1 - e^{-\lambda_i t}) \left\{ \frac{\alpha + \beta \varphi}{1 - \alpha - \beta \varphi} [\ln s_i - \ln(n_i + \delta + g)] + \right. \\
& \delta t D_i + \vartheta t ECI_i + \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq 1}^N w_{ij} \ln y_{j0} - \frac{\alpha\gamma}{1-\alpha-\varphi} \sum_{j \neq 1}^N w_{ij} [\ln s_j - \ln(n_j + \delta + g)] - \\
& \left. \frac{\gamma(1-\alpha)\delta t}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq 1}^N w_{ij} D_j - \frac{\gamma(1-\alpha)\vartheta t}{1-\alpha-\beta\varphi} \sum_{j \neq 1}^N w_{ij} ECI_j + \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\varphi} \sum_{j \neq 1}^N \frac{1}{(1-e^{-\lambda_j t})} w_{ij} (\ln y_{jt} - \ln y_{j0}) \right\} \quad (10)^9
\end{aligned}$$

Percebe-se que o crescimento da renda *per capita* é uma função negativa da renda *per capita* no período inicial, controlando os determinantes do estado estacionário. Espera-se que a renda dependa positivamente da taxa de poupança, dos fatores aumentadores do capital humano e de fatores das regiões vizinhas, como depreciação, renda inicial e crescimento da renda. Ainda, que o crescimento está negativamente associado a taxa de depreciação e de outros fatores das regiões contíguas, como poupança e fatores aumentadores do capital humano. Isto posto, é necessário avançar em relação aos trabalhos empíricos disponíveis na literatura, principalmente em relação à importância da complexidade econômica para o crescimento.

2.4 Complexidade econômica e crescimento: evidências empíricas

Parece haver certo consenso na literatura quanto ao efeito positivo da complexidade econômica no crescimento da renda, principalmente para o caso de economias nacionais, como encontraram Hidalgo e Hausmann (2011), Hausmann et al. (2011), entre outros. Ainda, em geral, essa literatura, aponta que para haver convergência de renda é necessário investimento em produtos complexos e do desenvolvimento de conhecimento e capacidades. Já para o caso de modelos de convergência, diversos trabalhos incluíram efeitos espaciais.¹⁰ E, em boa parte dos trabalhos, se constatou que a omissão da dependência espacial pode levar a uma má especificação do modelo. Entretanto, a presente seção procura analisar os trabalhos que conciliaram as duas abordagens, a um nível subnacional.

Ao avançar nessa temática, Jarreau e Poncet (2012) analisaram se a atualização da pauta exportadora contribuiu para o crescimento de 30 províncias chinesas, de 1997 a 2009. Fizeram uso, como *proxy* para atualização produtiva, de uma medida de sofisticação das exportações em um modelo de convergência. Os resultados apontaram que regiões especializadas em produtos sofisticados cresceram mais.

Com argumentos de que a complexidade econômica contribuiu para o desenvolvimento de capacidades e adoção de tecnologias, Poncet e Starosta de Waldemar (2013) recorreram a metodologias de

⁹ Em que $\Delta_i = (1 - e^{-\lambda_i t}) \left\{ \frac{g}{1-\gamma} \frac{1}{\lambda_i} \left[1 - \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\varphi} \right] \right\} + \sum_{j \neq 1}^N \frac{1}{(1-e^{-\lambda_j t})} w_{ij} + \frac{(1-e^{-\lambda_i t})}{1-\alpha-\varphi} \ln \Omega$.

¹⁰ Diversos trabalhos analisaram a convergência a um nível nacional, ver Baumol (1986), De Long (1988), Mankiw, Romer e Weil (1992), Johnson e Takayama (2003) entre outros. A um nível subnacional, ver Barro e Sala-i-Martin (1991; 1992), para os autores há maior possibilidade de ocorrência de convergência absoluta dentro de um mesmo país, pois as regiões são mais homogêneas e compartilham de um mesmo ambiente macroeconômico. Para o caso brasileiro, ver Ferreira e Ellery Júnior (1996), Azzoni (1997; 2001), Ferreira (2000), Ávila e Pôrto Júnior (2015), Ribeiro e Almeida (2012), Pinto Coelho (2006), entre outros. Para uma revisão de diversos trabalhos aplicados a economia brasileira ver Guimarães e Almeida (2017).

dados em painel para 200 cidades chinesas, de 1997 a 2009. Concluíram que o nível de capacidades disponíveis para as empresas operarem no comércio afeta positivamente o crescimento econômico.

Dong et al. (2019) partiram do princípio de que regiões que produzem produtos complexos tendem a crescer mais rapidamente e ser mais ricas. Assim, analisaram 191 indústrias em 286 cidades da China com níveis de complexidade similar e existência de estrutura industrial, de 2003 a 2008. Os autores validaram as hipóteses levantadas e mostraram que a complexidade é importante para a industrialização.

Tendo como problema de pesquisa as externalidades de conhecimento no crescimento da complexidade econômica, para a economia colombiana, de 1997 a 2011, Sahdev (2016) regrediu o índice de complexidade econômica sobre variáveis propícias a facilitar *spillovers* de conhecimento. Encontrou uma associação negativa do crescimento do ECI com a diversidade e, também, com a concorrência. Nesse aspecto, sugeriu que a especialização se mostrou importante para a transmissão de conhecimento em indústrias nascentes, como é o caso colombiano. Sinalizou, ainda, que a complexidade afetou não somente o próprio município, mas que transbordou para outras regiões.

Pérez-Balsalobre, Llano Verduras e Diaz-Lanchas (2019) desenvolveram uma medida de complexidade a um nível subnacional, para 50 provinciais da Espanha (NUTS-3), de 1995 a 2016. O trabalho se diferenciou ao incluir no indicador de complexidade informações sobre o comércio intranacional. Concluíram que as regiões diferiram em termos de complexidade internacional e intranacional. Ainda, ao comparar com outras medidas, verificaram que o indicador criado é um melhor determinante do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) futuro.

