

Vulnerabilidade econômica do semiárido e a probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados de Pernambuco

Economic vulnerability of the semiarid Region and the probability of catching up among the most lagging municipalities of Pernambuco

Vanessa Geisiane da Silva Souza 1

Mestranda em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil.

Sergiany da Silva Lima 2

Docente do curso de Bacharelado em Ciências Econômica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE/UAST. Serra Talhada, Pernambuco (PE), Brasil.

GT07. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo: O estado de Pernambuco é demarcado por características climáticas de semiaridez e vulnerabilidades que implicam no comprometimento da oferta de recursos naturais, encarece os fatores de produção e inibe investimentos estruturantes, limitando o desenvolvimento socioeconômico da região. Assim é possível presumir que o atraso relativo ao desenvolvimento econômico do semiárido pernambucano seja devido a uma matriz de produção regional, com infraestrutura precária, baixo investimento em tecnologia e reduzida qualidade institucional. Sob essa hipótese a pesquisa tem como objetivo dimensionar os *clusters* de vulnerabilidade econômica dos municípios de Pernambuco, identificados a partir dos parâmetros médios das características tecnológicas, institucionais e climáticas da região, e estimar a probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados, condicionado a vulnerabilidade, a fim de mensurar os efeitos da vulnerabilidade sobre a estagnação econômica da região semiárida. A metodologia inclui a aplicação da regressão *log (t)* para análise de *clusters* e a utilização dos modelos *Logit* e *Probit* ordenado para estimar a probabilidade de *catching up*. Os resultados apontam a existência de cinco *clusters* de vulnerabilidade. A estimativa de *catching up* demonstra que a vulnerabilidade econômica reduz as chances de uma economia alcançar um status de desenvolvimento mais avançado, revelando que as características climáticas do semiárido agravam a vulnerabilidade regional, juntamente com desafios institucionais e tecnológicos.

Palavras Chaves: *Catching up*; Desenvolvimento econômico; *Clusters* de Vulnerabilidade.

Abstract: The state of Pernambuco is characterized by semi-arid climatic conditions and vulnerabilities that compromise the availability of natural resources, increase production costs, and inhibit structural investments, limiting the socio-economic development of the region. Thus, it is possible to assume that the relative delay in the economic development of the semi-arid region of Pernambuco is due to a regional production matrix with poor infrastructure, low investment in technology, and reduced institutional quality. Under this hypothesis, the research aims to quantify the economic vulnerability clusters of Pernambuco's municipalities, identified based on the average parameters of the region's technological, institutional, and climatic characteristics, and to estimate the probability of catching up for the most lagging municipalities, conditioned by vulnerability, in order to measure the effects of vulnerability on the economic stagnation of the semi-arid region of Pernambuco. The methodology includes the application of *log(t)* regression for cluster analysis and the use of ordered *Logit* and *Probit* models to estimate the probability of catching up. The results indicate the existence of five vulnerability clusters. The catching-up estimate shows that economic vulnerability reduces the chances of an economy reaching a more advanced level of development, revealing that the semi-arid climatic conditions worsen regional vulnerability, along with institutional and technological challenges.

Key words: *Catching up*; Economic development; Vulnerability clusters

1. Introdução

A discussão sobre convergência econômica tem sido central no campo da economia do desenvolvimento, sobretudo em contextos marcados por desigualdades regionais persistentes, como é o caso do semiárido brasileiro (Lima *et al*, 2024). A hipótese de convergência,

inicialmente formulada no âmbito dos modelos neoclássicos de crescimento, parte do princípio de que economias menos desenvolvidas tenderiam a crescer mais rapidamente do que as mais ricas, reduzindo, assim, as disparidades de renda ao longo do tempo. Essa ideia foi formalizada por Solow (1956; 1957), em um modelo que prever o alcance de um estado estacionário, desde que todas as economias compartilhem características estruturais semelhantes, como taxa de poupança, crescimento populacional e progresso tecnológico.

Empiricamente, distinguem-se dois tipos principais de convergência: a convergência beta (β), que ocorre quando economias com renda per capita inicial mais baixa apresentam taxas de crescimento mais elevadas, e a convergência sigma (σ), caracterizada pela redução da dispersão da renda entre regiões ou países ao longo do tempo (Barro; Sala-i-Martin, 1992). A β -convergência pode ser absoluta, quando todas as regiões tendem ao mesmo nível de renda, ou condicional, quando a convergência ocorre apenas entre regiões que compartilham características estruturais semelhantes. A σ -convergência, é verificada por meio de indicadores como o desvio padrão ou o coeficiente de variação da renda per capita entre unidades espaciais ao longo do tempo (Sala-i-Martin, 1996).

No entanto, a convergência absoluta raramente se concretiza, especialmente em regiões marcadas por heterogeneidade institucional, desigualdades históricas e limitações estruturais, como o Brasil. Nesse contexto, surge a noção de *catching up* como abordagem complementar, enfatizando que o processo de aproximação entre regiões não é automático, mas depende de fatores específicos, como capacidade institucional, desenvolvimento e inovação tecnológica, qualificação da força de trabalho e políticas públicas eficazes (Galar, 2010).

Particularmente o semiárido brasileiro, historicamente marcado por condições naturais adversas e um desenvolvimento desigual, configurando-se como uma das regiões mais vulneráveis em critérios socioeconômico do país (Lemos, 2020a). Características como a baixa e irregular precipitação pluviométrica, longos períodos de estiagem e a alta variabilidade climática dificultam seu desenvolvimento. Essas limitações ambientais, somadas a um processo histórico de marginalização e negligência institucional, fazem com que o semiárido permaneça preso a um ciclo de pobreza e baixo dinamismo econômico (Castro; Cerezini, 2022).

No estado de Pernambuco, cerca de 89% do território está sujeito às condições inerentes aos ecossistemas semiáridos: precipitação anual inferior a 800 mm, índice de aridez de *Thornthwaite* abaixo de 0,50 e risco de seca superior a 60% (SUDENE, 2025). Esses critérios revelam a intensidade das restrições climáticas enfrentadas por grande parte do estado, principalmente nas mesorregiões do Sertão, do São Francisco e parte do Agreste. A

configuração climática desses municípios é, por si só, um entrave ao desenvolvimento, mas o problema se agrava quando observamos as condições estruturais da região: escassez de infraestrutura adequada, o acesso limitado a serviços públicos essenciais e a concentração da atividade econômica em um setor agropecuário de baixa produtividade.

