



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

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



Eficiência técnica do cluster calçadista de Franca: 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 FRANCA, 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 o principal cluster calçadista, no estado, o de Franca. Por isso, a pesquisa ora apresentada visa responder: Quais as variáveis possuem maior impacto na determinação da eficiência do cluster calçadista de Franca? Quais as hipóteses para isso?

A fim de responder a problematização levantada, busca-se analisar a eficiência técnica do cluster calçadista de Franca, 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 Franca, mostram que a cidade apresentou um QL elevado na fabricação de calçados de couro (QL = 53,2), gerando um total de 11.271 empregos formalizados. Franca também se destaca por seu “encadeamento para trás”, ou seja, a presença de inúmeras atividades de processamento anterior ao calçado, como o tratamento de couro (QL de 22,1) e pela infraestrutura institucional, como os sindicatos (Sindifranca), IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) e o SENAI para qualificação de mão de obra.

3. METODOLOGIA

3.1 Proposta de Modelo teórico de eficiência

A fim de atingir o objetivo do estudo, é necessário definir as variáveis que compõem 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 CO ₂ 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, $TSM < D \text{ crítico}$, aceita-se H_0 ; se, $TSM > D \text{ crítico}$, 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 ($n=30$, $\alpha=5\%$; $d_{\text{crítico}} = 0,2417$), 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. O cluster de Franca, como observado, obteve apenas uma unidade eficiente durante o período de análise. Todas as demais unidades ficaram abaixo da fronteira de produção eficiente. A maior eficiência calculada, portanto, foi de 100% identificada no ano de 2014. Os dados da amostra indicam que, para este ano, havia 18.811 trabalhadores diretos no setor, dos quais 37,5% da força de trabalho era diversa, ou seja, representada por trabalhadoras do sexo feminino. A especialização do município neste ano foi de 71,7%, que permitiu ao cluster produzir 23.400.000 pares de calçados, gerando um Valor de Transformação Industrial de R\$ 51.463.175,93.

Quanto ao menor indicador de eficiência registrado, foi obtido o valor de 87,9% em quatro anos do cluster (2012, 2018, 2020 e 2021). Apesar de possuírem a mesma eficiência, os *inputs* utilizados em cada ano não são idênticos, mas sim, a sua alocação de eficiência. Percebe-se que os maiores níveis de ineficiência ocorreram no período relacionado à COVID-

19, bem como em anos onde outros fatores impactaram negativamente as principais variáveis do modelo (quantidade de trabalhadores e especialização), já que em anos anteriores à pandemia, também se registraram a mesma taxa de ineficiência. Aparentemente, fenômenos ligados a aumento de custos que, por consequência, reduzem o VTI produzido, tendem a impactar no indicador.

Tabela 3 - Resultados de eficiência - cluster de Franca

Franca 2012	0,879281	Medidas Estatísticas	
Franca 2013	0,905342	Máximo	1
Franca 2014	1	Mínimo	0,879281
Franca 2015	0,98068	Média	0,9213203
Franca 2016	0,89626	Mediana	0,900801
Franca 2017	0,924822	Desvio Padrão	0,049728178
Franca 2018	0,879281		
Franca 2019	0,988975		
Franca 2020	0,879281		
Franca 2021	0,879281		

Fonte: Elaborada pelos autores.

A eficiência média do cluster ficou em cerca de 92,1%, com um desvio padrão de 4,97%, o que indicam uma baixa variabilidade da amostra e uma estabilidade nos indicadores de eficiência do cluster. Apesar de pouca variabilidade, nota-se uma tendência de eficiência levemente decrescente para o cluster em questão. Os anos de 2012 a 2014 foram de grande crescimento no nível de eficiência do cluster, sofrendo acentuada queda em 2016 e alcançando o ponto de mínimo em 2018. Mesmo assim, nota-se que em 2019 foi possível recuperar o seu nível de eficiência, porém a nova tendência positiva foi interrompida pela crise pandêmica enfrentada nos anos de 2020 e 2021.

