



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**



Eficiência técnica do cluster calçadista de Birigui: uma abordagem por Análise Envoltória de Dados (DEA)

MURILO HENRIQUE ZUCOLOTTO ESCARDOVELLI –

murilo.escardovelli@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - ARARAQUARA-FCL

ANA ELISA PÉRICO – ana.perico@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - ARARAQUARA-FCL

ÁREA: 3. PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1 - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: O BRASIL, OCUPA A QUINTA (5º) POSIÇÃO NO RANKING GLOBAL DE PRODUÇÃO DE CALÇADOS, SENDO HOJE, UM DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES, RESPONSÁVEL POR 3,9% DO TOTAL DE CALÇADOS FABRICADOS NO MUNDO. HISTORICAMENTE, O ESTADO DE SÃO PAULO REPRESENTA AS RAÍZES E REFERÊNCIAS DA PRODUÇÃO CALÇADISTA NO PAÍS, SE DESENVOLVENDO AINDA NO SÉCULO XIX. PORÉM, DESDE A DÉCADA DE 70, E DE FORMA MAIS ACELERADA A PARTIR DA DÉCADA DE 90, O SETOR PASSA POR UM FORTE PROCESSO DE DESINDUSTRIALIZAÇÃO E RESTRUTURAÇÃO ORGANIZACIONAL, ONDE GRANDE PARTE DAS EMPRESAS MIGROU PARA OUTRAS REGIÕES DO PAÍS EM BUSCA DE BENEFÍCIOS ECONÔMICOS. NO ENTANTO, O ESTADO DE SÃO PAULO CONTINUA PRESENTE E PARTICIPATIVO NA PRODUÇÃO NACIONAL, APARECENDO COMO O SEXTO (6º) ESTADO MAIS PARTICIPATIVO DENTRO DO PAÍS. É COMUM A PRESENÇA DE CLUSTERS CALÇADISTAS, OU SEJA, CIDADES COM CONGLOMERADOS DE INDÚSTRIAS DO SETOR E ATIVIDADES CORRELATAS QUE SE ESPECIALIZAM NO SEGMENTO. NESTE CONTEXTO, O PRESENTE ESTUDO VISA ANALISAR A EFICIÊNCIA TÉCNICA DO CLUSTER CALÇADISTA DE BIRIGUI, A PARTIR DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA), NO PERÍODO DE 2012 A 2021, INVESTIGANDO QUAIS OS PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUÍRAM PARA O SEU DESEMPENHO. ESSA PESQUISA SE MOSTRA DE EXTREMA RELEVÂNCIA, UMA VEZ QUE VEM COLABORAR COM A ESCASSA QUANTIDADE DE INVESTIGAÇÕES SOBRE O SETOR UTILIZANDO A DEA E A PERSPECTIVA DE CLUSTERS E CONGLOMERADOS INDUSTRIAIS.

PALAVRAS-CHAVES: ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS; CALÇADOS; CLUSTERS; INDÚSTRIA CALÇADISTA PAULISTA; EFICIÊNCIA TÉCNICA.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de manufatura é uma das principais fontes de riqueza e valor agregado no PIB de um país, em geral por sua característica de geradora de emprego (GUAJALA et. al, 2022). Hallward-Driemeier e Nayyar (2017) afirmam que o setor manufatureiro é um dos que mais contribuem para o PIB nos países desenvolvidos, enquanto nos países em desenvolvimento, se encontra entre os três principais setores geradores de valor agregado. Entre as principais indústrias do setor manufatureiro, se destaca, no Brasil, o setor de produção de calçados, inserido dentro do nicho de indústrias de transformação que, no ano de 2021, apresentou um crescimento de 4,5% no PIB do país (ABICALÇADOS, 2022). Além disso, o Brasil ocupou a quinta (5º) posição no ranking mundial de produção de calçados no ano de 2021, e se sagrou como o décimo-segundo (12º) maior exportador do produto no mesmo ano (ABICALÇADOS, 2022).

Porém, para Pereira Júnior (2012), o setor calçadista tem sofrido, desde a década de 1970, forte pressão do processo de globalização e desregulamentação que pressionou a indústria brasileira a aderir à competitividade do mercado externo passando a buscar melhores condições para produzir: mão de obra barata, terra com menor custo e benefícios fiscais. A partir dos anos 90, a indústria calçadista passou por intenso processo de reestruturação organizacional e descentralização (PEREIRA JÚNIOR, 2012). Um dos estados mais impactados foi São Paulo. No entanto, com tradição no ramo calçadista, o estado de São Paulo, ainda, possui importante representação da produção nacional, com destaque para o número de estabelecimentos e quantidade de empregos gerados, aparecendo como o sexto (6º) maior produtor dentro do país, responsável por 5,5% da produção nacional (ABICALÇADOS, 2022).

A partir dos anos 90, o desafio da indústria de calçados paulista no estado de São Paulo foi lidar com o fenômeno de reorganização e relativa desindustrialização. Chama a atenção a capacidade do estado de São Paulo em manter sua relevância em âmbito nacional, também, devido à sua característica de se organizar em clusters, sendo um dos principais clusters calçadistas, no estado, o de Birigui. Por isso, a pesquisa ora apresentada visa responder: Quais as variáveis possuem maior impacto na determinação da eficiência do cluster calçadista de Birigui? Quais as hipóteses para isso?