Diante desse cenário, entende-se que a vulnerabilidade econômica do semiárido pernambucano é um fenômeno complexo, que não se explica apenas pelas adversidades climáticas. Trata-se de uma condição estrutural multidimensional, composta pela interação entre três eixos principais: a vulnerabilidade climática, expressa pela escassez hídrica e instabilidade ambiental; a vulnerabilidade tecnológica, evidenciada pela baixa qualificação da força de trabalho e pela ausência de inovação produtiva; e a vulnerabilidade institucional, caracterizada por uma estrutura de governança fragilizada e por limitações na capacidade de formulação e execução de políticas públicas eficazes. Em outras palavras, significa dizer que os principais gargalos do subdesenvolvimento econômico do semiárido pernambucano sejam devidos a uma matriz de produção regional, com infraestrutura precária, baixo investimento em tecnologia e, reduzida qualidade institucional, influenciada pelos desafios climáticos da região (Lima et. al, 2024; Pyka; Lee, 2021; Lemos, 2020b; Lee, 2019; Acemoglu; Johnson; Robinson, 2001; 2005; 2012).

Por essas razões o objetivo desse trabalho é analisar a formação dos *clusters* de vulnerabilidade do semiárido pernambucano e a probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados. Existem evidências de que a vulnerabilidade econômica seja uma fonte de restrição ao desenvolvimento do semiárido pernambucano (Lima *et al*, 2024). Portanto, determinar a formação de clusters de vulnerabilidade, mapeando o atraso relativo do Pernambuco constitui uma iniciativa relevante dessa pesquisa para monitorar o atraso relativo do semiárido. A probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados do estado, condicionado as vulnerabilidades é uma análise importante que pode auxiliar a formulação de políticas públicas de correção das desigualdades.

2 Referencial teórico: convergência econômica e *catching up*

2.1 Teoria do crescimento e convergência econômica

Robert Solow (1956; 1957) desenvolveu um modelo que busca compreender a desigualdade do crescimento econômico, mediante taxa de investimento e crescimento populacional, explicitando o papel do progresso tecnológico e da acumulação de capital no

nível de desenvolvimento dos países. De acordo com os pressupostos do modelo: progresso tecnológico exógeno, rendimentos marginais decrescentes e semelhanças estruturais na taxa de investimento e de difusão tecnológica; as economias mais avançadas entrariam em um processo de retorno decrescente de capital, e as economias atrasadas tenderiam a crescer mais rapidamente do que as economias mais ricas, resultando eventualmente em uma convergência de renda per capita no longo prazo, que coincidiria com o ritmo de progresso técnico (Solow, 1956; 1957).

As ideias apresentadas em Lucas (1988) e Romer (1990), destacaram a importância do capital humano e dos investimentos quase exclusivos para o aumento da produtividade dos fatores. Os referidos trabalhos consideram que a conduta racional dos agentes econômicos causa produtividade. Assim, o ganho de produtividade associado as inovações e o capital humano são endógenas as escolhas dos agentes econômicos. Essas novas ideias rompem com a hipótese de convergência econômica, que pressupõe retornos decrescente do estoque de capital.

Mankiw; Romer; Weil (1992) fazem um resgate a teoria exógena, contribuindo com uma ampliação ao modelo de Solow. Os autores incorporam o capital humano na função de produção agregada, sem abandonar a característica desejável da função de produção côncava para baixo (Lima; Paulo; Souza, 2020). O modelo explica que a persistência das desigualdades econômicas, ocorrem em razão das diferenças da taxa de investimento e crescimento populacional (Lima; Souza, 2023). Essa característica do modelo demonstra que cada economia possui o seu próprio estado estacionário, levando a compreensão do conceito de convergência condicional de renda.

2.2 Teoria dos Clubes de convergência

Durlauf; Jhonson (1995) e Hansen (2000), que destacam a hipótese de múltiplos regimes de crescimento. Essa abordagem desafia a visão convencional de convergência e sugere que a hipótese de convergência, baseada em um único modelo linear, pode não capturar adequadamente a complexidade do comportamento do crescimento entre países. Em vez disso, os resultados indicam a presença de múltiplos regimes de crescimento, nos quais subgrupos de países definidos por condições iniciais distintas obedece à modelos lineares diferentes. Resultado semelhante encontrado por Quah (1996).

Quah (1996) explora os padrões de crescimento econômico entre países a partir da dinâmica da distribuição de renda. O autor identifica a emergência de "picos gêmeos" na

distribuição de renda per capita entre países, indicando uma polarização e estratificação econômica. Constata que as economias emergem para dois picos modais ao longo do tempo, sem estabelecer qualquer relação condicional com os parâmetros da função de produção agregada. Para tanto presume que as economias que estão relativamente nos clubes atrasados dificilmente alcançariam as economias avançadas, circunstanciando baixa probabilidade de convergência.

Phillips; Sul (2007) propõem um modelo de dados em painel. O modelo consiste em uma análise dos *clusters* e a formação dos clubes de convergência, identificando subgrupos que exibem convergência, mesmo que o painel como um todo não apresente evidências desse fenômeno. Isso é relevante em situações que diferentes subgrupos de economias podem estar convergindo para diferentes estados estacionários ou trajetórias de crescimento. O modelo é útil para compreender a heterogeneidade nos processos de convergência econômica. No entanto, se mostra limitado para explicar os padrões do crescimento condicional.

2.3 Teoria do *Catching up*

A hipótese de *catching up* está respaldada na Teoria do Crescimento Unificado, cuja principal referência é Galor (2004; 2007; 2010). Essa teoria propõe a existência de múltiplos regimes de crescimento, permitindo compreender, sob uma perspectiva de longo prazo, por que diferentes economias seguem trajetórias distintas. Nesse contexto, a ideia de *catching up* emerge como possibilidade realista de aproximação entre economias, a depender das condições estruturais específicas de cada região.

O principal *insight* da abordagem de Galor (2004; 2007; 2010) está na interligação entre a dinâmica de crescimento econômico e a formação de clubes de convergência. Esses clubes seriam, segundo o autor, equilíbrios transitórios, moldados por mudanças nos regimes de crescimento que dependem de limiares estruturais. Esses clubes podem incluir economias de crescimento lento em um regime malthusiano, economias de crescimento rápido em um regime de crescimento sustentado e economias em transição (Galor, 2010). Essa leitura enfraquece a hipótese tradicional de desigualdade como estado estacionário, sugerindo que há espaço para mobilidade e transformação (Lima; Urraca Ruiz, 2020).

O conceito de *catching up* complementa a noção de convergência ao enfatizar os mecanismos pelos quais regiões atrasadas conseguem reduzir sua defasagem tecnológica e produtiva em relação à fronteira econômica. Diferentemente da abordagem neoclássica, que pressupõe trajetórias automáticas de convergência condicionadas apenas à acumulação de

capital e rendimentos marginais decrescentes, a literatura sobre *catching up* destaca que esse processo é altamente dependente de fatores estruturais e tecnológicos. Abramovitz (1986) foi um dos primeiros autores a reconhecer que o avanço das economias retardatárias depende da sua capacidade de absorver e adaptar tecnologias exógenas — capacidade “social de absorção”, que engloba o nível de educação, infraestrutura e coesão institucional.