Ao analisar as externalidades de aglomeração para 260 regiões europeias, de 2004 a 2012, Cortinovis e Van Oort (2015) utilizaram os conceitos de variedade relacionada e não relacionada¹¹ e especialização setorial. Modelaram explicitamente a importância da dependência e da heterogeneidade espacial, por meio de procedimentos de econometria espacial. Com o uso do modelo espacial do tipo SARAR, os resultados apontaram que as externalidades da variedade relacionada afetaram positivamente o desempenho econômico de uma região, mas apenas em regiões tecnologicamente avançadas. Assim, concluíram que a estratégia de diversificação não necessariamente acarretará um processo de *catching-up*.

Já Daboín et al. (2019) usaram o índice de complexidade como preditor das perspectivas de crescimento populacional futuro e do crescimento do emprego na indústria das cidades norte-americanas, de 2006 a 2016. Os autores notaram que cidades mais desenvolvidas tenderam a apresentar maior complexidade. Concluíram que, embora a complexidade seja um importante determinante da riqueza, esse

¹¹ O índice de variedade relacionada está relacionado a inovação, exploração de novos mercados e crescimento do emprego. Já o índice de variedade não relacionada a um efeito portfólio que protege a região contra *spillovers* de desemprego setorial. Por sua vez, a especialização é calculada por um índice de Theil de empregabilidade. Destaca-se que, por mais que o trabalho de Cortinovis e Oort (2015) não se relacione a teoria de complexidade econômica, contribui quanto a discussão das externalidades e transbordamentos de regiões diversificadas e especializadas.

efeito dependeu do tamanho das cidades, pois cidades pequenas se beneficiaram da concentração dos recursos e grandes cidades acumularam economias de escala em diferentes setores.

Focando nas microrregiões do estado de Minas Gerais – Brasil, em 2004 e 2012, Ramos (2015) verificou a associação da complexidade tanto com o crescimento quanto com o nível do PIB *per capita*. Por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e sob a configuração de um modelo de convergência, o autor usou a diversidade ponderada pela ubiquidade para captar a possível heterogeneidade entre as microrregiões. Os resultados apontaram que a diversidade tem um efeito positivo sobre o PIB *per capita*. Porém, não se mostrou significativa para explicar o crescimento das regiões.

Salles et al. (2018) estudou a evolução da complexidade econômica nos estados brasileiros de 2002 a 2014, mas com foco na complexidade econômica do estado de Minas Gerais e sua relação com a estrutura produtiva voltada a recursos naturais. Os resultados apontaram que a complexidade se relacionou positivamente ao PIB *per capita* dos estados brasileiros.

Fascinados com a desigualdade social e econômica da economia brasileira, por meio de métodos espaciais, Verheij e Oliveira (2020) avaliaram se a complexidade econômica foi espacialmente dependente entre os municípios brasileiros de 2000 a 2010. Especificamente, do modelo auto-regressivo espacial (SAR), notou-se que a complexidade possuiu dependência espacial.

Embora em um nível nacional, Morais (2017) contribuiu ao presente estudo. Em uma análise de 19 países da América Latina, de 1990 a 2000, o autor investigou se a complexidade é relevante para explicar a convergência de renda. O índice de complexidade foi incorporado à matriz de pesos espaciais. O autor aplicou dois tipos de modelo, o SAR e SDM. Por fim, validou a hipótese de convergência para todas as amostras. Ainda, controlado o diferencial de complexidade entre os países, o processo de convergência mostrou uma velocidade superior.

Nota-se que a complexidade se configura como um importante determinante do crescimento das regiões, também a um nível subnacional. Nesse aspecto, é necessário avançar em relação ao presente problema de pesquisa, no que tange ao efeito da complexidade econômica para o crescimento das cidades brasileiras, pautado no modelo aqui desenvolvido.

3 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

Esse trabalho tem como estratégia de identificação o uso de procedimentos de análise espacial, como proposto por Anselin (1988), para analisar a convergência de renda entre as cidades brasileiras, tendo em conta a importância da complexidade econômica dos municípios e a interdependência tecnológica entre as cidades brasileiras.

Como apresentado na seção 2.3, o presente trabalho propõe um modelo estrutural, dado pela eq. (10). Logo, o modelo estimável, adaptando a equação de crescimento, é dado por:

$$\begin{aligned} \ln y_{it} - \ln y_{i0} = & \beta_0 + \beta_1 \ln y_{i0} + \beta_2 s_i + \beta_3 \ln(n_i + \delta + g) + \beta_4 ECI_i + \beta_5 D_i + \\ & \theta_1 \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} \ln y_{j0} + \theta_2 \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} s_j + \theta_3 \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} \ln(n_i + \delta + g) + \\ & \theta_4 \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} ECI_j + \theta_5 \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} D_j + \rho \sum_{j \neq i}^N w_{ij}^{(r)} \ln(y_{jt} - y_{j0}) \end{aligned} \quad (11)$$

Reescrevendo a equação (11) em sua forma matricial obtém-se:

$$y = X\beta + W_p X\theta + \rho W_p y + \varepsilon \therefore y = (1 - \rho W_p)^{-1} (X\beta + W_p X\theta + \varepsilon) \quad (12)$$

onde y é um vetor $N \times 1$ do logaritmo do crescimento da renda *per capita*, X é uma matriz $N \times 6$ das variáveis independentes. Por sua vez, W_p é uma matriz $N \times N$ de pesos espaciais padronizadas na linha, no qual p denota o tipo de contiguidade, isto é, podendo ser do tipo *queen*, *rook*, etc. $W_p X$ é uma matriz $N \times 6$ das variáveis independentes defasadas espacialmente e $W_p y$ é um vetor de defasagem espacial do crescimento. Ainda, $\beta' = [\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5]$, $\theta' = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5]$ e $\rho = (1 - e^{-\lambda_{it}}) \frac{\gamma(1-\alpha)}{1-\alpha-\phi}$ é um vetor $N \times 1$ de parâmetros autorregressivos da variável dependente. Por fim, ε representa um vetor $N \times 1$ de ruídos brancos.