A fim de responder a problematização levantada, busca-se analisar a eficiência técnica do cluster calçadista de Birigui, a partir de uma abordagem de Análise Envoltória de Dados, identificando na série histórica (anos de 2012 a 2021) quais variáveis possuem maior

relevância.

Com isso, a próxima sessão (Sessão 2) mostra a síntese de importantes pesquisas nacionais e internacionais envolvendo a temática de eficiência nas indústrias de calçados e manufatura; e uma bibliografia complementar sobre a estrutura de clusters. A Sessão 3 trata da metodologia e modelagem do estudo, enquanto a Sessão 4 mostra os resultados encontrados. Fica a cargo da Sessão 5 fazer as considerações finais do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção se subdivide em duas partes. A primeira, mais extensa, destinada a apresentar algumas obras relacionadas à análise da eficiência técnica das indústrias calçadistas; a segunda, mais breve, tratando dos sistemas de clusters.

2.1 Eficiência técnica das indústrias de calçado e manufatura

Guajala et. al (2022) estudaram a relação entre a eficiência técnica e os fatores de produção das indústrias de calçado da província de Tungurahua no Equador, no período de 2013 a 2018. Foi utilizada uma abordagem por envoltória de dados, uma análise econométrica e comparação com índices de localização e urbanização. Como *inputs* para o estudo foram utilizados: (i) Matéria prima, (ii) Ativos fixos, (iii) Gastos com trabalhadores e (iv) Capital investido. Para *output* foram consideradas as Vendas líquidas. O resultado da análise de eficiência técnica determinou que apenas 26% das empresas da província equatoriana são totalmente eficientes e 74% são ineficientes. O estudo econométrico, mostrou que a variável eficiência é inversamente proporcional aos ativos fixos e índice de urbanização e diretamente proporcional aos gastos com trabalhadores.

Cordero e Abril (2022) aplicaram semelhante método para a análise da eficiência técnica das indústrias de calçado da Zona 2 de produção no Equador, nos anos de 2014 a 2019. Foram utilizados o mesmo método e abordagem do estudo anterior. Com a mudança de período e local de estudo, por meio da análise DEA, 51% das empresas estudadas obtiveram eficiência técnica no modelo proposto. No aspecto econométrico, a eficiência técnica mostrou seu crescimento como sendo diretamente proporcional à matéria prima e gastos laborais, o que demonstra a importância desses fatores para as indústrias de manufatura.

Os autores Qi e Lijun (2009) estudaram as Indústrias de Baixa Tecnologia (LTI's) e as Indústrias de Manufatura de Baixa Tecnologia (LTMI's) chinesas ao longo de 2008, e 25 indústrias de diferentes setores produtivos. Concluiu-se que 8 indústrias se mostraram

tecnologicamente eficientes e outras 17 com algum grau (maior ou menor) de ineficiência. As 17 indústrias ineficientes foram subdivididas em indústrias com efetividade de escala, podendo ter retornos crescente ou decrescentes; e indústrias sem efetividade de escala com retorno decrescentes. A indústria calçadista chinesa se encontra entre as indústrias ineficientes, com inefetividade de escala e retornos decrescentes.

Marín, Tobón, e Gutiérrez (2009) investigaram, através do método de Eficiência Estocástica, um conjunto representativo de firmas colombianas (79 empresas entrevistadas) do setor de produção de calçados e couro em quatro regiões historicamente ligadas a estas atividades produtivas. Ao todo foram utilizadas 11 variáveis nos modelos de eficiência e econométrico. Os autores, concluíram que as empresas estão alocadas cerca de 33% abaixo das suas possibilidades de produção, sendo que a cidade de Amva, seguida de Bogotá, se apresentam como as mais próximas da fronteira eficiente. Além disso, foi identificada uma relação positiva entre a eficiência técnica e o número de trabalhadores, o que pode indicar a existência de uma divisão ótima de trabalho para o segmento.

Millanze e Batalha (2008) fazem um estudo de análise de fatores e subfatores de competitividade para os clusters calçadistas do estado de São Paulo. A proposta foi investigar os principais clusters do estado (Franca, Birigui e Jaú), a partir de critérios que contribuem para a competitividade do setor, baseado em três pilares: Capital Institucional, Capital Organizacional e Capital Humano. A pesquisa revelou que Franca e Birigui possuem semelhanças entre os fatores prioritários e que mais favorecem a sua competitividade, que são: desenvolvimento de fatores de produção especializados, desenvolvimento da capacidade inovadora e criação de uma identidade de produto. Já para o cluster de Jaú, as prioridades são: o desenvolvimento de fatores de produção especializados, do capital social e da capacidade inovadora do polo (MILLANZE; BATALHA. 2008).