O processo de *catching up* está associado ao conceito de difusão tecnológica, central nos modelos de crescimento endógeno, em que o progresso tecnológico é visto como um fator chave para a elevação da produtividade total dos fatores. Autores como Verspagen (1991) e Fagerberg (1994) argumentam que a velocidade do *catching up* depende tanto do “gap” tecnológico quanto da capacidade de inovação e das condições institucionais que favorecem a absorção e adaptação de tecnologias exógenas. Assim, regiões que possuem melhores níveis de capital humano, infraestrutura, governança e integração com mercados mais dinâmicos, tendem a apresentar maiores chances de convergência.

O *catching up* viabilizado não por um movimento espontâneo do mercado, mas por uma combinação complexa de fatores: planejamento estratégico, fortalecimento institucional, mobilização de capacidades produtivas internas e um Estado capaz de coordenar e sustentar o processo. Contudo, o que se pode ilustrar é que o processo é influenciado por fatores como investimento em capital físico e humano, de infraestrutura, instituições eficazes e políticas industriais inteligentes, que resulta na capacidade de criar, absorver e adaptar tecnologias avançadas (Pyka; Lee, 2021; Kerr; Nicoud, 2020; Bresser-Pereira; Jabbour; Paula, 2020; Lima; Urraca Ruiz, 2020; 2019; Lima *et al*, 2024).

3. Metodologia

O estudo se propõe a identificar os *clusters* de vulnerabilidade do estado de Pernambuco a partir dos principais diagnósticos do atraso relativo das regiões do Brasil, considerando como parâmetros médios as características tecnológicas, institucionais e climáticas da região. A análise dos clusters de vulnerabilidade foi conduzida utilizando a estimação de clubes de convergência apresentada por Phillips e Sul (2007). Esse procedimento metodológico está descrito na subseção 3.1.

A segunda parte do trabalho consiste em uma estimativa de *catching up* dos municípios mais atrasados, condicionado as vulnerabilidades do estado, usando os modelos de probabilidade *Logit* e *Probit* ordenado. O método de probabilidade para análise de *catching up*

se apresenta como adequado devido a sua capacidade de estimar chances de *catching up*, mesmo com um horizonte temporal relativamente curto.

3.1 Clubes de Vulnerabilidade

A modelagem empírica para formação dos clusters de vulnerabilidade baseia-se no procedimento proposto por Phillips e Sul (2007) para investigar a presença de convergência entre os municípios do estado de Pernambuco, considerando a vulnerabilidade econômica, expressa pela vulnerabilidade climática, institucional e tecnológica, como variável de interesse. Essa abordagem permite verificar se diferentes municípios compartilham trajetórias similares de longo prazo em relação a vulnerabilidades sistêmicas, possibilitando a formação de clubes de convergência. A Equação 1, apresenta o processo de convergência, em que a sensibilidade Ω_{it} do município i , com o tempo tendendo ao infinito, externa a mesma vulnerabilidade Ω_{jt} do município j .

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\Omega_{it}}{\Omega_{jt}} = 1 \quad (1)$$

A formação dos clusters de vulnerabilidade é expressa pela Equação 2. O termo H_t representa a dispersão relativa entre os municípios no tempo t , enquanto o coeficiente b indica se há uma tendência comum entre eles. A estatística t do parâmetro b é utilizada como critério para decidir sobre a presença de convergência. Caso a convergência geral seja rejeitada (isto é, $t_b \leq -1,65$), procedeu-se à formação de clubes de convergência, compostos por subconjuntos de municípios que compartilham padrões semelhantes de vulnerabilidade econômica ao longo do tempo.

$$\log \frac{H_1}{H_t} - 2 \log \{\log(t)\} = a + b \log(t) + \varepsilon_t \quad (2)$$

A formação do clube de vulnerabilidade k se dá quando a estatística do teste de regressão $\log(t)$ é $t(k) > -1,65$, assim forma-se o grupo principal, e a partir dele, testam-se os subgrupos $\{k, k+1\}$. A ausência de um grupo k com $t_k > -1,65$ significa que não há clusters de vulnerabilidade entre os municípios pernambucanos. A condição $t_k > -1,65$ desempenha um papel fundamental em garantir que a hipótese nula de convergência seja sustentada para cada k .

Após a identificação inicial dos clubes de convergência, é possível aplicar o procedimento de fusão interativo entre clubes. Esse processo consiste em testar se dois ou mais grupos identificados inicialmente convergem entre si, ou seja, se compartilham uma trajetória comum a longo prazo. Quando a fusão é estatisticamente válida ($t_k > -1,65$), os clubes são combinados em um único grupo maior, reforçando a ideia de convergência compartilhada e reduzindo o número final de clubes (Lima *et al*, 2024).

3.2 Estimação de *Catching up*

A modelagem de *catching up* é construída através da estimação dos modelos de probabilidade *Logit* e *Probit* ordenado, que consistem em explicar os efeitos de uma variável independente sobre a mudança na probabilidade de resposta, ou seja, qual a probabilidade de se obter o sucesso. O melhor estimador é escolhido com base nos parâmetros de ajuste o Akaike *Information Criterion* (AIC) (Akaike, 1969), *Bayesian Information Criterion* (BIC) (Schwarz, 1978), *pseudo R²* e predição. O efeito marginal das variáveis independentes sobre a probabilidade de *catching-up* é obtido através das derivadas parciais das probabilidades estimadas (Wooldridge, 2018).

Os modelos com variáveis categóricas ordenadas possibilitam estimar a mudança na probabilidade de *catching up* dos municípios, capturando a contribuição da dotação dos fatores investimento (Sk) e das vulnerabilidades econômica (Ω), sobre a probabilidade de os municípios alcançarem um clube de desenvolvimento superior, isto é, realizar o *catching-up*.

$$y_i = \hat{\beta}\Omega_i + \hat{\theta}Sk_i + \hat{u}_i \quad (3)$$

Os parâmetros estimados das variáveis relativas aos vetores Sk e Ω permitem identificar os efeitos do capital físico e das vulnerabilidades sobre as mudanças na probabilidade de transição municipal entre os clubes. As equações ordenadas avaliam a probabilidade de mudanças relacionadas ao clube mais avançado, correspondendo a um *catching up* econômico municipal.

3.3 Apresentação das variáveis e fonte dos dados dos Clusters

Os clusters de vulnerabilidade foram identificados através dos componentes do índice de vulnerabilidade econômica, uma média ponderada dos subíndices de vulnerabilidade

tecnológica, climática e institucional. As cargas fatoriais são usadas para determinar os pesos das médias ponderadas dos componentes identificados, assim como em Lima *et al* (2024).

O subíndice de vulnerabilidade tecnológica é medido com base na ausência de tecnologias, tendo como proxy a formação profissional de indivíduos ligados a atividades econômicas intensivas em tecnologia (Araújo; Cavalcante; Alves, 2009). Essa *proxy* é encontrada na Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (Rais/MTE), de acordo com a Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), abrangendo as categorias de pesquisadores - CBO 203; engenheiros mecatrônicos - CBO 202, engenheiros civis - CBO 214, engenheiros agrônomos e de pesca – CBO 222; diretores de P&D – CBO 1237 e; gerentes de P&D - CBO 1426); profissionais “científicos” – CBO 201; matemáticos, estatísticos e afins – CBO 211; profissionais de informática – CBO 212; físicos, químicos e afins – CBO 213 e; biólogos e afins – CBO 221.