Logo, percebe-se que o modelo estendido de Ertur e Koch (2007) com a inclusão da complexidade econômica se trata de um modelo espacial de Durbin (SDM). Um fato tratado superficialmente por Ertur e Koch (2007) se refere a natureza global do modelo SDM. Os autores expõem que:

[...] real income per worker in a location i will not only be affected by the investment rate and the physical capital effective rate of depreciation in i , but also by those in all other locations through the inverse spatial transformation $(1 - \rho W_p)^{-1}$. [...] a random shock in a specific location i [...] has an impact on the real income per worker in all other locations through the same inverse spatial transformation (ERTUR; KOCH, 2007, p. 1044).

LeSage (2008) sugere que esse tipo de modelo, com natureza global, deve ser analisado à luz dos efeitos diretos e indiretos. Na verdade, para LeSage e Pace (2009), os coeficientes estimados pelo modelo SDM não podem ser diretamente interpretados. Realmente, o termo inverso da forma reduzida, como também apontado por Ertur e Koch (2007), representa a transmissão do efeito do aumento das variáveis explicativas do modelo, devido à interdependência tecnológica entre as regiões, sobre todas as regiões analisadas. Logo, é possível captar esses efeitos, avaliando como a alteração de uma variável do modelo afeta não somente o crescimento desta mesma cidade (impacto direto), mas também o crescimento de todos os outros municípios (impacto indireto), no qual o impacto total seria dado pela soma dos dois efeitos.¹² Para estimar o modelo, deve-se analisar a normalidade dos resíduos. Caso se verifique a normalidade, pode-

¹² Vale destacar que a presente avaliação não faz jus a minúcia do trabalho de Ertur e Koch (2007). É bem verdade que a proposta da interpretação dos parâmetros de um modelo espacial global por meio de efeitos diretos e indiretos foram introduzidos por LeSage (2008). Porém, trabalhos posteriores fundamentados em Ertur e Koch (2007), como Fisher (2011) e Álvarez e Barbero (2016), persistem em não distinguir estes efeitos em sua análise empírica.

se utilizar o método de estimação de Máxima Verossimilhança. Do contrário, sugere-se a utilização do procedimento de variáveis instrumentais, no qual os instrumentos seriam as defasagens das defasagens espaciais (W^2X), como sugerido por Kaleijian e Prucha (1998).¹³

3.1 Fonte e tratamento dos dados

De antemão, destaca-se que as variáveis utilizadas foram linearizadas. Aplicou-se o modelo de convergência para informações das cidades brasileiras, de 2010 a 2015. A tabela Tabela 1 apresenta as variáveis utilizadas bem como a sua fonte. Tanto o crescimento populacional quanto o PIB foram coletados junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já para a taxa de poupança foi utilizado como *proxy* um índice (um dos componentes do índice de capacidade de pagamento dos municípios sobre poupança) fornecido pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN). Por sua vez, o distúrbio idade-série foi utilizado como *proxy* para o capital humano, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Segundo Horowitz e Souza (2004), como o processo de acumulação de capital humano das crianças não está completo, a taxa de progressão pode ser uma boa medida para captar o aprendizado. Já o Índice de Complexidade Econômica foi obtido junto ao DataViva. Ainda, utilizou-se de diversas *dummies* invariantes no tempo, como região geográfica, região urbana, etc. Espera-se que essas variáveis possam captar possíveis fatores omitidos no modelo, como qualidade institucional e nível de governança, uma vez que boa parte das instituições são geradas e interiorizadas em tais regiões.

Tabela 1: Fonte, tratamento de dados, medidas de posição e variação.

Variável	Descrição	Unidades de medida	Fonte	\bar{X}	$S(X)$	Mín.	Máx.
$\frac{(\ln y_{i2015} - \ln y_{i2010})}{6}$	Crescimento da renda <i>per capita</i>	Taxa	IBGE	0.03	0.04	-0.24	0.43
y_{i2010}	Renda <i>per capita</i> em 2010	R\$/pop.	IBGE	13655	14986	2369	298790
s_i	Taxa de poupança	Índice	STN	0.92	0.10	-4.01	1.00
n_i	Taxa de crescimento populacional	Taxa	IBGE	0.01	0.01	-0.05	0.09
$\delta + g$	Depreciação e progresso tecnológico	Taxa	MRW (1990)	0.05	0.00	0.05	0.05
D_i	Distúrbio idade-série	Índice	INEP	0.32	0.15	0.00	1.00
ECI_i	Índice de Complexidade Econômica	Índice	Dataviva	4.82	5.34	0.00	23.58
<i>Dummies</i>	Variáveis invariantes no tempo como região geográfica, se faz parte da região amazônica, se é urbana, se é do semiárido e se é uma região fronteira ou litorânea.						

Nota: \bar{X} =Média amostral, $S(X)$ =Desvio padrão amostral, *Mín.*=menor valor da amostra e *Máx.*=maior valor da amostra. $\delta + g = 0.05$, como sugerido por Mankiw, Romer e Weils (1990). Ainda, o *ECI* foi transformado para que os municípios sem informação tenham complexidade igual a 0. Como o índice assume valores negativos, a seguinte fórmula foi aplicada:

$$ECI \text{ modificado} = \begin{cases} ECI - \min(ECI) + 1, & \text{se a cidade exportou;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

No período analisado, o número de municípios do Brasil aumentou. Em 2010, havia 5565 municípios no país, incluídos nesse número o Distrito Federal (Brasília, DF) e Fernando de Noronha, PE.

¹³ Deve-se destacar que estes pontos ainda são turvos na literatura. A título de exemplo, Lee (2004) mostrou que se o modelo representar o verdadeiro processo gerador de dados ainda consegue-se atingir consistência, eficiência assintótica e normalidade assintótica, mesmo não verificando a normalidade dos resíduos.

Em 2017, esse número passou a 5570, mas 5572 geocódigos¹⁴ porque inclui, ainda, 2 áreas estaduais operacionais (Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim, ambas no RS)¹⁵. Entretanto, devido a disponibilidade de dados a amostra engloba 4297 municípios e tal alteração na quantidade de municípios não interferiu na análise.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Verificou-se a não normalidade dos resíduos, implicando na estimação dos modelos espaciais por métodos de variáveis instrumentais. Nos modelos a-espaciais utilizou-se o MQO robusto a presença de heterocedasticidade. Os resultados encontrados apontaram que os municípios mais pobres em 2010 cresceram mais de 2010 a 2015 em comparação com cidades brasileiras mais ricas.