Antunes (2020) realizou, através do método DEA a análise da eficiência de uma indústria calçadista do Brasil, coletando dados em 5 plantas distribuídas pelo país. O período de análise foi de janeiro de 2017 a junho 2019 e foram analisadas as Eficiências Técnica (ET), Econômica (EE) e Alocativa (EA). Foi utilizado um conjunto de 10 parâmetros de *inputs* e 1 parâmetro de *output*. Sendo alguns dos *inputs*: números de trabalhadores diretos e indiretos; matéria prima para couro, forro, tecido e solado; e número de retrabalhos. O Número de pares faturados foi utilizado como variável de *output*. A conclusão do autor é de que é possível utilizar a EE para avaliar as melhores utilizações de recursos fabris e alocação dos respectivos preços, porém, os demais indicadores de eficiência não podem ser substituídos, uma vez que

indicam oportunidades diferentes, detalhando aspectos não incorporados pela Eficiência Econômica.

Por fim, a obra de Stefanoni e Voltes-Dorta (2021), apesar de não tratar diretamente da indústria calçadista, tem como objetivo incluir na temática da eficiência de manufaturas, indicadores que analisem os aspectos ESG (*Environmental, Social and Governance*), para além dos já difundidos indicadores financeiros e operacionais. A necessidade de revisão desta obra, reflete a ausência de bibliografia que incorpore o estudo das ESGs no setor calçadista. Os autores calcularam a eficiência técnica para 33 montadoras internacionais de automóveis no período de 2014 a 2017, incluindo os chamados ESG scores, como outputs do modelo. O ranking de empresas eficientes do setor de automóveis, muda conforme os indicadores de sustentabilidade considerados, sendo a média da eficiência técnica maior para os modelos ajustados na dimensão Governança, e menores na dimensão social. Por exemplo, as empresas europeias subiram nos rankings onde se consideraram os aspectos ESG nos modelos, tendo destaque para os aspectos de Governança e Ambientais.

2.2 Literatura específica sobre o sistema de Clusters

Para fornecer bases referentes ao sistema de clusters, suas características e tipos de variáveis que podem ser analisadas, foi revisado o estudo de Albuquerque e Britto (2002). Os autores realizaram uma análise exploratória de clusters brasileiros a partir de dados da RAIS (1997). O objetivo do estudo foi classificar e identificar os principais clusters do país com foco nos setores de têxtil-vestuário e eletrônica-telecomunicações. Os autores usam a variável Quociente Locacional (QL). Nos dois setores investigados foram encontrados, por meio do quociente locacional, um total de 140 aglomerações industriais, sendo responsáveis por 7,4% dos empregos totais e 7,1% do total de estabelecimentos da indústria de transformação no ano em questão. Das 140 aglomerações, após critérios de subposição (clusters verticais e horizontais), verificou-se que apenas 31 delas poderiam ser consideradas como clusters, sendo a maioria no setor têxtil-vestuário.

Garcia e Sampaio (2003) tiveram como objetivo aplicar a metodologia de Coeficientes de Gini Locacionais e QL, com base nos dados da RAIS/MTE e da PIA/IBGE para delimitar os chamados Sistemas Locais de Produção (SLP) de maneira geográfica, aplicando-a na indústria de calçados do estado de São Paulo para os municípios ou microrregiões. Os autores definem os SLP como aglomerados de agentes de diversas vertentes que se encontram em um mesmo território e que possuem, entre si, fortes vínculos de cooperação e aprendizagem

mútua. A interação, para além daquela entre empresas produtoras de bens finais e fornecedoras, também incluem as instituições públicas e privadas, formadores de capital humano, entidades de Pesquisa e Desenvolvimento, entidades de financiamento, entre outras.

Os resultados encontrados pelos autores, para Birigui, mostram que a cidade é extremamente especializada no calçado infantil em três diferentes classes da indústria: fabricação de tênis (QL de 57,1), fabricação de calçados de plástico (QL de 81,5) e a fabricação de calçados de outros materiais (QL 52,6). Os encadeamentos produtivos são pouco desenvolvidos, sendo que grande parte dos insumos, componentes e máquinas vem de outros SLPs.

3. METODOLOGIA

3.1 Proposta de Modelo teórico de eficiência

A fim de atingir o objetivo do estudo, é necessário, é necessário definir as variáveis que comporão o modelo, bem como na determinação se estas serão de input ou output. Após revisão bibliográfica e identificação de possíveis variáveis, foi utilizada uma matriz de decisão com quatro critérios, sendo dois técnicos (quanto às características das bases de dados), e outros dois qualitativos (quanto à aplicabilidade da variável). Tais critérios foram aplicados a cada variável pré-selecionada, atribuindo-se notas de 1 a 5.

Portanto, com base nos dados coletados e na matriz de decisão, foram selecionadas 10 variáveis para compor o modelo preliminar para o teste de validação. Como *inputs*, foram escolhidos: (i) Matriculados no Ensino Técnico por Habitante, (ii) Desembolsos do BNDES; (iii) Trabalhadores Diretos; (iv) Especialização; (v) Empresas Sindicalizadas (ESG); (vi) Diversidade da Mão de Obra (ESG) e (vii) Emissão de CO₂ por par (ESG). Já como output, foram escolhidas as variáveis: (viii) Produção anual de pares; (ix) Exportação e (x) Valor de Transformação Industrial. Foi escolhido como horizonte temporal da investigação, o período de 2012 a 2021.