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

Unidades	Exportação/ Trabalhadores	Pares/ Trabalhadores	VTI/ Trabalhadores	Eficiência
Franca 2012	4428,35	1282,59	84,56	0,879281
Franca 2013	4117,15	1306,07	80,51	0,905342
Franca 2014	4653,70	1445,96	92,95	1
Franca 2015	4970,04	1426,30	89,18	0,98068
Franca 2016	4660,20	1275,80	90,74	0,89626
Franca 2017	5320,23	1323,97	84,73	0,924822
Franca 2018	5379,95	1302,14	90,19	0,879281
Franca 2019	5772,47	1453,44	88,04	0,988975
Franca 2020	4087,38	1218,23	89,55	0,879281
Franca 2021	4829,77	1299,49	73,20	0,879281
Quartil 1	4087,38 – 4484,68	1218,23 – 1286,82	73,20 – 84,61	0,000 – 0,879
Quartil 2	4484,685 – 4744,98	1286,825 – 1304,10	84,615 – 88,61	0,8792 – 0,9008
Quartil 3	4744,985 – 5232,68	1304,105 – 1400,72	88,615 – 90,03	0,901-0,966
Quartil 4	5232,685 – 5772,47	1400,725 – 1453,44	90,035 – 92,95	0,967 - 1

Fonte: Elaborada pelos autores.

A unidade de maior eficiência (2014). É possível notar que houve a coincidência na alocação dos quartis entre os indicadores pares/trabalhadores, VTI/trabalhadores e eficiência técnica. Isso mostra que a produtividade de pares por trabalhadores foi fundamental para colocar a eficiência da unidade em maior patamar, bem como a produtividade em termos de VTI. Em outras palavras, o que pode se entender é que, para o ano de 2014, o setor calçadista de Franca apresentou uma alocação da mão de obra e uma divisão do trabalho eficientes, sendo esta alocação capaz de gerar produtividade elevada tanto em termos de produção (ao olhar para o *output* pares produzidos), quanto em termos de custos, faturamento e valor gerado (ao olhar para o *output* VTI).

As unidades de menor eficiência técnica do cluster correspondem aos anos de 2012, 2018, 2020 e 2021. As unidades em questão, pertencem ao menor quartil (25% menores valores da amostra).

É possível notar que para o ano de 2018 não houve homogeneidade nos quartis estudados em cada indicador, ou seja, a baixa eficiência deste ano não aparenta ser causada por problemas na produtividade dos fatores estudados, uma vez que grande parte delas se encontra no quartil de maior eficiência. Isso implica que a baixa eficiência pode ter sido gerada por problemas de produtividade de outros fatores, choques externos ou externalidade do cluster neste ano. Para os anos de 2012 e 2021, nota-se uma especial contribuição da reduzida produtividade da mão de obra quanto aos pares para a baixa eficiência, enquanto para 2021, nota-se que a provável causa de ineficiência fica por conta da baixa produtividade dos trabalhadores em relação ao VTI.

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 no ano de 2016, alocada no nível médio baixo (quartil 2), com uma eficiência de 89,6%. Neste caso, nota-se uma relação maior da eficiência com a produtividade dos trabalhadores em relação as exportações.

Ao analisar a distribuição dos indicadores de produtividade nos quartis, nota-se que, para as 10 unidades virtuais analisadas, a razão Pares/Trabalhadores apresentou maior efeito sobre a eficiência do modelo, uma vez que, na grande maioria dos casos (70% da amostra), a eficiência técnica e o referido indicador de produtividade se encontram no mesmo quartil da distribuição. Porém, foi possível identificar, em algumas unidades, uma completa dissociação entre o quartil que se encontra a eficiência e os quartis dos demais indicadores, como é o caso de 2016 (explicado pela produtividade das exportações), 2021 (explicado pela produtividade no VTI) e o inusitado ano de 2018, que não apresentou influência direta de nenhum dos indicadores de produtividade.

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* (Trabalhadores Especialização) - Franca

Unidades	Exportação/ Especialização	Pares/ Especialização	VTI/ Especialização	Eficiência
Franca 2012	121.252.606,5	35.118.833,2	2.315.583,6	0,879281
Franca 2013	116.528.933,4	36.966.183,3	2.278.798,8	0,905342
Franca 2014	114.711.369,5	35.642.237,2	2.291.296,9	1
Franca 2015	113.701.883,3	32.630.254,9	2.040.333,5	0,98068
Franca 2016	101.732.712,5	27.850.943,7	1.980.895,8	0,89626
Franca 2017	120.449.465,9	29.974.559,9	1.918.461,6	0,924822
Franca 2018	107.778.785,2	26.086.362,0	1.806.920,4	0,879281
Franca 2019	111.421.812,4	28.054.684,9	1.699.452,9	0,988975
Franca 2020	58.689.144,94	17.492.198,0	1.285.843,2	0,879281
Franca 2021	88.453.629,73	23.799.359,2	1.340.612,7	0,879281
Quartil 1	58.689.144,94 - 103.244.230,7	17.492.198,0 - 26.527.507,4	1.285.843,2 - 1.726.319,8	0,000 – 0,879
Quartil 2	103.244.230,75 – 112.561.847,9	26.527.507,5 – 29.014.622,4	1.726.319,8 – 1.949.678,6	0,8792 – 0,9008
Quartil 3	112.561.847,95 -116.074.542,4	29.014.622,5 – 34.496.688,7	1.949.678,6 – 2.219.182,4	0,901-0,966
Quartil 4	116.074.542,45 - 121.252.606,5	34.496.688,7 – 36.966.183,3	2.219.182,4 – 2.315.583	0,967 - 1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para unidade produtiva mais eficiente do cluster (Franca 2014), foi possível identificar uma coincidência nos quartis dos indicadores de produtividade pares/especialização e VTI/especialização, indicando uma provável correlação da produtividade destes dois *outputs* em relação a especialização para a composição da eficiência de fronteira da unidade.