Inicialmente, na tabela Tabela 2, na primeira coluna foi estimado o modelo de convergência absoluta, constatando que as cidades convergiriam independentemente de condições iniciais. Os resultados são semelhantes ao encontrado por diversos trabalhos que analisaram o mesmo problema para a economia brasileira (Ribeiro (2010), Resende (2011), entre outros). Já a convergência do modelo de Solow (1956) foi testada na segunda e terceira coluna da tabela Tabela 2. Nota-se que há indícios de que mesmo havendo convergência, existem diferenças permanentes na renda de longo prazo devido a características estruturais.

Explorou-se a hipótese de convergência com a presença de capital humano, conforme o modelo de Mankiw, Romer e Weils (1992) nas colunas 4 e 5. Destaca-se que o distúrbio idade-série se mostrou significativo, implicando que quanto maior a defasagem da idade escolar menor tende a ser o processo de aprendizagem dos indivíduos. Nos modelos das colunas 6 e 7 foi inserido o índice de complexidade econômica. Por conseguinte, percebe-se que o sinal do parâmetro segue o esperado, ou seja, quão maior a diversidade e maior a raridade dos produtos exportados por uma localidade maior foi o crescimento da renda. Ainda, que a inclusão dessa variável aumenta a velocidade de convergência.

Porém, por meio do *I* de Moran há indícios de que esses modelos contêm informações omitidas e que são espacialmente correlacionadas. Logo, sugere-se que os mesmos são mal especificados pois não levam em consideração a interdependência tecnológica entre as regiões. Assim sendo, nas colunas de 8 a 19, da tabela Tabela 3, foram estimados os modelos de convergência espacial.

Em todos os modelos os coeficientes de autocorrelação espacial (ρ) ou do capital humano não foram significativos. Tal fato coloca dúvidas acerca da especificação do modelo, algo que pode ser corrigido ao

¹⁴ Cinco novos municípios foram instalados no País em 2013, Pinto Bandeira, RS, Pescaria Brava e Balneário Rincão, SC, Paraíso das Águas, em MT, e Mojuí dos Campos, no PA, além dos 5.565 municípios preexistentes. Sobre a malha municipal digital de 2017, cf: ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipi_o_2017/. Acesso em: 13 de junho de 2019.

¹⁵ Essas duas áreas podem ser facilmente excluídas do estudo, por se tratarem de lagos, pertencentes a estados e não municípios.

analisar os efeitos diretos e indiretos. Ainda, que há evidência de convergência condicional após controlar não só as condições estruturais, mas também ao aumentar o modelo espacialmente. Ignorando a presença da complexidade e capital humano, o parâmetro de velocidade de convergência implícito é de cerca de 0.023 e, controlando, aumenta para cerca de 0.03, o que é conivente com demais trabalhos na literatura.

Vale discutir os outros componentes do modelo defasados espacialmente. O coeficiente de renda inicial é positivo e, em suma, significativo. Isso indica que, uma determinada cidade rodeada por regiões mais pobres no período inicial cresceu mais no período do que se fosse rodeado por regiões mais ricas. Ainda, que os coeficientes do ECI e do capital humano são negativos e significativos (o último em apenas alguns modelos), sugerindo que o capital humano de uma localidade é importante não somente para ela própria, mas transborda para regiões vizinhas por meio das externalidades e da interdependência tecnológica entre os municípios brasileiros.

Estes resultados vão de encontro as contribuições teóricas dos trabalhos canônicos de Marshall (1920) e Jacobs (1969). O primeiro descreve as vantagens de concentração de indústrias especializadas. A segunda, as externalidades de urbanização e diversificação em seu estudo sobre a dinâmica das cidades. Enquanto para Marshall (1920) as externalidades são geradas pela especialização, para Jacobs (1969) essas externalidades seriam advindas da diversidade.

Logo, se as regiões vizinhas de uma cidade fossem mais concentradas isso possibilitaria a existência de mercados de trabalho especializados e maiores níveis de economias de escala que transbordariam para os municípios mais próximos. Entretanto, deve-se destacar que os coeficientes não defasados da complexidade econômica apontam para um efeito positivo sobre o crescimento. Nesse caso, destaca-se que as externalidades jacobianas são importantes dentro de uma mesma localidade. Isto é, a interação entre os indivíduos em uma cidade para gerar novas ideias e produtos levaria à difusão da inovação e transbordamentos dentro da própria região.

Vale destacar que em todos os modelos de convergência condicional, inclusive os espaciais, a taxa de depreciação do capital apresenta o sinal esperado, como encontrado pelos trabalhos de Mankiw, Romer e Weils (1992) e Ertur e Koch (2007). Porém, a taxa de poupança não se mostrou significativa para explicar o crescimento. Esse resultado vai de encontro a hipótese levantada por Stiglitz e Weiss (1981). Os autores afirmam que a ausência de arranjo financeiro que permita o controle corporativo impede que a poupança se direcione a lucrativos investimentos, mas sim em empreendimentos ineficientes, afetando, então, negativamente o crescimento. Entretanto, esse não parece ser o caso, mas sim fruto da fraqueza da *proxy* utilizada para a poupança.

Por fim, analisam-se os efeitos diretos e indiretos dos modelos espaciais, dado a natureza global do modelo SDM. Isto é, como as regiões são interdependentes, o aumento de determinada variável do modelo aumenta não só o crescimento daquela região, mas de todas as outras. Tais resultados podem ser observados na tabela

Tabela 4. Tanto os efeitos diretos quanto os indiretos de uma alteração no PIB inicial ou em uma das variáveis de controle do estado estacionário, seja da depreciação quanto do ECI, seguem o modelo proposto. Porém, como anteriormente, o efeito da taxa de poupança, bem como do distúrbio idade-série não é significativo, apenas em alguns modelos e com sinal negativo. Este resultado, novamente, pode estar relacionado a fragilidade das *proxies*. Porém, a defasagem espacial da poupança segue o resultado esperado.