3.2 Validação do modelo: Análise dos Componentes Principais (PCA-DEA)

Para validar o modelo teórico proposto na seção anterior, foi utilizada uma metodologia robusta para selecionar e verificar as variáveis do modelo. O método utilizado nessa pesquisa, PCA-DEA, é amplamente utilizado em pesquisas internacionais e, na comparação com outros métodos, apresenta resultados precisos (ADLER; YAZHEMSKY, 2010). O método permite definir pela permanência ou não de variáveis nos modelos, através

de estatísticas de teste e matrizes. O método PCA-DEA foi aplicado através do *software* SPSS.

A primeira métrica analisada são as comunalidades, que indicam a proporção da variância explicada pelas componentes principais e os valores podem variar entre 0 e 1, sendo 0 quando os fatores comuns não explicam nenhuma variância da variável e 1 quando a explicam a sua totalidade. Valores abaixo de 0,5 sugerem a exclusão da variável. A Tabela 1 apresenta o resultado das comunalidades para as 10 variáveis do modelo proposto.

Tabela 1 - Comunalidades do modelo

	Inicial	Extração
Desembolsos do BNDES	1,000	,681
ESG: Diversidade da Mão de Obra	1,000	,945
ESG: Emissão de CO2 p/ par	1,000	,968
Matriculados no Ensino Técnico por Habitante	1,000	,797
ESG: Empresas Sindicalizadas	1,000	,941
Especialização	1,000	,923
Trabalhadores Diretos	1,000	,984
Exportação	1,000	,915
Produção anual de pares	1,000	,848
Valor de Transformação Industrial	1,000	,980

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como pode ser observado, todas as variáveis obtiveram valores de comunalidade acima de 0,5, portanto, o teste indica que todas as variáveis podem ser mantidas no modelo, sem a necessidade de exclusão. A maior comunalidade foi da variável “trabalhadores diretos”, (98,4% da variância explicada do componente), evidenciando o fato que o setor calçadista é uma manufatura intensiva em mão de obra. A menor comunalidade, mas não suficiente para exclusão do modelo, foi a “Desembolsos do BNDES”, o que pode indicar uma participação menor do capital público nos clusters do setor.

A segunda análise do teste de validação das variáveis se trata da matriz quadrada de correlação anti-imagem, que indica a adequação de cada variável para ser usada no método PCA-DEA. Em casos de se detectarem valores pequenos na diagonal (ou seja, $r < 0,5$), deve considerar-se a eliminação da variável. A matriz de correlação anti-imagem das 10 variáveis é do tipo quadrada (10x10) e todos os coeficientes de correlação anti-imagem na diagonal principal da matriz ficaram acima de 0,67, o que indica que nenhuma variável precisou ser subtraída do modelo.

As próximas métricas correspondem aos testes KMO e de Bartlett. O teste KMO é uma medida da adequação dos dados (compara as correlações simples com as correlações

parciais). Trata-se de um teste que varia de 0 a 1, onde os valores abaixo de 0,5 não classificam os dados como adequados para o método proposto; valores entre 0,5 e 0,8 indicam adequação média; valores entre 0,8 e 0,9 indicam boa adequação; e, por fim, valores entre 0,9 e 1 indicam adequação excelente. O teste de Bartlett, por sua vez, testa a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, isto é, não há correlação entre as variáveis. Valores de significância maiores do que 0,1 indicam que os dados não são adequados para o tratamento com o método PCA-DEA.

A medida KMO obtida foi de 0,800, o que segundo a métrica, demonstra uma boa adequação do modelo proposto à amostra de dados obtida, validando o modelo. Quanto ao teste de Bartlett, com uma estatística de teste de 620,339 e 45 graus de liberdade, foi obtida significância do teste igual a 0,000, rejeitando assim a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, isto é, não há correlação entre as variáveis.

A última medida apresentada se trata dos autovalores, que apontam o percentual acumulado da variância que os fatores são capazes de explicar. O método mostra quantos fatores explicam o conjunto de variáveis da amostra e qual a parcela da variância eles explicam. Os resultados para os autovalores (*eigenvalues*) podem ser observados na Tabela 2 e mostram que os dois primeiros fatores explicam cerca de 89,8% da variância, sendo que a partir do 3º fator, os acréscimos de explicação da variância são marginais.

Tabela 2 - Autovalores

Componente	Valores próprios iniciais			Soma de extração de carregamentos ao quadrado		
	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa
1	7,472	74,717	74,777	7,472	74,717	74,717
2	1,511	15,115	89,832	1,511	15,115	89,832
3	,623	6,233	96,065			
4	,242	2,423	98,488			
5	,078	,781	99,268			
6	,027	,274	99,543			
7	,024	,237	99,780			
8	,015	,152	99,932			
9	,004	,044	99,975			
10	,002	,025	100,000			

Fonte: Elaborada pelos autores.

Portanto, a partir dos resultados obtidos, o modelo inicialmente proposto, foi considerado validado e adequado ao objetivo do trabalho.