Os dados relacionados as variáveis climáticas, são obtidos no TerraClimate, que reúne um conjunto de dados mensais sobre o clima e balanço hídrico. As variáveis utilizadas na construção da proxy climática incluem a precipitação pluviométrica mensal (MPP); a média do déficit hídrico (DEF), a média do Índice de Porcentagem Normal (MIPN) de chuva e o índice de seca (PDSI). Para controlar grandes discrepâncias de renda, foram utilizados o logaritmo da normalização na média das variáveis climáticas, devido à diferença de magnitude entre as medições.

$$\text{Controle da discrepância} = \frac{\ln(\text{vulnerabilidade Climática}) - \ln(\text{valor mínimo})}{\ln(\text{valor máximo}) - \ln(\text{valor mínimo})}$$

(4)

Os efeitos negativos do déficit hídrico de Palmer e da severidade da seca, foram controlados subtraindo 1 das variáveis normalizadas, antes de serem multiplicadas por seus respectivos pesos na média ponderada, como mostra a equação 5.

$$\text{Controle do efeito negativo} = pX_1 * (1 - X_1)$$

(5)

O subíndice de vulnerabilidade tecnológica é padronizado pela população residente municipal, e normalizado para variar entre 0 e 1, como mostra a equação 6. O mesmo método de normalização é utilizado para os parâmetros climáticos.

$$SVI_{it}, SVT_{it} = \frac{X_{it} - (X_{it}Mínimo)}{(X_{it}Máximo) - (X_{it}Mínimo)} \quad (6)$$

A base dos dados institucionais, foi estimado com a proxy das variáveis de Óbitos evitáveis em menores de 5 anos de idade, disponibilizadas na plataforma DATASUS e, comparecimento ao primeiro turno das eleições para prefeito e presidente, disponibilizados no IPEADATA. As variáveis relacionadas ao comparecimento às eleições são disponibilizadas bianualmente pelo Tribunal Superior Eleitoral, em razão da alternância entre eleições municipais e nacionais. Considerando que o número de eleitores e a taxa de comparecimento às urnas não sofrem variações significativas no curto prazo, será realizada a interpolação dos dados para os anos em que as informações estiverem ausentes.

Os parâmetros institucionais são padronizados pela população residente municipal, assim como as variáveis do subíndice de vulnerabilidade tecnológica. O efeito negativo da variável de Óbitos evitáveis, foi controlado utilizando a mesma metodologia das variáveis do subíndice climático, presente na equação 5.

O Quadro 1 apresenta os componentes de vulnerabilidade tecnológica, climática e institucional das variáveis associadas a cada componente, as cargas fatoriais dessas variáveis e os pesos médios ponderados obtidos na análise, assim como em Lima *et al* (2024).

Quadro 1: Cargas fatoriais e pesos para a construção do Índice de Vulnerabilidade Econômica

Componentes do IVE	Variáveis	Cargas Fatoriais	Pesos
SVT	Pesquisadores	0,3220	0,1847
	Diretores e gerentes	0,6692	0,5698
	Engenheiros	0,5130	0,4368
	Profissionais científicos	0,3393	0,2889
SVC	MIPN	0,6141	0,2202
	DEF	0,8241	0,2956
	PPT	0,8130	0,2916
	PDSI	0,5364	0,1924
SVI	Mortes evitáveis	0,4950	0,612
	Comp. 1º turno das eleições	0,3138	0,3878

Fonte: Elaboração própria.

3.4 Definição das variáveis e fonte dos dados de *catching up*

Para estimativa de *catching up*, foram utilizadas a análise de clubes de convergência de renda (y_{jt}), a variáveis de investimento (sk_{it}) e índice de vulnerabilidade econômica (Ω). A proxy da taxa de investimento (sk_{it}) é determinada pela participação da média do valor adicionado a produção setorial, ponderada pela participação do capital em cada setor sobre a PIB municipal (Siqueira, 2019; Lima *et al*, 2024). Os dados sobre o valor adicionado da produção setorial estão disponíveis na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e a participação do capital setorial pode ser encontrada em Santos e Spolador (2018). Os clubes de convergência de renda (y_{jt}), estimado em Lima *et al* (2024). O índice de vulnerabilidade econômica (Ω) será determinado pela média ponderada dos fatores ligados à infraestrutura tecnológica, institucional e climática da região semiárida de Pernambuco, pela análise de componentes principais.

4. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados do teste de hipótese de convergência conjunta e de clubes de convergência da vulnerabilidade do Estado de Pernambuco. As estimativas mostram que os municípios pernambucanos não convergem para o mesmo nível de vulnerabilidade, rejeitando a hipótese de convergência conjunta a 5% de significância. Diante da ausência de convergência absoluta no estado, a análise avança para testar a hipótese de clubes de convergência, sugerindo que grupos específicos de municípios com padrões distintos de vulnerabilidades.

Os resultados da regressão $\log(t)$ exposto no painel A, com o teste de clubes de convergência, sugere que os municípios pernambucanos estão convergindo para 9 clusters distintos. Em todos os clusters, denominados de clubes de convergência, a hipótese nula de convergência é aceita a 5% significância. O painel B, testa a hipótese de fusão dos clusters. O resultado estimado indica que ocorre fusão nos clubes 2 e 3, 3 e 4, 4 e 5 e 7 e 8. Nos cinco grupos restantes a estatística $t < -1,65$.

O processo de fusão testa a hipótese de agrupamento entre os distintos clubes. No caso dos municípios pernambucanos, encontra-se a formação de nove clubes e a fusão de quatro clubes de convergência, resultando em cinco clubes finais, como exposto no painel C. No processo de agregação, o clube 1 permanece inalterado, os clubes 2 e 3 formam o clube 2, os clubes 4 e 5 passam a constituir o clube 3, o clube 6 torna-se o clube 4, o clube 7, 8 e 9 integram-se e passam a formar o clube 5.