Tabela 2: Modelos de convergência de renda a-espaciais.

Modelo	Conv. Abs.	Conv. Livro texto		Conv. MRW		Conv. MRW c/ ECI	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
β_0	0.1480*** (0.0092)	0.1330*** (0.0301)	0.2249*** (0.0253)	0.1405*** (0.0315)	0.2310*** (0.0256)	0.1529*** (0.0311)	0.2468*** (0.0254)
$\ln y_{i2010}$	-0.0133*** (0.0010)	-0.0134*** (-0.0134)	-0.0219*** (0.0016)	-0.0138*** (0.0012)	-0.0220*** (0.0016)	-0.0173*** (0.0014)	-0.0253*** (0.0017)
s_i	-	-0.0390* (0.0229)	-0.0239 (0.0156)	-0.0391* (0.0230)	-0.0235 (0.0155)	-0.0391* (0.0222)	-0.0233 (0.0146)
$\ln(n_i + 0.05)$	-	-0.0178*** (0.0039)	-0.0113*** (0.0036)	-0.0173*** (0.0039)	-0.0108* (0.0037)	-0.0225*** (0.0044)	-0.0147*** (0.0038)
ECI_i	-	-	-	-0.0001 (0.0000)	-0.0001*** (0.0000)	-0.0001 (0.0000)	-0.0001** (0.0000)
D_i	-	-	-	-	-	0.0010*** (0.0001)	0.0012*** (0.0002)
<i>Dummies</i>	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
λ implícito	0.0139	0.0140	0.0234	0.0144	0.0236	0.0183	0.0274
Meia-vida	50.03	49.67	29.58	48.01	29.32	37.84	25.28
I Moran (Wq)	271.10***	238.39***	146.07***	240.07***	143.30***	259.36***	149.16***
I Moran (Wr)	261.28***	229.68***	139.96***	231.34***	137.31***	250.49***	143.46***

Nota: *** p-valor < 0,01; ** p-valor < 0,05; * p-valor < 0,1. Os desvios-padrão se encontram entre parêntesis. λ advém da manipulação de $\beta_1 = -(1 - e^{\lambda T})/T$. Logo, $\lambda = -\ln(1 + \beta_1 T)/T$. Por sua vez, a meia-vida, que se refere ao tempo necessário para que a desigualdade entre o PIB *per capita* das regiões seja reduzido pela metade, é igual a $\ln(2)/\lambda$. Wq se refere a matriz especial do tipo *queen* e Wr do tipo *rook*.

Tabela 3: Modelos de convergência de renda espaciais.

Modelo	Conv. Livro texto				Conv. MRW				Conv. MRW c/ ECI			
	Wq (8)	Wr (9)	Wq (10)	Wr (11)	Wq (12)	Wr (13)	Wq (14)	Wr (15)	Wq (16)	Wr (17)	Wq (18)	Wr (19)
β_0	0.1967*** (0.0315)	0.1996*** (0.0309)	0.2452*** (0.0337)	0.2489*** (0.0328)	0.1977*** (0.0328)	0.2004*** (0.0321)	0.2500*** (0.0347)	0.2535*** (0.0337)	0.2070*** (0.0321)	0.2103*** (0.0315)	0.2634*** (0.0344)	0.2673*** (0.0333)
$\ln y_{i2010}$	-0.0213*** (0.0018)	-0.0213*** (0.0018)	-0.0239*** (0.0019)	-0.0240*** (0.0019)	-0.0215*** (0.0019)	-0.0215*** (0.0018)	-0.0242*** (0.0019)	-0.0242*** (0.0019)	-0.0249*** (0.0019)	-0.0248*** (0.0019)	-0.0272*** (0.0020)	-0.0272*** (0.0020)
$\ln s_i$	-0.0309 (0.0193)	-0.0312 (0.0195)	-0.0233 (0.0152)	-0.0234 (0.0153)	-0.0304 (0.0191)	-0.0307 (0.0192)	-0.0228 (0.0151)	-0.0229 (0.0152)	-0.0296* (0.0178)	-0.0301* (0.0180)	-0.0225 (0.0142)	-0.0226 (0.0142)
$\ln(n_i + 0.05)$	-0.0171*** (0.0041)	-0.0172*** (0.0042)	-0.0128*** (0.0041)	-0.0127*** (0.0042)	-0.0171*** (0.0042)	-0.0172*** (0.0042)	-0.0123*** (0.0041)	-0.0122*** (0.0042)	-0.0219*** (0.0046)	-0.0220*** (0.0047)	-0.0161*** (0.0044)	-0.0160*** (0.0044)
D_i	-	-	-	-	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)
ECI_i	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0010*** (0.0001)	0.0010*** (0.0001)	0.0012*** (0.0002)	0.0012*** (0.0002)
$W \ln y_{i2010}$	0.0105*** (0.0024)	0.0103*** (0.0023)	0.0042 (0.0026)	0.0040 (0.0025)	0.0108*** (0.0024)	0.0106*** (0.0023)	0.0045* (0.0027)	0.0044* (0.0026)	0.0128*** (0.0025)	0.0124*** (0.0024)	0.0049* (0.0028)	0.0046* (0.0027)
$W s_i$	-0.0772*** (0.0160)	-0.0793*** (0.0157)	-0.0299*** (0.0100)	-0.0312*** (0.0100)	-0.0751*** (0.0160)	-0.0769*** (0.0158)	-0.0262*** (0.0098)	-0.0274*** (0.0098)	-0.0724*** (0.0155)	-0.0753*** (0.0154)	-0.0239** (0.0095)	-0.0252*** (0.0095)
$W \ln(n_i + 0.05)$	0.0080 (0.0073)	0.0074 (0.0071)	0.0056 (0.0063)	0.0052 (0.0063)	0.0095 (0.0073)	0.0091 (0.0071)	0.0063 (0.0061)	0.0061 (0.0061)	0.0154** (0.0071)	0.0142** (0.0069)	0.0083 (0.0064)	0.0077 (0.0064)
$W D_i$	-	-	-	-	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001* (0.0001)	-0.0002* (0.0001)
$W ECI_i$	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0006** (0.0002)	-0.0006** (0.0002)	-0.0002 (0.0002)	-0.0002 (0.0002)
$W \frac{(\ln y_{i2015} - \ln y_{i2010})}{6}$	0.0392 (0.1516)	0.0095 (0.1473)	-0.0906 (0.1271)	-0.1193 (0.1288)	0.0783 (0.1490)	0.0551 (0.1453)	-0.0678 (0.1222)	-0.0894 (0.1239)	0.1542 (0.1284)	0.1144 (0.1246)	-0.0302 (0.1124)	-0.0594 (0.1127)
<i>Dummies</i>	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
λ implícito	0.0228	0.0228	0.0258	0.0259	0.0230	0.0230	0.0261	0.0262	0.0269	0.0269	0.0296	0.0243
Meia-vida	30.37	30.42	26.84	26.79	30.11	30.13	26.52	26.46	25.75	25.81	23.39	28.57
Teste de Wald	57.71***	59.00***	18.97***	21.03***	58.19***	59.78***	20.76***	23.22***	60.75***	61.74***	19.73***	22.21***