3.3 Retornos de escala: teste Kolmogorov-Smirnov (KS)

A próxima etapa, consistiu na escolha de retornos a escala ser empregado (constante ou variável de escala). Banker (1996), sugere a realização do teste de KS, uma vez que escolha da tecnologia é uma questão crucial e, se feita de forma arbitrária, pode produzir resultados viesados. O teste se baseia na distância máxima das distribuições cumulativas dos indicadores de eficiência dos modelos DEA CCR-CRS (retornos constantes de escala) e DEA BCC-VRS (retornos variáveis de escala). O teste avalia a hipótese nula de retornos constantes de escala contra a hipótese alternativa de retornos variáveis de escala. A estatística resulta em valores entre 0 e 1, sendo então comparada ao valor crítico de obtido. Se, $TSM < D$ crítico, aceita-se H_0 ; se, $TSM > D$ crítico, rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 .

Ao aplicar o teste KS para a amostra, foi obtido como resultado o valor da estatística (0.966666607). Ao comparar com o valor crítico ($n=30$, $\alpha=5\%$; $d_{crítico} = 0,2417$), rejeitou-se a hipótese nula do teste, sendo possível aceitar a hipótese de retornos variáveis de escala e, portanto, a aplicação do modelo BCC. Deste modo, foi possível validar o modelo DEA BCC-VRS na forma dos multiplicadores, orientado a *output* e com as 10 variáveis selecionadas sendo elas divididas em 7 *inputs* e 3 *outputs*.

4. RESULTADOS DO MODELO

Os resultados para os indicadores de eficiência técnica do cluster são apresentados na Tabela 3, e as estatísticas descritivas calculadas para a amostra. Como pode ser observado, não houve unidades eficientes para o período estudado, ou seja, todas as unidades virtuais ficaram abaixo da fronteira de produção. A maior eficiência calculada foi de 89,1% identificada em Birigui no ano de 2014. Os dados da amostram indicam que, para este ano, havia 12.218 trabalhadores diretos no setor, dos quais 64,8% representavam força de trabalho diversa, ou seja, trabalhadoras do sexo feminino. A especialização do município neste ano foi de 52,7%, que permitiu o cluster produzir 34.700.000 pares de calçados, gerando um Valor de Transformação Industrial (VTI) de R\$ 545.368,89.

Já a DMU com menor eficiência calculada foi Birigui 2017, com indicador de 79,12%. Os dados de inputs mostram que, neste ano, havia 8.808 trabalhadores diretos no setor do município, o que representa uma diferença de 27,9% a menos em relação a unidade mais eficiente deste arranjo. Do total de trabalhadores diretos, 62,4% correspondiam ao sexo feminino. A especialização neste ano ficou na ordem de 50,9%, o que corresponde a uma queda de dois pontos percentuais em relação a Birigui em 2014, ano de maior eficiência. Ao todo, foram produzidos 21.800.000 pares de calçados, que geraram um VTI correspondente

de R\$ 409.517,21, o que representou quedas significativas. Nota-se uma proximidade muito grande entre esta unidade, e a eficiência do cluster em 2020, no início da pandemia do COVID-19. Apesar de causas diferentes, em ambos os anos, houve impactos negativos nas principais variáveis do modelo (quantidade de trabalhadores e especialização), que ocasionou queda na produtividade e eficiência das empresas do setor.

Tabela 3 Resultados de eficiência - cluster Birigui

Birigui 2012	0,879281	Medidas Estatísticas	
Birigui 2013	0,814184	Máximo	0,891325
Birigui 2014	0,891325	Mínimo	0,791228
Birigui 2015	0,879281	Média	0,8478743
Birigui 2016	0,879281	Mediana	0,867585
Birigui 2017	0,791228	Desvio Padrão	0,03991889
Birigui 2018	0,879281		
Birigui 2019	0,817474		
Birigui 2020	0,791519		
Birigui 2021	0,855889		

Fonte: Elaborada pelo autor.

A eficiência média do cluster, por sua vez, ficou em cerca de 84,7%, com um desvio padrão de 3,99% o que indica uma baixa variabilidade na amostra e estabilidade nos indicadores de eficiência do cluster. A trajetória da eficiência de Birigui foi decrescente onde a partir de 2018, não se recupera os patamares de eficiência antes já alcançados. Mesmo com a tendência negativa de eficiência, é possível perceber que no ano de 2021, há uma nítida recuperação de eficiência, mostrando reação positiva do cluster na fase aguda da crise sanitária do COVID-19.

Por fim, resta realizar uma análise quanto à produtividade média por insumo utilizado no cluster (relação *output/input*). Serão calculados na análise três indicadores com base em um mesmo *input*, variando apenas o seu *output*. A primeira etapa da análise será com base no *input* “Trabalhadores diretos”. Vale ressaltar que, apesar da escolha desta variável, outras 6 variáveis foram utilizadas no modelo, porém, apenas uma selecionada para análise. Esta foi escolhida dada a característica de intensidade de mão de obra do setor, e pelo resultado da comunalidade (a maior, dentre os *inputs*). Portanto, na Tabela 4 são apresentadas as relações exportação/trabalhadores, pares/trabalhadores e VTI/trabalhadores. Foi utilizada uma distribuição por quartis.