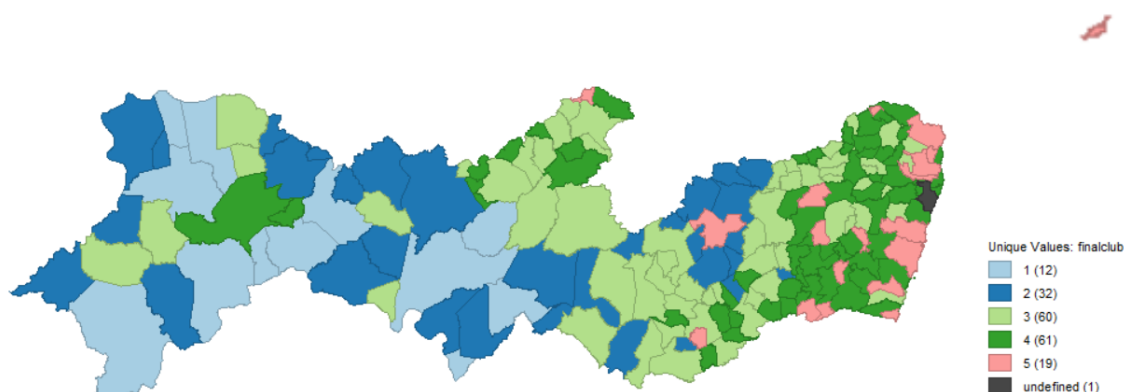
Tabela 1 - Análise dos clubes de convergência dos municípios de Pernambuco, 2010-2019

Clubes de Convergência	Coefficiente	$t\hat{b}$	$\hat{\alpha}$
Convergência conjunta	-1,2259	- 102,0269*	-51,01345
Clube de convergência			
Clube 1	0,334	1,941	0,9705
Clube 2	0,315	1,873	0,9365
Clube 3	0,103	0,552	0,276
Clube 4	0,198	1,038	0,519
Clube 5	0,159	0,951	0,4755
Clube 6	-0,143	-1,643	-0,8215
Clube 7	0,250	1,478	0,739
Clube 8	0,981	2,695	1,3475
Clube 9	0,493	3,452	1,726
Fusão dos clubes			
Clube 1 + 2	-0,617	-20,347*	-10,1735
Clube 2 + 3	0,048	0,363	0,1815
Clube 3 + 4	0,092	0,559	0,2795
Clube 4 + 5	-0,042	-0,351	-0,1755
Clube 5 + 6	-0,599	-12,518*	-6,259
Clube 6 + 7	-0,416	-6,220*	-3,11
Clube 7 + 8	0,213	1,345	0,6725
Clube 8 + 9	-0,416	-9,803*	-4,9015
Clubes finais			
Clube 1	0,344	1,941	0,9705
Clube 2	0,048	0,363	0,1815
Clube 3	-0,046	-0,351	-0,1755
Clube 4	-0,143	-1,643	-0,8215
Clube 5	-0,095	-1,001	-0,5005

Nota: A tabela exibe o resultado da regressão $\log - t$, sendo $\hat{\alpha}$ a velocidade de ajustamento dos parâmetros dado por $\hat{b} / 2$. (*) indica a rejeição da hipótese nula a 5 % de significância. Os clubes de convergência são significativos para $tstat > -1,65$.

No mapa apresentado na Figura 1 é possível ver a distribuição espacial dos municípios de Pernambuco classificados nos clubes de convergência. Os clubes estão apresentados em ordem crescente de acordo com a legenda *finalclub* do mapa: 1, 2, 3, 4, 5. Significa dizer que o clube 1 é o mais vulnerável e o clube 5 é o menos vulnerável. Dessa forma, é possível identificar que os clubes mais atrasados estão presentes nas mesorregiões do Sertão e do São Francisco e os clubes mais avançados na Zona da Mata e Região Metropolitana de Recife. A Cidade de Recife é excluída do mapa, automaticamente, pela ausência de convergência entre os resultados estimados.

Figura 1: Mapa dos clusters de vulnerabilidade no Estado de Pernambuco.



Fonte: elaboração própria.

4.2 Análise de catching up econômico

Os modelos de regressão *Logit* e *Probit* ordenado mostram como uma mudança nas variáveis de Vulnerabilidade econômica e capital físico afetam a probabilidade de os municípios, classificados em diferentes níveis de vulnerabilidade, mudarem para um clube com status de desenvolvimento superior. Dentre os critérios de precisão e ajuste: o desvio padrão dos parâmetros, os critérios de ajuste *Akaike* (AIC), *Bayesiano* (BIC), o *pseudo R²* e uma estatística de predição, o modelo *Logit* apresentou os melhores indicadores. Por essas razões os resultados exibidos ao longo do texto são referentes aos coeficientes da regressão do modelo *Logit*.

A Tabela 2 apresenta a modelagem de *Catching up*, obtida através do *Logit* e *Probit* ordenado por ano e empilhado. Os resultados expõem significância a 1%, 5% e 10% para todo o conjunto de dados, com exceção dos anos de 2016 e 2017, para ambos os modelos. Os valores negativos da variável de vulnerabilidade econômica, indicam que a vulnerabilidade diminui a probabilidade de *catching up* econômico dos municípios mais atrasados do estado de Pernambuco. Na média do estimador com dados empilhados, a modelagem logística exibe que o impacto da vulnerabilidade, reduz em aproximadamente 2,65% as chances de uma economia alcançar o *status* de desenvolvimento avançado. A variável de capital físico expõe valores positivos e significativos a 1% para todos os anos em análise, sugerindo que investimentos em bens de capital aumenta a probabilidade de *catching up*.

Tabela 2 - Probabilidade de *catching up* econômico condicionada a vulnerabilidade (Ω) e investimento (Sk), usando *Logit* e *Probit* ordenado por ano e empilhado, com desvio padrão robusto

Anos	Logit		Probit	
	Ω - Logit	Sk - Logit	Ω - Probit	Sk - Probit
2010	-3,095456**	5,169638***	-1,669086**	2,813951***
2011	-3,352033***	6,269975***	-1,828674***	3,1754***
2012	-2,542509*	7,94922***	-1,336256*	4,399844***
2013	-2,249428**	8,96764***	-1,139588**	4,787846***
2014	-4,721585***	10,79877***	-2,382309***	5,488571***
2015	-2,903493**	10,45327***	-1,487437**	5,756551***
2016	-1,607598	11,21424***	-0,6949274	6,445012***
2017	-1,785513	12,30378***	-0,9378295	6,961839***
2018	-5,599432***	12,59351***	-2,876588***	6,835391***
2019	-6,999628***	12,76635***	-3,703644***	7,210614***
Empilhado	Logit Empilhado		Probit Empilhado	
	Ω - Logit	Sk - Logit	Ω - Probit	Sk - Probit
2010-2019	-2.648579***	9.22934***	-1.370034***	4.929032***
Pseudo R2	0.2932		0.2805	
Wald chi2	840.39***		735.44***	
AIC	3903.844		3973.672	
BIC	3942.505		4012.333	

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *** significância a 1%, ** significância a 5%, * Significância a 10%.

O efeito marginal mede a variação da probabilidade de *catching-up* condicionadas as variáveis independentes do modelo por clube de desenvolvimento municipal. Os resultados estão apresentados em ordem crescente, em que os municípios mais atrasados estão no clube 1 e os mais avançados no clube 6. A estimação de *catching up* avalia a probabilidade de mudanças relacionadas ao clube mais avançado, correspondendo a um *catching up* econômico municipal.