Nota: *** p-valor < 0,01; ** p-valor < 0,05; * p-valor < 0,1. Os desvios-padrão se encontram entre parêntesis. Wq se refere a matriz especial do tipo *queen* e Wr do tipo *rook*.

Tabela 4: Modelos de convergência com efeitos médios direto, indireto e totais.

Efeito	Modelo	Conv. Livro texto				Conv. MRW				Conv. MRW c/ ECI			
		Wq (9)	Wr (10)	Wq (11)	Wr (12)	Wq (13)	Wr (14)	Wq (15)	Wr (16)	Wq (17)	Wr (18)	Wq (19)	Wr (20)
Direto	lny_{i2010}	-0.0212*** (0.0018)	-0.0213*** (0.0018)	-0.0241*** (0.0019)	-0.0241*** (0.0020)	-0.0213*** (0.0018)	-0.0214*** (0.0018)	-0.0243*** (0.0019)	-0.0244*** (0.0019)	-0.0245*** (0.0019)	-0.0246*** (0.0019)	-0.0272*** (0.0020)	-0.0273*** (0.0020)
	lns_i	-0.0315* (0.0184)	-0.0314* (0.0187)	-0.0227 (0.0151)	-0.0227 (0.0152)	-0.0318* (0.0182)	-0.0317* (0.0184)	-0.0224 (0.0150)	-0.0224 (0.0151)	-0.0323* (0.0171)	-0.0322* (0.0173)	-0.0223* (0.0141)	-0.0223 (0.0142)
	$ln(n_i + 0.05)$	-0.0171*** (0.0041)	-0.0172*** (0.0042)	-0.0130*** (0.0041)	-0.0129*** (0.0042)	-0.0170*** (0.0041)	-0.0171*** (0.0042)	-0.0124*** (0.0041)	-0.0123*** (0.0042)	-0.0215*** (0.0045)	-0.0217*** (0.0046)	-0.0161*** (0.0043)	-0.0161*** (0.0044)
	D_i	-	-	-	-	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)
	ECI_i	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0010*** (0.0001)	0.0010*** (0.0001)	0.0012*** (0.0002)	0.0012*** (0.0002)
Indireto	lny_{i2010}	0.0100*** (0.0017)	0.0101*** (0.0017)	0.0060*** (0.0019)	0.0063*** (0.0019)	0.0097*** (0.0018)	0.0098*** (0.0018)	0.0058*** (0.0019)	0.0061*** (0.0019)	0.0102*** (0.0021)	0.0105*** (0.0020)	0.0056*** (0.0021)	0.0060*** (0.0021)
	s_i	-0.0805*** (0.0171)	-0.0798*** (0.0170)	-0.0259*** (0.0101)	-0.0260** (0.0102)	-0.0823*** (0.0173)	-0.0818*** (0.0173)	-0.0233** (0.0099)	-0.0236** (0.0099)	-0.0879*** (0.0180)	-0.0863*** (0.0177)	-0.0226*** (0.0095)	-0.0227** (0.0096)
	$ln(n_i + 0.05)$	0.0076 (0.0063)	0.0072 (0.0060)	0.0063 (0.0054)	0.0061 (0.0053)	0.0087 (0.0066)	0.0085 (0.0062)	0.0067 (0.0053)	0.0067 (0.0053)	0.0137** (0.0069)	0.0129** (0.0065)	0.0085** (0.0056)	0.0082 (0.0055)
	D_i	-	-	-	-	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	-0.0001* (0.0001)
	ECI_i	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.0005* (0.0002)	-0.0005** (0.0002)	-0.0003** (0.0002)	-0.0003 (0.0002)
Total	lny_{i2010}	-0.0113*** (0.0012)	-0.0112*** (0.0011)	-0.0181*** (0.0017)	-0.0178*** (0.0016)	-0.0117*** (0.0014)	-0.0116*** (0.0013)	-0.0185*** (0.0017)	-0.0183*** (0.0017)	-0.0143*** (0.0019)	-0.0140*** (0.0018)	-0.0216*** (0.0019)	-0.0213*** (0.0019)
	s_i	-0.1121*** (0.0209)	-0.1112*** (0.0205)	-0.0486*** (0.0148)	-0.0486*** (0.0144)	-0.1140*** (0.0215)	-0.1134*** (0.0212)	-0.0458*** (0.0149)	-0.0460*** (0.0146)	-0.1202*** (0.0227)	-0.1185*** (0.0220)	-0.0449*** (0.0147)	-0.0450*** (0.0144)
	$ln(n_i + 0.05)$	-0.0095 (0.0065)	-0.0099 (0.0061)	-0.0067 (0.0055)	-0.0068 (0.0053)	-0.0082 (0.0069)	-0.0086 (0.0066)	-0.0056 (0.0056)	-0.0056 (0.0054)	-0.0078 (0.0075)	-0.0088 (0.0070)	-0.0076 (0.0060)	-0.0079 (0.0058)
	D_i	-	-	-	-	0.0000 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0002** (0.0001)	-0.0001 (0.0001)	0.0000 (0.0001)	-0.0002 (0.0001)	-0.0002*** (0.0001)
	ECI_i	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0005** (0.0003)	0.0005** (0.0003)	0.0009** (0.0002)	0.0009** (0.0002)
	<i>Dummies</i>	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim

Nota: *** p-valor<0,01; ** p-valor <0,05; * p-valor <0,1. Os desvios-padrão se encontram entre parêntesis. Wq se refere a matriz especial do tipo *queen* e Wr do tipo *rook*.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo analisar como a complexidade econômica de um município brasileiro é capaz de afetar seu processo de crescimento em um modelo de convergência que leve em consideração a interdependência tecnológica entre as regiões e os *spillovers* de conhecimento. O estudo analisou 4297 municípios, de 2010 a 2015, tendo como pilar o modelo desenvolvido por Mankiw, Romer e Weil (1992) e a extensão proposta por Ertur e Koch (2007) e Fisher (2011).

Além de controlar o estado estacionário, Fisher (2011) estendeu o modelo de Ertur e Koch (2007), incorporando além das externalidades do capital físico as externalidades de capital humano. O presente trabalho foi além, ao adicionar ao modelo de convergência de Ertur e Koch (2007) o Índice de Complexidade Econômica (ECI); uma *proxy* das capacidades não transacionáveis em uma região que possibilita a produção de bens com alta diversidade e raridade, com maior teor tecnológico; como um fator aumentador de capital humano. Ainda, a presente estimação leva em consideração a natureza global do modelo, mostrando a importância de se analisar os efeitos diretos e indiretos.

A hipótese de convergência foi verificada em todos os modelos analisados. De fato, o ECI se mostrou estatisticamente significativo nos diversos modelos. Quão maior a complexidade econômica em uma cidade, maior tende a ser seu próprio crescimento, fornecendo indícios a favor das externalidades jacobianas. Para além disso, o ECI poderia acentuar os transbordamentos tecnológicos entre as regiões. Porém, quão mais especializadas em torno de uma mesma indústria maiores seriam os transbordamentos para as regiões vizinhas, o que se assemelha as externalidades marshallianas.

Por fim, deve-se destacar os problemas empíricos encontrados pelo presente trabalho. Foi encontrado indícios de uma associação negativa entre poupança e crescimento. Justificou-se tal irregularidade devido à indisponibilidade de dados, forçando a utilização de uma *proxy*.

Para além deste trabalho, em uma agenda futura, sugere-se a aplicação do modelo a um nível nacional para verificar como os resultados do presente modelo estendido se comportam. Também, propõe-se a análise empírica do modelo utilizando procedimentos de dados em painel, para mitigar efeitos de possíveis fatores não observáveis invariantes no tempo, como cultura, instituições e governança. Ainda, aponta-se a existência de um possível *puzzle*, no que se refere ao aumento da velocidade de convergência à medida que se inserem variáveis de controle no modelo.

6 BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ, I. C.; BARBERO, J. The public sector and convergence with spatial interdependence: empirical evidence from Spain. **Applied Economics**, v. 48, n. 24, p. 2238-2252, 2016.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**, Dordrecht: Kluwer Academic. 1988.

- ANTONELLI, C. **Handbook on the Economic Complexity of technological change**. Edward Elgar Publishing: Cheltenham, 2011.
- ÁVILA, R. P.; PÔRTO JÚNIOR. S. S. O crescimento das regiões brasileiras e seus componentes estocásticos não observados: convergência e formação de clubes no período 1985-2008. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 43., **Anais...** Florianópolis: Anpec, 2015.
- AZZONI, C. R. Concentração regional e dispersão das rendas per capita estaduais: análise a partir de séries históricas estaduais de PIB (1939-1995). **Estudos Econômicos**, v. 27, n. 3, 1997.
- _____. Economic growth and regional income inequality in Brazil. **The Annals of Regional Science**, v. 35, n. 1, p. 133-152, 2001.
- BALLAND, P.; RIGBY, D. The geography of complex knowledge. **Economic Geography**, v. 93, n. 1, p. 1-23, 2017.
- BARRO, R. J.; SALA-I-MARTIN, X. Convergence across states and regions. **Brooking Papers on Economic Activity**, n. 1, p. 107-182, 1991.
- _____. Convergence. **The Journal of Political Economy**, v. 100, n. 2, p. 223-251, 1992.
- _____. **Economic growth**. London: MIT Press, 2004
- BAUMOL, W. J. productivity growth, convergence and welfare. **American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 1072-1085, 1986.
- CARRINGTON, A. A divided Europe? Regional convergence and neighbourhood spillover effects. **Kyklos**, v. 56, n. 3, p. 381-393, 2003.
- CORTINOVIS, N.; VAN OORT, F. Variety, economic growth and knowledge intensity of European regions: a spatial panel analysis. **The Annals of Regional Science**, v. 55, n. 1, p. 7-32, 2015.
- DABOÍN, C.; ESCOBARI, M.; HERNÁNDEZ, G.; MORALES-ARILLA, J. **Economic Complexity and technological relatedness: findings for american cities**, Unpublished manuscript. Disponível em: <<https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2019/05/Technical-Paper.pdf>>. Acesso em: 14 set. de 2019.
- DATAVIVA. <<http://dataviva.info/pt/data/>>. Acesso em: 16 set. de 2019.
- DE LONG, B. Productivity growth, convergence and welfare: comment. **The American Economic Review**, v. 78, n. 5, p. 1138-1154, 1988.
- DONG, Z.; LI, Y.; BALLAND, P.; ZHENG, S. **Industrial land policy and Economic Complexity of chinese cities**. Utrecht University, Department of Human Geography and Spatial Planning, Group Economic Geography, 2019.
- ERTUR, C.; KOCH, W. **Convergence, human capital and international spillovers**. Laboratoire d'Economie et de Gestion, Université de Bourgogne, 2006. (Working Paper).
- _____. Growth, technological interdependence and spatial externalities: theory and evidence. **Journal of Applied Econometrics**, v. 22, n. 6, p. 1033-1062, 2007.
- _____. A contribution to the theory and empirics of Schumpeterian growth with worldwide interactions. **Journal of Economic Growth**, v. 16, n. 3, p. 215, 2011.
- FISCHER, M. M. A spatial Mankiw–Romer–Weil model: theory and evidence. **The Annals of Regional Science**, v. 47, n. 2, p. 419-436, 2011.
- GALOR, O. Convergence? Inferences from theoretical models. **The Economic Journal**, v. 106, n. 437, p. 1056-1069, 1996.

- HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A.; BUSTOS, S.; COSCIA, M.; CHUNG, S.; JIMENEZ, J.; SIMOES, A.; YILDIRIM, M. A. **The Atlas of Economic Complexity: mapping paths to prosperity**, Massachusetts: The MIT Press, 2011.
- HAUSMANN, R.; HWANG, J.; RODRIK, D. What you export matters. **Journal of Economic Growth**, v. 12, n. 1, p. 1-25, 2007.
- HIDALGO, C. A. **The dynamics of Economic Complexity and the Product Space over a 42 year period**. Center for international Development and Harvard Kennedy School, Harvard University, 2009. (CID Working Paper, n. 189).
- _____. **Why information grows: the evolution of order, from atoms to economies**. New York: Penguin Press, 2015.
- HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The building blocks of Economic Complexity. **Proceedings of the national academy of sciences (PNAS)**, v. 106, n. 26, p. 10570-10575, 2009.
- HOROWITZ, A. W.; SOUZA, A. P. **The dispersion of intra-household human capital across children: A measurement strategy and evidence**. Nashville: Department Of Economics, Vanderbilt University, 2004. (Working Paper, n. 04-W08).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?t=resultados>>. Acesso em: 16 set. de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=sobre>>. Acesso em: 16 set. de 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). <<http://portal.inep.gov.br/indicadores-educacionais>>. Acesso em: 15 jan. de 2020.
- JARREAU, J.; PONCET, S. Export sophistication and economic growth: evidence from China. **Journal of development Economics**, v. 97, n. 2, p. 281-292, 2012.
- JOHNSON, P.; TAKEYAMA, L. **Convergence among the US States: absolute, conditional or club?** Poughkeepsie: Department of Economics Vassar College, 2003. (Working Paper, n. 50).
- KELEJIAN, H.; PRUCHA, I. A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances, **Journal of Real Estate Finance and Economics**, v. 17, pp. 99-121, 1998.
- LEE, L. Asymptotic distributions of quasi- maximum likelihood estimators for spatial autoregressive models. **Econometrica**, v. 72, n. 6, p. 1899-1925, 2004.
- LESAGE, J. P. An introduction to spatial econometrics. **Revue d'économie industrielle**, v. 123, p. 19-44, 2008.
- LESAGE, J.; PACE, R. K. **Introduction to spatial econometrics**. Chapman and Hall/CRC, 2009.
- MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEIL, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 107, n. 2, p. 407-437, 1992.
- MARSHALL, A. **Principles of economics: an introductory**. Macmillan, London, 1920.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. Convergência lenta? A nova teoria do crescimento endógeno e o desenvolvimento regional. **Cadernos do IPPUR**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 15-48, 2000.
- PÉREZ-BALSALOBRE, S.; LLANO VERDURAS, C.; DIAZ-LANCHAS, J. **Measuring subnational economic complexity: An application with Spanish data**. European Commission, Joint Research Centre (JRC), Seville, 2019. (JRC Working Papers, n. 05/2019).

- PINTO COELHO, R. L. **Dois ensaios sobre a desigualdade de renda dos municípios brasileiros**. Dissertação (Mestrado) – Cedeplar, UFMG, Belo Horizonte, 2006.
- PONCET, S.; STAROSTA DE WALDEMAR, F. Export upgrading and growth: the prerequisite of domestic embeddedness. **World Development**, v. 51, p. 104-118, 2013.
- QUAH, D. Empirical cross section dynamics in economic growth. **European Economic Review**, v. 37, p. 426-434, 1993.
- RAMOS, P. J. M. **Complexidade econômica e crescimento em Minas Gerais: uma aplicação da abordagem de espaço de produto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- RESENDE, G. M. Multiple dimensions of regional economic growth: the Brazilian case, 1991-2000. **Papers in Regional Science**, v. 90, n. 3, p. 629-662, 2011.
- RIBEIRO, E. C. B. A. **Convergência de renda local entre os municípios brasileiros para o período 2000 a 2005**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2010.
- RIBEIRO, E. C. B. A.; ALMEIDA, E. S. Convergência local de renda no Brasil. **Economia Aplicada**, v. 16, n. 3, p. 399-420, 2012.
- RODRIK, D. **The globalization paradox: democracy and the future of the world economy**, New York: W.W. Norton & Company, p. 2-171, 2011.
- ROMER, P. M. Increasing returns and long-run growth. **Journal of Political Economy**, v. 94, n. 5, p. 1002-1037, 1986.
- SAHDEV, N. K. Do knowledge externalities lead to growth in economic complexity? Empirical evidence from Colombia. **Palgrave Communications**, v. 2, n. 1, 2016.
- SALLES, F. C.; ROCHA, E. P.; PORTO, I. V. B.; VASCONCELOS, F. L. V. A armadilha da baixa complexidade em Minas Gerais: o desafio da sofisticação econômica em um estado exportador de commodities. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 17, n. 1, p. 33-62, 2018.
- SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL.
<<http://www.tesourotransparente.gov.br/ckan/dataset/capag-municipios/resource/f2149990-1ca4-475d-95c1-512f78079905>>. Acesso em: 15 jan. de 2020.
- SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.
- STIGLITZ, J. E.; WEISS, A. Credit rationing in markets with imperfect information. **The American economic review**, v. 71, n. 3, p. 393-410, 1981.
- SWAN, T. W. Economic growth and capital accumulation. **Economic Record**, v. 32, n. 2, p. 334-361, 1956.
- VERHEIJ, T.; OLIVEIRA, H. C. Is Economic Complexity spatially dependent? a spatial analysis of interactions of economic complexity between municipalities in Brazil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 16, n. 1, p. 318-338, 2020.