Tabela 4 - Razão Output/Input (Trabalhadores Diretos) - Birigui

Unidades	Exportação/ Trabalhadores	Pares/ Trabalhadores	VTI/ Trabalhadores	Eficiência
Birigui 2012	1.285,76	3.460,54	48,20	0,879281
Birigui 2013	1.152,88	2.864,98	43,32	0,814184
Birigui 2014	1.095,60	2.840,07	44,63	0,891325
Birigui 2015	1.010,49	3.185,03	40,51	0,879281
Birigui 2016	1.286,67	3.197,30	41,26	0,879281
Birigui 2017	1.632,51	2.475,02	46,49	0,791228
Birigui 2018	1.364,42	2.361,06	47,15	0,879281
Birigui 2019	1.766,63	2.139,44	60,15	0,817474
Birigui 2020	1.748,55	1.994,40	68,07	0,791519
Birigui 2021	2.366,34	2.115,31	64,99	0,855889
Quartil 1	1.010,49 - 1.186,10	1.994,40 - 2.194,85	40,51 - 43,65	0,79 - 0,81
Quartil 2	1.186,11 - 1.325,54	2.194,86 - 2.657,54	43,66 - 46,82	0,815 - 0,86
Quartil 3	1.325,55 - 1.719,54	2.657,55 - 3.105,01	46,83 - 57,16	0,865 - 0,87
Quartil 4	1.719,55 - 2.366,34	3.105,02 - 3.460,54	57,17 - 68,07	0,875 - 0,89

Fonte: Elaborada pelo autor.

A unidade de maior eficiência para o cluster foi no ano de 2014, onde foi possível notar que cada indicador calculado foi alocado em um quartil diferente, ou seja, não houve uma homogeneidade (coincidência) nos quartis. Mesmo assim, pode-se observar que a produção de pares por trabalhadores foi fundamental para colocar a eficiência da unidade em maior patamar, porém, a produtividade do trabalho quanto aos demais índices ainda impede que a unidade alcance a fronteira de eficiência. O fato de não haver coincidência entre os quartis dos indicadores, pode indicar que os ganhos de eficiência para esta unidade, foram causados pela produtividade de outras variáveis e por fatores exógenos ao cluster e/ou ao modelo, como o bom desempenho do setor nacionalmente ou o desempenho de outros clusters calçadistas do estado.

Para a unidade de menor eficiência, temos o cluster no ano de 2017. Novamente não houve uma homogeneidade nos quartis estudados. É possível notar que, apesar de ter tido uma boa produtividade do fator trabalho no âmbito das exportações, a ineficiência do cluster, foi puxada pela menor produtividade do trabalho quanto aos pares produzidos e VTI gerado. Ou seja, a relação Pares/Trabalhadores se mostra predominante em determinar, ainda que indiretamente, a tendência do nível de eficiência. A causa de ineficiência neste caso, também parece depender de problemas de produtividade de outros fatores, choques externos ou externalidade do cluster neste ano.

Para completar a primeira etapa da análise, convém selecionar uma unidade que tenha sido alocada em um quartil entre os extremos da distribuição (segundo ou terceiro quartil). Nesse sentido, foi escolhida a unidade do ano de 2019, com um índice de eficiência de 81,7%,

alocado no segundo quartil. É possível notar que a baixa produtividade do trabalho em relação à produção de pares foi penosa para esta unidade, uma vez que foi a principal responsável por produzir um nível de ineficiência elevado, considerando a amostra investigada. Esse nível de ineficiência provavelmente não foi maior devido aos bons resultados de produtividade do trabalho para os outros dois *outputs*.

Ao analisar os indicadores de produtividade para as 10 unidades virtuais, nota-se que em cada ano analisado, há um indicador de produtividade diferente impactando a eficiência no cluster, e na maioria dos casos, parece haver uma combinação entre os efeitos de um ou mais indicadores na determinação da eficiência técnica e do quartil a qual pertence. Cerca de 40% da amostra foi impactada principalmente pela relação Pares/Trabalhadores. Porém, foi possível identificar uma completa dissociação entre o quartil que se encontra a eficiência e os quartis dos demais indicadores nos anos de 2014, 2017, 2018, 2019 e 2021 (50% da amostra). Isso indica que a eficiência foi, em grande medida, definida pela produtividade de outras variáveis e outras relações *output/input* não abordadas, bem como externalidades do arranjo produtivo local.

Para uma segunda análise, buscou-se compreender o efeito da aglomeração produtiva para a composição da eficiência do cluster. Este efeito pode ser captado através da relação *output/input* com base na variável “especialização”. Portanto, na Tabela 5 são apresentadas as relações exportação/especialização, pares/especialização e VTI/especialização. Segue-se semelhante divisão de distribuição da amostra, com base nos quartis.