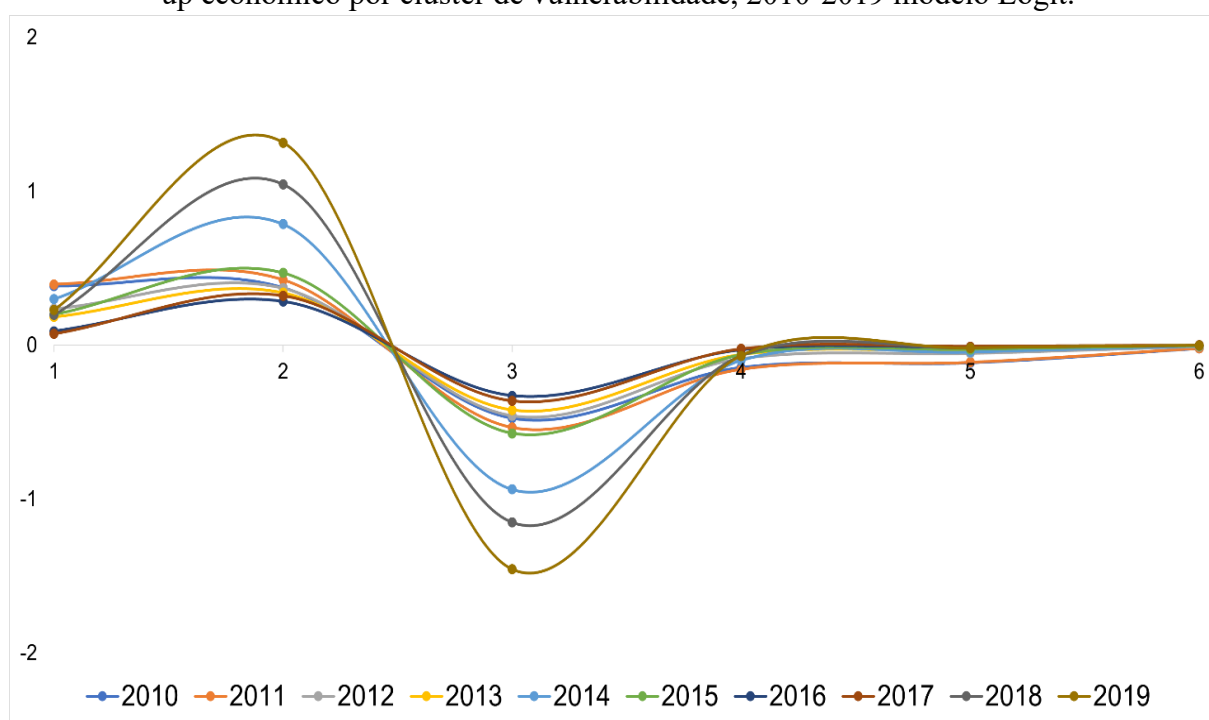
A Figura 2, apresenta o efeito marginal da vulnerabilidade econômica sobre a probabilidade de *catching up*, demonstrando que para cada aumento unitário da vulnerabilidade econômica, aumenta a probabilidade dos municípios se manterem atrasados. Municípios em clubes com maior vulnerabilidade econômica apresentam uma probabilidade negativa de *catching up*. A vulnerabilidade só se mostra como gargalo nos grupos de municípios mais atrasado.

Os clubes 1 e 2 são compostos por municípios que possuem um alto índice de vulnerabilidade, o efeito marginal é positivo, circunstanciando que um aumento de 1% da vulnerabilidade econômica, aumenta a probabilidade de os municípios permanecerem

atrasados. Investimentos estruturantes de tecnologias de convivência com a seca são relevantes para romper os efeitos da vulnerabilidade econômica no atraso crônico desses municípios.

Para o clube 3, seu efeito marginal é negativo, isso significa dizer que uma variação incremental da vulnerabilidade reduz a probabilidade de alcançar o clube de desenvolvimento mais avançado, é intuitivo que a vulnerabilidade econômica é a principal responsável pelo atraso relativo dessa região. Já os clubes 4 e 5, a vulnerabilidade é quase nula, são os clubes que possuem as maiores chances de alcançar o nível de desenvolvimento do clube 6.

Figura 2 - Efeitos marginais da Vulnerabilidade Econômica sobre a probabilidade de Catching up econômico por cluster de vulnerabilidade, 2010-2019 modelo Logit.

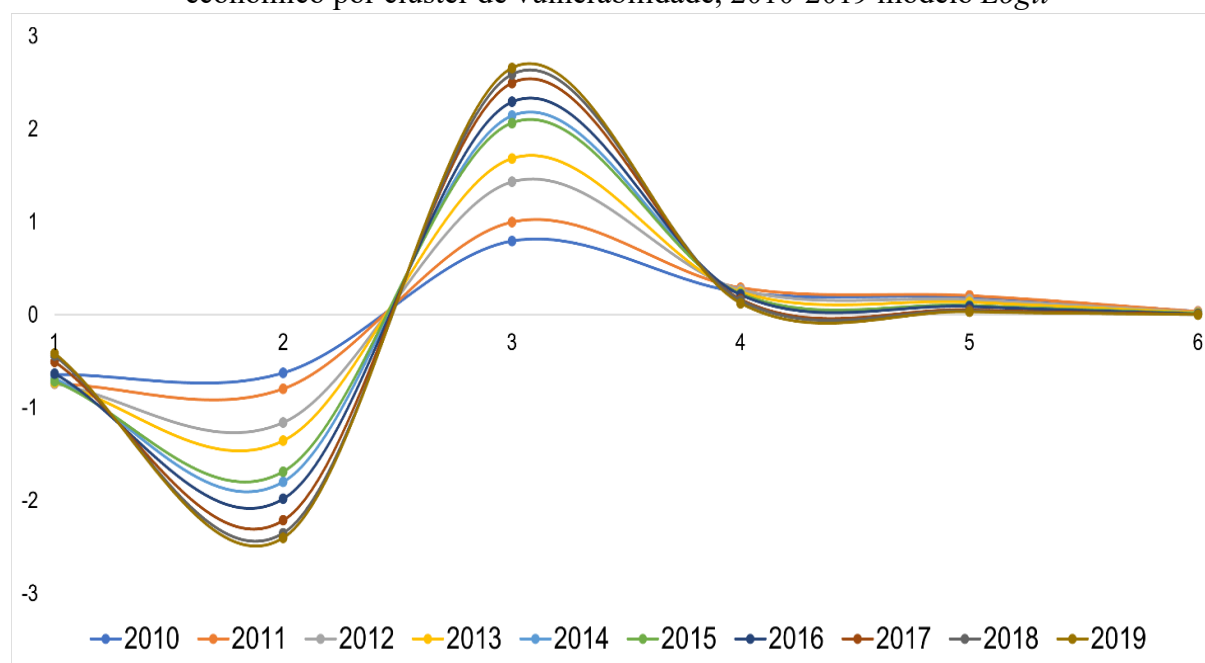


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3 mostra o efeito marginal do capital físico sobre a probabilidade de mudança dos clubes atrasados em relação ao clube avançado. Os resultados se mostram contrários aos dos efeitos da vulnerabilidade econômica. O aumento da taxa de investimento para os municípios do clube 1, diminui a probabilidade de se manterem atrasados. No clube 1 estão os municípios que apresentam o maior índice de vulnerabilidade. São esses municípios que necessitam de investimentos estruturante, em máquinas e equipamentos de convivência com a seca, para romper o efeito da vulnerabilidade econômica no subdesenvolvimento desses municípios.