Ao olhar para as unidades de menor eficiência do cluster (2012, 2018, 2020 e 2021), é possível notar a influência dos níveis de produtividade para a composição da eficiência do modelo. Os anos de 2020 e 2021 tiveram coincidência entre os quartis de todos os indicadores em relação a eficiência, mostrando uma possível contribuição relativa das diversas produtividades calculadas, o que pode indicar a importância da especialização produtiva para a produtividade e eficiência deste cluster e, neste caso, a perda de produtividade nesta aglomeração. Já para o ano de 2018, fica clara a influência da relação pares/especialização para a composição do indicador de eficiência calculado e sua alocação no menor quartil da amostra. Já o ano de 2012, tem um resultado bastante heterogêneo e, em certa medida, controverso, uma vez que a produtividade de todos os fatores analisados se manteve no quartil mais elevado, enquanto a eficiência foi a menor do cluster, o que indica a influência de outros fatores para este resultado, como externalidades, choques negativos, outras medidas de produtividade.

Por fim, foi analisada a unidade virtual do ano de 2016, com desempenho médio-baixo, alocada no segundo quartil da amostra. Novamente, nota-se a importante influência da produtividade calculada na relação pares/especialização, para a composição da eficiência desta unidade.

Portanto, em linhas gerais, é possível notar forte influência na composição da eficiência do cluster por parte do indicador pares/especialização, uma vez que a coincidência entre os quartis de eficiência e deste indicador se repetem em diversos anos (60% do período), com destaque aos anos de 2014, 2020 e 2021, onde houve a coincidência entre os quartis de dois ou mais indicadores de produtividade com a eficiência calculada. Porém, vale ressaltar que as demais unidades (2012, 2013, 2015 e 2019), não aparentam ter influência destas medidas de produtividade sobre o nível de eficiência técnica, uma vez que não houve nenhuma coincidência entre os quartis para estes anos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a eficiência técnica da indústria calçadista de Franca através de um modelo DEA com 7 *inputs* e 3 *outputs*, para os anos de 2012 a 2021, foi possível identificar que

apenas um ano apresentou eficiência, sendo os demais alocadas abaixo da fronteira de eficiência produtiva. De maneira geral, para a amostra, o indicador do cluster se mostrou decrescente, o que pode reforçar a hipótese discutida quanto ao enfraquecimento e reorganização do setor devido a necessidade de se adequar a concorrência externa.

Com base na análise de produtividade dos fatores, a partir da relação *output/input*, notou-se que as relações Pares/Trabalhadores e Pares/especialização, foram as principais responsáveis por influenciar positivamente a eficiência técnica em 70% e 60% da amostra, respectivamente. Cabe ressaltar que nem todos os *inputs* foram considerados (na análise *output/input*), podendo haver também contribuição dos demais não citados.

Dentre os períodos de estudo, alguns se destacam. O ano de 2014, foi o único eficiente, sendo este resultado impactado pela produtividade gerada pela especialização e pelos trabalhadores diretos sobre os pares produzidos e VTI gerado. Portanto, comprova-se que a especialização do cluster exerceu primordial papel para o ganho da eficiência, enquanto a produtividade do trabalho no ano indica que o setor apresentou uma divisão do trabalho adequada. Por outro lado, os anos de 2012 e 2018, são ambos marcados por possuírem os menores indicadores de eficiência e por não terem a eficiência explicada pela produtividade de nenhuma das relações *output/input* estudadas. Em ambos os casos, denota-se que, apesar da contribuição positiva dos índices de produtividade estudados, fatores locais e regionais exógenos à análise foram 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 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.