Tabela 5 - Razão *Output/Input* (Especialização) - Birigui

Unidades	Exportação/ Especialização	Pares/ Especialização	VTI/ Especialização	Eficiência
Birigui 2012	30.783.440,21	82.851.572,74	1.154.038,85	0,879281
Birigui 2013	28.565.584,06	70.986.794,61	1.073.510,99	0,814184
Birigui 2014	25.377.539,5	65.784.851,01	1.033.919,63	0,891325
Birigui 2015	20.280.309,23	63.922.409,32	813.180,89	0,879281
Birigui 2016	23.864.603,75	59.302.102,54	765.446,60	0,879281
Birigui 2017	28.209.993,4	42.768.530,75	803.415,10	0,791228
Birigui 2018	23.059.776,31	39.903.723,08	796.969,21	0,879281
Birigui 2019	23.739.018,08	28.748.605,25	808.351,06	0,817474
Birigui 2020	20.651.018,19	23.554.560,21	804.029,73	0,791519
Birigui 2021	29.595.690,61	26.456.149,96	812.837,77	0,855889
Quartil 1	20.280.309,23 - 23.229.586,75	23.554.560,21 - 31.537.384,71	765.446,60 - 803.568,76	0,79 - 0,81
Quartil 2	23.229.586,76 - 24.621.071,62	31.537.384,72 - 51.035.316,65	803.568,77 - 810.594,41	0,815 - 0,86
Quartil 3	24.621.071,62 - 28.476.686,39	51.035.316,66 - 65.319.240,59	810.594,42 - 978.734,94	0,865 - 0,87
Quartil 4	28.476.686,4 - 30.783.440,21	65.319.240,6 - 82.851.572,74	978.734,95 - 1.154.038,85	0,875 - 0,89

Fonte: Elaborada pelo autor.

Iniciando-se pela unidade de maior eficiência para o cluster (ano de 2014), é possível notar que, há uma maior homogeneidade na relação dos quartis estudados. Tanto a eficiência técnica da unidade, quanto os indicadores de pares/especialização e VTI/especialização, se alocaram em um mesmo quartil, indicando forte influência do fator especialização para a composição de eficiência. Em outras palavras, é possível notar que o desempenho do setor em 2014 foi altamente influenciado pelos benefícios e externalidades positivas da organização produtiva em clusters, gerando ganhos de produtividade e eficiência.

Já para a unidade de menor eficiência (ano de 2017), nota-se que há coincidência de quartis entre a razão VTI/Especialização e a eficiência técnica. Surge uma hipótese de que a produtividade da especialização para a produção de VTI foi fundamental para a composição da eficiência neste ano, indicando neste caso que a baixa produtividade de VTI gerada pela especialização, ajudou a causar o nível de ineficiência observada.

Por fim, foi analisada a unidade virtual do ano de 2019, com desempenho médio-baixo, alocada no segundo quartil da amostra. Mais uma vez, houve a coincidência do indicador VTI/especialização e eficiência no mesmo quartil da amostra. Isso reforça a hipótese de que a influência da especialização no VTI do cluster é fundamental para entender a eficiência da unidade. Vale ressaltar que a relação exportação/especialização, também, teve alocação no mesmo quartil da eficiência para esta unidade, o que mostra também uma participação desta variável para a determinação da eficiência.

Ao analisar as 10 unidades virtuais, a razão VTI/Especialização apresentou maior efeito sobre o modelo, já que, na grande maioria dos casos (50% da amostra), a eficiência técnica e este indicador de produtividade se encontram no mesmo quartil da distribuição, com destaque para os anos de 2012, 2014 e 2019, onde houve a coincidência entre os quartis de dois ou mais indicadores de produtividade com a eficiência calculada. Porém, foi possível identificar, em algumas unidades, uma completa dissociação entre o quartis. Isso acontece nos anos de 2013, 2016, 2018 e 2021. Isso pode indicar que para estes anos, o papel da eficiência foi em grande medida definido pela produtividade de outras relações *output/input*, não abordadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a eficiência técnica da indústria calçadista de Birigui através de um modelo DEA com 7 *inputs* e 3 *outputs*, para os anos de 2012 a 2021, foi possível identificar que não houve unidades eficientes para o período no cluster de Birigui, sendo o indicador de

eficiência do cluster, de maneira geral, decrescente, o que pode reforçar a hipótese discutida quanto ao enfraquecimento e reorganização do setor devido a necessidade de se adequar a concorrência externa.

Já com a análise de produtividade dos fatores, foi identificado duas relações *output/input* principais: a relação Pares/Trabalhadores e a VTI/Especialização, responsáveis respectivamente por 40% a 50% de explicação da eficiência da amostra. Apesar disto, o cluster se destaca por uma grande quantidade de períodos cuja determinação da eficiência não está atrelada aos indicadores de produtividade estudados, como é o caso dos anos de 2014 e 2017, anos de maior e menor eficiência respectivamente, que não tiveram indicador de produtividade relacionados.

Além disto, se destacam os anos de 2018 e 2021, que não tiveram a eficiência explicada por nenhuma das seis relações *output/input* investigadas. Em ambos os casos, denota-se que, a predominância de fatores locais e regionais exógenos à análise, como responsáveis em gerar ineficiência nos clusters.

Algumas hipóteses podem ser levantadas quanto ao que ocorreu nestes anos supracitados. Uma delas é de que os clusters não tem conseguido gerar, de maneira suficiente, mão de obra qualificada para lidar com os aportes em máquinas e tecnologias promovidos pelo setor privado e pelo setor público, via BNDES. Foi possível, também, identificar na amostra que a produtividade do trabalho foi elevada mesmo com o aumento do número absoluto de empregos diretos, o que pode representar que o setor ainda possui capacidade para agregar trabalhadores, sem perda de eficiência.