O clube 2 mais investimentos aumenta a probabilidade de permanência dos municípios nos clubes atrasados, denotando que para esses municípios, investimentos em bens de capital não são os principais determinantes do drive de *catching up*, mesmo sendo significativos. Existem outras causas não alcançadas por essa pesquisa que poderiam influenciar a probabilidade de máximo desenvolvimento dos municípios. Há uma vasta literatura sobre os efeitos da inovação e da absorção tecnológica como causa principal do *catching up* econômico, como pode ser visto em Galor (2010; 2007) e Lima; Urraca Ruiz (2020), que podem ser exploradas em novas versões dessa pesquisa.

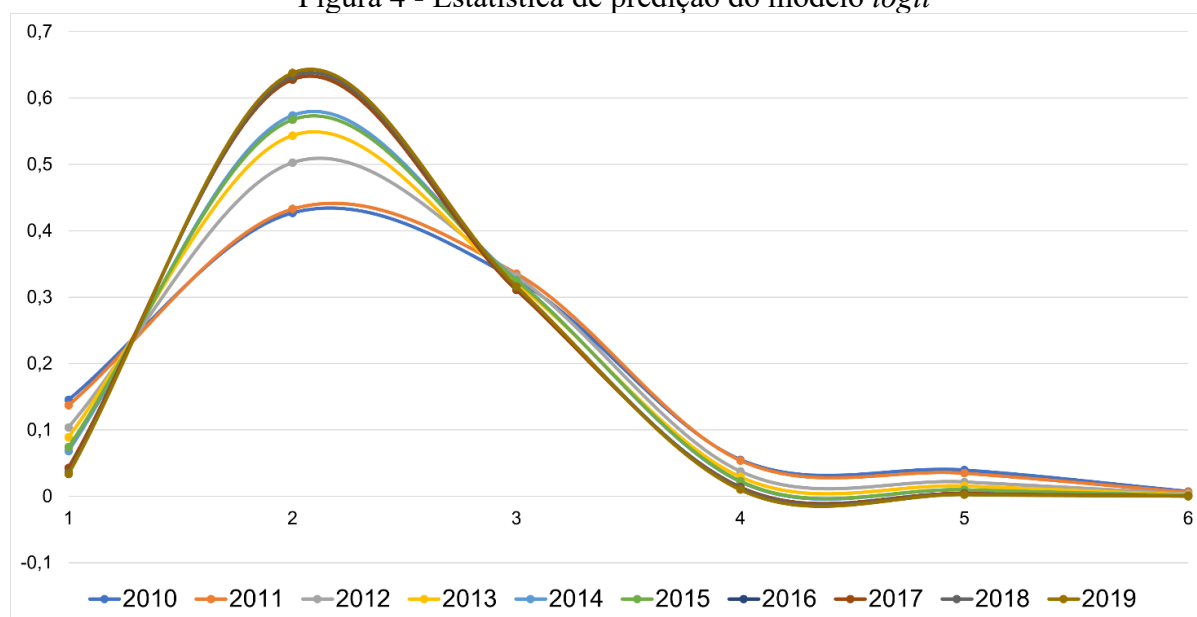
Figura 3 - Efeitos marginais da Taxa de Investimento sobre a probabilidade de *Catching up* econômico por cluster de vulnerabilidade, 2010-2019 modelo *Logit*



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados estimados para os clubes 1, 2 e 3 são aqueles com maior predição do modelo, em todos os anos da análise, conforme evidenciado na Figura 4. Isso corrobora a robustez dos resultados de *catching up* exclusivamente para esses clubes de desenvolvimento. Significa dizer que a vulnerabilidade econômica e o investimento exercem um impacto significativo apenas sobre os clubes mais atrasados. Essa robustez sugere que, enquanto os clubes mais avançados são menos afetados pelas variáveis analisadas, os clubes mais vulneráveis são altamente influenciados por essas condições econômicas adversas.

Figura 4 - Estatística de predição do modelo *logit*



Fonte: elaboração própria.

Adicionalmente, a análise destaca que a vulnerabilidade econômica e os investimentos são determinantes críticos para o desenvolvimento econômico desses clubes, enquanto outras variáveis, não capturadas por esta pesquisa, podem ser mais relevantes para os clubes mais avançados. Isso sugere a necessidade de futuras pesquisas que explorem outras variáveis, como inovação e absorção tecnológica, para entender os fatores que impulsionam o desenvolvimento econômico nos clubes mais avançados.

5. Conclusões

Sob a hipótese de que a vulnerabilidade é a principal causa do atraso econômico da região semiárida, o quadro analítico apresentado nessa pesquisa consiste em analisar a formação dos clusters de vulnerabilidade do semiárido pernambucano e a probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados. Para atingir esses objetivos, foram definidos dois pontos principais: mapear os clusters de vulnerabilidade econômica a partir dos principais diagnósticos do atraso relativo: fatores climáticos, institucionais e tecnológicos do semiárido pernambucano, e estimar a probabilidade de *catching up* dos municípios mais atrasados condicionados às vulnerabilidades.

A vulnerabilidade econômica é, de fato, uma barreira ao desenvolvimento econômico do semiárido pernambucano. Os resultados corroboram com os pressupostos do estudo, evidenciando que diferenciais tecnológicos, climáticos e institucionais são os principais gargalos do subdesenvolvimento dos municípios mais atrasados de Pernambuco. A análise

revela que as condições de vulnerabilidade influenciam negativamente a capacidade dos municípios menos desenvolvidos de alcançarem níveis superiores de crescimento econômico. Logo, é possível evidenciar que o fraco desempenho dos municípios do semiárido pernambucano, está ligado à sua matriz de produção, com infraestrutura precária, fracas instituições e baixo investimento em tecnologia, que poderiam mitigar os efeitos negativos dos fatores climáticos sobre a produção.

A estimativa de *catching up* apresentou que a vulnerabilidade reduz a chances de uma economia alcançar um status de desenvolvimento mais avançado, contudo, os investimentos em bens de capital possuem um efeito positivo na construção de *catching up*. A modelagem exibe que um aumento da vulnerabilidade economia nas economias mais sensíveis, condicionaria sua permanência em um clube mais atrasado, enquanto a aplicação de investimento na mesma proporção para todo o estado, resultaria em desigualdades econômicas mais aguda.

Portanto, é conclusivo que a vulnerabilidade econômica inibe efeitos mais responsivos do investimento nas regiões em que a sensibilidade é esperada ser maior do que em economias livres de vulnerabilidades, e que os municípios do semiárido de Pernambuco depende de investimentos estruturantes e sustentáveis, com tecnologias que mitiguem o efeito das vulnerabilidades econômicas para a construção de *catching up*.

Referências

- ABRAMOVITZ M. Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. **The Journal of Economic History**. Vol. 46(2):385-406. 1986. Doi:10.1017/S0022050700046209
- ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation: Reply. **The American Economic Review**, 102.6, p. 3.077-3.110. 2012.
- ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. Chapter 6 Institutions as a Fundamental Cause of Long-Run Growth. Editor(s): Philippe Aghion, Steven N. Durlauf. **Handbook of Economic Growth, Elsevier**. Volume 1, Part A, 2005.
- ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S.; ROBINSON, J. The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. **American economic review**, v. 91, n. 5, p. 1369-1401, 2001.
- AKAIKE, Hirotugu. Fitting autoregressive models for prediction. **Selected Papers of Hirotugu Akaike**. New York, NY: Springer New York, 1969. p. 131-135.
- ARAÚJO, Bruno; CAVALCANTE, Luiz Ricardo César; ALVES, Patrick. "Variáveis proxy para os gastos empresariais em inovação com base no pessoal ocupado técnico-científico disponível na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)." (2009).

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

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos; JABBOUR, Elias; PAULA, Luiz Fernando de. South Korea's and China's catching-up: a new-developmental analysis. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 40, n. 2, p. 264-284, 2020.

CASTRO, César Nunes de; CEREZINI, Monise Terra. Desenvolvimento regional da área de influência do Programa de Integração do São Francisco. **Econstor: Make Your Publications Visible**. Brasília, set-2022.

DURLAUF, Steven N.; JOHNSON, Paul A. Multiple Regimes and Cross-Country Growth Behaviour. **Journal of Applied Econometrics**, Vol. 10, N°. 4, pp. 365-384. Nova Jersey, EUA, out. - dez., 1995.

FAGERBERG, Jan. Technology and International Differences in Growth Rates. **Journal of Economic Literature**, vol. 32, no. 3, 1994, pp. 1147-75.

GALOR, Oded. Multiple growth regimes – Insights from unified growth theory. **Journal of Macroeconomics**, v. 29, n. 3, p. 470-475, 2007.107.

GALOR, Oded. The 2008 Lawrence R. Klein lecture—Comparative economic development: Insights from unified growth theory. **International Economic Review**, v. 51, n. 1, p. 1-44, 2010.

GALOR, Oded. The demographic transition and the emergence of sustained economic growth. **Econstor: Make Your Publications Visible**. Setembro, 2004.

HANSEN, Bruce E. Sample splitting and threshold estimation. **Econometrica**, V. 68, N° 3, p. 575-603. May, 2000.

KERR, William R.; NICOU, Frederic Robert. Tech Clusters *Journal of Economic Perspectives*, V 34, N° 3, p. 50-7, 2020.

LEE, Keun. THE ART OF ECONOMIC CATCH-UP: Barriers, Detours, and Leapfrogging In Innovation Systems. Cambridge, 2019.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Vulnerabilidades induzidas no semiárido brasileiro. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 245-268, 2020a.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Vulnerabilidades induzidas no semiárido brasileiro. **Imprensa Universitária**. Fortaleza, 2020b.

LIMA, Sergiany da Silva; URRACA RUIZ, Ana. Clubes de convergência e drivers de catching-up dos municípios brasileiros 2000-2010. **Nova economia**, v. 30, p. 455-481, 2020.

LIMA, Sergiany da Silva; URRACA RUIZ, Ana. Falling behind, forging ahead e catching up: uma modelagem do gap tecnológico a partir da Teoria dos Regimes de Crescimento a luz da Teoria do Crescimento Unificado. **Textos de Economia**, v. 22, n° 2, p. 1-30. Florianópolis, dez/2019.

LIMA, Sergiany da Silva; SOUZA, Ana Clédia Ferreira. Crescimento e convergência condicional dos estados brasileiros: uma aplicação do modelo ampliado de Solow com dados em painel. **Revista dos Mestrados Profissionais - UFPE / CCSA – MGP**. V. 12 – N° 1, p. 123-149. Recife – PE, 2023.

LIMA, Sergiany da Silva; PAULO, Felipe Luiz Lima de; SOUZA, Maria Cristiane Lopez de. Convergência Condicional: uma análise dos Clubes De Convergência Municipais no Brasil.

Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, V. 16, N°. 3, p. 45-58, Taubaté-SP, set-dez/2020.

LIMA, Sergiany da Silva et al. Economic vulnerability and its effects on conditional convergence clubs in the semi-arid region of Pernambuco, Northeast Brazil. **Papers in Regional Science**, V. 103, p. 1-14, jane/2024.

LUCAS, Jr; Robert. E. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**, V 22, pp. 3-42. North-Holland, Feb., 1988.

MANKIW, N. Gregory; ROMER, David; WEIL, David N. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, Vol. 107, N°. 2, p. 407-437. Oxford, 1992.

PHILLIPS, By Peter C. B.; SUL, Donggyu. Transition modeling and econometric Convergence tests. **The Econometric Society**, V. 75, N° 6, p. 1771–1855, Nov/2007.

PYKA, Andreas; LEE, Keun. Innovation, Catch-up and Sustainable Development: A Schumpeterian Perspective. **Springer**, 2021.

QUAH, Danny T. Empirics for economic growth and convergence. **European Economic Review** p. 1353-1375. Feb, 1996.

ROMER, Paul M. **Endogenous technological change**. Journal of Political Economy. 1990.

SALA-I-MARTIN, Xavier X. Regional cohesion: evidence and theories of regional growth and convergence. **European Economic Review**, Vol. 40, Issue 6, 1996, Pages 1325-1352.

SANTOS, P. F. A.; SPOLADOR, H. F. S. Produtividade Setorial e Mudança Estrutural no Brasil: uma análise para o período 1981 a 2013. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro v. 72 n. 2 / p. 217–248 Abr-Jun 2018

SCHWARZ, Gideon. Estimating the dimension of a model. **The annals of statistics**, p. 461-464, 1978.

SIQUEIRA, Kleyton José da Silva Pereira de. Produtividade e Eficiência dos Municípios Brasileiros: um olhar para as heterogeneidades regionais. DEPARTAMENTO DE ECONOMIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (PIMES). Tese de Doutorado, 2019.

SOLOW, Robert M. A contribution to the theory of economic growth. **The quarterly journal of economics**, V. 70, N° 1, pp.65-94. Fev., 1956.

SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. **The review of Economics and Statistics**, V. 39, N° 3, pp. 312-320. Ago., 1997.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Relatório de Gestão do Exercício de 2024. Recife/PE, 2025.

VERSPAGEN, Bart. A new empirical approach to catching up or falling behind. **Structural change and economic dynamics**, v. 2, n. 2, p. 359-380, 1991.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna – Tradução da 6ª edição norte-americana**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. E-book. ISBN 9788522126996.