O presente trabalho, vem a acrescentar resultados para a limitada literatura disponível quanto à indústria de calçados nacional, especialmente quando se refere a aplicação da Análise Envoltória de Dados, além de contribuir para a abordagem de análise por cluster ou arranjos produtivos, que é pouco explorada. Porém, diversos desafios foram encontrados durante o processo, principalmente com relação a coleta dos dados. Uma barreira foi o difícil acesso a dados agregados dos municípios; existem diversas bases de dados regionais descontinuadas desde a década de 80; há uma defasagem informacional por parte dos próprios agentes do cluster e até mesmo, a dificuldade ao esbarrar em dados com sigilo fiscal.

Algumas propostas podem ser feitas para superar estes desafios. Para as autoridades, cabe o desenvolvimento de políticas de coleta de dados e informações e torná-los públicos na medida em que respeitem as regulações de proteção de dados. Desigualdades de produção, emprego e renda entre regiões só poderão ser corrigidas a partir de políticas regionais, e para que estas ocorram, deve haver dados precisos e públicos. Para a academia, cabe o dever de

expandir os estudos do setor a partir de uma perspectiva econômica, ambiental e até mesmo, social, incorporando variáveis como salários, lucros, entre outras.

Portanto, o presente estudo, mesmo enfrentando os desafios citados, vem propor a retomada da discussão e da relevância da indústria calçadista, especialmente em âmbito regional, trazendo um modelo elaborado e abrangente, permeando diversos aspectos do cluster estudado. A ideia é de que, estudos futuros incorporem estas e outras medidas e metodologias a fim de avaliar e propor melhorias para a eficiência dos arranjos produtivos locais/regionais, como forma de promover a industrialização e o desenvolvimento.

O presente estudo contou com uma linha de financiamento e fomento dada pelo processo 2023/05287-8 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a qual os autores agradecem a colaboração.

REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS (Brasil). Relatório Setorial Indústria de Calçados. **Relatório**, [s. l.], 2022.

ADLER, N.; YAZHEMSKY, E. Improving discrimination in data envelopment analysis: PCA-DEA or variable reduction. **European Journal of Operational Research**, v. 202, p. 273–284, 2010.

ANTUNES, Tiago. **Avaliação Exploratória da Eficiência Econômica em Sistemas de Manufatura**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, 2020.

BANKER, R. D. Hypothesis tests using data envelopment analysis. **The Journal of Productivity Analysis**, v. 7 (2-3), p. 139-159, 1996.

BRITTO, Jorge; ALBUQUERQUE, Eduardo. Clusters Industriais na Economia Brasileira: Uma análise exploratória a partir de Dados da RAIS. **Est. econ.**, São Paulo, v. 32, p. 71-102, jan-mar 2002.

CHARNES, A.; CLARK, C. T.; COOPER, W. W.; Golany, B. A developmental study of DEA in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. air forces. **Annals of Operations Research**, v.2, p. 95-112, 1985.

CORDERO, Víctor. **La eficiencia técnica y los factores de producción de las empresas manufactureras del sector de calzado de la zona 2**. Orientador: César Abril. 2022. Proyecto de Investigación (Graduação) - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE CONTABILIDAD Y AUDITORÍA CARRERA DE ECONOMÍA, [S. l.], 2022.

GARCIA, Renato; SAMPAIO, Sérgio E. K.; SUZIGAN, Wilson; FURTADO, João. Coeficientes de Gini locais – GL: aplicação à indústria de calçados do Estado de São Paulo. **Nova Economia**, Belo Horizonte, p. 39-60, 2003.

GUAJALA, Mery; ABRIL, César; JIMÉNEZ, Elsy; SÁNCHEZ, Diana. Las empresas del sector calzado. Camino a la eficiencia. **Revista Científica Hermes**, Instituto Paulista de Ensino e Pesquisa Brasil, Brasil, ed. 31, p. 41-56, 2022.

HALLWARD-DRIEMEIER, M., & NAYYAR, G. (2017). Trouble in the Making?: The Future of Manufacturing-led Development. **World Bank Publications**.

MARÍN, Jorge Barrientos; TOBÓN, David; GUTIÉRREZ, Alderid. Producción y eficiencia estocástica: una aplicación a la industria del calzado en Colombia. **Lecturas de Economía**, [s. l.], n. 70, 2009.

MILANEZE, Kleber Luiz Nardoto; BATALHA, Mário Otávio. Análise da competitividade do setor calçadista do estado de São Paulo. **RaUSP**, São Paulo, v. 43, ed. 2, p. 162-175, 2008.

NUNAMAKER, T. R. Using Data Envelopment Analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: A critical evaluation. **Managerial and Decision Economics**, v.6, p. 50-58, 1985.

PEREIRA JÚNIOR, E.A. A INDÚSTRIA DE CALÇADOS NO BRASIL DIANTE DA REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL E PRODUTIVA. In: SPOSITO, E.S. **O novo mapa da indústria no início do século XXI**: Diferentes paradigmas para a leitura das dinâmicas territoriais do estado de São Paulo. 1º. ed. [S. l.]: Editora UNESP digital, 2012. cap. 5.

QI, Zhang; LIJUN, Sun. Horizontal Evaluation on Technological Innovation in Chinese Low-Tech Manufacturing Industry. **Crown**, [s. l.], 2009.

STEFANONI, Silvia; VOLTES-DORTA, Augusto. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], 24 maio 2021.